

№5

2014

май

Научно-практический
журнал для специалистов

Республика Беларусь, г. Минск

ЭЛЕКТРОНИКА info

*Тема номера:
«Нанозлектроника
и нанотехнологии»*

Республика Беларусь, Минск, 9-12 июля 2014
7-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ



MILEX 2014

ООО «ФЭК»
220015, г. Минск, Республика Беларусь, пр. Пушкина, 29 Б
Тел./факс: +375 (17) 210 22 74, 210 23 21
E-mail: info@fek.by Сайт: www.fek.by



FEK
ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

ПОДПИСКА В БЕЛАРУСИ (Белпочта):
индивидуальная – 00822,
Ведомственная – 008222

ISSN 1999-7515



9 771999 1751006 1 4 005

AMPER.BY

Группа компаний «Эко Свет» – крупнейший дистрибьютор мировых производителей светового и электротехнического оборудования ищет талантливых **МЕНЕДЖЕРОВ ПО ПРОДАЖАМ!**

Нам нужны самостоятельные и активные люди, которые умеют добиваться поставленных целей! Для которых доход в первую очередь зависит от результатов: хорошие результаты – хорошие деньги, очень хорошие результаты – очень хорошие деньги.

Мы предлагаем интересную работу в стабильной компании, дружелюбную атмосферу в коллективе, лояльное руководство и конкурентную заработную плату.

Ждем Ваши резюме на адрес: cv@amper.by или на сайте Компании: www.amper.by

Контактные телефоны: **+375 29 185 55 36, +375 17 510 87 77**

ХІХ БЕЛОРУССКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ

19-я Международная специализированная выставка

ENERGY EXP

“Энергетика. Экология. Энергосбережение. Электро”

14-17 октября 2014

г. Минск, пр. Победителей 20/2 (футбольный манеж)

10 - я специализированная выставка светотехнического оборудования “ЭкспоСВЕТ”

9 - я специализированная выставка “Водные и воздушные технологии”

exp  light

 Water & Air technologies



ЗАО “ТЕХНИКА И КОММУНИКАЦИИ”

тел.: (+375 17) 306 06 06, www.tc.by, energy@tc.by

ОРГАНИЗАТОРЫ:
Министерство энергетики Республики Беларусь,
Департамент по энергоэффективности Госстандарта,
Министерства промышленности, жилищно-коммунального хозяйства,
природных ресурсов и охраны окружающей среды,
Национальная академия наук Беларуси, Минский горисполком.

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ
ФАКУЛЬТЕТА РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЛГОСУНИВЕРСИТЕТА.
ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В СПИСОК НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ ВАК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

электроника
инфо

International magazine
of amateur and professional electronics
№5 (107) май 2014

Зарегистрирован
Министерством информации
Республики Беларусь

Регистрационный №71
от 05 марта 2009 года

Главный редактор:
Раковец Леонид Иванович
electronica-info@yandex.ru

Заместитель главного редактора:
Асмоловская Ирина Михайловна
i.asmalouskaya@electronica.by

Редактор технический:
Бортник Ольга Викторовна

Редакционная коллегия:

Председатель:
Чернявский Александр Федорович
академик НАН Беларуси, д.т.н.

Секретарь:
Садов Василий Сергеевич, к.т.н.
e-mail: sadov@bsu.by

Члены редакционной коллегии:

- Беляев Борис Илларионович, д.ф.-м.н.
Борздов Владимир Михайлович, д.ф.-м.н.
Голенков Владимир Васильевич, д.т.н.
Гончаров Виктор Константинович, д.ф.-м.н.
Есман Александр Константинович, д.ф.-м.н.
Ильин Виктор Николаевич, д.т.н.
Кугейко Михаил Михайлович, д.ф.-м.н.
Кучинский Петр Васильевич, д.ф.-м.н.
Мулярчик Степан Григорьевич, д.т.н.
Петровский Александр Александрович, д.т.н.
Попечиц Владимир Иванович, д.ф.-м.н.
Рудницкий Антон Сергеевич, д.ф.-м.н.

Отдел рекламы и распространения:

Антоневич Светлана Геннадьевна
тел./факс. +375 (17) 204-40-00
e-mail: s.antonevich@electronica.by

Учредитель:

ТЧУП «Белэлектронконтракт»
220015, Республика Беларусь,
г. Минск, пр. Пушкина, 29 Б,
тел./факс: +375 (17) 210-21-89,
+ 375 (17) 204-40-00

© Перепечатка материалов, опубликованных
в журнале «Электроника инфо», допускается
с разрешения редакции

За содержание рекламных материалов редакция
ответственности не несет

Подписной индекс в РБ:
00822 (индивидуальная),
008222 (ведомственная)

Цена свободная

Подготовка, печать:

150 экз. отпечатано
тип. ООО «Полиграфт»
г. Минск, ул. Кнорина, 50/4-401А
Лицензия №02330/0494199 от 03.04.2009 г.
Подписано в печать 15.05.2014 г.
Заказ №

СЛАВНЫЕ ИМЕНА

РИЧАРД ФЕЙНМАН: «ТАМ, ВНИЗУ, ЕЩЕ МНОГО МЕСТА».....2

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

НАНОТЕХНОЛОГИИ. ИСТОРИЯ
А. Павленко.....4

ОБЗОР

«ВЫ О ПРОЕКТЕ «КОСМИЧЕСКИЙ ЛИФТ» НИЧЕГО НЕ СЛЫШАЛИ?»
7 ПРИМЕРОВ ТОГО, ЧТО МОЖЕТ ДАТЬ НАНОРЕВОЛЮЦИЯ МИРНЫМ ЖИТЕЛЯМ.....16

ТЕХНОЛОГИИ

СВЕТ СКОРО МОЖНО БУДЕТ «НАПЕЧАТАТЬ».....18

СЕМИНАРЫ

ПУТЬ К УСПЕХУ – В ПРАВИЛЬНОМ ВЫБОРЕ ПОСТАВЩИКА.....20

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЕ СТАТЬИ.....22-37

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СИСТЕМЫ ОКСАЛОН – Fe₃O₄
С.В. Адашкевич, В.Ф. Стельмах, А.Г. Бакаев, А.И. Гордиенко, М.И. Маркевич, А.М. Чапланов.....22

ИНТЕЛЛЕКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПРИ СОЗДАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ
А.В. Гулай, В.М. Зайцев.....24

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
И ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ CuO/Ag
С.Т. Пашаян.....28

ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ОБОГАЩЕННОЙ КРЕМНИЕМ ПЛЕНКЕ SiN_x
ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОБРАБОТКАХ
Ф.Ф. Комаров, И.Н. Пархоменко, И.А. Романов, Л.А. Власукова, О.В. Мильчанин,
И.А. Цыганов, Н.С. Ковальчук.....34

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ

БЕССЕНСОРНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ
БЕСЩЕТОЧНОГО (BLDC) ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА
ДЛЯ ШИРОКОГО КРУГА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.....38

ДАТЧИКИ

МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ УЗЛЫ И СЕТИ – В ОСНОВЕ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ
С. Сысоева.....42

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ И СРЕДСТВА ИХ ОЦЕНКИ,
ПРОИЗВОДИМЫЕ ANALOG DEVICES, INC.
В.С. Голуб.....49

ПРАЙС-ЛИСТ.....64

СПИСОК РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ

«Алнар».....64
«АльфаЛидер групп».....64
«БелПлата».....37
«Вектор Технологий».....60
«ГорнТрейд».....48
«ИНТЕГРАЛ».....61
«Минский часовой завод».....15
«Нанотех».....19
«Приборостроительная компания».....64
«Промтехсервиснаб».....17
«СветЛед решения».....64
«Тиком».....15

«ФЭК».....64
«Чип электроникс».....64

Обложки, цветные вставки

Microchip..... III вст.
«Альфачип ЛТД»..... IV вст.
«Радэл»..... II вст.
«Рейнбоу»..... IV обл.
«Фаворит-ЭК»..... III обл.
«ФЭК»..... I обл, I вст.
«Энерджи»..... II обл.
«Эко Свет Центр»..... II обл.

РИЧАРД ФЕЙНМАН: «ТАМ, ВНИЗУ, ЕЩЕ МНОГО МЕСТА»

Американский физик Ричард Филлипс Фейнман родился 11 мая 1918 года в Нью-Йорке, в семье Мелвилла Артура Фейнмана и урожденной Люсиль Филлипс. Вместе с младшей сестрой он вырос в Фар-Рокэвэй, в Куинсе (район Нью-Йорка). Его отец, заведующий отделом сбыта фабрики по изготовлению форменной одежды, питал глубокий интерес к естественным наукам и поощрял сына в проведении экспериментов в домашней лаборатории. Вместе со своим школьным приятелем Ричард Фейнман устраивал для соседей представления, показывая нехитрые химические фокусы. Еще будучи учеником средней школы, он зарабатывал на мелкие расходы починкой радиоприемников. Став капитаном школьной команды по алгебре, обнаружил способность быстро решать головоломные математические задачи, рассматривая их в целом и избегая громоздких вычислений.

По окончании средней школы в 1935 году Ричард Фейнман поступил в Массачусетский технологический институт (МТИ) и в 1939 году окончил его с дипломом бакалавра по физике. В МТИ, вспоминая впоследствии Фейнман, он осознал, что «наиболее важной проблемой того времени было неудовлетворительное состояние квантовой теории электричества и магнетизма (квантовой электродинамики)». Квантовая электродинамика занимается изучением взаимодействий между элементарными частицами и между частицами и электромагнитным полем.

Множество положений существовавшей тогда теории, созданной Вернером Гейзенбергом, Вольфгангом Паули и П.А. М. Дираком, получили блестящее подтверждение, но в ее структуре были и не совсем ясные моменты, например, бесконечная масса и бесконечный заряд электрона. Ричард Фейнман начал разрабатывать радикально новые теоретические подходы к решению этих проблем. Он назвал допущение о действии электрона на самого себя (а именно оно было источником появления бесконечностей, или расходимостей) «глупым» и предложил считать, что электроны испытывают действие только со стороны других электронов, причем с запаздыванием из-за разделяющего их расстояния. Такой подход позволял исключить само понятие поля и тем самым избавиться от других бесконечностей, доставлявших немало хлопот. Хотя Фейнману и не удалось достичь удовлетворительных результатов, нетрадиционность мышления он сохранил на все последующие годы.

В 1939 году Ричард поступил в аспирантуру Принстонского университета и получил Прокторскую стипендию. В аспирантуре он продолжил эксперименты с различными подходами к квантовой электродинамике, учась на ошибках, отбрасывая неудачные схемы и пробуя множество новых идей, часть которых рождалась в беседах с его руководителем Джоном А. Уиллером. Фейнман стремился сохранить принцип запаздывающего действия одного электрона на другой: электрон, испытывающий действие со стороны другого электрона, в свою очередь,



воздействует на него с определенным дополнительным запаздыванием, подобно свету, отражающемуся назад, к своему источнику. По совету Уиллера Ричард Фейнман предположил, что такое отражение состоит в испускании не только обычной запаздывающей волны, но и «опережающей», достигающей электрон до того, как начинается его возмущающее действие на другой электрон. Парадоксальный ход времени, текущего не только вперед, но и назад, его не беспокоил, как признавался впоследствии Фейнман: «К тому времени я уже в достаточной мере стал физиком, чтобы не говорить: «О нет, это невозможно!»».

После многих месяцев математических прикидок, неудач и попыток найти новые подходы Ричард Фейнман преуспел в преобразовании понятий

и уравнений с различных точек зрения. Ему удалось найти оригинальные пути включения квантовой механики в классическую электродинамику и разработать методы, позволяющие просто и быстро получать результаты, требующие при традиционном подходе громоздких вычислений. Одной из наиболее удачных его идей было применение принципа наименьшего действия, основанного на предположении о том, что природа выбирает для достижения определенной цели наиболее экономичный путь. Хотя он и не был удовлетворен своими достижениями, однако, сознавал, что ему удалось существенно продвинуться в решении проблемы, а его работа получила признание. Фейнман опубликовал свою диссертацию «Принцип наименьшего действия в квантовой механике» («The Principle of Least Action in Quantum Mechanics») и в 1942 году получил докторскую степень по физике.

Незадолго до завершения диссертации Ричард получил приглашение на работу от группы принстонских физиков, занимавшихся разделением изотопов урана для нужд Манхэттенского проекта, т.е. для создания атомной бомбы. С 1942 по 1945 год он возглавлял в Лос-Аламосе (штат Нью-Мексико) группу, работавшую в отделе Ханса А. Бете. Даже в эти годы он находил время размышлять во время поездок в автобусе, производя необходимые вычисления на клочках бумаги, над дальнейшим развитием предложенного им варианта квантовой электродинамики. В Лос-Аламосе Фейнман общался с Нильсом Бором, Энрико Ферми, Робертом Оппенгеймером и другими ведущими физиками. Он был среди тех, кто присутствовал при первых испытаниях атомной бомбы в Алмогордо (штат Нью-Мексико).

После окончания войны лето 1945 года Ричард Фейнман провел работая с Хансом А. Бете в компании «Дженерал электрик» в Скенектади (штат Нью-Йорк). Затем он стал адъюнкт-профессором теоретической физики в Корнеллском университете. Тем временем, перед квантовой электродинамикой встали новые вопросы. Так, в 1947 году Уиллис Э. Лэмб с помощью прецизионных экспериментов показал, что два энергетических уровня, которые, по теории Дирака, должны были бы соответствовать одному и тому же значению энер-

гии, в действительности слегка отличаются («лэмбовский сдвиг»). Другое расхождение между теорией и экспериментом было установлено Поликарпом Кушем, обнаружившим, что собственный магнитный момент электрона более, чем на 0,1 % превышает его орбитальный магнитный момент.

Опираясь на основополагающие работы Бете, Фейнман приступил к решению этих фундаментальных проблем, но вскоре у него наступил период застоя, вызванный, по его собственному мнению, тем, что физика перестала доставлять ему наслаждение как интеллектуальная игра. По прошествии какого-то времени он случайно оказался свидетелем того, как в кафетерии Корнеллского университета некто развлекался, подбрасывая тарелку в воздух, и заинтересовался зависимостью между скоростью вращения тарелки и ее «рысканием». Ричарду удалось вывести уравнения, описывающие полет тарелки. Это упражнение позволило ему восстановить душевные силы, и он возобновил свою работу над квантовой электродинамикой. «То, что я делал, казалось, не имело особого значения, – писал он впоследствии, – но в действительности в этом был заложен великий смысл. Диаграммы и все прочее, за что я получил Нобелевскую премию, берут свое начало в той, казалось бы, бессмысленной возне с летающей тарелкой».

«Все прочее» было новым вариантом теории, в котором квантовоэлектродинамические взаимодействия рассматривались с новой точки зрения – траектории в пространстве-времени. Говорят, что частица распространяется из начальной точки траектории в конечную; возможные взаимодействия «по дороге» выражаются в терминах их относительной вероятностей. Эти вероятности суммируются в ряды (иногда комплексные), для вычисления которых Ричард Фейнман разработал правила и графическую технику (диаграммы Фейнмана). Внешне простые, но чрезвычайно удобные, диаграммы широко используются во многих областях физики. Ему удалось объяснить «лэмбовский сдвиг», магнитный момент электрона и другие свойства частиц.

Независимо от Фейнмана и друг от друга, исходя из других теоретических подходов, Джулиус С. Швингер и Синьитиро Томонага почти одновременно предложили свои варианты квантовой электродинамики и сумели преодолеть основные трудности. Используемая ими математическая процедура получила название перенормировки. Доставивших столько неприятностей расходимостей удалось избежать, постулируя положительные и отрицательные бесконечности, которые почти полностью компенсируют друг друга, а остаток (например, заряд электрона) соответствует экспериментально измеренным значениям. Квантовая электродинамика Фейнмана – Швингера – Томонаги считается наиболее точной из известных ныне физических теорий. Правильность ее подтверждена экспериментально в широком диапазоне масштабов – от субатомных до астрономических.

Совместно со Швингером и Томонагой Фейнману была присуждена Нобелевская премия по физике в 1965 году «за фундаментальные работы по квантовой электродинамике, имевшие глубокие последствия для физики элементарных частиц». В речи на церемонии вручения премии Ивар Валлер из Шведской королевской академии наук отметил, что лауреаты привнесли новые идеи и методы в старую теорию и создали новую, занимающую ныне центральное положение в физике. Она не только объясняет прежние расхождения между теорией и экспериментом, но и позволяет глубже

понять поведение мю-мезона и других частиц в ядерной физике, проблемы твердого тела и статистической механики.

Ричард Фейнман оставался в Корнеллском университете до 1950 года, после чего перешел в Калифорнийский технологический институт на должность профессора теоретической физики. Там же в 1959 году он занял почетную должность, учрежденную в память Ричарда Чейса Толмена. Помимо работ по квантовой электродинамике, Фейнман предложил атомное объяснение теории жидкого гелия, развитой советским физиком Львом Ландау. Гелий, переходящий в жидкое состояние при 4 °К (–269 °С), становится сверхтекучим около 2 °К. Динамика сверхтекучего гелия резко контрастирует с законами, которым удовлетворяют обычные жидкости: при течении он остывает, а не нагревается; свободно протекает сквозь микроскопически узкие отверстия, «презрев» силу тяжести, вползает вверх по стенкам сосуда. Ричард вывел ротонны, постулированные Ландау для объяснения необычного поведения сверхтекучего гелия. Это объяснение состоит в том, что атомы очень холодного гелия агрегируют в ротонны, образуя нечто вроде дымовых колец.

Вместе со своим сотрудником Марри Гелл-Манном Фейнман внес существенный вклад в создание теории слабых взаимодействий, таких, как испускание бета-частиц радиоактивными ядрами. Эта теория родилась из диаграмм Фейнмана, позволяющих графически представить взаимодействия элементарных частиц и их возможные превращения. Последние его работы посвящены сильному взаимодействию, т.е. силам, удерживающим нуклоны в ядре и действующим между субъядерными частицами, или «партонами» (например, кварками), из которых состоят протоны и нейтроны.

Фейнман был трижды женат. Арлен Х. Гринбаум, с которой он вступил в брак в 1941 году, умерла от туберкулеза в 1945 году, когда он был в Лос-Аламосе. Его брак с Мэри Луиз Белл, заключенный в 1952 году, закончился разводом. В 1960 году он женился в Англии на Гвенет Ховарт. У них родились сын и дочь. Искренний и непочтительный к авторитетам, Фейнман входил в состав президентской комиссии, расследовавшей обстоятельства взрыва космического корабля многоцелевого использования «Челенджер» в 1986 году. Он составил собственный тринадцатистраничный отчет, в котором критиковал ответственных сотрудников Национального управления авиации и космических исследований (НАСА) за то, что те дали «одурачить себя», не заметив существенных недостатков в конструкции космического корабля. Человек неумной любознательности и разносторонних интересов, Ричард Фейнман с удовольствием играл на барабанах «бонго», изучал японский язык, рисовал и занимался живописью, принимал участие в дешифровке текстов майя и проявлял живой интерес к чудесам парапсихологии, относясь к ним, однако, с изрядной долей скепсиса.

Помимо Нобелевской премии, Фейнман был удостоен премии Альберта Эйнштейна Мемориального фонда Льюиса и Розы Страусе (1954 г.), премии по физике Эрнеста Орландо Лоуренса Комиссии по атомной энергии Соединенных Штатов Америки (1962 г.) и международной золотой медали Нильса Бора Датского общества инженеров-строителей, электриков и механиков (1973 г.). Фейнман был членом Американского физического общества, Бразильской академии наук и Лондонского королевского общества. Он был избран членом Национальной академии наук США, но позднее вышел в отставку.

peoples.ru

НАНОТЕХНОЛОГИИ. ИСТОРИЯ

Александр Павленко,
xmarachoc@gmail.com

Интересные факты

Древние египтяне применяли краску для покраски волос в черный цвет. Паста из оксида свинца, извести, и воды смешивалась и, в результате, получались наночастицы галенита, которые имели размер до пяти нанометров. Черный цвет достигался пигментом меланином, который распределялся в кератине волоса. Красящая паста вступала в реакцию с серой и обеспечивала устойчивое равномерное окрашивание волос [1] (рисунок 1).



Рисунок 1 – Образцы живописи египтян. У людей и мифических персонажей цвет волос черного цвета

Голубая краска племен Майя сохранила яркий цвет до наших дней. Ее получали путем смешивания частиц дерева индиго и глины. Органические красители быстро разрушаются, а вот в союзе с неорганическими наноструктурами образовалась хорошая защита (рисунок 2).

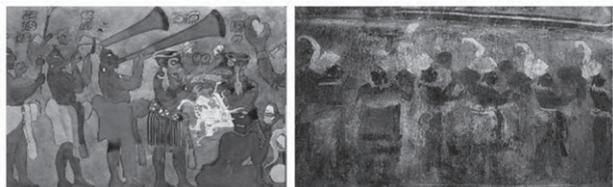


Рисунок 2 – Образцы искусства майя

Известный Кубок Ликурга изготовлен древнеримскими мастерами около четвертого века до нашей эры. Он имеет зеленый цвет и непрозрачен при дневном свете. Но если в кубок поместить источник света, стенки кубка становятся полупрозрачными с красноватым оттенком.

Цвет меняется, потому что частицы золота и серебра от пятидесяти и ста нанометров входят в состав стекла. Подобное стекло применялось при создании витражей средневековых европейских соборов (рисунок 3).

Дамасские мечи имеют очень твердое стальное лезвие, которое как бритва разрезает волос на лету. В состав стали входят углеродные нанотрубки, которые образуются методом специальнойковки (рисунок 4).

Секреты этих производств передавались из поколения в поколение, а причины таких уникальных свойств не исследовались. Только после появления нанонауки ученые смогли найти объяснение этим уникальным свойствам.



Рисунок 3 – Древнеримский Кубок Ликурга меняет цвет в зависимости от освещения

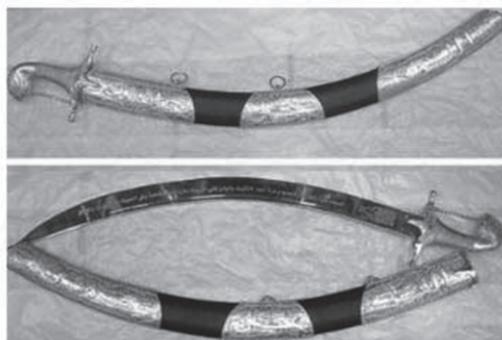


Рисунок 4 – Дамасский меч имеет изумительно твердое и острое лезвие

Хронология событий

400 год до н.э. Греческий философ Демокрит (Democritus) впервые использовал слово «атом», что в переводе с греческого означает «неделимый», для описания самой малой частицы вещества [2] (рисунок 5).



Рисунок 5 – Демокрит Абдерский



Рисунок 6 – Иммануил Кант



Рисунок 7 – Майкл Фарадей

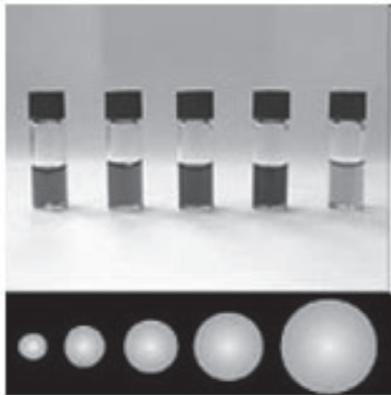


Рисунок 8 – Коллоидные растворы меняют цвет в зависимости от размера частиц золота

1756 год. Иммануил Кант (Immanuel Kant) «Физическая монадология». Первая работа, в которой анализируется понятие «атом» (рисунок 6).

1847 год. Английский физик Майкл Фарадей (Michael Faraday) впервые изучил оптические свойства коллоидных растворов нанодисперсного золота и тонких пленок на его основе [3] (рисунки 7, 8).

1905 год. Альберт Эйнштейн (Albert Einstein) опубликовал работу, в которой показал, что размер молекулы сахара составляет примерно 1 нанометр (рисунок 9).

1912 год. Эрнст Резерфорд (Ernest Rutherford) в серии тонких опытов доказал, что атом похож на солнечную си-

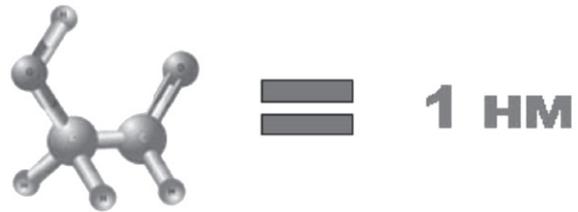


Рисунок 9 – Размер молекулы сахара равен 1 нм

стему, в центре которой – массивное ядро, а вокруг него вращаются легкие электроны. Так появилась планетарная модель атома (рисунки 10, 11).



Рисунок 10 – Эрнст Резерфорд



Рисунок 11 – Планетарная модель атома Резерфорда

1928 год. Ирландский изобретатель Эдвард Синг (E.H. Synge) предложил схему устройства сканирующего оптического микроскопа ближнего поля (ближнепольный оптический микроскоп) (рисунки 12, 13).

1931 год. Макс Кнолл (Max Knoll) и Эрнст Руска (Ernst Ruska) создали прототип первого просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ), состоящего из двух последовательно расположенных магнитных линз и впоследствии имеющего разрешающую способность 50 нм [4] (рисунки 14, 15).

1938 год. Джемс Хиллиер (James Hillier) и Альберт Пребус (Albert Prebus) собрали первый практический про-



Рисунок 12 – Эдвард Синг



Рисунок 13 – Ближнепольный оптический микроскоп



Рисунок 14 – Макс Кнолл и Эрнст Руска



Рисунок 15 – Прототип первого просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ)



Рисунок 16 – Джемс Хиллиер и Альберт Пребус



Рисунок 17 – Первый практический просвечивающий (трансмиссионный) электронный микроскоп

свечивающий (трансмиссионный) электронный микроскоп в университете Торонто (Канада) (рисунки 16, 17).

1955 год. Эрвин Мюллер (Erwin Muller) изобрел полевой ионный микроскоп, позволивший ему впервые увидеть отдельные атомы [5] (рисунки 18, 19).

1959 год. Ричард Фейнман (Richard Feynman) впервые опубликовал работу с анализом перспектив миниатюризации. Нобелевский лауреат Ричард Фейнман прочитал лекцию в Калифорнийском техническом университете на заседании Американского физического общества под названием «Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики»,



Рисунок 18 – Эрвин Мюллер

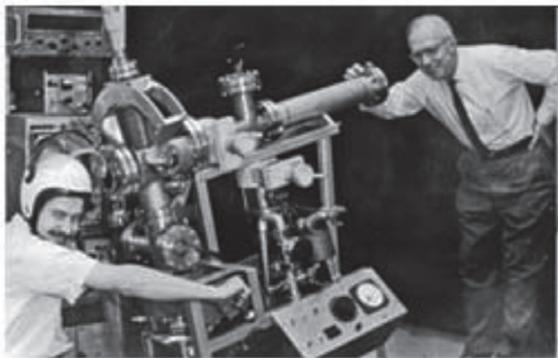


Рисунок 19 – Полевой ионный микроскоп, созданный Эрвином Мюллером

в которой впервые была рассмотрена возможность создания наноразмерных деталей и устройств совершенно новым способом – путем поштучной «атомарной» сборки. Ученый заявил: «Пока мы вынуждены пользоваться атомарными структурами, которые предлагает нам природа», и далее добавил: «Но в принципе физик мог бы синтезировать любое вещество по заданной химической формуле» [6]. Начало развития нанотехнологии обычно связывают именно с лекцией профессора Ричарда Фейнмана (рисунок 20).

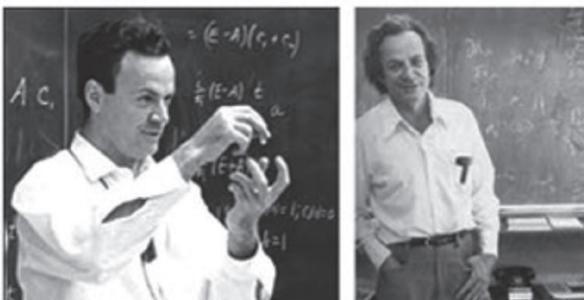


Рисунок 20 – Ричард Фейнман

1968 год. Альфред Чо (Alfred Yi Cho) и Джон Артур (John R. Arthur) разработали теоретические основы молекулярно-пучковой эпитаксии, применяемой при получении квантовых точек.

1970 год. Японский ученый Эйджи Осава (Eiji Osawa) высказал предположение о существовании молекулы из 60 атомов углерода в виде усеченного икосаэдра (рисунки 21, 22).



Рисунок 21 – Эйджи Осава

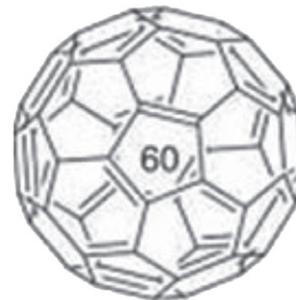


Рисунок 22 – Фуллерен C60 впервые открыл Эйджи Осава

1973 год. Квантовые точки были обнаружены Луи Е. Брусом (Louis E. Brus) в коллоидных растворах и Алексеем Екимовым (Alexey Ekimov) в стеклянной матрице (рисунки 23, 24).



Рисунок 23 – Луи Е. Брус

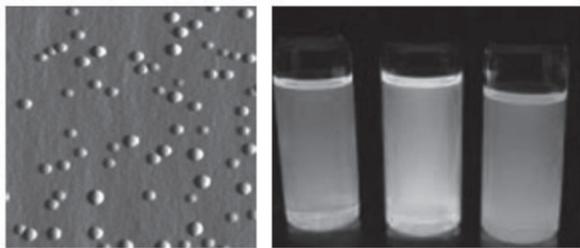


Рисунок 24 – Квантовые точки в коллоидных растворах

1974 год. Норико Танигучи (Norio Taniguchi) ввел в научный оборот термин «нанотехнологии» на Международной конференции по промышленному производству в Токио. Термин использовался для описания процессов сверхтонкой обработки материалов с нанометровой точностью, а также создания механизмов нанометровых размеров (рисунок 25).



Рисунок 25 – Норико Танигучи

1981 год. Нобелевские лауреаты Герд Бинниг (Gerd Binnig) и Генрих Рорер (Heinrich Rohrer), работавшие в то время в филиале IBM в Цюрихе, создали сканирующий туннельный микроскоп (СТМ), способный видеть отдельный атом [7] (рисунки 26, 27).

1981 год. Американский ученый Герберт Глейтер (Herbert Gleiter) впервые использовал определение



Рисунок 26 – Герд Бинниг и Генрих Рорер

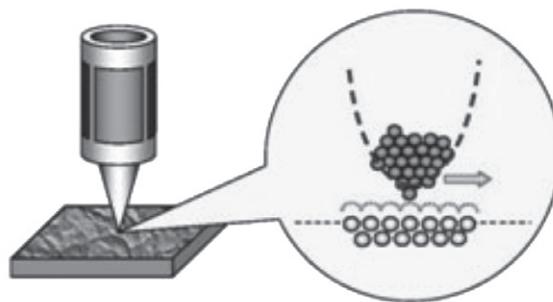


Рисунок 27 – Зонд – основная часть СТМ

«нанокристаллический». Позже для характеристики материалов стали употреблять такие слова, как «наноструктурированный», «нанофазный», «нанокомпозиционный» и т.п. (рисунок 28).



Рисунок 28 – Герберт Глейтер

1985 год. Нобелевские лауреаты Роберт Керл (Robert Curl), Хэррольд Крото (Harold Kroto) и Ричард Смолли (Richard Smalley) впервые исследовали свойства фуллеренов. Ими в ходе изучения масс-спектров паров графита были выявлены крупные агрегаты C₆₀ и C₇₀, состоящие соответственно из 60 и 70 атомов углерода (рисунки 29, 30).

1986 год. Американский физик Эрик Дрекслер (Eric Drexler) в своей книге о возможностях нанотехнологий «Машины созидания: пришествие эры нанотехнологий», основываясь на биологических моделях, ввел понятие о «молекулярных машинах», а также развил предложенные Фейнманом идеи о нанотехнологической стратегии «снизу вверх» (рисунки 31, 32).

1989 год. Дональд Эйглер (Donald Eigler), сотрудник компании IBM, выложил название своей фирмы атомами ксенона (рисунки 33, 34).

1990 год. Немецкие ученые Вольфганг Кретчмер (Wolfgang Kretschmer) и Коста Фостирополус (Kosta Fostiroplous) разработали технологию, позволяющую получать фуллерены в достаточно больших количествах. Как выяснилось позже, такие комплексы существуют в природном углеродном минерале – шунгите.

1991 год. Японский ученый Сумио Иджима (Sumio Iijima) открывает углеродные нанотрубки (рисунки 35, 36).



Рисунок 29 – Роберт Керл, Хэрольд Крото и Ричард Смолли

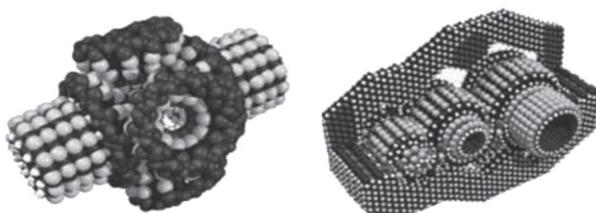


Рисунок 32 – Образцы молекулярных машин



Рисунок 33 – Дональд Эйглер

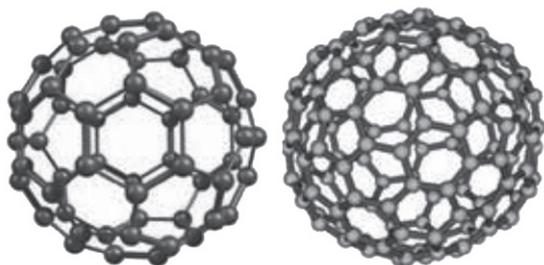


Рисунок 30 – Образцы фуллеренов

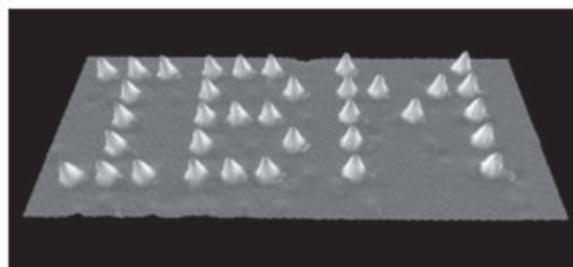


Рисунок 34 – Название фирмы IBM выложено атомами ксенона



Рисунок 31 – Эрик Дрекслер



Рисунок 35 – Сумио Иджима

1991 год. В Японии началась реализация государственной программы по развитию техники манипулирования атомами и молекулами (проект «Атомная Технология»).

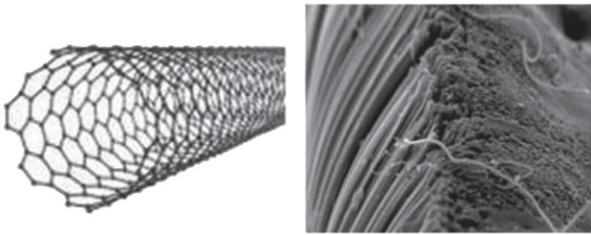


Рисунок 36 – Образцы углеродных нанотрубок

1992 год. Ученые Гуо Б.С. (Guo B.S.), Вей С. (Wei S.), Пурнелл Дж. (Purnell J.), Бузза С. (Buzza S.), Кастлеман А.В. (Castleman A.W., Jr.) обнаружили стабильные фуллерено-подобные наночастицы Ti_8C_{12} [8] (рисунок 37).



Рисунок 37 – Молекулярная структура Ti_8C_{12}

1998 год. Голландский физик Сиз Деккер (Cees Dekker) из Дельфтского технологического университета создал транзистор на основе нанотрубок, используя их в качестве молекул. Для этого ему пришлось первым в мире измерить электрическую проводимость такой молекулы (рисунки 38, 39).



Рисунок 38 – Сиз Деккер

1999 год. Уилсон Хо (Wilson Ho) и Хайжун Ли (Hyojune Lee) исследовали химические связи, собирая молекулы карбонильного железа $Fe(CO)_2$ из составляющих компонентов:

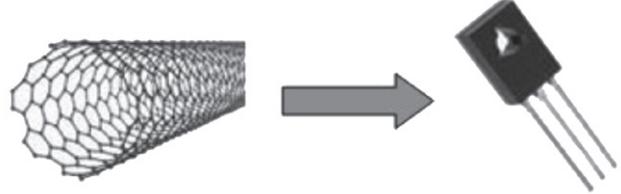


Рисунок 39 – Транзистор на основе нанотрубок

железо (Fe) и окись углерода (CO) – с помощью сканирующего туннельного микроскопа [9, 10] (рисунки 40, 41).

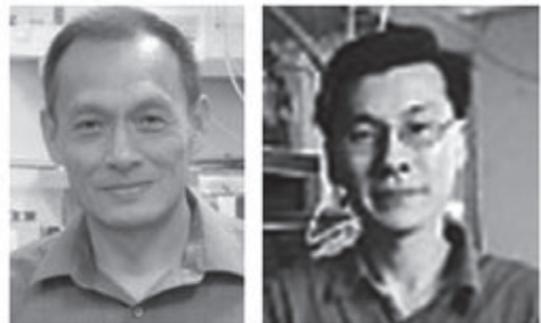


Рисунок 40 – Уилсон Хо и Хайжун Ли

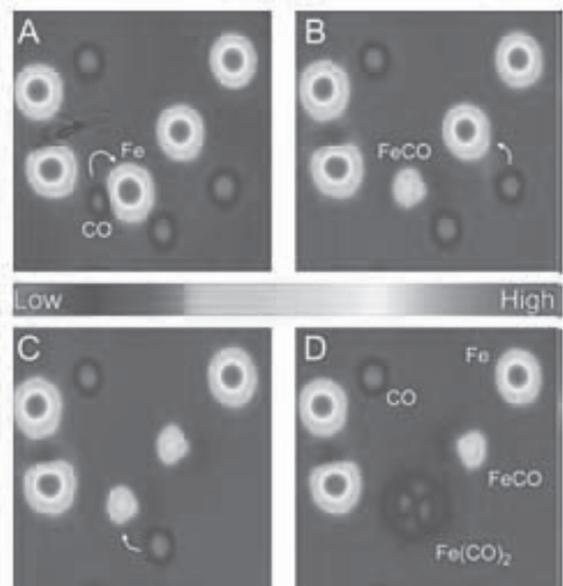


Рисунок 41 – Исследование химических связей молекул карбонильного железа $Fe(CO)_2$

2000 год. США поддержала создание Национальной Инициативы в области нанотехнологии (National Nanotechnology Initiative). Нанотехнологические исследова-

дования получили государственное финансирование. США приступили к реализации программы исследований, названной Национальной Нанотехнологической Инициативой (ННИ) (рисунок 42).



Рисунок 42 – Инвестиции в нанотехнологии

2000 год. Японская экономическая ассоциация «Кэй-данрэн» организовала специальный отдел по нанотехнологиям при промышленно-техническом комитете.

2002 год. Сиз Деккер (Cees Dekker) соединил углеродную трубку с ДНК, получив единый наномеханизм (рисунки 43, 44).

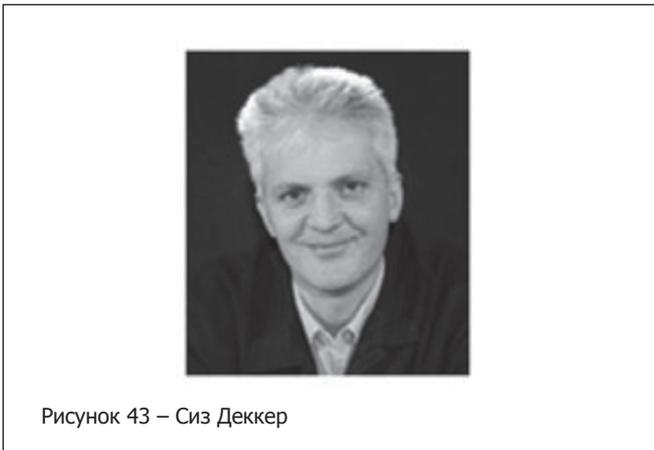


Рисунок 43 – Сиз Деккер

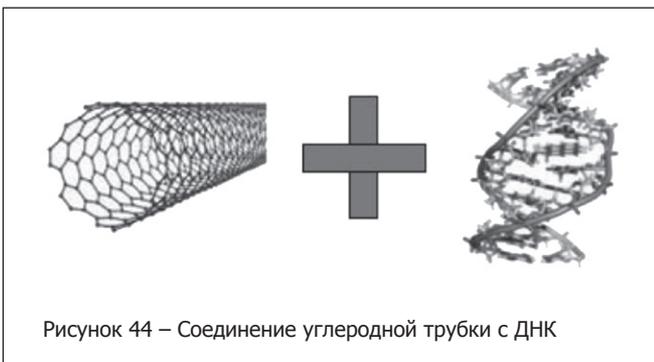


Рисунок 44 – Соединение углеродной трубки с ДНК

2003 год. Карло Монтеманьо (Carlo Montemagno) объединил молекулярный двигатель (ротор) с наноразмерными устройствами из кремния. Это открывает новые возможности для создания молекулярных наномашин (рисунки 45, 46).

2003 год. Профессор Фенг Лью (Feng Liu) из университета Юты, используя наработки Франца Гиссибла (Franz Giessibl), с помощью атомного микроскопа построил об-

разы орбит электронов путем анализа их возмущения при движении вокруг ядра [13] (рисунки 47, 48).



Рисунок 45 – Карло Монтеманьо

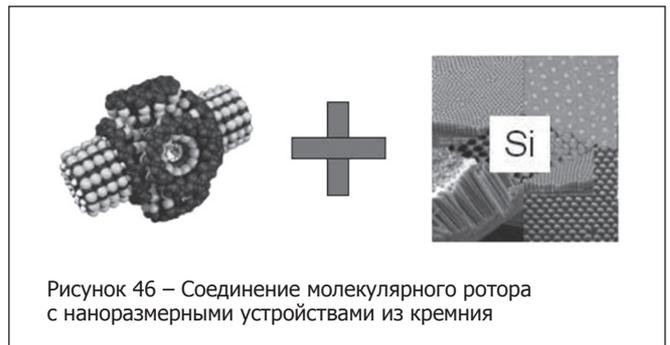


Рисунок 46 – Соединение молекулярного ротора с наноразмерными устройствами из кремния



Рисунок 47 – Фенг Лью и Франц Гиссибл

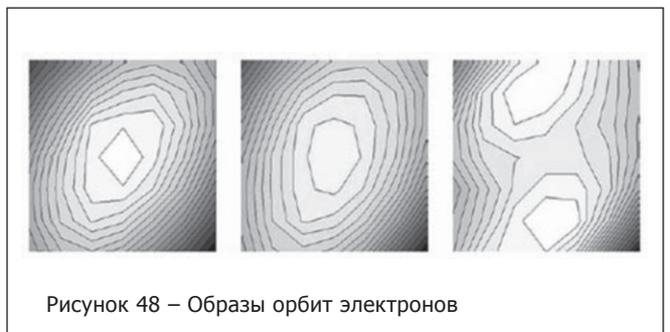


Рисунок 48 – Образы орбит электронов

2004 год. Дэвид Бейкер (David Baker) и Брайан Кульман (Brian Kuhlman) создали новые ферменты с измененной функцией, не существующие в природе [14, 15] (рисунки 49, 50).



Рисунок 49 – Дэвид Бейкер и Брайан Кульман

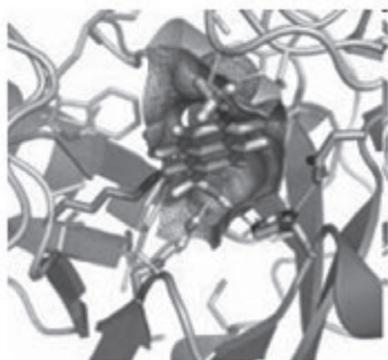


Рисунок 50 – Ферменты с измененной функцией, не существующие в природе

2004 год. Андрей Гейм (Andre Geim) и Константин Новоселов (Konstantin Novoselov) открыли графен (аллотропную модификацию углерода), который представляет собой одинарный слой атомов углерода (рисунки 51, 52).



Рисунок 51 – Андрей Гейм и Константин Новоселов

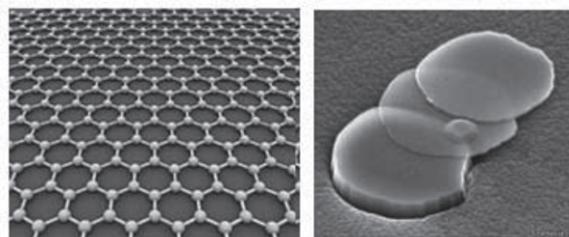


Рисунок 52 – Структура и внешний вид графена

2005 год. Кристиан Шафмейстер (Christian Schafmeister) разработал новую технологию синтеза макромолекул с заданными функциями, формой и массой (от 1000 до 10 000 дальтон). В перспективе это позволит синтезировать молекулярные строительные блоки для изготовления наномашин [16] (рисунки 53, 54).



Рисунок 53 – Кристиан Шафмейстер

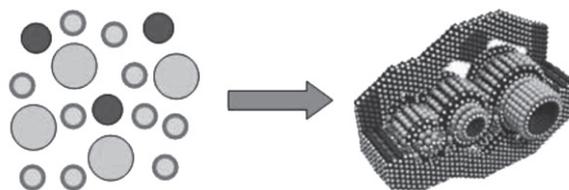


Рисунок 54 – Синтез макромолекул для создания наномашин

2006 год. Эрик Уинфри (Erik Winfree) и Пол Ротмунд (Paul W.K. Rothemund) создали сложные двумерные фигуры из ДНК структур, так называемые ДНК-оригами [17, 18] (рисунки 55, 56).

2006 год. Джеймс Тур (James Tour) и его коллеги из университета Райса создали наноразмерную машину, сделанную из олиго (фенилен этинилен) с алкиниловыми осями и четырьмя сферическими фуллеренами C60, в виде колес (бакиболы). Под действием повышения температуры наномашина двигалась по поверхности золота. В результате бакиболы поворачивались, как колеса в обычном автомобиле [19] (рисунки 57, 58).

2007 год. Дж. Фрейзер Стоддарт (J. Fraser Stoddart) синтезировал кольцевые молекулы, которые могут из-



Рисунок 55 – Эрик Уинфри и Пол Ротмунд

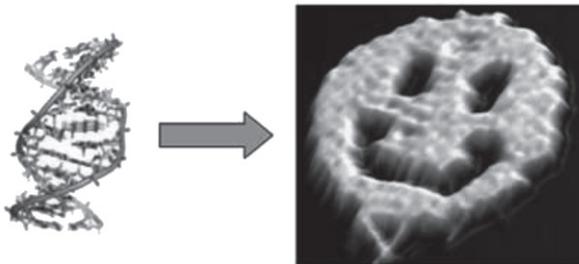


Рисунок 56 – ДНК-оригами



Рисунок 57 – Джеймс Тур

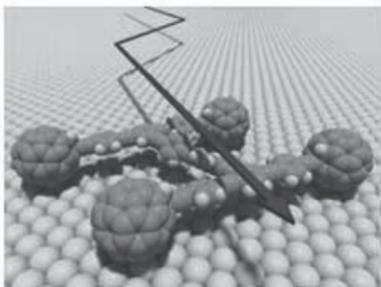


Рисунок 58 – Наноразмерная машина

менять свои свойства под действием электричества. В перспективе это позволит создавать молекулярные мышцы [20, 21] (рисунки 59, 60).



Рисунок 59 – Дж. Фрейзер Стоддарт

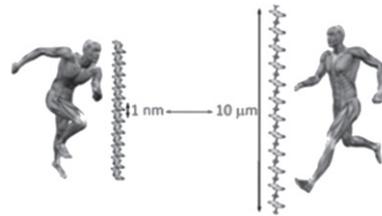


Рисунок 60 – Длина полимеров может согласованно сокращаться и растягиваться под влиянием изменения кислотности среды (pH). Длина сокращается при повышении pH и увеличивается при понижении

2008 год. Нобелевские лауреаты по химии Осаму Симомура (Osamu Shimomura), Мартин Чалфи (Martin Chalfie) и Роджер Цяня (Roger Y. Tsien) извлекли люминесцентные клетки из медузы и выделили из них зеленый флуоресцентный белок (green fluorescent protein – GFP). Зеленый флуоресцентный белок – вещество, благодаря которому медузы светятся в темноте [22] (рисунки 61, 62).



Рисунок 61 – Осаму Симомура, Мартин Чалфи и Роджер Цяня

2009 год. Надриан Симан (Nadrian Seeman) и его коллеги из Нью-Йоркского университета создали самоорганизующиеся ДНК структуры, которые могут сворачиваться в 3D ромбоэдрические кристаллы, с установленной ориентацией [23] (рисунки 63, 64).

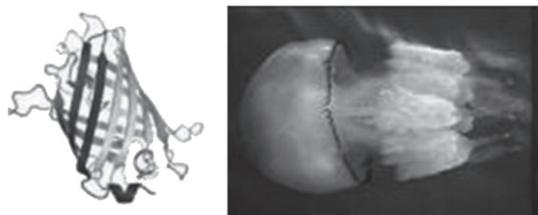


Рисунок 62 – Зеленый флуоресцентный белок, извлеченный из медузы



Рисунок 63 – Надриан Симан

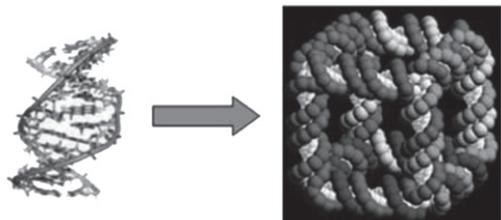


Рисунок 64 – Структура ДНК, свернутая в ромбоэдрический кристалл

2009 год. Японские ученые Есиаки Сугимото (Yoshiaki Sugimoto), Масаюки Абэ (Masayuki Abe) и Оскар Кустанце (Oscar Custance) научились выбирать и манипулировать отдельными атомами кремния, олова и свинца с помощью зонда АСМ для построения сложных молекулярных структур при комнатной температуре [24, 25] (рисунки 65, 66).



Рисунок 65 – Есиаки Сугимото, Масаюки Абэ и Оскар Кустанце

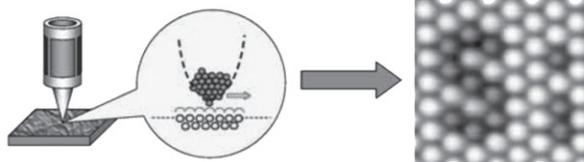


Рисунок 66 – Аббревиатура «Si» написана отдельными атомами кремния на олове при помощи зонда АСМ

2010 год. Компания IBM разработала технологию ультра-точной и быстрой литографии, которая позволяет создавать наноразмерные рельефные 3D-поверхности. С помощью кремниевого наконечника АСМ была начерчена рельефная карта мира размером 22 мкм за время 2 мин 23 сек [26] (рисунок 67).

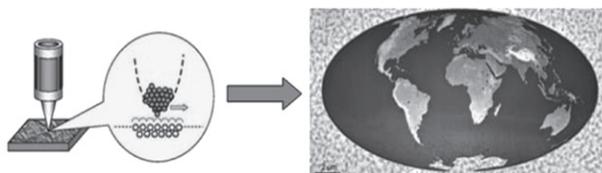


Рисунок 67 – Рельефная карта мира размером 22 мкм

2011 год. Немецкий физик Леонард Грил (Leonhard Grill) использовал сканирующую туннельную микроскопию (СТМ) для описания электронных и механических свойств отдельных молекул и полимерных цепочек [27, 28] (рисунки 68, 69).



Рисунок 68 – Леонард Грил

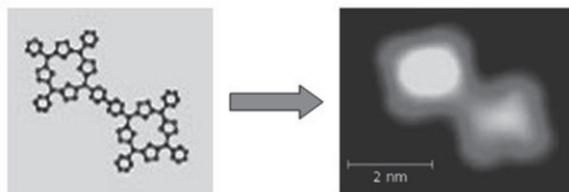


Рисунок 69 – Полимерная цепочка в СТМ

2012 год. Немецкие физики Герхард Мейер (Gerhard Meyer), Лео Гросс (Leo Gross) и Яша Репп (Jascha Repp) из компании IBM Research Zurich получили изображения распределения электронных зарядов в молекуле с помощью сканирующей зондовой микроскопии. Это позволило достаточно подробно определить структуру отдельных молекул, а также замыкать и размыкать отдельные химические связи [29, 30] (рисунки 70, 71).



Рисунок 70 – Герхард Мейер, Лео Гросс и Яша Репп



Рисунок 71 – Распределения электронных зарядов в молекуле нафталоцианита

Источники информации:

1. <http://planete-zemlya.ru/drevnejshie-nanotehnologii>.
2. <http://monada.info>.
3. <http://www.nanogallery.info/nanogallery/?ipg=126>.
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_microscope_technology.
5. http://www.rps.psu.edu/indepth/atom_microscope.html.
6. <http://innosfera.org/node/340>.
7. <http://900igr.net/datai/meditsina/Nanotekhnologii-v-meditsine/0007-003-Nanotekhnologija-khronologija.png>.
8. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cen-v070n011.p004>.
9. <http://www.nano.gov/timeline>.
10. <http://www.physics.uci.edu/~wilsonho/c&en112999.html>.
11. <http://nano.gov>.
12. <http://www.keidanren.or.jp/english>.
13. http://unews.utah.edu/news_releases/observing-the-039wings039-of-atoms.
14. http://www.eurekalert.org/pub_releases/2008-11/uow-pfr112508.php.
15. http://phys.protres.ru/lectures/protein_physics/I01.html.
16. <http://vsip.mgopu.ru/data/2033.doc>.
17. <http://www.membrana.ru/particle/1808>.
18. <http://lenta.ru/articles/2011/04/20/origami>.
19. <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2006/March/29030603.asp>.

20. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ange.201206571/abstract>.
21. <http://www.foresight.org/nano/history.html>.
22. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2010/fluorestsentyebelki-meduzy-pomogut-diagnostirovat-rakovyje-opukholi>.
23. <http://scienceline.org/2009/12/3-d-dna-nanostructures>.
24. <http://www.hizone.info/index.html?di=200703023>.
25. http://www.uam.es/gruposinv/spmth/highlights/2008_Science_322_413/highlight.html.
26. <http://singularityhub.com/2010/04/28/ibm-creates-nano-sized-3d-map-of-earth-in-less-than-3-minutes-video>.
27. <http://www.fhi-berlin.mpg.de/pc/grill>.
28. http://www.fu-berlin.de/en/presse/informationen/fup/2009/fup_09_037/index.html.
29. http://rnd.cnews.ru/news/line/index_science.shtml?2012/02/28/479275.
30. http://p2p.kz/blog/interesting_in_the_world/217.html.

Программаторы для любых микросхем

SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM
 EEPROM
 EPROM
 FLASH
 PIC
 MCU
 PAL PAL

+375 (17) 266-32-09 www.chipstar.ru

ДПП Качество и компетентность в мире печатных плат

ОАО «Минский часовой завод»

ВАШ НАДЕЖНЫЙ ИЗГОТОВИТЕЛЬ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

220095, г. Минск, пр. Независимости, 95, т./ф. +375 (17) 280-49-55, моб. +375 (29) 750-45-50, bogdashich@mail.ru

Типы плат

- ДПП, МПП (до 24 слоев) любого класса точности
- Гибкие печатные платы
- Платы для ВЧ/СВЧ
- Платы на алюминиевой подложке
- Платы для смарт-карт

Срок изготовления от 2 дней до двух недель

Возможности

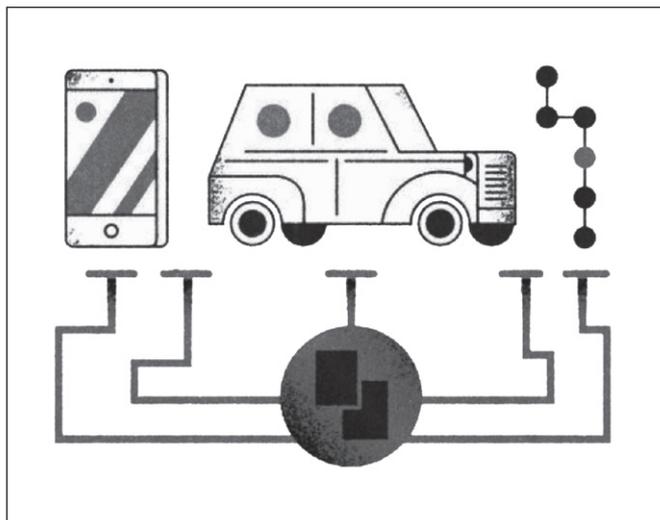
- Проектирование плат
- Технологическая поддержка
- Покрытия: HASL, иммерсионное золото, иммерсионное олово, ПОС, Ni-B
- Формирование контура любой формы
- Материалы: FR-4, Rogers, Duroid, алюминий, лавсан

Качество

- Сертификат соответствия ВУ/112 05.01.0030030

«ВЫ О ПРОЕКТЕ «КОСМИЧЕСКИЙ ЛИФТ» НИЧЕГО НЕ СЛЫШАЛИ?»

7 ПРИМЕРОВ ТОГО, ЧТО МОЖЕТ ДАТЬ НАНОРЕВОЛЮЦИЯ МИРНЫМ ЖИТЕЛЯМ



К чему приведет наступление эры нанотехнологий, доцент факультета электроники и телекоммуникаций МИЭМ НИУ ВШЭ Владимир Рыбалко рассказал на своей лекции «Нанотехнологическая революция» в музее «Экспериментаниум». Встреча прошла в рамках проекта «Лекционные четверги в музеях Москвы».

Строго говоря, термин «нанотехнологическая революция» пока звучит слишком громко, отметил доцент. Число научных публикаций, посвященных развитию нанотехнологий, за последние годы не слишком росло. По данным российского Нанотехнологического общества, лидером здесь является США, где в 2012 году таких статей было около 400 тыс. На втором месте страны ЕС – с 340 тыс. публикаций, следом идут Китай и Япония. Российские ученые, когда-то бывшие на одном уровне с европейскими, последние годы выдавали лишь около 30 тыс. публикаций в год.

Исследования в области нано сегодня ведутся по нескольким направлениям. Во-первых, это тонкие пленки и пленочные структуры – им посвящена примерно четверть всех публикаций. Во-вторых, нанодисперсные порошки. Затем идут наноразмерные структуры, наноразмерные изделия и, наконец, наномодифицированные материалы. Чтобы понять, что такое наноразмер, надо знать, что нанометр – это одна миллиардная часть метра, или одна тысячная микрометра. «Хороший человеческий волос имеет диаметр 150–200 мкм, один нанометр в 200 тыс. раз меньше» – пояснил В.В. Рыбалко.

Ниже приведены выбрали несколько примеров того, как нанотехнологии могут быть использованы в обычной жизни сегодня и в будущем.

1. Графены для гаджетов.

Примером наноразмерных изделий может служить графеновый лист – двумерный слой из атомов углерода

толщиной в один атом. Один из способов получения графена – расщепление на отдельные слои обычного графита. Именно за получение и исследование свойств графена российские ученые Андрей Гейм и Константин Новоселов в 2010 году получили Нобелевскую премию. До них считалось, что наноструктуры такой толщины слишком неустойчивы и получить их невозможно. «Китайцы пытались растворять графит, чтобы он расслаивался, американцы – разбивать его потоком тяжелых частиц, а наши – как всегда: какая химия, какие ионные технологии – кусок графита и кусок скотча, и Нобелевская премия в результате» – пояснил В.В. Рыбалко. Образцы графена, по его словам, были добыты с помощью довольно остроумной технологии, которая в упрощенном виде сводится к следующему: «Они взяли кусочек качественного графита, приклеили к нему скотч – оторвали, затем к оторванному еще один – снова оторвали, и так до конца, пока не получили один слой». Сейчас ведутся активные разработки по созданию транзисторов на базе графенового листа, которые могут с успехом использоваться в электронной аппаратуре, например, сотовых телефонах.

2. Грузите водород нанотрубками.

Противники вредных автомобильных выхлопов давно лелеяли мечту о создании водородного двигателя. Сейчас водородомобили уже существуют – так, автомобиль Honda FCX, использующий в качестве топлива водород, в 2009 году завоевал звание World Green Car of the Year («Зеленый автомобиль года»). Водородный двигатель мог бы стать заменой недолговечным аккумуляторам, которые используются в современных электромобилях.

Но способов безопасного хранения водорода пока не придумано. Чтобы его зарядить, автомобилисту придется бы возить гремучий газ с собой в специальных баллонах. «Положите такой баллон в багажник, начнет подтекать вентиль, малейшая искра – будет взрыв» – отметил Рыбалко. Выходом может стать использование тех же графеновых листов в виде нанотрубок (свернутых в трубку листов). Если засыпать их в баллон, они будут абсорбировать водород, и тот сможет выйти наружу лишь при стимулирующем нагреве. Таким образом, его транспортировка станет практически безопасной.

3. Когда можно будет мыть машину в мороз.

Автомобилистам знакома еще одна проблема: мыть любимую машину зимой нежелательно. Лак, которым покрывают машину, – твердый и хрупкий, а глянцевая поверхность на самом деле представляет собой горный рельеф, в микротрещинах которого вода замерзает. Превратившись в лед, она расширяет собой трещину, это вызывает разрушение лакового покрытия и, в конечном счете, коррозию металла. Чтобы этого не случилось, в лакокрасочные покрытия для автомобилей надо добавлять наномодификаторы – они придадут лаку упругость. Как только вода испарится, стенки микротрещинки снова

сойдутся. Некоторые автоцентры уже используют такие лаки. Помимо этого, наномодификаторы можно добавлять и в моторные масла, и топливо.

4. «Космический лифт».

Наноматериалы можно использовать и для создания совершенно новых видов транспорта. Один из таких проектов – «космический лифт». Его идею Константин Циолковский предложил еще в 1895 году, сейчас этот проект реализуют в Японии. «Лифт» будет представлять собой трос, один из концов которого закрепят у земной поверхности, а другой будет поддерживаться с помощью установленного в космосе противовеса за счет центробежной силы вращения Земли. От Земли до орбиты по тросу будет двигаться специальный подъемник.

По словам Рыбалко, раньше этот проект рассматривался лишь теоретически – «непонятно было, из чего делать канат, на котором этот лифт будет висеть. Из стали его делать нельзя, потому что длина каната должна быть огромна, и его общий вес сталь просто не выдержит». Здесь нужен более прочный и легкий материал – он может быть создан на основе нанотрубок. Их прочность в пять раз выше так называемых «инструментальных сталей», а вес – почти на порядок меньше. Японцы собираются запустить «Космический лифт» к 2050 году.

5. Нанороботы против рака.

Минимальный размер частицы, которую может рассмотреть человек, – 100 мкм. Нанороботы в 10 раз меньше, вместе с белковыми молекулами они будут вводиться в организм человека и позволят уничтожить больные клетки, не трогая при этом здоровые. Наносенсоры, прикрепленные к молекуле, будут отличать одни клетки от других по уровню кислотности – раковые клетки имеют другой pH. При этом клетки разных органов тела тоже отличаются между собой, благодаря этому можно было бы доставлять лекарство прямо в тот орган, который нужен.

«Сейчас, для того, чтобы один миллиграмм лекарства попал в печень, нужно выпить 10 мгм, 9 из них разойдутся по всему организму и непонятно, как подействуют на другие органы» – пояснил Рыбалко. Исследования, как этого можно было бы избежать, проводились в военно-медицинской академии в Санкт-Петербурге еще в 1968 году, но затем они были свернуты.

В 2012 году сообщалось, что первого ДНК-наноробота для борьбы с раком создали Шон Дуглас и его коллеги из института Wyss Гарвардского университета США. Спустя год появилась новость, что подобных роботов создали также в Корее и Израиле.

6. Не слышать соседей за стеной.

Уже сейчас из наномодифицированных материалов серийно выпускаются звукоизоляционные блоки с высокой эффективностью. Это панели толщиной в 10–20 мм, которыми можно обшить стены даже в малогабаритной квартире. Одна из компаний, занимающаяся их производством, использует, например, материал на основе фибры и эпоксидной смолы, модифицированный фуллероидными частицами. Такие панели обладают очень высокой прочностью. «Отломить от листа толщиной в 10 мм хотя бы уголок не смог» – поделился опытом В.В. Рыбалко. Стоимость таких панелей при этом не слишком высока, по словам Рыбалко, лист размером 120 см стоит около 230 российских рублей.

7. Нанобетоны и сейсмодатчики.

Обычный бетон гигроскопичен, он пропитывается влагой, из-за колебаний температуры начинает разрушаться, это уменьшает срок службы зданий. В то же время, если при его изготовлении использовать наноматериалы, это позволяет повысить срок эксплуатации здания в несколько раз.

С помощью наноструктур и наномодифицированных материалов также разрабатываются сейсмодатчики, которые вмуровываются прямо в бетон. Они дают информацию не только о колебаниях здания, но и о напряжениях, возникающих в отдельных узлах конструкции. Если вы введете в поиск в Интернете «наномодифицированные бетоны», вы найдете сотни компаний, которые занимаются их исследованиями и разработками, некоторые из них уже запущены в производство, отметил доцент.

Доживем ли до нано

Объем рынка нанопроизводства в США к 2015 году достигнет 1 трлн долл. США, в других странах он будет меньше. По данным компании Nanotechnology Research, в 2011–2012 годах число наименований изделий, связанных с нанотехнологиями, которые продавались во всем мире, не превышало 1500. При этом, если отбросить США, государства ЕС, Корею и Китай, на оставшиеся страны, включая Россию, приходилось всего 70 наименований.

Деньги на исследования тратятся достаточно серьезные, но промышленная реализация их результатов пока развивается «как-то вяло», поэтому конкретные сроки их внедрения в жизнь назвать трудно, считает В.В. Рыбалко.

В то же время, уже сейчас можно сказать, что производство материалов с гораздо более высоким сроком службы должно привести к значительному сокращению рабочих мест в производстве. Для использования нанотехнологий будут требоваться люди с высоким уровнем инженерного образования, а не просто рабочие. Вероятно, люди будут переориентироваться в сторону творческих профессий, в первую очередь гуманитарных. «Стиль, образ жизни, может быть, даже место проживания будет меняться», – уверен доцент.

mn.ru

ТТСС ЗАО «Промтехсервиснаб»

г. Минск, ул. Богдановича, 120 Б, ком. 6,
e-mail: uslugi@zapservis.by,
www.zapservis.by

Тел.: 266-23-94; 266-23-92,
моб.: (029) 676-02-56,
моб.: (044) 773-72-04,
факс: 266-23-94.

Контрактное производство РЭА:

- ✓ Автоматизированный монтаж SMD-компонентов любой сложности.
- ✓ Комбинированный монтаж с использованием компонентов DIP (выводных), а также SMD (планарных).
- ✓ Сборка корпусных деталей и узлов.
- ✓ Ультразвуковая отмычка печатных плат и узлов высококачественными импортными растворами.
- ✓ Нанесение влагозащитных покрытий.

*Высокотехническое импортное оборудование обеспечивает высокое качество производимой продукции.

Продажа неликвидов ПК для РЭА:

- ✓ Резисторы, конденсаторы, транзисторы, микросхемы и т.д.

СВЕТ СКОРО МОЖНО БУДЕТ «НАПЕЧАТАТЬ»

В этом уверены представители Центра нанотехнологий и наноматериалов Мордовии.

В начале этого года Мордовия одной из первых включилась во всероссийское роуд-шоу Russian Startup Tour 2014, которое охватит 26 российских городов – от Владивостока до Санкт-Петербурга. В рамках тура проходят встречи авторитетных экспертов российского рынка инноваций и венчурных инвестиций с авторами высокотехнологичных проектов. В финале наиболее перспективные проекты, а точнее их представители, соберутся на крупнейшей в России площадке для объединения стартап-сообщества и инвесторов – инновационной стартап-деревне «Startup Village». Победители Стартап-Тура в Саранске Анастасия Ястребцева и Сергей Терехин, представляющие Центр нанотехнологий и наноматериалов Мордовии:

– Центр нанотехнологий и наноматериалов Республики Мордовия является резидентом технопарка. Мы отличаемся от остальных резидентов тем, что сами генерируем стартапы, позиционируем себя как фабрика стартапов, стартапмейкеры. Мы занимаемся поиском научных групп с перспективными идеями, находим рыночных партнеров и соинвесторов.

Отличие от инвестиционных фондов, которые делают инвестиции только в те проекты, которые уже запущены, наноцентр приходит в проект на ранней стадии. Мы анализируем перспективную идею, смотрим, какой бизнес из этого можно сделать. Оцениваем ее технологические возможности, рыночные перспективы. После этого «достраиваем» те элементы стартапа, которых не хватает. Бизнес-проект состоит из «кубиков», и если чего-то не хватает, то развалится вся система, проект не будет работать и приносить прибыль. Мы эти «кубики» ищем, составляем вместе и продвигаем проект.

Например, если к нам обращаются команды, у которых уже есть научная группа, понимание рынка, но нет инвестиций, мы выступаем в качестве инвестора. Или, скажем, если у компании есть направление модернизации и развития, в которое они готовы вкладываться, но нет сильной научно-технологической команды, готовой эту идею реализовывать, то мы находим решение для этой компании; если нет рыночных партнеров, то мы выступаем как продвигенцы на рынке. То есть мы помогаем стартапам в том, в чем они испытывают проблемы.

Помимо прочего, наш плюс в том, что мы являемся сетью наноцентров, расположенных по всей России. Таким образом, наша система дает много преимуществ – мы можем проводить хорошую научную, технологическую экспертизу, подбирать инвесторов и партнеров, в том числе зарубежных. Также мы сотрудничаем со многими крупными корпорациями и имеем возможность продвигать им нашу продукцию.

Инновационные идеи при отборе проходят определенные этапы. Во-первых, мы смотрим на саму инновационность, оцениваем новизну идеи. Затем решаем, насколько идея технически реализуема. Ключевой момент – наличие на рынке спроса на эту идею. Мы много общаемся с университетами, часто получается так, что они начинают отталкиваться не от спроса на идею, а от самой идеи. Но

опыт показывает, что нужно идти от рынка. Смотреть, в чем есть потребность и проблема на рынке, и думать, как ее можно решить. Если спроса нет, то проект, скорее всего, будет провальным. Также мы можем подсказать разработчикам, как их проект можно скорректировать, чтобы он приобрел другие черты. Главное, чтобы у него была рыночная перспектива, способность стать самокупаемым и прибыльным бизнесом.

Все российские наноцентры специализируются на определенных направлениях, где они наиболее сильны. Если брать наноцентр Республики Мордовия, то мы специализируемся на энергосберегающей светотехнике, силовой электронике (это те проекты, которые мы осуществляем совместно с крупнейшими предприятиями республики). Есть еще два направления – приборы и комплексы, а также наноматериалы в строительстве.

Проект Flexbright

Сейчас одним из наших проектов является Flexbright – технология производства гибких, легких светоизлучающих панелей и печатной электроники. Сам проект имеет финские корни. Руководство мордовского наноцентра участвовало в международных конференциях, где познакомилось с командой разработчиков этого проекта. Они действуют на базе финского технологического центра, но являются самостоятельным стартапом. Опытные образцы данной технологии уже производятся и внедряются.

В чем заключается проект? Если проследить эволюцию источников света от лампочки Эдисона, то мы увидим, что сначала появились обычные лампы накаливания, затем – более экономичные люминесцентные, энергосберегающие лампы, следующее поколение – светодиодные лампы, которые сейчас активно внедряются. Далее источником света будут даже не лампы, а своеобразные светоизлучающие поверхности. В свое время были разработаны специальные светодиодные кристаллы, которые капсулируются, затем множество таких маленьких светодиодов собирается в единый корпус и, таким образом, получается «лампочка». Нанотехнологии идут дальше, и в итоге на рынок выходит печатная технология, которая будет использовать кристаллы уже без капсулирования. Это будет гораздо дешевле. Но технология на данном этапе требует доработки, например, необходимо добиться максимального времени работы этих кристаллов, решить проблему нанесения их на поверхность и решить другие технические вопросы. Печатная конструкция, опираясь на современные технологии, пока работает не совсем эффективно, и поэтому разрабатывается целый блок новых технологий, который станет основой для реализации этой идеи.

Но все идет к тому, что скоро свет можно будет «напечатать», причем на любой поверхности, даже на гибкой. По нашему проекту свет можно внедрить в прозрачное полимерное основание – ленту, которую можно по-разному гнуть.

Потребуется доработка в технологии интеграции на поверхность всех элементов слоями: то есть необходимо сначала нанести токопроводящую поверхность, затем сами кристаллы, после покрыть их сверху специальной люмино-

форной поверхностью, которая не только будет защищать их от внешнего воздействия, но и усилит свечение. Важно, что покрытие, которое усилит светоотдачу от кристаллов, будет разрабатываться у нас в Мордовии.

Аналоги в мире уже есть, например, в Китае, но они проигрывают во многих аспектах технологии. Наша же задача на данном этапе – получить продукт, а затем оптимизировать его производство и внедрить на рынок. Нельзя сказать, что это произойдет уже завтра, все инновации проходят достаточно долгий жизненный путь.



В рамках светотехнического форума, который прошел в конце прошлого года, к нам приехали финские партнеры, с которыми мы договорились о деталях участия в этом стартапе. В итоге мы получим совершенно новую технологию, а уж где ее применить, зависит только от фантазии. Первым, кто заинтересуется ею, по нашим прогнозам, будет рекламная сфера. Впоследствии мы планируем организовать производство светоизлучающих панелей именно в Саранске, оно будет обеспечивать продукцией всю Россию, возможно, Азию и часть Европы. Завезти оборудование планируется уже через полтора года. Вообще, основным мотивом нашего участия в проекте является их развертывание в нашей республике с целью развития инновационной промышленности в Мордовии.

Проект «ДРП-РИКОР»

Другой проект, который был отмечен в ходе проведения Стартап-Тура, – «ДРП-РИКОР» – создание программно-аппаратных комплексов портативных рентгеновских дифрактометров. Существует такое понятие, как ресурс металла. Через определенное время металлические конструкции ломаются, выработав свой ресурс. Чтобы вовремя это предотвратить, надо узнать, сколько еще сможет прослужить конкретная деталь, и вовремя ее заменить. С другой стороны, например, у подвижного состава РЖД много деталей списывается по регламенту, так как в соответствии с утвержденными нормами считается, что они выработают свой ресурс через определенное время, хотя часто оборудование на момент списания еще может послужить. Дифрактометр, созданный в результате нашего проекта, позволит экономить детали и не списывать их раньше срока.

Определение качества металлических конструкций – это очень важная и ответственная задача, т.к. позволяет предотвращать ЧП и возможные жертвы в результате использования некачественных или выработавших раньше

времени свой ресурс изделий. Существующие технологии по так называемой экспертизе усталости металла, определения остаточного напряжения в металлах и сплавах на данный момент либо недостаточно надежны, либо ограничены в применении. Определить усталость металла можно только в лабораторных условиях, что несет много проблем, так как для этого деталь нужно снимать, транспортировать... Уже не говоря о таких сложных и больших конструкциях, как, например, несущие конструкции мостов, зданий и сооружений. То есть, приходится решать комплекс проблем, чтобы определить, сколько деталь еще прослужит.

Для этого были придуманы мобильные комплексы по определению уровня остаточного напряжения и прогнозирования ресурса изделий из металлов и сплавов. Команда разработчиков из России уже много лет трудится по этой теме, и в результате найден максимально эффективный способ тестирования – с помощью рентгеновского излучения. Этот способ обеспечивает неразрушающий контроль, что важно при исследовании конструкции под нагрузкой – деталь не нужно демонтировать, после проверки ее можно эксплуатировать, как и раньше. За 15 минут с помощью разрабатываемого командой нашего проекта прибора можно узнать уровень остаточного напряжения и спрогнозировать дальнейший ресурс работы оборудования. Кроме этого, есть еще одно применение – технология снимает проблему определения качества еще на стадии производства изделия. А сейчас неразрушающий контроль при производстве металлических изделий только визуальный. Использовать технологию можно и при закупке оборудования, это дополнительный контроль качества при приемке.

Как уже стало понятно, одно из главных преимуществ – мобильность прибора. Обслуживать его сможет один человек. Уже сейчас есть прототип, который весит всего порядка 20 килограммов. Поверьте, в данном случае это не много. Сам дифрактометр умещается в небольшой чемоданчик, плюс ноутбук или смартфон, на котором производится управление процессом анализа. У нашего прибора есть одно важное отличие от зарубежных аналогов. Помимо веса, портативности и прочего – у нас не требуется специальной защиты оператора от рентгеновских лучей. Уровень излучения у нашего прибора меньше в 20 раз! И, конечно, цена – она в 3 раза ниже зарубежных аналогов. Мы уверены, что данный прибор найдет широкое применение в тяжелом машиностроении, обслуживании турбин электростанций, подвижного состава РЖД и др.

vsar.ru

НАНОТЕХ ООО "Нанотех"
г. Минск, ул. Седых 12А, пом. 2Н

- **Монтаж печатных плат**
(автоматической и ручной)
- **Печатные платы**
(одно-, двухсторонние, многослойные, на алюминии)
- **Трафареты для пасты**
(лазерной резкой из нержавеющей стали)
- **Паяльные пасты**
(безотмывочные, канифольные, водосмываемые, и др.)



pcb@pcb.by тел: +375 17 237 29 34
www.pcb.by тел: +375 17 237 29 35
тел/факс: +375 17 237 29 36
тел/факс: +375 17 281 35 36

ПУТЬ К УСПЕХУ – В ПРАВИЛЬНОМ ВЫБОРЕ ПОСТАВЩИКА

В Минске прошел первый семинар из ряда предполагаемых в серии по теме сертификации в автомобильной промышленности «Выбор поставщиков в соответствии с ISO/TS 16949:2009 Системы менеджмента качества. Особые требования по применению ISO 9001:2008 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части (с Изменением № 1)».

Семинар был организован консультационной компанией «Ключевые решения» при поддержке ООО «ФЭК» – крупнейшего на территории Республики Беларусь поставщика электронных компонентов.

В мероприятии приняли участие представители многих компаний: производители автомобильной техники, автомобильных компонентов, а также предприятия, осуществ-

вступительной речью о целесообразности проведения такого вида мероприятия, о целях, которые были поставлены, и о дальнейшем продолжении таких семинаров по теме сертификации в автомобильной промышленности. Затем Николай Александрович передал слово главному эксперту-консультанту ООО «БК групп», Юрию Гужову, который на протяжении всего дня рассказывал о том, что такое ISO/TS 16949:2009, как проходит сертификация на соответствие ISO/TS, поведал о процессном подходе, который используется в стандартах ISO, какие виды аудитов существуют в автомобилестроении, а также о том, как выбирать поставщика, какие к нему предъявляются требования, и на чем основываться при его выборе.



Н.А. Фомин, директор ООО «ФЭК»



Ю. Гужов, главный эксперт-консультант ООО «БК групп»

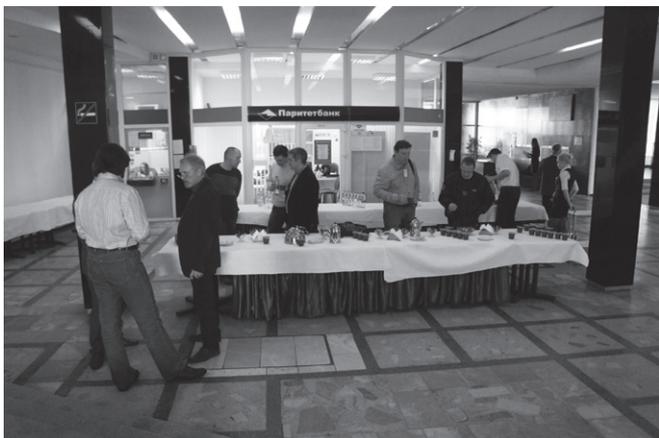
ляющие производство крупных узлов для автосборочных предприятий, такие как ОАО «Гомсельмаш», ОАО «МАЗ», ОАО «МТЗ», ОАО «БЕЛАЗ» и многие другие.

Открыл семинар Н.А. Фомин, директор ООО «ФЭК»,

По завершении семинара все участники имели возможность задать лектору все интересующие их вопросы.

Результатами семинара и лектор, и слушатели остались очень довольны.





ОТЗЫВЫ УЧАСТНИКОВ

*Копаткова Анастасия Сергеевна,
специалист по организации закупок ДОП,
ОАО «Гомсельмаш»:*

– Семинар, организованный при поддержке компании ФЭК, произвел очень хорошее впечатление. Все происходило в дружеской обстановке, тем самым, придавая больший интерес к данному мероприятию. Доступное изложение информации лектором, ее актуальность, высокий уровень организации семинара – все эти составляющие дали очень высокий эффект и результат. Обратила внимание, как все присутствующие с интересом слушали лектора, делали пометки для того, чтобы потом, возможно, внедрить их в производство, что сможет улучшить качество продукции и, тем самым, удовлетворить потребителя.



*Кулаков Николай Леонидович,
директор, ООО «Масиспром»:*

– Я очень часто присутствую на таких семинарах, организованных предприятиями. Поэтому, мне есть, с чем сравнивать. И хочу сразу отметить очень высокий уровень преподавания. Действительно, настолько живое, настолько нужное для многих предприятий знание дает этот семинар. Я почерпнул для себя немало полезной информации, которая в дальнейшей работе очень пригодится. Также хотелось бы отметить организацию данной встречи, все прошло на достойном уровне. Как итог, высокая оценка семинара и огромное желание принимать участие в таких мероприятиях и дальше.



*Климук Василий Владимирович,
инженер УВК, ОАО «Амкодор-УКХ»:*

– Семинар, на мой взгляд, очень полезный, хорошая организация мероприятия, информация, представленная на семинаре, систематизирована. Единственное, чего хотелось бы пожелать организаторам, так это увеличить количество участников на следующих аналогичных мероприятиях. Такую полезную и важную информацию нужно доносить до большего числа представителей компаний. Были бы очень рады присутствовать и далее на семинарах, посвященных теме сертификации в автомобильной промышленности.



ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СИСТЕМЫ ОКСАЛОН – Fe_3O_4

УДК 539.2

С.В. Адашкевич, В.Ф. Стельмах,
Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь;
А.Г. Бакаев, А.И. Гордиенко, М.И. Маркевич, А.М. Чапланов,
Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Аннотация

Рассмотрена возможность использования композиционного материала на основе ткани из оксалона и порошка Fe_3O_4 для защиты от электромагнитного излучения.

Введение

Воздействие на человека электромагнитного излучения растет пропорционально количеству источников излучения, их мощности и времени воздействия. Это подтверждается данными медицинских и биологических исследований, проводимых в мире [1–3].

Задача уменьшения уровня электромагнитных излучений решается как созданием экранов ЭМИ, так и путем использования широкополосных радиопоглощающих материалов.

Традиционно, экраны ЭМИ создаются с использованием металлов с известными характеристиками. В последнее время уделяется внимание легким, гибким и прочным материалам.

Для таких целей используют композиционные материалы, содержащие ферритовые частицы, в качестве активной фазы поглотителей СВЧ излучения. Кроме того, область естественного магнитного резонанса таких материалов находится в диапазоне сверхвысоких частот [4]. Следует отметить, что достижение качественных свойств радиопоглощающих материалов зависит от способа получения активной фазы, химического состава, размера и формы частиц [5–8].

Перспективным является создание материалов на основе волокнистых матриц. Синтез композиционных материалов, исследование их структурных свойств особенно актуальны с точки зрения практических применений, поскольку позволяют реализовать прочные конструкции.

Основная часть

В качестве объекта исследования выбран композиционный материал на основе оксалона и феррита Fe_3O_4 . Для изготовления покрытия в качестве основных компонентов взяты: оксалон, эпоксидная смола, порошок Fe_3O_4 . Использовался порошок с размерами частиц от 10 до 50 мкм.

Целью данной работы является формирование композиционного материала и исследование его магниторезонансных свойств.

Исследования морфологии и состава образцов проводились с помощью системы энергодисперсионного (EDS) микроанализа, установленной на сканирующем электронном микроскопе SEM 515. Исследования магнитного резонанса проводились на специализированном малогабаритном анализаторе ЭПР «Минск 22» при комнатной температуре. Рабочая длина волны – в диапазоне 3 см. Максимальное значение индукции магнитного поля – не менее 0,45 Тл. Частота модуляции магнитного поля – 30 кГц. Для контроля добротности измерительного резонатора и мощности излучения СВЧ использовался кристалл рубина, закрепленный на боковой стенке. Особенностью измерительного резонатора анализаторо-

ра магнитного резонанса являлось отсутствие электрической компоненты поля СВЧ в месте расположения образца [9].

На рисунке 1 приведены данные по морфологии ткани из оксалона.

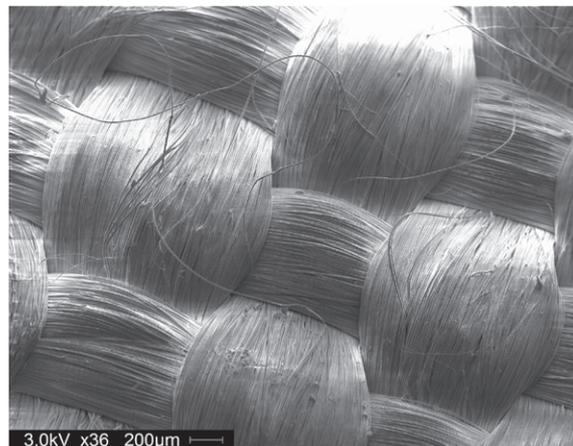


Рисунок 1 – Морфология поверхности ткани из оксалона

На рисунке 2 приведены данные по элементному составу и морфологии наполнителя композиционного материала (частицы Fe_3O_4).

Рисунок 2 б показывает неоднородность по размеру частиц, диаметр частиц варьировался от 10 мкм до 70 мкм.

Из данных компонентов был изготовлен композиционный материал на основе эпоксидной смолы ЭД-20 по «холодной» технологии, отвердитель – полиэтиленполиамид. На рисунке 3 приведена морфология поверхности сформированного композита.

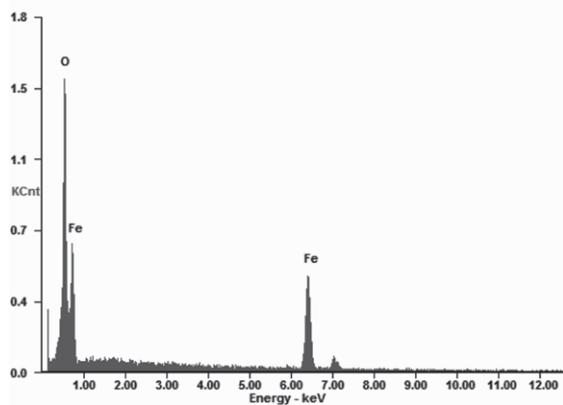
На рисунке 4 приведена магниторезонансная кривая композиционного материала.

Узкие линии на спектре относятся к калибровочному образцу рубина, расположенному на торцевой стенке резонатора. Из соотношения интенсивностей сигналов заполненного резонатора и калибровочного образца следует, что потери, обусловленные нерезонансным поглощением излучения, увеличиваются в 5 раз при массе композиционного материала – 60 мг.

На спектре магнитного резонанса имеется широкая одиночная резонансная симметричная линия поглощения со значением среднего g-фактора $3,2 \pm 0,1$ и шириной $\Delta H = 1435$ Гс, что свидетельствует о наличии высокой концентрации магнитных диполей.

Выводы

Полученный композиционный материал на основе ткани из оксалона и Fe_3O_4 обладает центрами поглощения электро-



а)



б)

Рисунок 2 – Элементный состав (а) и морфология (б) композиционного материала

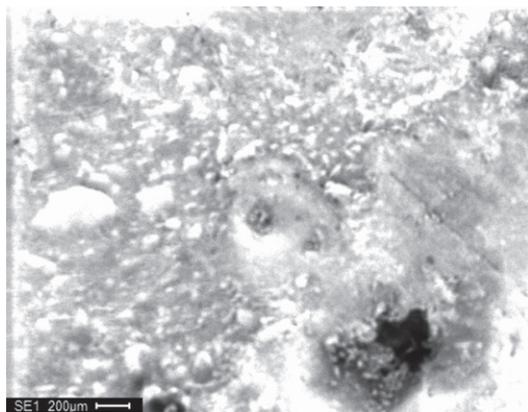


Рисунок 3 – Морфология поверхности композиционного материала

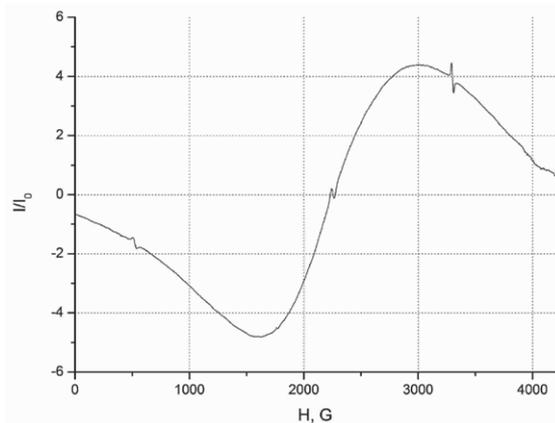


Рисунок 4 – Магниторезонансная кривая композиционного материала

магнитного поля двух видов: электрическими и магнитными диполями в значительной концентрации, что обеспечивает возможность использования данного материала для защиты от электромагнитного воздействия в широком диапазоне СВЧ электромагнитного излучения.

Литература:

1. Минин, Б.А. СВЧ и безопасность человека / Б.А. Минин. – М. : Сов. радио. – 1974. – 351 с.
2. Hardell, L. Case-control study of the association between the use of cellural and cordless telephones and malignant brain tumors diagnosed during 2000-2003 / L. Hardell, M. Carlberg, K.H. Mild // Environmental Research. – 2006. – Vol. 100. – P. 232–241.
3. Казанцева, Н.Е. Перспективные материалы для поглотителей электромагнитных волн сверхвысоочастотного диапазона / Н.Е. Казанцева, Н.Г. Рывкина, И.А. Чмутин // Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48. – № 2. – С. 196–209.
4. Сусяев, В.И. Влияние ионов Fe²⁺ на СВЧ спектры ферритов CoZnW / В.И. Сусяев, Е.П. Найден, В.А. Журавлев, Г.И. Рябцев // Электронная техника. Сер. Материалы. – 1990. – №5/250/ДСП. – С. 28–29.

5. Лыньков, Л.М. Конструкции гибких поглотителей электромагнитной энергии СВЧ диапазона / Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько, В.А. Богуш, Н.В. Колбун // Доклады БГУИР. – 2003. – Т. 1. – № 1. – С. 92–102.

6. Будницкий, Г.А. Композиционные материалы / Г.А. Будницкий, Г.И. Кудрявцев, Г.А. Серков // Киев : АН УССР. – Ин-т электросварки, 1991. – 122 с.

7. Лисов, О. Кевлар – перспективный материал военного назначения / О. Лисов // Зарубежное военное обозрение. – 1986. – № 2. – С. 89–90.

8. Портной, К.Н. Структура и свойства композиционных материалов / К.Н. Портной, С.Е. Салибеков, Н.Л. Светлов, В.М. Чубаров // М. : Машиностроение, 1979. – 255 с.

9. Акунец, В.В. Анализатор электронного парамагнитного резонанса: Учебно-справочное пособие / В.В. Акунец, В.Ф. Стельмах, Л.В. Цвирко // Минск : УП «Технопринт», 2002. – 102 с.

Abstract

Possibility of use of a composite material on the basis of fabric from oksalon and the powder Fe₃O₄ for protection against electromagnetic radiation is considered.

Поступила в редакцию 14.08.2013 г.

ИНТЕЛЛЕКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 004.89

А.В. Гулай, В.М. Зайцев,
БНТУ, г. Минск

Аннотация

Процессы проектирования и эксплуатации системотехнических комплексов предполагают выработку и принятие стратегических решений. Синтез таких решений при создании сложных систем диктует необходимость применения интеллектуальных компонентов для информационно-технической поддержки процессов управленческой деятельности. С учетом этого, рассмотрены возможные подходы к оценке предпочтительности и выбору стратегических решений при использовании эвристико-алгоритмических методов для их предварительной подготовки. Указанные подходы основываются на двухуровневой схеме анализа возможных вариантов и применении аддитивной функции ценности решений.

Введение

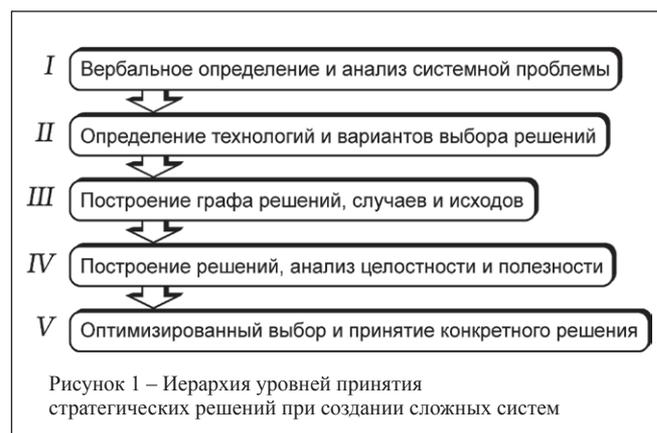
Как на этапе проектирования системотехнических комплексов, так и на этапе их эксплуатации возникает объективная необходимость выработки и принятия определенных системных решений. По ресурсам времени, которыми располагает орган выработки и принятия решений, по продолжительности и масштабам практического применения получаемых результатов, а также по возможным рискам различают стратегические и оперативные решения [1]. Высокая ответственность стратегических решений, их практическая необратимость, значительный уровень возможных рисков и существенная неопределенность в оценке текущей внешней и внутренней системной обстановки требуют применения интеллектуальных компонентов для информационно-технической поддержки процессов управленческой деятельности органа выработки и принятия решений.

Проектные стратегические решения связаны, в основном, с выбором возможных и допустимых вариантов структурно-функционального построения создаваемых системотехнических комплексов. Они направлены на обеспечение выполнения заданных функциональных и технико-экономических требований и в процессе проектирования превалируют над оперативными решениями. Эксплуатация системотехнических комплексов предполагает периодически повторяемую выработку и принятие решений на определенных фазах циклов управления, и в зависимости от целевого назначения и выделенных ресурсов данные решения могут быть как стратегическими, так и оперативными. Они определяют ситуационные поведенческие аспекты и эффективность применения создаваемых системотехнических комплексов.

Иерархия уровней принятия стратегических решений при создании сложных систем

На современном этапе развития и использования интеллектуальных компонентов в технологии создания сложных систем применяется, как правило, пятиуровневая парадиг-

ма построения процессов выработки, анализа и принятия стратегических решений (рисунок 1). Она объединяет совокупность определенных фундаментальных научных и технических установок, положений, представлений и терминов, разделяемых большинством специалистов системотехнического профиля [1, 2].



Первым в иерархии указанных процессов является уровень вербального определения и анализа системной проблемы, на решение которой ориентирован создаваемый системотехнический комплекс. Он предполагает формирование целевых системных задач и альтернативных планов возможных стратегических решений по созданию или применению системотехнического комплекса. Концептуальный анализ составляет основу второго уровня иерархии, для которого характерна качественная структуризация проблемы – определение объектов и первостепенных вариантов выбора решений, вариантов отложенного выбора решений (решений второй очереди), спецификация сведений и технологий для реализации выбора, спецификация объективно необходимых основных и вспомогательных экспериментов.

На третьем уровне выполняется построение графа решений с тремя типами вершин: с вершинами – решениями, которые находятся под полным контролем органа выработки и принятия решения, с вершинами – случаями, которые находятся под частичным контролем данного органа или вообще являются бесконтрольными (и, следовательно, представляют собой потенциальные источники угроз), и с конечными вершинами – исходами системных решений. На этом уровне оцениваются требуемые вероятностные параметры процессов, и, при необходимости, выполняется моделирование. Построение возможных решений, анализ их ценности или полезности выполняется на четвертом уровне, наиболее ответственном по возможным последствиям. Данный уровень предполагает проведение необходимых расчетов и построение решений, получение экспертных оценок и субъективных экспертных суждений, а также вы-

работку, установление или назначение численных значений полезности последствий тех или иных решений. Иерархия анализируемых процессов замыкается пятым уровнем оптимизированного выбора и принятия конкретного решения.

Для реализации указанных уровней иерархии управленческих процессов орган выработки и принятия решений должен располагать достаточными ресурсами времени и материальным обеспечением, что практически исключает полноценное применение рассматриваемой парадигмы для выработки оперативных решений. Независимо от того, находится ли системотехнический комплекс на этапе проектирования или на этапе эксплуатации, общепризнана и практикой подтверждена целесообразность применения прескриптивного подхода, согласно которому на интеллектуальные компоненты возлагается лишь выработка вариантов и рекомендаций для принятия стратегических решений. При этом непосредственное принятие стратегических решений на этапе проектирования указанных комплексов закрепляется за ответственным системноаналитиком, а при их эксплуатации – за определенным должностным лицом [1, 2].

Реализация тех или иных системных операций в процессах выработки и принятия решений и качество самих решений зависит от степени структуризации системной проблемы. В системных операциях большое значение имеют комбинированные системные технологии, которые ориентированы на построение процессов выработки и принятия решений в условиях частичной (средней) структуризации проблемы, выделения концептуальных объектов, связей и отношений между ними. Для построения стратегических решений в этом случае наиболее перспективно применение эвристико-алгоритмических методов и приемов [2, 3].

Первый и второй уровни иерархии парадигмы управления являются традиционными, имеют отработанную методологическую основу выполнения системных операций и в большинстве случаев у высокопрофессиональных специалистов затруднений не вызывают. Однако для сложных системотехнических комплексов, как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации, из-за наличия НЕ-факторов (неточность, неопределенность, нечеткость) существует опасность неполной структуризации, что создает трудности и неопределенности в реализации последующих иерархических уровней принятой парадигмы [1, 3].

При синтезе графа возможных решений каждой конечной (конечной) вершине требуется поставить в соответствие определенное ожидаемое системное последствие (исход). При этом на принимаемое стратегическое решение возлагается ответственность за всю совокупность частных решений и результатов движения по тому или иному пути графа от корневой вершины к рассматриваемой конечной вершине (то есть к конечному состоянию). Предварительно для системотехнического комплекса необходимо выработать системно значимый набор частных технических показателей качества (факторов) $K_1, K_2, K_3, \dots, K_r$. Для всех возможных последствий орган выработки и принятия решения должен располагать экспертными суждениями о степени их предпочтительности (относительной ценности).

Возможные количественные и качественные значения $k_1, k_2, k_3, \dots, k_r$ указанных факторов определяют различные состояния S_q комплекса и образуют базу расчетно-экспертных оценок для выработки и принятия рациональных технических решений [2, 3]. Если V_i – количество

возможных значений k_i (градаций) частного показателя качества K_i , то пространство всех возможных состояний $\{S_q\}; q = 1, 2, \dots, Q$ системотехнического комплекса определяется декартовым произведением:

$$Q = V_1 \times V_2 \times V_3 \times \dots \times V_r. \quad (1)$$

С целью установления или назначения численных значений полезности последствий (исходов) тех или иных решений необходимо предварительное разбиение пространства конечных состояний для этапа проектирования системотехнического комплекса ($Q = Q_{\text{проект}}$) или для этапа его эксплуатации ($Q = Q_{\text{экспл}}$) на классы. В пределах каждого выделенного класса конечные состояния, отобранные на основе суждений экспертов, должны быть равнозначными внутри соответствующих пространств по показателю относительной функционально-технической предпочтительности HS . Полная классификация предполагает экспертное отнесение каждого возможного конечного состояния системотехнического комплекса к одному из классов, а в сложных ситуациях – одновременно к нескольким классам. Общее число выделенных классов R определяет количество возможных типов решений, равноценных по ожидаемым функционально-техническим последствиям:

$$R = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_n\}. \quad (2)$$

Таким образом, каждый из классов $R_j; j = 1, 2, \dots, n < Q$ может интерпретироваться как нечеткое множество, которое включает выделенные экспертами и отнесенные к определенному классу конечные состояния S_q с некоторыми наборами значений частных показателей качества

$$\{k_1(j, q), k_2(j, q), k_3(j, q), \dots, k_r(j, q)\}, \\ q = 1, 2, \dots, W_j \quad (3)$$

в пространстве состояний $Q_{\text{проект}}$ или $Q_{\text{экспл}}$, сопровождаемые нормированными значениями функций принадлежности L_{jq} [4]. При этом

$$0 \leq L_{jq} \leq 1 \text{ для } j = 1, 2, \dots, n; \\ q = 1, 2, \dots, W_j, \quad (4)$$

$$W_1 + W_2 + \dots + W_j + \dots + W_n = Q \\ (Q = Q_{\text{проект}} \text{ или } Q = Q_{\text{экспл}}). \quad (5)$$

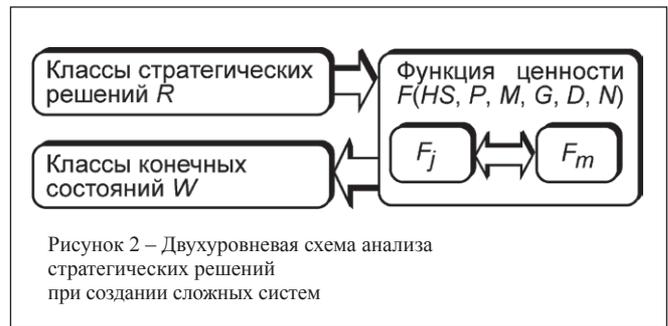
Анализ возможных вариантов и аддитивная функция ценности стратегических решений

Методики и приемы вербального определения и анализа системной проблемы и системных задач разработаны и апробированы применительно к объектам медицинского профиля [4], предложена также технология построения базы знаний группой медицинских экспертов [5, 6]. Сложность и многофакторность медицинских проблем, структура системных причинно-следственных связей и задач в гносеологическом и методологическом отношениях имеют значительные сходства с проблемами, присущими системам технического назначения. Анализ показал, что указанные выше методики, информационные технологии и приемы могут быть успешно распространены на процессы классификации пространств состояний $Q_{\text{проект}}$ или $Q_{\text{экспл}}$ сложных системотехнических комплексов, а также на построение базы расчетно-экспертных оценок.

Непосредственное установление численных значений полезности различных стратегических решений может быть выполнено с использованием принципа экспертного попарного сопоставления классов конечных состояний и соответствующих им стратегических решений. Традиционно в такой постановке задачи применяются наборы значений частных показателей качества $\{k_1(j, q), k_2(j, q), k_3(j, q), \dots, k_r(j, q)\}$; $q = 1, 2, \dots, W_j$, которые выступают в роли аргументов некоторой функции ценности F . На практике в зависимости от функциональных и эксплуатационных особенностей создаваемого системотехнического комплекса в большинстве случаев наблюдается сочетание объективно измеряемых (фактографических), строго рассчитываемых (виртуальных) показателей и показателей иного рода, которые расширяют их состав путем введения в схему системного анализа ряда дополнительных субъективно оцениваемых (или трудно и крайне приближенно оцениваемых) факторов. Они могут отражать различные системные аспекты: предполагаемое ресурсное обеспечение решений, возможные риски, а также явления нетехнической природы и содержания. Это резко увеличивает размерность задачи, создает определенные трудности в оценке значений функций принадлежности и взаимной независимости факторов по предпочтениям, при этом решаемая проблема превращается в слабо обозримую даже для высококвалифицированных экспертов [1].

Применительно к реальным системотехническим комплексам объективный интерес для выработки стратегических решений представляет использование баз знаний в формате нечеткой модели [7]. Эта модель предполагает предварительное разбиение влияющих факторов на классы с размытыми границами, при этом решения строятся с помощью нечетких логических выводов по набору правил-импликаций вида ЕСЛИ-ТО. Перспективность и функциональные возможности этого подхода исследованы в работе [8], где представлена реализация и апробирование соответствующих моделей в среде MATLAB. Однако, при этом выявлена серьезная проблема, связанная с необходимостью минимизации отклонений результатов синтезируемых нечетких логических выводов и экспериментальных данных. В ряде случаев изменение и подбор весов правил-импликаций и других параметров нечеткой базы знаний при ее экспериментальной «калибровке» могут существенно деформировать результаты построения решений, вплоть до искажения их допустимой содержательной интерпретации. Решение данной проблемы требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, а также оценки реальной вычислительной сложности и ресурсоемкости алгоритмов построения нечетких логических выводов на нечеткой базе знаний.

Для практического применения технологии классификации возможных стратегических решений в реальных системотехнических комплексах актуально построение «компромиссных» приемов и алгоритмов. Рациональным направлением в данном случае является введение определенных ограничений в традиционный состав группы параметров, которые обеспечивают требуемое сопоставление классов и выступают в качестве аргументов функции ценности F , а также переход на двухуровневую схему системного анализа решений (рисунок 2).



Естественным параметром группы аргументов функции ценности F_j класса решений R_j обязательно должен являться показатель его относительной функционально-технической предпочтительности HS_j . Если состав показателей качества $\{k_1(j, q), k_2(j, q), k_3(j, q), \dots, k_r(j, q)\}$; $q = 1, 2, \dots, W_j$ ограничить фактографическими и виртуальными показателями и не включать в их состав специфические факторы и факторы нетехнической природы, то численные значения HS_j могут быть назначены на основе рядов доминирования решений [1]. Указанная процедура определяет первый уровень системного анализа и классификации стратегических решений при создании сложных систем. Однако отказ от прямого применения частных показателей качества в составе аргументов функции ценности F сопровождается частичной потерей информативности. Для компенсации потерь целесообразно обеспечить косвенный учет индивидуальных структурных свойств нечетких множеств R_j . С этой целью в состав группы аргументов функции F предлагается ввести относительную мощность P_j класса решений R_j , которая определяется следующим образом:

$$P_j = W_j / (W_1 + W_2 + \dots + W_j + \dots + W_n). \quad (6)$$

При расположении классов в порядке возрастания предпочтительности функция F по указанным аргументам (HS_j, P_j) должна быть возрастающей, что может быть обеспечено за счет введения в состав данной функции компонентов вида $A_{\text{фти}} \times HS_j$ и $A_{\text{м}} \times P_j$ (как показано Кини Р. и Райфа Х. при построении основных видов функций ценности [1]). Здесь и далее, A – коэффициенты. Кроме того, необходимо учитывать фактический уровень консолидации нечеткого класса решений, который определяется средним квадратическим отклонением M_j функций принадлежности L_j от центра класса R_j (R_j соответствует среднему значению L_{cpj} функций принадлежности к классу) [8]:

$$M_j = \{[(L_{cpj} - L_{j1})^2 + (L_{cpj} - L_{j2})^2 + \dots + (L_{cpj} - L_{jWj})^2] / W_j\}^{1/2}, \quad (7)$$

$$L_{cpj} = (L_{j1} + L_{j2} + \dots + L_{jWj}) / W_j.$$

При указанных условиях (расположение классов в порядке возрастания предпочтительности) функция F по аргументу M_j должна быть убывающей, что обеспечивается введением в ее состав компонента вида $\text{EXP}(-A_{\text{кунс}} \times M_j)$ [1].

Для учета затрат ресурсов в группу аргументов функции F целесообразно ввести фактор ресурсного обеспечения G_j процессов реализации класса решений R_j . В данном случае невозрастание функции F по фактору G_j ресурсного

обеспечения достигается за счет введения в состав данной функции компонента вида $EXP(-A_{\text{рес}} \times G_j) [1]$.

С целью учета факторов нетехнической природы, которые благоприятствуют в достижении требуемых целей (D -факторов) при создании системотехнического комплекса, и факторов нетехнической природы, которые противодействуют в достижении целей (N -факторов), необходима их предварительная спецификация, порядковое шкалирование с образованием наборов числовых параметров $\{D_{\text{фнтп}}\}$, $\{N_{\text{фнтп}}\}$ и введение их в состав группы аргументов функции F . Обязательным требованием в данном случае является возрастание функции F по факторам $\{D_{\text{фнтп}}\}$ и убывание этой функции по факторам $\{N_{\text{фнтп}}\}$.

Предлагаемый подход позволяет существенно ослабить требования взаимной независимости различных факторов по предпочтению, а также позволяет выполнять попарное сопоставление классов с использованием функции полезности аддитивного вида:

$$F_j = A_{\text{фнтп}} \times HS_j + A_m \times P_j + A_1 \times EXP(-A_{\text{конс}} \times M_j) + A_2 \times EXP(-A_{\text{рес}} \times G_j) + \{A_{3\text{фнтп}} \times D_{\text{фнтп}}\} + \{A_{4\text{фнтп}} \times EXP(-B_{\text{фнтп}} \times N_{\text{фнтп}})\}. \quad (8)$$

Коэффициенты $A_{\text{фнтп}}$, A_m , A_1 , $A_{\text{конс}}$, A_2 , $A_{\text{рес}}$, $A_{3\text{фнтп}}$, $A_{4\text{фнтп}}$, $B_{\text{фнтп}}$ устанавливаются системотехником по результатам моделирования и уточняются в процессе согласования расчетных и экспертных результатов и «калибровочных» сравнений. Изменение и подбор этих параметров в смысловом отношении не деформирует результаты построения решений.

Попарное сопоставление классов определяет второй уровень системного анализа. В результате попарного сопоставления могут быть построены достаточно простые матрицы предпочтительности сформированных классов решений:

$$E_{\text{проект}} = [p_{jm}], \quad j, m = 1, 2, \dots, n_{\text{проект}} \quad \text{для этапа проектирования}; \quad (9)$$

$$E_{\text{экспл}} = [e_{jm}], \quad j, m = 1, 2, \dots, n_{\text{экспл}} \quad \text{для этапа эксплуатации}; \quad (10)$$

где $p_{j,m}$, $e_{j,m} = F_m - F_j$, если класс решений j менее предпочтителен, чем класс m ;

0, если класс решений j равноценен классу m ;

-1, если класс решений j более предпочтителен, чем класс m .

Здесь F_j , F_m – уровни ценности классов решений j , m , соответственно. Значения $p_{j,j}$, $e_{j,j}$ задают уровень ценности класса решений R_j .

Заключение

На основных этапах проектирования и эксплуатации системотехнических комплексов возникает объективная необходимость выработки и принятия определенных стратегических решений. Для информационно-технической поддержки процессов управленческой деятельности органа выработки и принятия решений требуется применение интеллектуальных компонентов. С целью установления численных значений полезности последствий тех или иных решений выполняется предварительное разбиение про-

странства конечных состояний системы на классы. Каждый из классов интерпретируется как нечеткое множество, которое включает выделенные экспертами и отнесенные к определенному классу конечные состояния с некоторым набором значений частных показателей качества.

Первый уровень системного анализа представляет собой введение показателя относительной функционально-технической предпочтительности в качестве аргумента функции ценности, характеризующей класс решений. Другими параметрами аргумента данной функции являются: относительная мощность класса решений, среднее квадратическое отклонение функций принадлежности к классу от его центра, фактор ресурсного обеспечения процессов реализации класса решений, факторы нетехнической природы, которые благоприятствуют или противодействуют в достижении требуемых целей. Попарное сопоставление классов определяет второй уровень системного анализа. В результате попарного сопоставления могут быть построены достаточно простые матрицы предпочтительности сформированных классов стратегических решений.

Литература:

1. Кини, Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М. : Радио и связь, 1981.
2. Гулай, А.В. Экспертная логико-вероятностная модель интеллектуальной системы управления / А.В. Гулай, В.М. Зайцев // Наука и техника. – 2014. – № 1.
3. Рыбина, Г.В. Основы построения интеллектуальных систем / Г.В. Рыбина. – М. : Финансы и статистика, 2010.
4. Ларичев, О.И. Качественные методы принятия решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М. : Наука, 1996.
5. Асанов, А.А. Опыт построения большой базы экспертных знаний / А.А. Асанов, О.К. Подлипский // Методы поддержки принятия решений. Сборник трудов Института системного анализа РАН. – М. : УРСС, 2001.
6. Подлипский, О.К. Построение баз знаний группой экспертов / О.К. Подлипский // Компьютерные исследования и моделирование. – 2010. – Т 2. – № 1.
7. Mamdani, E.H. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller / E.H. Mamdani, S. Assilian // Int. J. Man. – Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. – № 1.
8. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и в нечеткую логику. Проектирование систем управления / С.Д. Штовба // Источник: matlab exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1.php.

Abstract

Design and operation processes for systems engineering complexes presuppose development and adoption of strategic decisions. Synthesis of these decisions during establishment of complex systems dictates necessity of using the intellectual components for informational and technical support of managerial activity processes. By taking the aforesaid provisions into account possible approaches have been considered for assessment of preference and selection of strategic solutions when heuristic and algorithmic methods are used for their preliminary preparation. These approaches are based on the bimodal scheme for analysis of possible options and application of the additive function of solutions value.

Поступила в редакцию 25.02.2014 г.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ CuO/Ag

УДК 3, 19

С.Т. Пашаян,

Институт физических исследований НАН Армении, г. Аштарак

Аннотация

Рассматривается влияние импульсного лазерного излучения и различных термообработок на морфологию поверхности, химический состав и электропроводность керамических образцов CuO и CuO/Ag. Исследование проводилось на лазерных треках и вне их, на поверхности образцов и по их сечению. Результаты СЭМ (сканирующей электронной микроскопии) и рентгеновского микроанализа образцов показали, что лазерное воздействие приводит к существенным изменениям микроструктуры и химического состава образцов. Под влиянием лазерного излучения наблюдалось расслоение образца, синтезированного при температуре спекания 1100 °С. Температурная зависимость сопротивления всех образцов в интервале 80–300 К имеет полупроводниковый характер, а энергия активации сопротивления варьируется в пределах $0,19 \pm 0,48$ eV. Изучена взаимосвязь энергии активации и химического состава образцов. Энергия активации сопротивления уменьшается с повышением температуры спекания, лазерная обработка эту зависимость уменьшает, а напыление слоя серебра перед лазерной обработкой полностью нивелирует эту зависимость. Полученные данные могут быть использованы для направленного изменения физических свойств соединений, образующихся в системе Cu-O-Ag.

Введение

Во всем мире ученые сосредоточены на изготовлении наноматериалов с контролируемыми размерами и морфологией, среди которых большой интерес представляют наночастицы оксидов меди [1–3]. В системе Cu-O существуют два устойчивых соединения – оксид меди (I) Cu₂O (cuprous oxide) и оксид меди (II) CuO (cupric oxide), получаемые разными методами и проявляющие большие различия в электрических свойствах. Они используются в производстве электрохромных покрытий [4], стекла и эмалей, являются основой высокотемпературных сверхпроводников [5] и применяются в качестве газовых сенсоров [6], прозрачных проводников p-типа [7] и фотовольтаического материала для солнечных элементов [8, 9]. На сегодняшний день оксиды меди считаются перспективными для использования в солнечной энергетике благодаря следующим своим преимуществам: широкое распространение в природе, низкая себестоимость, нетоксичность, высокая теплопроводность, высокий коэффициент оптического поглощения и стойкость к перегревам [1,10-11]. Другим важным преимуществом является простота процессов получения монокристаллов, тонких пленок, а также керамики на их основе. Известны различные способы их изготовления: электроосаждение, вакуумное напыление, термическое окисление и др.

Энергия активации сопротивления оксидов меди варьируется в широких пределах от 0,1 до 2 eV [6, 12, 13].

Известно, что использование примесей позволяет существенно изменять физические свойства полупроводников. В [14] изучалось влияние примесей на электропроводность медьсодержащих соединений и установлено, что допирование серебром оксида меди Cu₂O приводит к уменьшению ширины запрещенной зоны. Таким образом, варьированием количества Ag можно изменять энергию активации сопротивления и модифицировать электронную структуру оксида меди. Изучению фазовой диаграммы тройной системы Ag-Cu-O посвящены работы [15, 16], в которых показано, что даже в равновесных условиях возможно протекание реакций между оксидами меди и серебром. Вероятность и скорость протекания таких реакций может значительно возрастать под воздействием лазерного излучения. Лазерная обработка может обеспечить изменение фазового состава и структуры материалов, способствуя направленному изменению их физических свойств [17].

В настоящей работе сообщается о продолжении наших исследований по влиянию лазерного излучения на микроструктуру, элементный состав и физические свойства оксидов меди [18,19]. Цель работы состоит в изучении особенностей воздействия импульсного лазерного излучения на морфологию поверхности и поперечного среза исследованных образцов CuO и CuO/Ag, предварительно подвергнутых различной термической обработке, их химический состав и электропроводящие свойства.

Методика эксперимента

Образцы в виде таблеток диаметром 8 мм и высотой 3 мм спекались из порошка CuO чистотой 99,9 % термообработкой на воздухе в муфельной печи в интервале температур 700–1100 °С. Всего было подготовлено 20 образцов, разделенных на 4 серии (A, B, C, D). Первоначально все образцы подвергались термической обработке в течение 50 часов при температуре спекания $T_{\text{сп}} = 700$ °С. Образцы серии A медленно (более 10 часов) охлаждались до комнатной температуры в отключенной печи, а серии B – в режиме закаливания (время понижения температуры от $T_{\text{сп}}$ до комнатной составляло ≤ 6 с). Остальные (серии C и D) подвергались дополнительным термообработкам несколько раз в интервале температур 700–1100 °С с шагом 100 °С. Подробнее условия термообработок описаны в наших работах [18, 19]. Далее образцы серии D покрывались тонкой пленкой Ag (600 нм), которая напылялась на них методом вакуумно-термического испарения. Затем образцы этих серий (C и D) в течение 10 минут подвергались лазерной обработке под воздействием излучения 3-ей гармоники YAG:Nd³⁺ лазера с длиной волны 355 нм, плотностью энергии 1 Дж/см², длительностью импульса 20 нс и частотой 15 Гц. Для этого они располагались на вращающемся диске по кругу таким образом, чтобы лазерный пучок оставлял трек в области их диаметра. Про-

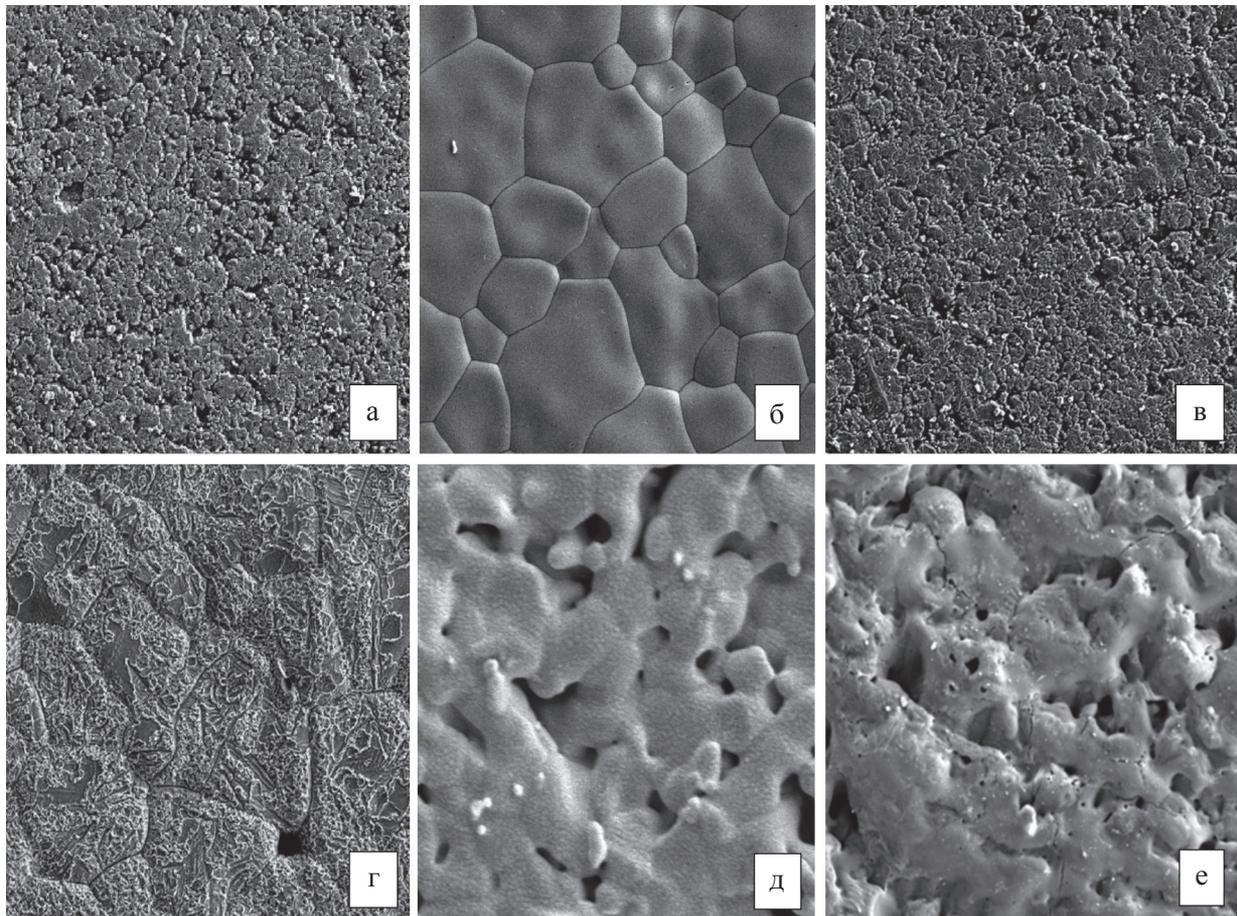


Рисунок 1 – Микрофотографии образцов: CuO а) $T_{\text{сп}} = 700 \text{ }^{\circ}\text{C}/50 \text{ ч}$; б) $1100 \text{ }^{\circ}\text{C}/10 \text{ ч}$ – подвергнутые закалке; в) $T_{\text{сп}} = 700 \text{ }^{\circ}\text{C}/50 \text{ ч}$; г) $1100 \text{ }^{\circ}\text{C}/10 \text{ ч}$ – медленно охлажденные, увеличение – 1000х; CuO/Ag при $T_{\text{сп}} = 700 \text{ }^{\circ}\text{C}/50 \text{ ч}$: д) вне лазерного трека е) на треке. Увеличение – 2000х

цедура облучения повторялась при повороте образцов на 90° , и в результате на поверхности образцов получалось перекрестие двух лазерных треков.

После термообработок и лазерного воздействия на образцы серебряной пастой закреплялись медные контакты, причем на образцах, подвергнутых лазерному облучению, контакты ставились на самих треках. Измерение сопротивления производилось четырехзондовым методом в области температур $80\text{--}300 \text{ K}$ в атмосфере азота. Морфология поверхности была исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) «VEGA TS5130MM», а рентгеновский микроанализ проводился с использованием анализатора INCA Energy 300. Максимальная абсолютная статистическая ошибка измерений составляла O (K) – $\pm 0,8$; Cu (K) – $\pm 0,22$; Ag(L) – $\pm 0,08 \text{ ат. \%}$ (в скобках соответственно указаны линии характеристического рентгеновского излучения, по которым проводился анализ). Максимальная абсолютная ошибка расчета отношения Cu/O составляла 0,017.

Результаты и обсуждения

Морфология поверхности и поперечного среза образцов. Исследования с помощью (СЭМ) показывают, что керамики состоят из гранул размерами $5\text{--}15 \text{ мкм}$, между

которыми наблюдаются поры аналогичных размеров. На рисунке 1 приводятся микрофотографии образцов CuO, синтезированных при различных условиях.

Морфология поверхности образцов, спеченных при одинаковых температурах, одинакова. Она практически не изменяется в результате охлаждения в режиме закаливания, а также при напылении поверхности образцов тонкой пленкой серебра. Однако, как видно из рисунка, при высоких температурах гранулы образцов увеличиваются в размерах и содержат плоские участки, а поры между ними отсутствуют (рисунок 1). Значительное изменение морфологии поверхности наблюдается у образцов, спеченных при температуре $1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. На микрофотографиях образцов CuO и CuO/Ag видны различия микроструктуры на лазерных треках и вне их. Это явно видно при увеличении микроскопа 2000х. Для сравнения на рисунке 2 представлены микрофотографии поверхности и поперечных срезов образцов, синтезированных при $700, 900$ и $1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Как видно на фотографии, лазерные треки вблизи от поверхности и под лазерной дорожкой образца, спеченного при температуре $900 \text{ }^{\circ}\text{C}$, почти не отличаются – структура его не изменяется и на небольшой глубине порядка 80 мкм . Отсюда можно сделать вывод

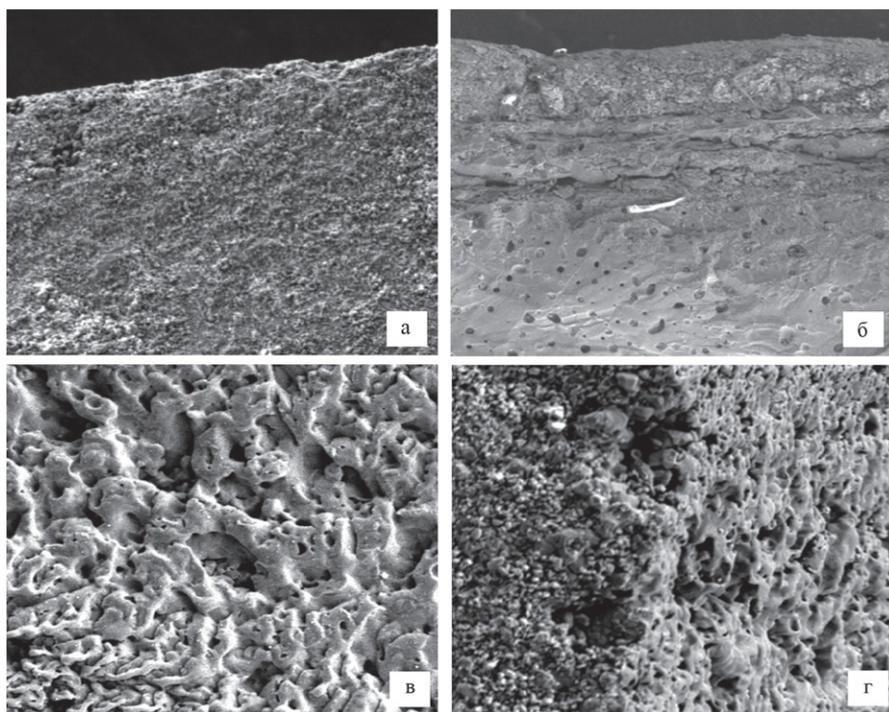


Рисунок 2 – Микрофотографии поверхности и поперечного среза образцов CuO: а) $T_{\text{сн}} = 700$ °С; б) $T_{\text{сн}} = 1100$ °С, увеличение – 500х; в) $T_{\text{сн}} = 900$ °С, на лазерном треке (поверхность); г) $T_{\text{сн}} = 900$ °С (участок среза под треком), увеличение – 1000х

о том, что лазерное воздействие приводит к изменениям микроструктуры только в поверхностном слое. Об этом свидетельствуют и данные рентгеновского микроанализа поперечного сечения данного образца (рисунок 3 а).

Химический состав образцов. Исследование химического состава образцов проводилось несколько раз для каждого образца на лазерных треках и вне их, на поверхности и по сечению образцов, а также вне треков и пленки Ag. По результатам рассчитывалось среднее содержание элементов в образцах CuO и отношение концентраций меди и кислорода (Cu/O). Величина отношения Cu/O растет с увеличением температуры спекания образцов и в результате охлаждения в режиме закаливания. Из литературы известно, что уменьшение содержания кислорода в соединениях CuO может происходить при высоких температурах синтеза [20–21], в результате же медленного охлаждения образцы набирают потерянный кислород. Таким образом, отношение Cu/O зависит от скорости охлаждения образцов. Рассмотрим данные

рентгеновского микроанализа образцов серии C (подвергнутых воздействию лазера) и серии D (с нанесением пленки серебра до лазерной обработки), приведенные в таблице 1.

Из таблицы видно, что состав лазерных треков значительно отличается от состава не обработанных лазером участков поверхности. После лазерной обработки отношение Cu/O возрастает у всех исследованных образцов. Содержание элементов на лазерных треках образцов C5 и D5 показывает, что оксид меди CuO в них практически преобразовался в Cu₂O (соответственно отношение Cu/O для них принимает наибольшие значения – 1,79 и 1,96). Это объясняется тем, что данные образцы спекались при высокой температуре (1100 °С) и не содержат пор, следовательно, они плотнее и лучше проводят тепло, которое рассеивается из областей, нагретых лазер-

ными импульсами. Таким образом, короткие лазерные импульсы создают большие скорости охлаждения и, соответственно, отношение Cu/O возрастает.

Интерес представляет анализ химического состава поперечного среза образцов под влиянием лазерного излучения. На рисунке 3 приведены данные рентгеновского микроанализа для образцов, спеченных при температурах 900 и 1100 °С.

Из рисунка 3 а видно, что в точке Spectrum 2 (обозначено крестиком) на глубине примерно 2 мкм от поверхности и в точке Spectrum 1 примерно на расстоянии 90 мкм состав образца под лазерным треком ничем не отличается. Здесь не наблюдается никакого расслоения образца. В то время как для образца, синтезированного при более высокой температуре (1100 °С), имеется совершенно иная картина – происходит расслоение его от поверхности вглубь. Это четко наблюдается на глубине ~ 50 мкм (Spectrum 3) и 100 мкм (Spectrum 2). Заметно отличается картина на еще большей глубине ~ 150 мкм (Spectrum 1).

Таблица 1 – Содержание элементов в образцах CuO и CuO/Ag, подвергнутых лазерной обработке, ат. %.

$T_{\text{сн}}, ^\circ\text{C}$	№ образца	Вне трека			На треке			
		Cu	O	Cu/O	Cu	O	Ag	Cu/O
700	C1	51,24	48,76	1,05	56,1	43,9		1,28
700	D1	50,75	49,25	1,03	53,2	44,6	2,16	1,19
900	C3	50,85	49,15	1,04	57,68	42,32		1,36
900	D3	49,64	50,36	0,98	55,5	38,85	5,65	1,43
1100	C5	50,86	49,14	1,035	64,1	35,9		1,79
1100	D5	53,08	46,92	1,13	65,97	33,69	0,33	1,96

Глубина проникновения под-поверхностной зоны мала (не превышает нескольких микрон) и, соответственно, влияние лазерного излучения незначительно. Здесь мы имеем дело со сложной многослойной структурой и, очевидно, это может сказываться на температурной зависимости сопротивления и электропроводящих свойствах керамических образцов CuO.

Электропроводящие свойства. Анализ элементного состава образцов показал, что наибольшее отличие наблюдается в образцах серий C и D, т.е. подвергнутых воздействию лазерного излучения. Поскольку в данной работе представляет интерес также влияние его на электропроводящие свойства, то сравним энергии активации сопро-

тивления именно этих образцов. Энергия активации собственной проводимости (W) является одним из основных параметров при выборе материала для конструирования различных полупроводниковых устройств, поскольку она определяет ширину запрещенной зоны и характеризует температурную зависимость сопротивления $R(T)$. Для изучения электропроводящих свойств исследуемых образцов на основе экспериментальных результатов строились графики зависимости $R(T)$, анализ которых дан в нашей работе [17]. Отметим, что, в основном, наблюдался полупроводниковый характер температурной зависимости сопротивления для всех образцов в интервале 80–300 К. Остановимся на данных по энергии активации сопротивления, расчет которой производился на основе уравнения Аррениуса по данным линейной аппроксимации зависимости $\ln R$ от $1/T$ для интервала температур, близких к комнатным. На рисунке 4 представлены графики этой зависимости для образцов, подвергнутых лазерному воздействию, а в таблице 4 – значения энергии активации сопротивления для образцов серий A, B, C, D, синтезированных при температурах 700, 900 и 1100 °C.

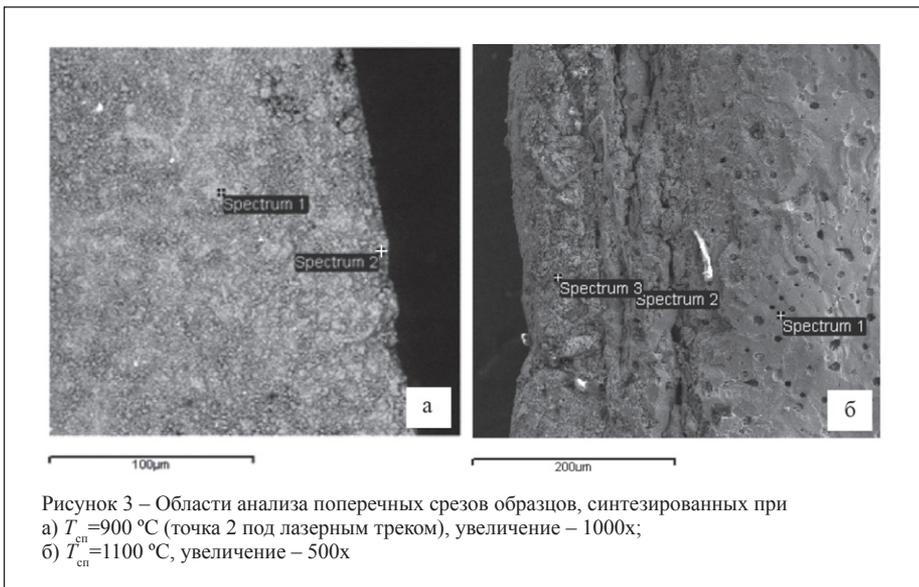


Рисунок 3 – Области анализа поперечных срезов образцов, синтезированных при
а) $T_{\text{сн}}=900$ °C (точка 2 под лазерным треком), увеличение – 1000х;
б) $T_{\text{сн}}=1100$ °C, увеличение – 500х

Таблица 2 – Данные рентгеновского микроанализа поперечного сечения образцов

Область анализа, рисунок 3 а	O, ат.%	Cu, ат.%	Ag, ат%	Cu/O
1. Spectrum 1	53,82	46,18		0,858
2. Spectrum 2	53,73	46,27		0,861
Область анализа, рисунок 3 б				
1. Spectrum 1	29,62	70,38		2,4
2. Spectrum 2	6,7	91,00	2,3	13,6
3. Spectrum 3	10,67	44,92	40,9	4,2

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что химический состав этих слоев изменяется для образца, спеченного при температуре 900 °C. В частности, отношение Cu/O в областях анализа (рисунок 3 а) примерно одинаково. Отсюда можно сделать вывод о том, что состав его соответствует фазе CuO (несколько обогащенной кислородом). Из той же таблицы для образца, спеченного при 1100 °C, в области анализа Spectrum 2 на рисунке 3 б преобладает почти чистая медь и отношение Cu/O составляет 13,6.

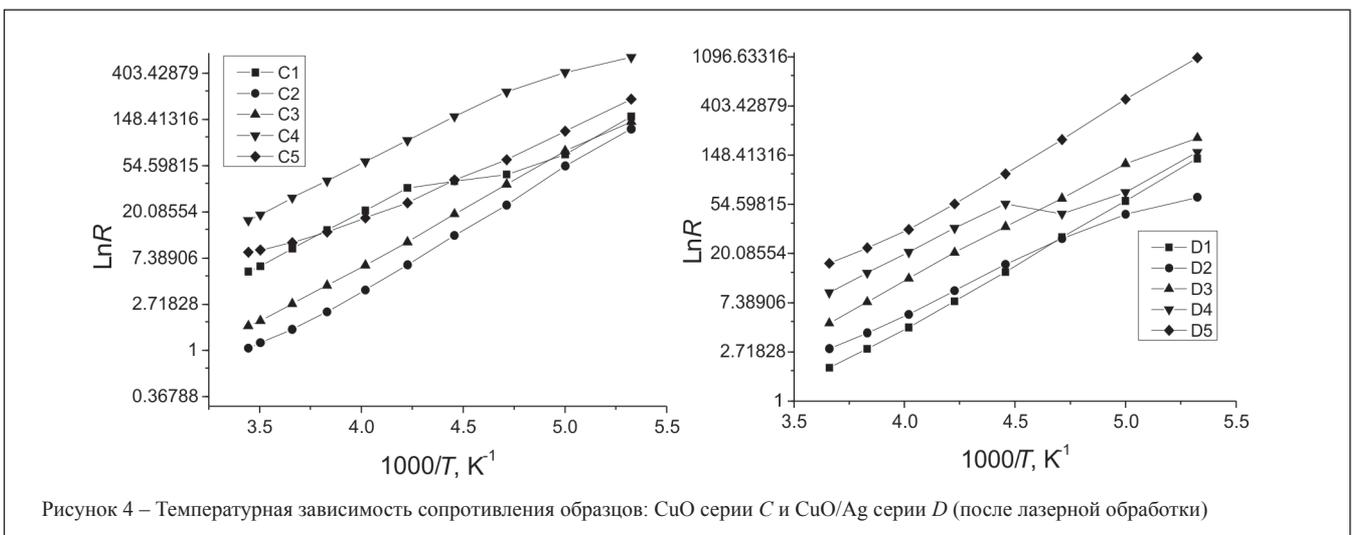


Рисунок 4 – Температурная зависимость сопротивления образцов: CuO серии C и CuO/Ag серии D (после лазерной обработки)

Таблица 3 – Энергия активации образцов и среднее значение отношения Cu/O

$T_c, ^\circ\text{C}$	Номер образца	W, eV	$\delta W, \text{eV}$	Cu/O	Номер образца	W, eV	$\delta W, \text{eV}$	Cu/O
700	A1	0,42	0,013	1,05	C1	0,38	0,01	1,28
700	B1	0,48	0,006	1,15	D1	0,4	0,009	1,19
900	A3	0,32	0,02	1,04	C3	0,34	0,007	1,36
900	B3	0,4	0,018	1,18	D3	0,38	0,008	1,43
1100	A5	0,19	0,015	1,035	C5	0,3	0,007	1,79
1100	B5	0,38	0,008	1,2	D5	0,37	0,011	1,96

В таблице приведены температура синтеза (T_c), энергия активации (W), среднеквадратическая ошибка определения энергии активации (δW) исследованных образцов и отношение Cu/O. Как видно из таблицы 4, энергия активации сопротивления образцов варьируется в пределах $0,19 \div 0,48$ eV. Наибольшие значения W принимает для закаленных образцов, следовательно, закаливание приводит к повышению энергии активации. С ростом температуры синтеза происходит уменьшение W . Тенденция эта имеет место как для образцов, подвергнутых закалке (серия B), так и для медленно охлажденных (серия A), т.е. не закаленных образцов, для которых уменьшение W происходит в большей степени. Особенно это наблюдается при температуре 1100 °C для образца A5 (0,19 eV). Отметим, что в процессе лазерной обработки с ростом температуры синтеза тенденция уменьшения энергии активации сохраняется, однако, вне зависимости от T_c у образцов серии C, подвергнутых лазерному воздействию, она меньше, чем у закаленных. Сравнение энергии активации образцов серии D (с напылением пленки серебра) с остальными показывает, что она с изменением температуры спекания значительно не изменяется. Это позволяет говорить об отсутствии влияния серебра. Здесь можно предположить, что после лазерной обработки Ag входит как примесь в состав CuO и определяет ширину запрещенной зоны образцов CuO/Ag вне зависимости от других факторов.

В литературе имеются сведения о зависимости энергии активации от скорости охлаждения Cu_2O [22]. Как отмечалось выше, после лазерного облучения происходит возрастание отношения Cu/O для всех образцов, поскольку в результате воздействия коротких лазерных импульсов скорость охлаждения увеличивается. В таблице 2 наряду с W приведены соответствующие значения отношения Cu/O для исследуемых образцов. Сопоставляя эти данные, можно наблюдать взаимосвязь энергии активации сопротивления и отношения Cu/O. А именно, рост величины Cu/O с ростом температуры синтеза сопровождается уменьшением энергии активации сопротивления.

Закключение

Подводя итоги исследования в данной работе, отметим, что они сводятся к следующим основным выводам:

- на микрофотографиях, полученных методом СЭМ, видны явные различия микроструктуры на лазерных треках и вне их; лазерное воздействие приводит к изменениям микроструктуры в поверхностном слое образцов;
- под действием лазерного излучения происходит значительное изменение морфологии поверхности об-

разцов, спеченных при 1100 °C, обнаружено расслоение образца, которое четко наблюдается от поверхности на глубине 50–150 мкм;

- по данным рентгеновского микроанализа содержание элементов на лазерных треках образцов, спеченных при 1100 °C, показывает, что оксид меди CuO в них практически преобразовался в Cu_2O – лазерное излучение изменяет химический состав оксидов меди и приводит к возрастанию отношения Cu/O у всех исследованных образцов;

- температурная зависимость сопротивления исследованных образцов в интервале температур 80–300 К имеет полупроводниковый характер, а энергия активации сопротивления варьируется в пределах $0,19 \div 0,48$ eV; полученные данные по энергии активации находятся в хорошем согласовании с имеющимися данными по оксидам меди;

- с ростом температуры синтеза образцов происходит уменьшение энергии активации сопротивления; закаливание от температуры синтеза приводит к повышению W , а лазерная обработка уменьшает эту зависимость, в то время как напыление слоя серебра нивелирует ее;

- наблюдается взаимосвязь химического состава образцов и энергии активации сопротивления.

Полученные результаты позволяют заключить, что лазерное излучение является мощным инструментом направленного изменения микроструктуры, химического состава и электропроводящих свойств керамики CuO/Ag с целью применения в различных электронных устройствах.

Автор выражает благодарность В.Т. Татояну и В.С. Кузаныану за участие в измерениях, а также А.С. Кузаныану – за полезные советы.

Литература:

1. O.H. Abd-Elkader and N.M. Deraz // Int. J. Electrochem. Sci. – 2013. – 8, 8614.
2. V.S. Burakov, N.A. Savastenko, N.V. Tarasenko, A.A. Nevar // J. Appl. Spectroscopy. – 2008. – 75, № 1, 111.
3. N. Tarasenko, A. Nevar, M. Nedelko // Phys. Status Solidi A. – 2010. – 207, № 10, 2319.
4. N. Ozer, F. Tepehan // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 1993. – 30, 13.
5. J. Li, G. Vizkelethy, P. Revesz, J.W. Mayer // J Appl. Phys. – 1991. – 69, 1020.
6. J.S. Anderson, N.N. Greenwood // Proc. R. Soc. Lond. A. – 215 (1122), 353 (1952).
7. E.M. Alkoy, P.J. Kelly // Vacuum. – 2005. – 79, 221.
8. W.M. Sears, E. Fortin // Solar Energy Mater. – 1984. – 10, 93.

9. K. Akimoto, S. Ishizuka, M. Yanagita, Y. Nawa, G.K. Paul, T. Sakurai // *Solar Energy*. 2006. – 80, 15.
10. L.Y. Isseroff and E.A. Carter // *Chem. Mater.* – 2013. – 25. – 253.
11. S. Noda, H. Shima and H. Akinaga // *J. of Physics: Conference Series*. – 2013. – 433, 012027.
12. Б. Гудден, УФН, 15, 703 (1935).
13. A.A. Ogwu, T.H. Darma, E. Bouquerel // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. – 2007. – 24, 172.
14. A. Martínez-Ruiz, M.G. Moreno, N. Takeuchi // *Solid State Sci.* – 2003. – 5, 291.
15. J. Assal, B. Hallstedt, L.J. Gauckler // *J. Phase Equilib.* – 1998. – 19, 351.
16. R.O. Suzuki, H. Nishiura, K. Ono and L.J. Gauckler // *Advances in Superconductivity VII, Proc. 7th. Int. Symp. on Superconductivity (ISS94)*, Springer-Verlag Tokyo. – 1995. – 1, 373.
17. A.S. Kuzanyan, G.R. Badalyan, V.S. Kuzanyan, V.R. Nikogosyan, S.Kh. Pilosyan, V.M. Nesterov // *QUANTUM ELECTRON.* – 2011. – 41, № 7, 619.
18. A.S. Kuzanyan, S.T. Pashayan, V.T. Tatoyan, V.R. Nikoghosyan, V.S. Kuzanyan, V.H. Vardanyan, V.M. Nesterov, S.Kh. Pilosyan, A.Z. Grasyuk // *Int. J. Mod. Phys. Conf. Ser.* – 2012. – 15, 161.
19. А.С. Кузаян, С.Т. Пашаян, В.Т. Татоян // *Известия НАН Армении, Физика*, 49. – 2014. – № 1, 44.
20. A.M.M. Gadalla, W.F. Ford, J. White // *Trans. Br.*

Ceram. Soc. – 1963. – 62, 57.

21. X.G. Zheng, N. Tsutsumi, S. Tanaka, M. Suzuki, C.N. Xu // *Physica C.* – 321(1), 67 (1999).

22. M. Tapiero, J.P. Zielinger and C. Noguét // *Phys. stat. sol.* – 1972. – (a) 12, 517.

Abstract

The influence of pulsed laser radiation and various heat treatments on the surface morphology, chemical composition and electroconductivity of the CuO and CuO/Ag ceramic samples are investigated. The studies were conducted on laser tracks and outside of them, on the samples surface and in their section. As SEM and X-ray results showed laser treatment substantially changes the chemical composition and the microstructure of the samples. At high sintering temperatures (1100 °C) of the samples it was observed the bundle under the influence of laser irradiation. The temperature dependence of the resistance of all the samples in the range of 80–300 K has semiconducting nature and the activation energy of resistance varies in the range of 0.19÷0.48 eV. The interrelation of the activation energy and chemical composition of the samples was studied. The activation energy of the resistance decreases with increasing sintering temperature, laser treatment reduces this dependence and deposition of silver on the samples before laser treatment completely eliminates this dependence. The data obtained can be used for directional variation of the physical properties of compounds produced in the Cu-O-Ag system.

Поступила в редакцию 16.01.2014 г.

ТРЕБОВАНИЯ К НАУЧНЫМ СТАТЬЯМ, ПУБЛИКУЕМЫМ В РАЗДЕЛЕ «РЕЦЕНЗИРУЕМЫЕ СТАТЬИ»

1. Научная статья – законченное и логически цельное произведение по раскрываемой теме – должна соответствовать одному из следующих научных направлений: информационные технологии и системы, оптоэлектроника, микро- и наноэлектроника, приборостроение.

2. Объем научной статьи не должен превышать 0,35 авторского листа (14 тысяч печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и другие), что соответствует 8 страницам текста, напечатанного через 2 интервала между строками (5,5 страницы в случае печати через 1,5 интервала).

3. Статьи в редакцию представляются в двух экземплярах на бумаге формата А4 (220015, г. Минск, пр. Пушкина, 29Б), а также в электронном виде (e-mail: sadov@bsu.by). К статье прилагаются сопроводительное письмо организации за подписью руководителя и акт экспертизы. Статья должна быть подписана всеми авторами.

Статьи принимаются в формате doc, rtf, pdf, набранные в текстовом редакторе word, включая символы латинского и греческого алфавитов вместе с индексами. Каждая иллюстрация (фотографии, рисунки, графики, таблицы и др.) должна быть представлена отдельным файлом и названа таким образом, чтобы была понятна последовательность ее размещения. Фотографии принимаются в форматах tif или jpg (300 dpi). Рисунки, графики, диаграммы принимаются в форматах tif, cdr, eps или jpg (300 dpi, текст в кривых). Таблицы принимаются в форматах doc, rtf или Excel.

4. Научные статьи должны включать следующие элементы: аннотацию; фамилию и инициалы автора (авторов) статьи, ее название; введение; основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии); заключение; список цитированных источников; индекс УДК; аннотацию на английском языке.

5. Название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, содержать ключевые слова, позволяющие индексировать данную статью.

6. Аннотация (100–150 слов) должна ясно излагать содержание статьи и быть пригодной для опубликования в аннотациях к журналам отдельно от статьи.

В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

Основная часть статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований. Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть статьи может делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками).

Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Список цитированных источников располагается в конце текста, ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок должны быть написаны внутри квадратных скобок (например: [1], [2]).

В соответствии с рекомендациями ВАК Республики Беларусь от 29.12.2007г. №29/13/15 научные статьи аспирантов последнего года обучения публикуются вне очереди при условии их полного соответствия требованиям, предъявляемым к рецензируемым научным публикациям.

ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ОБОГАЩЕННОЙ КРЕМНИЕМ ПЛЕНКЕ SiN_x ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОБРАБОТКАХ

УДК 543.4

Ф.Ф. Комаров, И.Н. Пархоменко, И.А. Романов, Л.А. Власукова, О.В. Мильчанин,
БГУ, г. Минск;
И.А. Цыганов, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби;
Н.С. Ковальчук, ОАО «Интеграл»

Аннотация

В настоящей работе методами эллипсометрии, Резерфордского обратного рассеяния, спектроскопии комбинационного рассеяния света и фотолюминесценции изучены фазовые превращения в обогащенной кремнием пленке нитрида кремния, нанесенной на кремниевую подложку методом химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении, под действием отжига в интервале температур (900–1200 °С). Показано, что аморфные нанокластеры кремния образуются в нитридной пленке уже во время осаждения. В процессе термообработки происходит кристаллизация аморфных кластеров. После отжига при 1200 °С методом КРС в нитридной пленке регистрируются только кристаллические кластеры кремния, одновременно появляется люминесценция в видимой области. Обсуждается природа наблюдаемой фотолюминесценции.

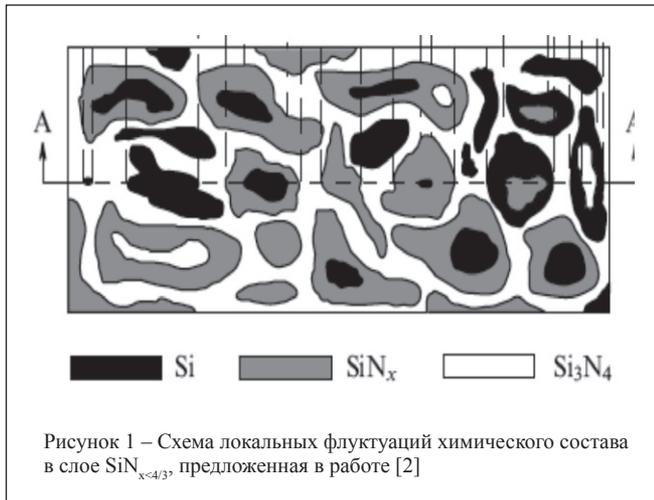
Введение

Слои нитрида кремния получают, исследуют и применяют в микроэлектронике уже более 40 лет [1]. Интерес к нитридным пленкам обусловлен их использованием в качестве маскирующих слоев, подзатворного диэлектрика в тонкопленочных транзисторах на базе аморфного и поликристаллического кремния и в электрически перепрограммируемых элементах памяти (flash-память) [2]. В последнее время интерес к нестехиометрическим пленкам нитрида кремния (SiN_x с параметром x меньше 4/3) возрос в связи с перспективной применением в оптоэлектронных устройствах. Впервые интенсивная фотолюминесценция (ФЛ) в пленках нитрида кремния в спектральной области видимого и ближнего ультрафиолетового диапазона была обнаружена в работах [3, 4]. Не так давно в работах Парка и др. [5, 6] сообщалось об интенсивной фотолюминесценции (ФЛ) в пленках нитрида кремния с нанокластерами аморфного кремния. Отмечалось, что в зависимости от размеров нанокластеров наблюдается сдвиг максимума ФЛ. Это приписывалось авторами квантово-размерному эффекту на кремниевых кластерах. В структурах «металл – пленка нитрида кремния с нанокластерами кремния – подложка кремния» авторами работы [6] была получена эффективная электролюминесценция (ЭЛ). Это позволило им утверждать, что на основе пленок с кластерами разных размеров возможно создание красного, зеленого и синего светодиодов, а также белого светодиода. Позднее проявления квантово-размерного эффекта были обнаружены той же группой авторов в пленках SiN_x с нанокристаллами кремния [7]. Преимущества пленок нитрида кремния с нанокластерами кремния перед схожей гетеросистемой «оксид кремния с нанокластерами кремния» следующие. Так как ширина щели подвижности (аналог запрещенной зоны в кристаллических

диэлектриках) в аморфном нитриде кремния (≈ 5 эВ) гораздо меньше щели подвижности в аморфном диоксиде кремния (≈ 9 эВ), инжекция носителей заряда в нитрид кремния более эффективна. Проблемы с инжекцией заряда осложняют достижение эффективной ЭЛ в структурах на основе оксида кремния, так как в этом случае надо прикладывать к структуре большую разность потенциалов. Другое преимущество нитрида – малые (менее 1 нс) времена спада ФЛ [8]. Это обстоятельство важно в случае возможного использования данного эффекта в «быстрых» светодиодах, интегрируемых в кремниевые микросхемы для передачи информации с помощью модулированного по времени оптического сигнала.

К настоящему времени проведено значительное количество исследований спектров ФЛ пленок нитрида кремния в видимом диапазоне и предложено несколько возможных механизмов излучательной рекомбинации в нестехиометрическом нитриде с избытком кремния [9, 10]. Однако происхождение видимой люминесценции в нитридных слоях до сих пор окончательно не выяснено. В основном это связано с трудностями в разделении люминесценции от кремниевых кластеров и люминесценции, связанной с самой нитридной матрицей. Одни исследователи считают причиной люминесценции квантово-размерный эффект от нанокластеров кремния [5, 11]. Другие приписывают ее излучательной рекомбинации на дефектах в нитридной матрице или на границах «кластер Si – SiN_x » [8, 9]. Причиной люминесценции называют также электрон-фононное спаривание или рекомбинацию между локализованными зонными «хвостами» плотности состояний дефектного нитрида [3, 12]. Осложняет интерпретацию спектров ФЛ то обстоятельство, что для всех предлагаемых механизмов эмиссия проявляется в видимом диапазоне. Кроме того, из-за термодинамической нестабильности обогащенного кремнием нитрида наблюдается тенденция к частичному разделению фаз в ходе наращивания нитридных пленок или под действием последующих термообработок. В результате могут формироваться пленки с локальными флуктуациями химического состава [13, 14]. Представленная на рисунке 1 схема иллюстрирует строение подобного материала. Как видно из рисунка, схема предполагает наличие в слое $\text{SiN}_{x < 4/3}$ трех фаз: стехиометрического нитрида кремния, аморфного кремния и субнитридов кремния.

Наличие в нитриде различных фаз также осложняет интерпретацию оптических свойств данного материала. Для того, чтобы научиться управлять эмиссионными свойствами нитридных пленок и воспроизводимо получать свечение их в заданном спектральном диапазоне видимого спектра необходимо дальнейшее исследование фазово-структурных превращений в обогащенном кремнием нитриде кремния под действием технологических факторов.



Цель нашей работы – исследовать структурные и оптические свойства обогащенных кремнием пленок SiN_x и их трансформацию под действием высокотемпературных обработок.

Нитрид кремния осаждался на подложку Si n-типа с кристаллографической ориентацией (100) при пониженном давлении (40 ± 3 Па) пиролизом смеси дихлорсилана (SiCl₂H₂) и аммиака (NH₃) с соотношением SiCl₂H₂/NH₃ в газовой смеси меньше 1/4. Температура роста пленки составляла 800 °С. Показатель преломления и толщина пленки измерялись методом эллипсометрии. После осаждения часть вырезанных из подложки с нитридной пленкой образцов отжигалась в атмосфере азота при температурах 900 °С и 1000 °С в печи сопротивления в течение часа и при 1200 °С в течение 3 минут в установке быстрого термического отжига (БТО) «jetFirst». Для анализа распределения Si и N по глубине использовался метод Резерфордского обратного рассеяния (РОР). Спектры комбинационного рассеяния света (КРС) регистрировались на микрорамановском спектрометре Integra Spectra в геометрии обратного рассеяния при λ_{возб.} = 473 нм. Спектры фотолюминесценции (ФЛ) возбуждались при комнатной температуре He-Cd лазером с λ_{возб.} = 325 нм.

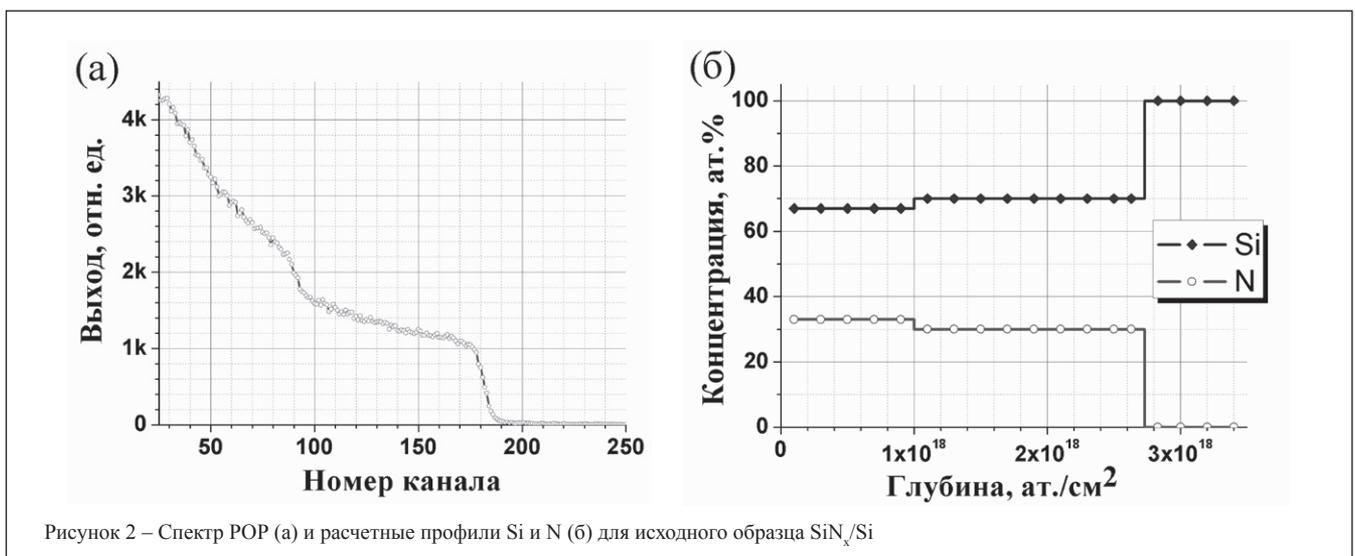


Рисунок 2 – Спектр РОР (а) и расчетные профили Si и N (б) для исходного образца SiN_x/Si

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 представлены спектр РОР и рассчитанные концентрации Si и N для исходной пленки SiN_x.

Как видно из рисунка 2, концентрации кремния и азота составляют (67–70) ат. % и (33–30) ат. % соответственно. Известно, что для стехиометрического Si₃N₄ соотношение Si/N равно 0,75, что соответствует 42,86 ат. % Si и 57,14 ат. % N. На основе данных РОР были рассчитаны параметр «x» и избыток кремния в нитридной пленке в сравнении со стехиометрией по формуле, взятой из работы [15]:

$$Si_{изб.} = \frac{Si_{ат. \%}}{Si_{ат. \%} + N_{ат. \%}} - \frac{3}{7} = (1+x)^{-1} - \frac{3}{7}$$

Результаты расчетов параметра «x» и избытка кремния Si_{изб.} % и данные эллипсометрии (показатель преломления и толщина нитридной пленки) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры исходного слоя SiN_x/Si, рассчитанные из данных эллипсометрии и РОР

Показатель преломления n	Толщина, (нм)	Параметр «x»	Избыток кремния Si _{изб.} %
2,2	850	0,49 – 0,43	24,2 – 27,6

На рисунке 3 представлены спектры КРС исходного и отожженных образцов SiN_x.

На спектрах всех образцов регистрируются полосы с максимумами около 520 и 980 см⁻¹, связанные с рассеянием от кремниевой подложки. На спектре исходного образца проявилась слабая широкая полоса с максимумом ~480 см⁻¹, обусловленная рассеянием на поперечных оптических фонах аморфного кремния [16]. Это говорит о присутствии кластеров аморфного кремния уже в исходной пленке SiN_x. В спектре образца, отожженного при 900 °С, наблюдается рост интенсивности этой полосы, связанный с дальнейшим процессом собирания избыточного кремния в аморфные кластеры. Для образца, прошедшего отжиг при 1000 °С, интенсивность полосы при 480 см⁻¹ меньше, в сравнении с образцом, отожженным при 900 °С. В то же время, интенсивность сигнала от подложки с максимумом около

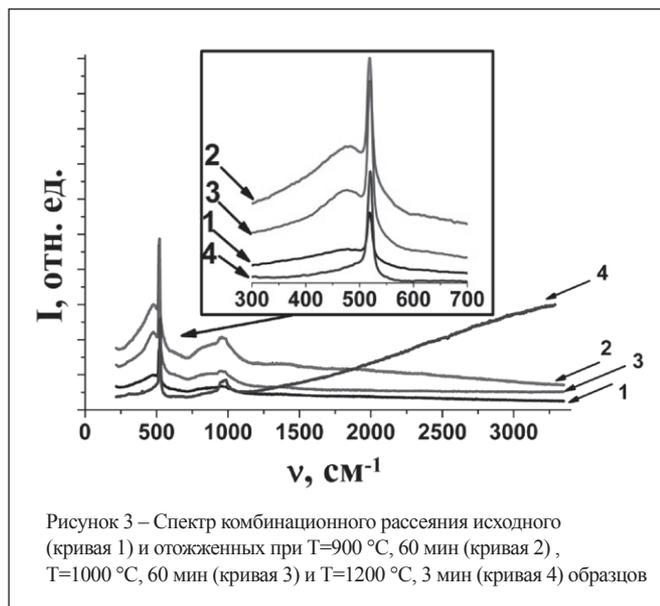


Рисунок 3 – Спектр комбинационного рассеяния исходного (кривая 1) и отожженных при $T=900$ °С, 60 мин (кривая 2), $T=1000$ °С, 60 мин (кривая 3) и $T=1200$ °С, 3 мин (кривая 4) образцов

520 cm^{-1} для этого образца выше. Эти изменения можно объяснить началом процесса кристаллизации аморфных кластеров кремния. В образце после БТО при 1200 °С сигнал от аморфных кластеров при 480 cm^{-1} отсутствует, а полоса кристаллического кремния характеризуется асимметричной формой с плечом в коротковолновой области от рассеяния на кристаллических кластерах кремния [17].

Для образца, отожженного при температуре 1200 °С, на спектре КРС появляется сильный фон люминесценции в желто-зеленой области (1500–3000 cm^{-1}). Спектр фотолюминесценции этого образца показан на рисунке 4.

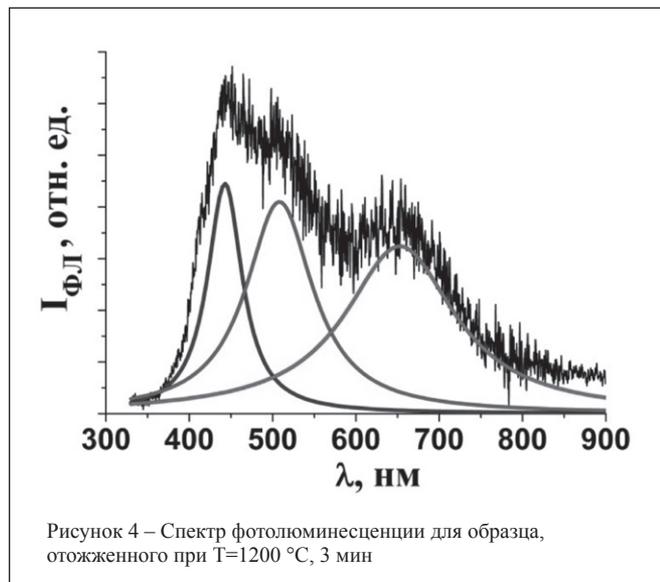


Рисунок 4 – Спектр фотолюминесценции для образца, отожженного при $T=1200$ °С, 3 мин

Полученный спектр ФЛ можно аппроксимировать тремя лоренцианами с максимумами в синей, зеленой и красной области. Люминесценцию в синей и зеленой области можно приписать излучательным центрам, локализованным в запрещенной зоне нитрида и связанным с азотными и кремниевыми дефектами соответствен-

но [18]. Сигнал в красной области, по-видимому, обусловлен свечением кристаллических кластеров кремния, наличие которых подтверждают спектры КРС [11]. Для образцов, отожженных при более низких температурах, люминесценции не наблюдалось.

Заключение

Исследованы структурные и оптические свойства нитрида кремния SiN_x с избыточным в сравнении со стехиометрией количеством Si. Рассчитанный из данных РОР параметр « x » изменялся по толщине пленки в диапазоне от 0,49 до 0,43. Анализ спектров КРС показал, что формирование аморфных кластеров кремния начинается уже во время осаждения пленки нитрида. Процесс формирования преимущественно аморфных кремниевых кластеров в нитридной пленке продолжается во время отжига при 900 и 1000 °С. После отжига при 1200 °С методом КРС в нитридной пленке регистрируются только кристаллические кластеры кремния, одновременно появляется люминесценция в видимой области. Наблюдаемая люминесценция приписывается излучательным центрам, связанным с кремниевыми и азотными дефектами, а также свечению нанокристаллов кремния.

Литература:

1. Ржанов, А.В. Нитрид кремния в электронике / А.В. Ржанов. – Новосибирск : Наука, СО, 1982.
2. Гриценко, В.А. Атомная структура аморфных нестехиометрических оксидов и нитридов кремния / В.А. Гриценко // Успехи физических наук. – 2008, – Т. 178Б, № 7. – С. 727–737.
3. Austin, I.G. Photoluminescence properties of a-SiN_x: H alloys / I.G. Austin, W.A. Jackson, T.M. Searle, P.K. Bhat // Philosophical Magazine Part B. – 1985. – Vol. 52. – P. 271.
4. Vasilev, V.V. Effect of hydrogen on photoluminescence spectra of silicon nitride amorphous films / V.V. Vasilev, I.P. Mikhailovskii, K.K. Svitashv // Physica Status Solidi A. – 1986. – Vol. 95. – P. K37.
5. Park, N.-M. Quantum Confinement in Amorphous Silicon Quantum Dots Embedded in Silicon Nitride / N.-M. Park, C.-J. Choi, T.-Y. Seong, S.-J. Park // Physical Review Letters. – 2001. – Vol. 86. – PP. 1355–1357.
6. Park, N.-M. Band gap engineering of amorphous silicon quantum dots for light-emitting diodes / N.-M. Park, T.-S. Kim, S.-J. Park // Applied Physics Letters. – 2001. – Vol. 78. – P. 2575.
7. Kim, T.-Y. Quantum confinement effect of silicon nanocrystals in situ grown in silicon nitride films / T.-Y. Kim, N.-M. Park, K.-N. Kim, G.-Y. Sung, Y.-W. Ok, T.-Y. Seong, C.-J. Choi // Applied Physics Letters. – 2004. – Vol. 85. – P. 5355.
8. Yamaguchi, K. Short lifetime photoluminescence of amorphous-SiN_x films / K. Yamaguchi, K. Mizushima, K. Sassa // Applied Physics Letters. – 2000. – Vol. 77. – P. 3773.
9. Deshpande, S.V. Optical properties of silicon nitride films deposited by hot filament chemical vapor deposition / S.V. Deshpande, E. Gulari, S.W. Brown, S.C. Rand // Applied Physics. – 1995. – Vol. 77. – P. 6534.
10. Kato, H. Band-tail photoluminescence in hydrogenated amorphous silicon oxynitride and silicon nitride films / H. Kato, N. Kashio, Y. Ohki, K.S. Seol, T. Noma // Journal of Applied Physics. – 2003. – Vol. 93. – P. 239.

11. Kim T.-W. Quantum confinement effect in crystalline silicon quantum dots in silicon nitride grown using SiH₄ and NH₃ / T.-W. Kim, C.-H. Cho, B.-H. Kim, and S.-J. Park // Applied Physics Letters. – 2006. – Vol. 88. – P. 123102

12. Giorgis, F. Optical absorption and photoluminescence properties of a-Si_{1-x}N_x:H films deposited by plasma-enhanced CVD / F. Giorgis, C. Vinegoni, L. Pavesi // Physical Review B. – 2000. – Vol. 61. – P. 4693.

13. Singh, S. P. Phase evolution and photoluminescence in as-deposited amorphous silicon nitride films / S.P. Singh, P. Srivastava, S. Ghosh, S.A. Khan, C.J. Otonc, G.V. Prakasha // Scripta Materialia. – 2010. – Vol. 63. – P. 605–608.

14. Mercaldo, L.V. Photoluminescence properties of partially phase separated silicon nitride films / L.V. Mercaldo, E.M. Esposito, P.D. Veneri, B. Rezgui, A.I. Sibai, G. Bremond // Journal of Applied Physics. – 2011. – Vol. 109. – P. 093512.

15. Wilson, P.R.J. Effect of thermal treatment on the growth, structure and luminescence of nitride-passivated silicon nanoclusters / P.R.J. Wilson, T. Roschuk, K. Dunn, E.N. Normand, E. Chelomentsev, O.H.Y. Zalloum, J. Wojcik, P. Mascher // Nanoscale Research Letters. – 2011. – Vol. 6. – P. 168.

16. Корчагина, Т.Т. Структура и оптические свойства сформированных с применением низкочастотного плазмохимического осаждения пленок SiH_x:H, содержащих нанокластеры кремния / Т.Т. Корчагина, Д.В. Марин,

В.А. Володин, А.А. Попов, М. Vergnat // Физика и техника полупроводников. – 2009. – Т. 43. – С. 1557.

17. Nesheva, D. Raman scattering and photoluminescence from Si nanoparticles in annealed SiO_x thin films / D. Nesheva, C. Rabits, A. Perakls // Journal of Applied Physics. – 2002. – Vol. 92. – P. 4678.

18. Wang, M. Photoluminescence of Si-rich silicon nitride: Defect-related states and silicon nanoclusters / M. Wang, D. Li, Z. Yuan, D. Yang, D. Que // Applied Physics Letters. – 2007. – Vol. 90. – P. 131903.

Abstract

Silicon-rich silicon nitride films were fabricated by low pressure chemical vapor deposition followed by high temperature annealing. Phase transformations in the nitride films were studied by ellipsometry, Rutherford backscattering spectrometry, Raman spectroscopy and photoluminescence. It is shown that amorphous silicon nanoclusters are formed in a silicon nitride film already during deposition. After annealing at 1200 °C crystalline nanoclusters are registered using Raman spectroscopy only, at the same time a visible photoluminescence is registered. The origin of the observed photoluminescence is discussed.

Поступила в редакцию 18.02.2014 г.

НОВОСТИ

НАНОЧАСТИЦЫ ПОМОГУТ УСОВЕРШЕНСТВОВАТЬ РАСТЕНИЯ

Американские биотехнологи разработали особые наночастицы, которые можно будет вставлять в листья растений с целью улучшения эффективности фотосинтеза либо превращения их в химические сенсоры.

Майкл Страно, Массачусетский технологический институт, и его соратники смогли повысить эффективность фотосинтеза примерно в три раза с помощью особых наночастиц на базе углеродных нанотрубок.

Ученые решили данную проблему, присоединив к подобным нанотрубкам два компонента — наночастицы из оксида церия, а также молекулы полиакриловой кислоты. По мнению биотехнологов, оксид церия подавляет образование агрессивных молекул, а нити полиакриловой кислоты позволяют удерживать его наночастицы, сохраняя их прикрепленными к этим углеродным нанотрубкам.

Данные нанотрубки потом встраиваются в стенки хлоропластов, повышая их рабочий «диапазон» и ускоряя различный обмен электронами между компонентами систем фотосинтеза, что увеличивает их эффективность примерно в три раза. Помимо того, интеграция подобных наночастиц в клетки растений может превращать их в своеобразные «биосенсоры», что способны оповещать нас об образовании в воздухе ряда загрязнителей, например, оксида азота.

innovanews.ru



БелПлата тел. +375 17 287 85 66
 факс +375 17 287 85 65
 тел.моб. +375 29 684 43 09
 220068, г. Минск, ул.Некрасова, 114,
 оф.238, 2 этаж, e-mail: info@belplata.by

Разработка и поставка печатных плат:
любой класс точности, широкий спектр покрытий, изготовление образцов от 5 дней.

Поставка фотошаблонов

Поставка трафаретов:
из нержавеющей стали и латуни.

Материалы для печатных плат:
защитные маски, маркировочные краски, фоторезисты, паяльные пасты.

Поставка изделий из феррита:
любые виды сердечников CI, EE, EEM, EP, EER, ETD, EC, EF, ED, EFD, EI, EPO, EPX, EPC и т.д.

Поставка электронных компонентов:
STMicroelectronics, NXP Semiconductors, Vishay, Holtek Semiconductor.

www.belplata.by

БЕССЕНСОРНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ БЕСЩЕТОЧНОГО (BLDC) ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ШИРОКОГО КРУГА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Использование цифровых сигнальных контроллеров (ЦСК) для бессенсорного управления электронным регулятором скорости вращения бесщеточного (BLDC) двигателя постоянного тока делает данную технологию доступной для бюджетного массового применения, объясняет Чарли Айс, Microchip Technology Inc.



В качестве альтернативной технологии для многих систем высокого и среднего диапазона, бесщеточные (BLDC) двигатели постоянного тока представляют собой привод фиксированной или регулируемой скорости в сочетании с высокой надежностью и простотой управления. Однако использование даже нескольких датчиков на эффекте Холла повышает общую стоимость системы, что может элиминировать бесщеточные (BLDC) двигатели постоянного тока из спектра приборов, доступных для использования в недорогих прикладных программах. Предыдущие попытки бессенсорного управления также оказались вне ценовой досягаемости для приложений массового ассортимента, в связи с необходимостью в применении дорогих контроллеров для выполнения алгоритмов, используемых вместо детекторов.

Теперь же, со стоимостью, близкой к одному доллару за единицу продукции при закупках большими партиями, цифровые сигнальные контроллеры (ЦСК), такие как прибор dsPIC33FJ15MC102 компании Microchip Technology Inc., могут преодолевать подобные проблемы и делают бессенсорный электронный регулятор скорости вращения BLDC двигателя постоянного тока приемлемым выбором для недорогих приложений.

Сенсорные бесщеточные (BLDC) двигатели постоянного тока

Для понимания принципа работы бессенсорного электронного регулятора скорости вращения бесщеточного (BLDC) двигателя постоянного тока будет полезным рассмотреть базовую модель с сенсорным управлением.

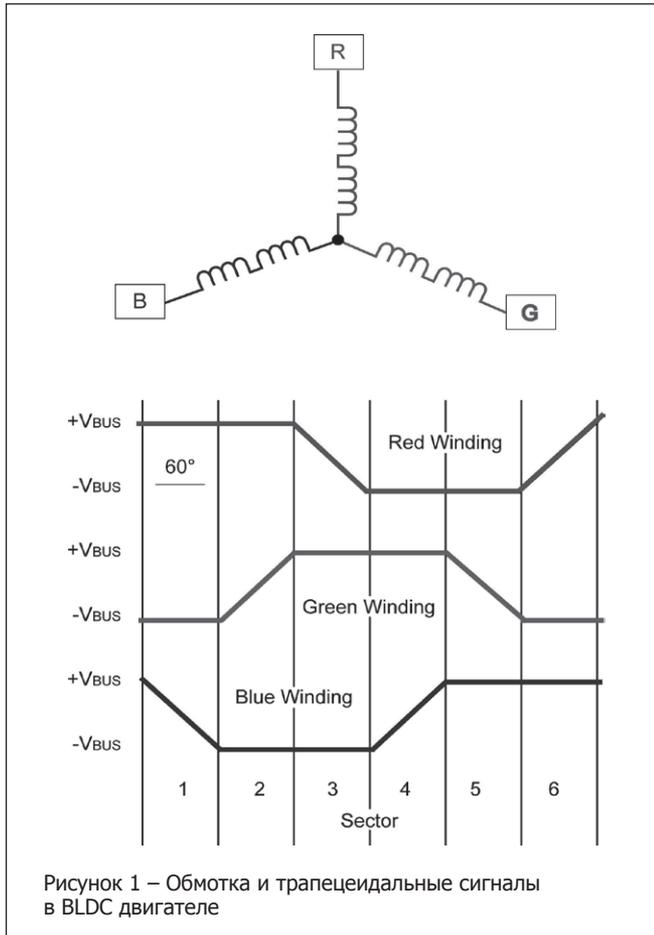
Бесщеточный (BLDC) двигатель постоянного тока использует катушку возбуждения, или статор, который принуждает постоянный магнит на роторе или вале выравниваться с катушкой и вращать ротор для генерирования крутящего момента. В трехфазном BLDC двигателе три катушки статора или фазы включаются и выключаются последовательно прежде самого ротора. Для плавного вращения ротора двигатель построен с использованием многократных комплектов катушек для каждой катушки или фазы и, чтобы осуществлять вращение ротора, каждая фаза должна включаться и выключаться в определенном порядке. Положение ротора предписывает, какая фаза должна быть включена или выключена. Поэтому, для функционирования бесщеточного (BLDC) двигателя постоянного тока крайне важно, чтобы положение ротора было известным, и чтобы контроллер активно переключал фазы включения и выключения. Самый простой способ вычислить положение ротора заключается в использовании датчиков на эффекте Холла, которые генерируют импульсы, позволяющие контроллеру определить положение ротора. Как только положение ротора установлено, базовому контроллеру бесщеточного (BLDC) двигателя постоянного тока всего лишь необходимо проверить, какой шаблон для трех фаз соответствует положению ротора, и переключить фазы по той схеме.

Бессенсорные бесщеточные (BLDC) двигатели постоянного тока

Тщательное рассмотрение трех фаз бесщеточного (BLDC) двигателя постоянного тока может помочь объяснить, как алгоритм бессенсорного BLDC может рассчитать положение ротора.

В трапециевидном элементе управления на любой момент времени одна фаза выдвинута высоко (+VBUS), вторая фаза вытянута низко (-VBUS), а третья фаза неактивна. Сигнал каждой фазы имеет форму трапеции, как показано на рисунке 1. Когда ротор проходит мимо фазы, постоянный магнит на роторе индуцирует ток в данной фазе, что приводит к разности потенциалов, известной под названием обратная электродвижущая сила (ЭДС). Обратная электродвижущая сила (ЭДС) зависит от числа витков в каждой фазной обмотке, угловой частоты ротора и силы постоянного магнита ротора. Форма сигнала обратной электродвижущей силы (ЭДС) каждой фазы связана с положением ротора, поэтому обратная электродвижущая сила (ЭДС) может использоваться для определения положения ротора.

Несмотря на то, что существует множество методов использования обратной электродвижущей силы (ЭДС) для определения положения ротора, одним из наиболее распространенных и устойчивых является метод вычисления путем перехода сигнала через нуль. Когда один из сигналов обратной ЭДС пересекает нулевую отметку, контроллер должен переключить шаблон на фазах. Этот процесс, известный как коммутация, изображен на рисунке 2. Для того, чтобы удерживать ротор в состоянии движения вперед, необходим фазовый сдвиг между точкой, в которой происходит прохождение сигнала через нуль,



и между моментом, когда происходит непосредственная коммутация. Контроллер должен рассчитать и скомпенсировать это. Простой способ реализации пересечения нулевой отметки заключается в предположении, что прохождение сигнала через нуль имеет место всякий раз, когда обратная ЭДС в какой-либо из фаз достигает $V_{BUS}/2$.

Подобный метод может быть беспрепятственно реализован путем использования нескольких операционных усилителей, сконфигурированных в качестве компараторов. Однако в на-

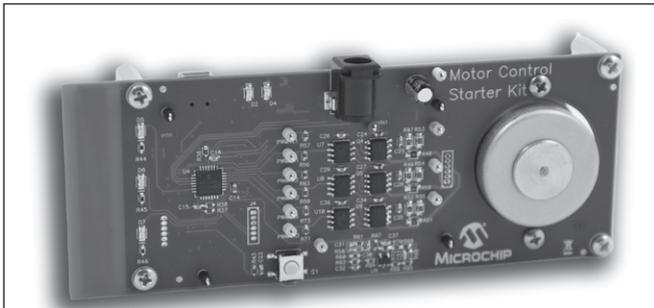


стоящее время в связи с этим возникает целый ряд проблем: обратная ЭДС обычно меньше, чем V_{BUS} , поэтому моменты перехода сигнала через нуль не обязательно случаются в отметке $V_{BUS}/2$; кроме того, характеристики каждой фазы могут быть различны, поэтому разность потенциалов обратной ЭДС в точке нулевой отметки на одной фазе может отличаться от вольтажа другой фазы. И, наконец, такой упрощенный метод считывания вызывает положительные и отрицательные фазные смещения в принятых сигналах обратной ЭДС.

Использование BLDC двигателя для решения реальных задач

В приложениях для решения реальных задач пороговая разность потенциалов в точке нулевой отметки значительно варьируется. Однако этот переменный пороговый вольтаж равен напряжению нейтральной точки электродвигателя, так как сама нейтральная точка электродвигателя является средней величиной обратной электродвижущей силы во всех трех фазах. Таким образом, всякий раз, когда обратная ЭДС какой-либо из фаз равна нейтральной электродвигателя, имело место явление перехода сигнала через нуль, и контроллер должен выполнить коммутацию. Это может быть сделано с помощью резисторов и операционных усилителей, либо путем использования аналого-цифрового (АЦП) модуля и программного обеспечения на контроллере. С программируемым контроллером, таким, как dsPIC[®] DSC (ЦСК), обратная электродвижущая сила для каждой фазы может быть измерена с помощью АЦП модуля, а нейтральную точку можно легко воссоздать в программном обеспечении путем вывода среднего значения из трех сигналов обратной ЭДС. Программное обеспечение способно далее сравнить полученный показатель с принятой обратной электродвижущей силой трех фаз и определить, когда именно произошел факт перехода сигнала через нуль. Как только имело место пересечение нулевой отметки, контроллер коммутирует двигатель и процесс начинается снова. Использование обратной ЭДС двигателя для обнаружения моментов перехода сигнала через нуль означает, что датчик может быть элиминирован из системы без ущерба производительности.

Реальные системы также привносят и другие сложности в бессенсорное функционирование. Во-первых, на низких скоростях обратная электродвижущая сила очень мала, и ее достаточно трудно обнаружить. По этой причине контроллеру необходимо предполагать положение ротора до тех пор, пока двигатель не начинает вращаться настолько быстро, чтобы быть способным генерировать обратную ЭДС в объеме, достаточном для работы в бессенсорном режиме. Программно-управляемый контроллер предоставляет возможность адаптировать пуск системы для каждого приложения в отдельности, что может свести к минимуму последствия данной проблемы. Еще одной сложной задачей являются коммутационные помехи от полевых МОП-транзисторов. При переключении полевых МОП-транзисторов с целью изменения напряжения в каждой фазе, в обратной ЭДС возникает шум, который воспринимается АЦП модулем контроллера. Чтобы безошибочно воссоздать обратную ЭДС каждой фазы, подобный шум необходимо отфильтровать. Цифровой сигнальный контроллер (ЦСК) включает в себя встроенный в процессор двигатель цифровой обработки сигналов (ЦОС), который способен без труда производить расчеты, необходимые для реализации цифрового фильтра и устранения данного шума. Использование программно-управляемого контроллера может



**Motor Control Starter Kit with mTouch™ Sensing
(Part # DM330015)**

Рисунок 3 – Бюджетный комплект разработчика системы бессенсорного BLDC двигателя

также предоставить более легкие решения и других проблем, индивидуальных для каждого приложения.

Уменьшение затрат на развитие

Новые средства разработки, оптимизированные для бессенсорного управления бесщеточным (BLDC) двигателем постоянного тока, способны значительно снизить стоимость и продолжительность разработки для внедрения бессенсорных бесщеточных (BLDC) двигателей постоянного тока в приложениях широкого потребления и других прикладных программах. Пусковой набор регулятора числа оборотов двигателя

компании Microchip Technology Incorporated, представленный на рисунке 3, стоит менее 100 долл. США и включает в себя подробные примечания по применению, а также примерную схемотику программного и аппаратного обеспечения. Поставщики контроллеров электродвигателей, включая Microchip, обычно также предоставляют возможность безвозмездного скачивания программного обеспечения и файлов для технического оборудования, что делает процесс обучения еще проще.

Заключение

Цифровые сигнальные контроллеры уменьшают стоимость электронного регулятора скорости вращения BLDC двигателя. Бессенсорное управление BLDC двигателем может быть реализовано с помощью ЦСК по цене, близкой к одному доллару за единицу продукции при закупках большими партиями, совместно со средствами разработки стоимостью менее 100 долл. США, оснащенными бесплатным программным обеспечением, схемами загрузки и примечаниями по применению. Все вышеперечисленное дает достаточное обоснование тому факту, что бессенсорные BLDC двигатели начинают занимать свое надлежащее место в бюджетных приложениях массового применения.

Примечание: Название и логотип Microchip, а также dsPIC являются зарегистрированными товарными знаками компании Microchip Technology Incorporated в США и других странах. Все другие торговые марки, упоминаемые в данной статье, являются собственностью их соответствующих компаний.

microchip.com

НОВОСТИ

Компания Рэйнбоу Электроникс приглашает вас принять участие в бесплатном семинаре «Преимущества нового поколения светодиодных светильников с применением CoB (матриц): экономика, компоненты и материалы, подходы к конструированию», который пройдет в Минске 3 июня 2014 года.

Семинар предназначен для разработчиков, производителей светотехники, эксплуатирующих организаций, заинтересованных служб промышленных предприятий и представителей муниципальных органов управления.

Программа семинара:

I секция. Компоненты и материалы для светильников на CoB (матрицы):

- Рэйнбоу Электроникс – дистрибьютор и поставщик решений на CREE;
- последние новации в нормативной базе. Поручения Президента и Распоряжения Правительства по отрасли.
- CREE CoB;
- оптика для Chip-on-Board от компании LEDIL;
- теплопроводящие материалы для CoB.

II секция. Экономика и проблемы проектирования светильника High Bay нового поколения на CoB (матрицах):

- постановка задачи, получившийся результат в серийном производстве;
- предварительный экономический расчет;
- тепловые расчеты, особенности конструкции;
- коммерческое сравнение решений на дискретных СИД, и нового на CoB;

– система управления освещением (СУО) разработки «Рэйнбоу Электроникс»;

– проводная система управления освещением.

III секция:

– источники света CREE для различных приложений. Требования рынка светодиодного освещения к источникам света;

– LEDIL: компания, продукция, новинки. Оптические решения для indoor-освещения;

– интеллектуальные системы управления освещением LG;

– разработка конкурентоспособного светодиодного светильника с использованием специализированных инженерных ресурсов;

– ответы на вопросы.

Для участия в семинаре необходимо зарегистрироваться: просим выслать ФИО, должность, название компании, количество участников, контактные телефоны на boreiko@rainbow.by

Контактная информация: тел. +375 29 667 62 47, boreiko@rainbow.by

Участие в семинаре бесплатное.

Место проведения семинара будет сообщено дополнительно.

Ждем Вас на нашем семинаре!

Рэйнбоу Электроникс

ВЫСОКАЯ МОЩНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ НОВОГО КОМПАКТНОГО ДРАЙВЕРА ДВИГАТЕЛЯ С АВТОМОБИЛЬНОЙ КВАЛИФИКАЦИЕЙ АЕС-Q100

Ключевые факты:

- недорогой MCP8063 – первый в мире 1,5 А трехфазный бесщеточный DC синусоидальный драйвер двигателя в компактном (4x4 мм) корпусе с АЕС-Q100 сертификацией;
- полноценное решение для однокристальных трехфазных бесщеточных DC приложений;
- тихая работа и экономия энергии за счет высокой эффективности, низкого уровня акустического шума и вибраций;
- тепловая защита, защита от перегрузки по току и защита от защелкивания.

Компания Microchip анонсировала MCP8063 – недорогой драйвер электродвигателя, впервые сочетающий автомобильную квалификацию АЕС-Q100, высокую производительность в компактном 8-выводном DFN корпусе 4x4 мм и пиковый ток 1,5 А для 180-градусного синусоидального привода трехфазных бесщеточных DC двигателей и вентиляторов. Такое сочетание уменьшает себестоимость конечного изделия и экономит место на плате, а высокая производительность синусоидального привода позволяет

постоянно вынуждены добиваться снижения цены, уровня шума и уменьшения габаритов, а также улучшения производительности и безопасности их изделий. Драйвер MCP8063 – недорогое и надежное решение этих проблем, способное работать в температурном диапазоне от –40 °С до +125 °С. Помимо этого, MCP8063 поддерживает бездатчиковый режим привода бесщеточных DC двигателей.

Компактный MCP8063 – это высокопроизводительный драйвер электродвигателя, работающий при высоких токах и в широком температурном диапазоне, и является полноценным однокристальным решением для широкого круга приложений, использующих трехфазные бесщеточные DC двигателем, по разумной цене.

MCP8063 может функционировать как автономно, так и в сочетании с одним из PIC и dsPIC микроконтроллеров. Таким образом все: от простого регулирования напряжения до управления скоростью вращения двигателя с обратной связью, где применяются сложные вычислительные алгоритмы, все выполняется с высокой степенью гибкости.



снизить уровень акустического шума и механических вибраций. Также MCP8063 включает различные защитные функции: тепловая защита, защита от перегрузки по току и защита от защелкивания.

Инженеры, разрабатывающие приложения с применением электродвигателя в различных направлениях, таких как: авторынок, ИТ, промышленность и бытовая техника,

отладочные платы, принципиальные схемы. Материалы доступны по ссылке: <http://www.microchip.com/get/BTNR>.

MCP8063 доступны для заказа образцов и серийных партий.

Дополнительную информацию Вы можете посмотреть на сайте <http://www.microchip.com/get/JMXV>.

microchip.com

Для работы с драйвером MCP8063 Microchip также представил отладочное устройство 12 В трехфазного бесщеточного DC бездатчикового контроллера вентилятора (ADM00575), который уже доступен для заказа. Для работы с отладочным устройством Microchip предлагает удобный для пользователей графический интерфейс. Свои микросхемы для управления и привода электродвигателей компания Microchip поддерживает набором готовых решений: готовые прошивки, алгоритмы, application notes,

МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ УЗЛЫ И СЕТИ – В ОСНОВЕ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ

Продолжение, начало в № 4, 2014

Светлана Сыsoева
Dr._Gold@sysoeva.com

Автомобильные применения сенсорной технологии МЭМС

Автомобильный сектор включает свыше 26 общеизвестных и новых применений МЭМС-датчиков, включая датчики инерции, давления, расхода, ИК-датчики и другие, сосредоточенные в силовой, колесной и кузовной электронике. Классические примеры применения включают датчики разворачивания подушек безопасности и датчик давления воздуха во впускном патрубке двигателя. Сравнительно новые примеры включают датчики давления шин в TPMS и сенсорные кластеры систем ESC [3–6].

На рост этого сегмента рынка законодательно повлияло законодательное введение ESC и TPMS. По данным iSuppli, продажи МЭМС-датчиков давления для TPMS в период с 2006-го по 2012 год выросли более чем в четыре раза – с 43,1 млн в 2006 году до 179 млн единиц в 2012 году. Продажи МЭМС-датчиков инерции и движения ESC выросли за тот же период втрое – с 61,6 млн единиц в 2006 году до порядка 158 млн в 2012 году.

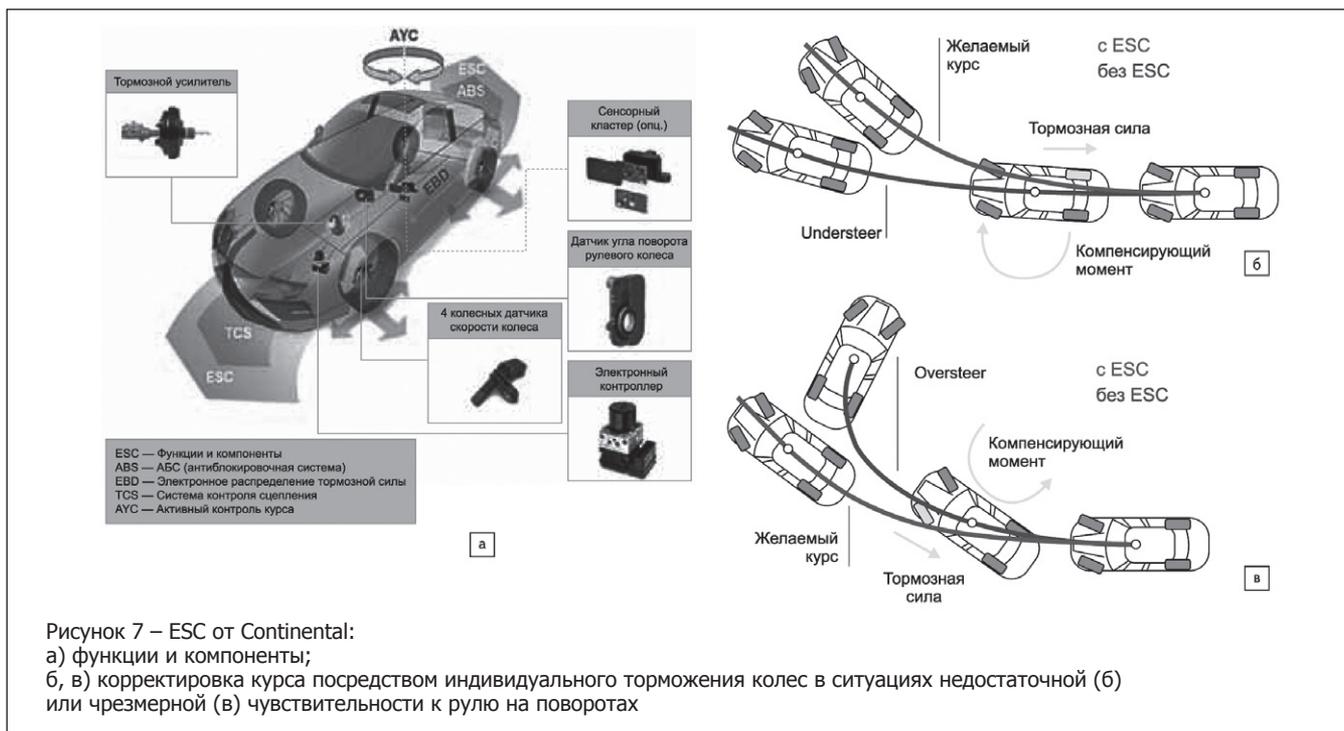
Специалисты iSuppli считают, что рынок автомобильных датчиков в минувшем, 2013 году и наступившем, 2014 году, увеличится – и именно благодаря стремлению производителей к соответствию законодательным требованиям в отношении ESC и TPMS. Широкое распространение этих систем обеспечили законодательно принятые нормы по ESC в США, Европе, Австралии, Южной Корее и Японии, а по TPMS – в США, Европе, Южной Корее и Китае.

Ожидается, что 2014 год станет для автомобильных датчиков пиковым в плане объема их продаж. Помимо законодательных актов, другой ключевой фактор, обеспечивающий рост продаж датчиков, – это неуклонное снижение их цены, достигнутое в этой отрасли промышленности. Цены на датчики инерции систем ESC снижаются на 6,5 % ежегодно, а на датчики TPMS – на 9 %.

Фундаментальной задачей ESC является предотвращение заноса на поворотах посредством сравнения в системе на основе МК сигналов датчиков ESP о фактическом движении ТС (датчиков угловой скорости курса и бокового ускорения) с сигналом датчика рулевого управления, обеспечивающим информацию о курсе, который выбрал водитель (рисунок 7). По этим сигналам ESC корректирует курс, прикладывая индивидуальное торможение к колесам, используя датчики частоты вращения колес ABS и датчики давления для контроля торможения.

Рынок ESC формирует высокую потребность в МЭМС-датчиках инерции и давления, а также датчиках магнитного поля (датчики угла поворота рулевого колеса и частоты вращения колес). Развитие МЭМС-технологии и эффекта Холла позволяет обеспечить для новых автомобилей высоко интегрированные и недорогие решения, допускающие их широкое использование.

Важнейшей особенностью ESC является тенденция к применению мультисенсорных или комбикорпусов МЭМС-датчиков инерции – акселерометров и гироскопов.



Комбидатчики позволяют добиться значительного снижения цены, и это уже обеспечило в 2012 году доходность рыночного сегмента автомобильных датчиков инерции в объеме порядка 20 % от глобальных объемов продаж автомобильных датчиков.

Bosch – поставщик МЭМС-датчиков для автомобильных систем № 1 в мире [5]. В июле 2013 года сообщалось о том, что эта компания продала уже около 3 млрд МЭМС-датчиков для автомобильных и потребительских систем.

Bosch выпускает компоненты датчиков барометрического давления (для систем управления бензиновых и дизельных двигателей), для защиты пассажиров (Peripheral Pressure Sensors в системах развертывания боковых подушек безопасности), прецизионного контроля трансмиссии – датчики гидравлического давления, low-g и high-g одно- и двухосевые акселерометры с аналоговым и цифровым интерфейсом для детектирования аварийных ситуаций, low-g акселерометры для контроля активной подвески, двухосевые акселерометры и датчики угловой скорости для детектирования крена и ESP, комбидатчики для ESP.

Система ESP (electronic stability program) компании Bosch функционирует на основе микроконтроллера, который отслеживает сигналы датчиков ESP о фактическом движении ТС и сравнивает их с сигналом датчика рулевого управления – 25 раз в секунду. Если эти данные различаются, ESP прикладывает торможение к колесам так, чтобы автомобиль следовал курсу с учетом фактических возможностей. С 1995 года Bosch выпускает ESP и датчики угловой скорости, которые объединяются для осуществления функциональности ESP в сенсорный кластер. По-

следнее поколение такой системы – ESP 9 – выполнено на основе высокоинтегрированного трехосевого комбидатчика SMI650, объединяющего акселерометры (a_y и a_z) и моноосевой датчик угловой скорости (O_x) (рисунок 8 а).

Суть инновационных решений Bosch состоит в использовании одного компонента для различных применений, включая надстройки над ESP.

Фундаментальной задачей ESP является предотвращение заноса. Впрочем, возможности ESP этим не ограничиваются. Поскольку ESP позволяет прикладывать торможение к колесам независимо от положения педали тормоза, с помощью ESP можно реализовать дополнительные функции.

Функция Hill Hold Control облегчает помощь при старте на возвышенности, прикладывая торможение еще в течение нескольких секунд после того, как водитель отпустил педаль тормоза. Функция адаптивного контроля нагрузки (Load Adaptive Control) идентифицирует изменение массы ТС и центра тяжести вдоль продольной оси и адаптирует вмешательство систем безопасности ABS, TCS и ESP, оптимизируя эффективность торможения, сцепление и стабильность и снижая риск крена и износ тормозной системы.

Функция помощи при торможении (Hydraulic Brake Assist) определяет ситуации чрезвычайного торможения посредством мониторинга давления на педали торможения и градиента давления. Если водитель тормозит недостаточно, система усиливает воздействие и сокращает расстояние до остановки.

Функция смягчения крена (Roll Over Mitigation) выполняет непрерывный мониторинг с помощью датчиков ESP и осуществляет индивидуальное торможение колес.

TPMS также может быть надстройкой над ESP, так как известно, что при потере давления в шинах изменяется скорость вращения колеса. Системы косвенного мониторинга iTPMS (indirect TPMS) позволяют обходиться без датчиков давления в шинах.

Датчики ESP помогают выполнять контроль движения трейлеров (функция Trailer Sway Mitigation): к колесам ТС прикладывается индивидуальное торможение, чтобы снизить скорость. Это позволяет стабилизировать трейлер.

С помощью инновационных решений Bosch одни и те же датчики можно использовать для различных применений и функций. МЭМС-комбидатчики позволяют использовать фактически несколько датчиков одновременно, но в качестве одного компонента.

Придерживаясь этой тенденции, Bosch ввела еще один 6-осевой автомобильный комбидатчик (6DoF) SMI130 с тремя осями детектирования для акселерометров и гироскопов. Его назначение – локализация местоположения автомобиля при потере сигнала GPS для систем, не имеющих отношения к безопасности, включая навигационную систему и телематику (инерциальная навигация по данным скорости автомобиля и угловой скорости), и локализация подъема или спуска по данным датчика ускорения (идентификация правильного уровня).

Использование МЭМС-мультисенсорных компонентов в автомобиле поддерживается достижениями потребительской электроники в плане уровня интеграции, характеристик и снижения цены и следует тем же тенденциям и моделям. Распространение в смартфонах датчиков давления в ближайшее время также найдет отражение и в автоэлектронике.

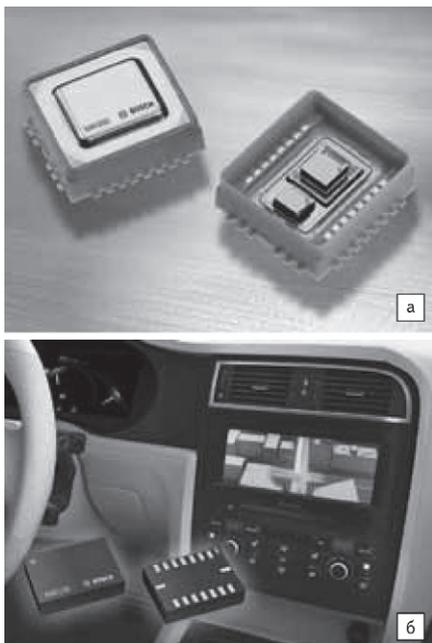


Рисунок 8 – Автомобильные МЭМС-датчики Bosch: а) SMI650 – комбидатчик инерции для систем ESP последнего поколения; б) SMI130 – новый комбидатчик инерции с шестью степенями свободы для навигационных и телематических систем

Аналитики находят, что в 2014 году глобальный объем доходности МЭМС-датчиков давления превзойдет сегмент датчиков инерции (акселерометров и гироскопов). Наибольшую доходность будут давать не датчики инерции, а датчики давления.

Датчики давления – исторически первое и ключевое современное применение МЭМС-технологии, которая является весьма доходной. Этот рыночный сегмент, по оценкам Yole, составил порядка 1,9 млрд долл. США в 2012 году, и ожидается его увеличение до 2,8 млрд долл. США в 2018 году.

В потребительской электронике МЭМС-датчики давления вначале следовали модели акселерометров и гироскопов, а теперь демонстрируют более высокий рост. Но основной объем приходится на автоэлектронику: по данным Yole, автомобильные МЭМС-датчики давления дали объем продаж 1,2 млрд долл. США в 2012 году, и ожидается увеличение до 1,7 млрд долл. США в 2018 году. По данным IHS, доходность автомобильного сегмента МЭМС-датчиков давления в 2013 году составила 1,26 млрд долл. США, или 74 % от всего рыночного сегмента.

В этот сегмент включены не менее 50 поставщиков, но 50 % от общего объема дают пять компаний: Bosch (порядка 15 %), Denso, Sensata, GE Sensing и Freescale. Автомобильные МЭМС-технологии включают пьезорезистивные датчики, керамические емкостные, тонкопленочные и кремниевые емкостные датчики давления.

Датчики давления широко используются в TPMS и системах торможения ESC, боковых подушках безопасности, системах контроля двигателя, а также для контроля барометрического давления и давления систем рециркуляции отработавших газов: для МЭМС-датчиков давления насчитывается свыше 18 применений.

Принцип работы стандартной системы TPMS прямого мониторинга давления в шинах следующий (рисунок 9 а). Датчики давления в составе колесного модуля устанавливаются в обод каждого колеса и обеспечивают независимые измерения давления в реальном времени, которые передаются по ВЧ-каналу на приборную панель для информирования водителя о состоянии шин. Датчик давления вместе с другими компонентами колесного модуля питается от батареи, для экономии заряда которой сенсорные данные опрашиваются по требованию хост-МК TPMS, а остальное время колесный модуль пребывает в спящем режиме.

TPMS гарантируют корректность давления в шинах, которое важно для обеспечения безопасности, управляемости автомобиля и продления срока службы шин, повышает эффективность и экономичность потребления тока и снижает эмиссию CO₂. Законодательно установлено, что TPMS обязательны к установке в новых автомобилях в США и Евросоюзе с 2012 года. По данным Research and Markets, это обеспечило 28 млн инсталляций в 2012 году.

В Китае выпущены технические стандарты в отношении TPMS еще в 2011 году, но пока что показатель установок TPMS в этой стране невысок, но аналитики связывают с китайским рынком TPMS большие перспективы.

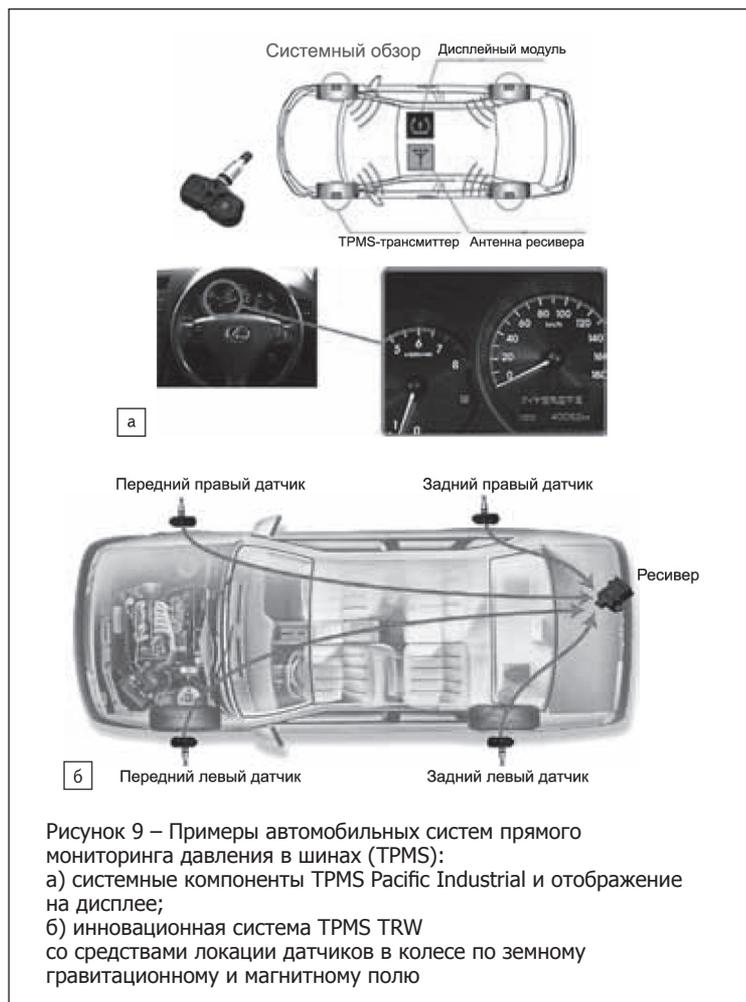
Датчики давления TPMS производят Infineon, GE Sensing, Freescale, Melexis, Bosch, SMI, Alps Electric. Системы и датчики TPMS поставляют Schrader, Huf Beru, TRW, Pacific, Delphi, SmarTire, LDL Technology, Hella, Johnson Controls, Visityre, Continental.

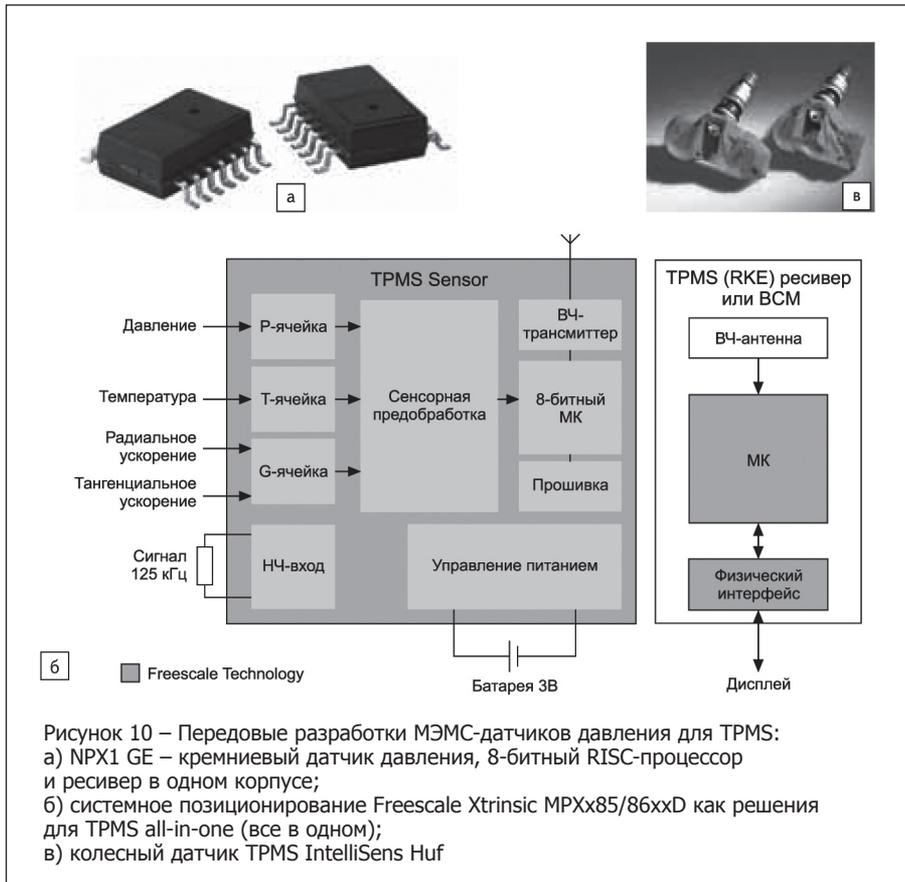
Передовые МЭМС-датчики давления для TPMS представляют собой высокоинтегрированные сенсорные модули, объединяющие в колесном модуле датчики давления с другими типами датчиков (температуры, ускорения), МК и средствами беспроводной коммуникации.

Например, NPX1 GE (рисунок 10 а) интегрирует кремниевый датчик давления, 8-битный RISC-процессор и НЧ-ступень для приема сигналов опроса, что позволяет гибко настраивать и адаптировать это устройство для клиентских систем. Для разработчиков также доступна версия датчика, программируемая в EEPROM.

В 2008 году компания Freescale создала стандарт де-факто для датчиков TPMS, предложив рынку решение all-in-one, включающее датчик давления, 8-битный МК, ВЧ-трансмисмиттер, НЧ-ресивер и одно- либо двухосевой акселерометр вместе с датчиком температуры. Все это сейчас предлагается в виде одного интегрального датчика MPXx8xxx: Xtrinsic MPXx85/86xxD Tire Pressure Monitor Sensor (рисунок 10 б) [6].

Infineon TPMS SP37 – высокоинтегрированное решение того же уровня, представляющее собой закорпусированную сенсорную систему с датчиками





Новые применения МЭМС включают датчики высокого давления (до 200 бар) систем непосредственного впрыска бензиновых двигателей. Ввиду ожидаемого принятия законов Евросоюза в 2015 году ожидается своеобразный «ренессанс» бензиновых двигателей, но и дизельные автомобили, широко распространенные в Европе, используют большое число датчиков давления, например, в фильтрах частиц (Particle filters for diesel engines, DPF).

Датчики давления топлива в цилиндрах (Cylinder pressure sensors, CPS) измеряют давление непосредственно в камере сгорания, что дает возможность точнее контролировать эффективность и эмиссию. CPS вначале были доступны для дизельных двигателей – один датчик на цилиндр, но преимущества этой технологии стали причиной их стремительного распространения в бензиновых двигателях.

IHS ожидает 600%-ный рост продаж CPS к 2017 году. На этом рынке доминирует компания Sensata Technologies (США), разработавшая пьезорезистивный датчик давления, интегрированный вместе со свечой

давления, ускорения, МК, АЦП и средствами беспроводной коммуникации (ВЧ-трансмиссером и НЧ-ресивером).

Такое решение позволяет снизить цену, ускорить сроки разработки, допускает высокий уровень интеграции и миниатюризации. С его помощью можно осуществлять признаки добавленной функциональности, включая обнаружение движения шины, определение низкой скорости и автообучение. Рекомендуется использовать это решение в батарейных и безбатарейных системах.

Со стороны поставщиков для потребителей и OEM-производителей также предлагаются решения, позволяющие облегчить эксплуатацию TPMS в связи с необходимостью замены датчиков. Так, компания Huf Beru представила колесный датчик TPMS IntelliSens – инновационное решение, подходящее практически для всех автомобилей (рисунок 10 в).

зажигания Beru (рисунок 11). Эти датчики были впервые выпущены в 2007 году, и с того времени их было продано более миллиона единиц: для автомобилей Volkswagen Jetta и Golf в США и Passat в Европе.

Компания Daimler также начала использовать CPS Sensata во всех дизельных моделях. Ожидается, что в этот сегмент вскоре войдет Bosch, а японский поставщик автоэлектроники Denso уже имеет систему, в которой датчики давления интегрированы непосредственно в топливные инжекторы.

Корпорация DENSO также разработала датчик для детектирования столкновения с пешеходами – Pop-up Hood (рисунок 12) [7]. Он предназначен для снижения травм пешеходов при головных столкновениях (в зоне столкновения пешехода с автомобильным капотом).



Между капотом и «железными» компонентами под ним (включая двигатель) создается большее буферное пространство. В predetermined скоростном диапазоне при детектировании столкновения пешехода с передним бампером датчик посылает информацию в электронный блок контроля: в момент столкновения над капотом разворачивается подушка безопасности и капот поднимается.

В обычной системе Pop-up Hood вдоль переднего бампера устанавливается несколько датчиков ускорения. Но детектирование посредством датчиков ускорения различается в зависимости от того, в какой части переднего бампера происходит столкновение с пешеходом.

DENSO сообщает, что новый датчик более точно детектирует головные столкновения между автомобилями и пешеходами и допускает возможность более точной работы функции Pop-up Hood.

Новый датчик DENSO состоит из двух датчиков давления и полого корпуса из полиэтилена, который устанавливается вдоль переднего бампера и подгоняют под внутреннюю форму бампера. При головном столкновении пешехода с автомобилем датчики давления точно детектируют повышение внутреннего давления полого корпуса, когда бампер деформируется, и детектирование происходит независимо от места столкновения пешехода с бампером. Этот датчик впервые был установлен в систему Pop-up Hood автомобиля Toyota Crown Hybrid, выпущенного в Японии.

Автомобильная функциональная безопасность – ключевая задача автопроизводителей

ISO 26262, изданный в 2011 году стандарт глобального масштаба, разработан в связи с растущими потребностями автомобильной промышленности в сфере функциональной безопасности электрических и/или электронных (Electrical/Electronic, E/E) систем транспортных средств с разрешенной максимальной массой до 3,5 т [8].

Безопасность – один из ключевых вопросов автомобильного инжиниринга. Он стал еще более актуальным из-за интеграции систем помощи водителю, контроля автомобильной динамики и других передовых активных и пассивных систем безопасности. Вследствие повышения сложности аппаратных средств, программного обеспечения E/E систем, включая их взаимовлияние, и внедрения электроники увеличились риски систематических и случайных аппаратнопрограммных системных сбоев, последствия которых могут быть фатальными.

Современные электронно-управляемые ТС, включающие множество новых функций, «ассистенты» водителя, электронные интерфейсы и инструменты, все более нуждаются в выявлении потенциальных рисков сбоев на аппаратном или программном уровне.

С целью предотвращения и минимизации опасностей подобных сбоев ISO представила стандарт ISO 26262 «Транспорт дорожный. Функциональная безопасность». Это адаптированная редакция разработанного ранее IEC 61508 «Функциональная безопасность систем обеспечения электрической/электронной/программной безопасности» для конкретных требований пассажирских автомобилей и легковых машин общего назначения.

Подобно IEC 61508, стандарт ISO 26262 основывается на оценке и анализе рисков, при котором оценивается риск и

определяются меры безопасности для избегания или контроля систематических сбоев и обнаружения или контроля случайных сбоев, или для смягчения данных эффектов.

Главной задачей стандарта ISO 26262 является обеспечение функциональной безопасности автомобилей. В отдельных частях этого документа описаны мероприятия, которые поставщики и производители автомобилей должны предпринимать для минимизации риска того, что используемые компоненты или программные инструменты внесут ошибки в конечный продукт или не распознают эти ошибки.

Применение стандарта ISO 26262 к продуктам и процессам в автомобильной промышленности привносит конкретный вклад в повышение дорожной безопасности:

- для продуктов стандарт требует подтверждения безопасности в течение срока службы продукта;
 - стандарт требует применения определенных процессов (процедур) в системе управления безопасностью с использованием методов, основанных на рисках.
- Новый стандарт выполняет следующие функции:
- обеспечивает полный жизненный цикл безопасности автомобилей (разработка, производство, менеджмент, эксплуатация, обслуживание, вывод из эксплуатации);
 - уточняет аспекты функциональной безопасности в течение всего процесса разработки, включая спецификацию требований, конструирование, внедрение, интеграцию (ПО и электроники), верификацию (рисков через оценку и испытания), валидацию (дизайна и процессов), конфигурирование;
 - устанавливает подход к рискам для автомобильной промышленности согласно уровням безопасности эксплуатации автомобилей (Automotive Safety Integrity Level, ASIL);
 - позволяет достичь приемлемых уровней безопасности и остаточных рисков;
 - может использоваться для оценки и подтверждения достигнутых уровней безопасности.

Так что, благодаря развитию современной автомобильной сенсорной технологии и мерам по стандартизации электронного оборудования, автомобили становятся все более безопасными. Последнее означает уже не только безаварийность на дорогах, но и высокую надежность интеллектуального управления, что особенно важно для будущего полностью автоматизированного вождения.

Тем временем, на дорогах уже ездят подобные автомобили – и не только самопаркующиеся, но и полностью самоуправляемые (в тестовом режиме), что стало возможным благодаря развитию не только сенсорных, но и телематических технологий.

Подключенное вождение: сетевое взаимодействие автомобилей

с их окружением, включая внешние датчики

Будущие потребности в безопасности и топливной эффективности вынуждают конструкторов создавать интеллектуальные автомобили. Как бы ни были высоки уровни интеллектуальности и миниатюризации современных датчиков, но, к сожалению, горизонты дальности многих из них ограничены. В особенности это касается датчиков автомобильных систем безопасности и помощи водителю на уровне одного автомобиля. Так, ни камера, ни радар не могут заблаговременно предоставить информацию о ТС, выезжающем на перекресток из-за угла жилого дома, водитель которого также не видит перекрестный поток [9].



Рисунок 13 – Разработка исследовательской инициативы Cooperative Vehicle Safety (Co-FAS) с участием компании BMW в 2013 году: кооперативная безопасность для пешеходов, водителей и мотоциклистов

Поэтому один ключ к повышению интеллектуальности автомобиля – это увеличение числа датчиков в автомобиле и расширение диапазона их дальности, а другой – подключение автомобилей и датчиков к внешним информационным сетям.

В настоящее время компания BMW участвует в различных исследовательских проектах. Недавно были опубликованы результаты исследовательской инициативы Cooperative Vehicle Safety (Co-FAS) с участием компании BMW в 2013 году (рисунок 13).

Телематические коммуникационные платформы Car-to-Car и Car-to-X способны намного расширить сенсорные горизонты транспортных средств, в группу которых входят автомобили и мотоциклы. Коммуникация Car-to-X – наиболее широкое понятие, объединяющее сетевую электронную коммуникацию ТС с дорожной инфраструктурой, под которой понимаются светофоры, интеллектуальные парковки и остановки маршрутных транспортных средств, а также любые другие дорожные объекты помимо ТС.

Компания BMW продемонстрировала возможность соединяемости автомобилей для систем развлечений еще в 1990-х годах посредством BMW ConnectedDrive, а в дальнейшем стала активно работать над тем, чтобы обеспечить водителя большим объемом информации о пути в виде данных системы предупреждений об опасности, о предстоящей смене сигнала светофора или аварии, случившейся на пути следования по маршруту.

Речь идет не только о безопасности, но и об эффективности. Например, заблаговременно предоставленная информация о предстоящей смене сигнала светофора способствует изменению стиля вождения водителя, экономии топлива и уменьшению эмиссии. При объединении существующих технологий автомобильных датчиков и новых технологий коммуникации Car-to-X компания BMW стремится создать макросистему, повышающую безопасность и эффективность на всем пути автомобиля.

BMW разрабатывает коммуникационную платформу не только для автомобилистов, но и для мотоциклистов. BMW Motorrad ConnectedRide представляет собой систему, в основе которой лежит активная защита мотоциклистов, более уязвимых на дороге, чем автомобилисты, в сложных дорожных условиях (туман, скользкая дорога, сильные осадки), ввиду узкого силуэта, упускаемого из виду людьми и датчиками, отсутствия достаточной пассивной защиты, такой как кузов автомобиля или подушки безопасности. В плане коммуникации Car-to-X BMW Motorrad ConnectedRide эквивалентна BMW ConnectedDrive, но автомобили чаще будут играть роль источников большого количества опорной информации, предупреждений, к которым относится активация противотуманных фар или высокой частоты работы стеклоочистителей, вмешательство системы динамической стабилизации в нормальных условиях. Эта информация может поставляться и мотоциклистам.

Автомобильные телекоммуникационные платформы предназначены для работы в реальном времени и используют подходящие для этого подключения WLAN (согласно стандарту WLAN IEEE802.11p/G5A) или мобильного телефона. Протокол WLAN допускает эффективную одновременную коммуникацию большого числа участников без латентности, а сотовые телефоны рассматривались как дополнение к нему.

Впрочем, высокая степень распространенности смартфонов среди автомобилистов указывает на высокую вероятность их подключения в мобильную сеть согласно облачной модели Car-to-Cloud. Аналитики ожидают, что в 2025 году каждый вновь проданный автомобиль в мире будет обладать способностями сетевого соединения. Преимущества облачного подключения автомобилей включают возможность обмена информацией в реальном времени, избегания опасностей и пробок, оптимально планировать маршрут, осуществлять расширенный набор сервисных возможностей – от доступа к информационному полю станций ТО до чрезвычайной помощи.

Для осуществления этих передовых идей необходима только соответствующая инфраструктура и оснащенность всех ТС на дороге датчиками и средствами коммуникации типа смартфонов, а также оптимизация человеко-машинного взаимодействия [10–11].



Рисунок 14 – Временные горизонты для концепций частично, высоко- и полностью автоматизированного вождения, разрабатываемых в 2013 году Continental совместно с BMW

Автоматизированное вождение – следующий шаг в эволюции систем помощи водителю и сетевых коммуникационных платформ

Автономное вождение призвано не только облегчить жизнь водителя и позволить ему во время поездки отвлекаться на другие дела. Идея автономности означает также 100%-ную безопасность или нулевое число аварий вследствие минимизации рисков из-за человеческого фактора и, конечно, максимальную топливную эффективность.

Автоматизированное вождение является ближайшей целью лидирующих автопроизводителей и представляет собой новый эволюционный этап в развитии систем помощи водителю – в частности, согласно концепции, разрабатываемой в 2013 году Continental совместно с BMW (рисунок 14) [12]. А в 1999 году в сотрудничестве с Mercedes-Benz компания Continental реализовала свой первый проект ADAS, а вслед за ним – еще около ста с другими автопроизводителями. С 2016 года системы помощи водителю смогут частично автоматизировать вождение в ситуациях stop&go на низкой скорости (до 30 км/ч).

Высокоавтоматизированное вождение позволит водителям на скорости свыше 30 км/ч до 130 км/ч совмещать поездку с такими делами, как, например, чтение новостей online. Новые уровни автоматизации сохранят за водителями возможность взять в свои руки контроль над ТС в любое время. Но при достижении технологической возможности для полного автоматизированного вождения в 2025 году водительский контроль может быть совершенно ненужным. Согласно планам Continental, полностью автоматизированное ТС сможет обеспечивать полный и независимый контроль вождения на автострате при скорости до 130 км/ч. Впрочем, специалисты Continental находят, что в 2025 году полностью автоматизированные системы будут все еще ограничены в движении по автострате. Например, по достижении желаемого выезда водитель все же обязан будет взять контроль в свои руки, в противном случае автомобиль будет осуществлять торможение и остановку.

Со своей стороны, компания Mercedes-Benz заявила о намерении приблизить эпоху полностью автоматизированного вождения уже к 2020 году.

Ключевая роль в обеспечении технических возможностей автомобилей будущего отводится следующим технологиям датчиков, рассмотренным в этой статье, – камерам, радарам, МЭМС-датчикам (ESC, датчикам давления) и мультисенсорным узлам, технологиям слияния данных от различных датчиков и обеспечения их функциональной безопасности, а также GPS и телематическим технологиям, обеспечивающим подключение сенсорной информации извне.

По аналогии с TPMS, ESC и задними камерами, законодательные акты в отношении автономных ТС и ИТС (интеллектуальных транспортных систем) призваны сыграть большую роль в дальнейшем распространении и развитии технологий датчиков в автомобиле. Тем не менее автопроизводители в сотрудничестве с производителями автоэлектроники работают опережающими темпами над созданием интеллектуального автомобильного будущего, синонимом которого по-прежнему остаются датчики.

Литература:

1. www.innovationsinsightmag.com
2. Сысоева, С.С. Автомобильные системы безопасности и помощи водителю (ADAS) на основе камер. «Третий глаз»

от Mobileye [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.innovationsinsightmag.com/articles/avtomobilnye-sistemy-bezopasnosti-ipomoshchi-voditelyu-adas-na-osnove-kamer-tretyi-glaz-ot>.

3. Сысоева, С.С. Автомобильные MEMS датчики для систем ESC (ESP), TPMS и контроля непосредственного впрыска. Ключевые технологии – комбидатчики инерции, датчики давления, мультисенсорные узлы и беспроводные сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.innovationsinsightmag.com/articles/avtomobilnyememsdatchiki-dlya-sistem-esc-esp-tpms-i-kontrolya-neposredstvennogovpryska>.

4. Сысоева, С.С. Интеллектуальные автомобильные ассистенты и датчики. Функций – больше, «железа» – меньше / С.С. Сысоева // Компоненты и технологии. 2012. – № 1.

5. Сысоева, С.С. Bosch – поставщик MEMS-датчиков для автомобильных систем № 1 в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.innovationsinsightmag.com/articles/boschpostavshchik-mems-datchikov-dlya-avtomobilnyh-sistem-no1-v-mire>.

6. Сысоева, С.С. Датчики. Актуальные технологии и применения датчиков систем автомобильной безопасности / С.С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2007. – № 8. – Ч. 8: Батарейные датчики систем TPMS. Эволюция к высокоинтегрированным решениям.

7. <http://www.innovationsinsightmag.com/news/denso-corporationrazrabotala-pop-hood-datchik-dlya-detektirovaniya-stolknoveniyas-peshehodami>.

8. Сысоева, С.С. Новые перспективы автомобильной функциональной безопасности. Стандарт ISO 26262, уровни ASIL и дизайн SoC / С.С. Сысоева // Innovations Insight Magazine. – 2013. – № 1.

9. Сысоева, С.С. Car-to-X. Коммуникационная платформа будущего от BMW [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.innovationsinsightmag.com/articles/car-x-kommunikacionnayaplatformabudushchego-ot-bmw>.

10. Сысоева, С.С. Полупроводниковое освещение в основе новой парадигмы пользовательского интерфейса / С.С. Сысоева // Полупроводниковая светотехника. – 2013. – № 5.

11. <http://www.innovationsinsightmag.com/news/melexis-vypustila-semeystvoproduktovdlya-avtomobilnyh-opticheskikh-sistem-detektirovaniya>.

12. <http://www.innovationsinsightmag.com/news/continent-alavtomatizirovanoevozhdenie-stanet-takim-zhe-standartnym-kak-abs-i-esc>.



поставка электронных компонентов
контрактное производство

тел.: +375 17 290 0082
факс: +375 17 290 0084
e-mail: info@horntrade.net

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ И СРЕДСТВА ИХ ОЦЕНКИ, ПРОИЗВОДИМЫЕ ANALOG DEVICES, INC.

В. Голуб, канд. техн. наук, Научно-производственная фирма VD MAIS,
e-mail: V.Golub@vdmαιs.kiev.ua

Analog Devices является одной из ведущих компаний по разработке и производству как микроэлектронных датчиков, так и содержащих, наряду с микроэлектронными, и микромеханические устройства. К первым относятся, например, полупроводниковые датчики температуры, в которых используются свойства электронно-дырочного перехода, к последним – инерциальные датчики, измеряющие линейные ускорения (акселерометры и инклинометры) и угловые скорости (виброгироскопические датчики). Основой для микромеханических устройств является iMEMS® (integrated Micro Electro Mechanical System) Motion Signal Processing Technology – технология Analog Devices. Продукция компании неоднократно отмечалась на международных выставках. Так, например, датчику ADIS16223 был присужден приз «Best of Sensors Expo» журнала «Sensors», а датчику ADXL345, рассматриваемому ниже, – «Golden Mousetrap Award for Best Product» журнала «Design News».

Предлагаемая вниманию читателей статья является развитием прежних публикаций [1–5], которые также могут быть использованы в качестве дополнительных источников информации. В них описаны принципы построения, а также ИМС и модули датчиков, ранее разработанных и, в большинстве своем, выпускаемых в настоящее время. В [1] подробно рассмотрены явления инерции и тяготения – в сравнении с их аналогами в электротехнике. В публикуемой статье использованы материалы Analog Devices [6–28]. На рисунке 1 дана классификация датчиков и их оценочных средств, рассматриваемых ниже.

Датчики серии ADXLxxx (акселерометры и инклинометры)

Первыми среди инерциальных датчиков компании Analog Devices были микросхемы (ИМС) серии ADXLxxx – аналоговые акселерометры и инклинометры. Акселерометры предназначены для измерения ускорения движения. Ускорение является результатом приложения внешних («движущих») сил, приводящих к перемещению объекта с изменяющейся скоростью (по величине или по направлению) или вызывающих удары или вибрации как при эксплуатации объекта, так и при его испытаниях. Ускорение движения определяется не непосредственно, а путем измерения ускорения инерции, на которое реагирует датчик ускорений (акселерометр), находящийся в составе системы. Ускорение движения равно ускорению инерции с обратным знаком.

Ускорение инерции по воздействию аналогично ускорению тяготения (гравитации). В результате акселерометр в равной степени реагирует как на ускорение тяготения, так и на ускорение инерции. Вектор ускорения тяготения направлен вертикально вниз по направлению к центру Земли, что дает возможность измерять наклоны объекта, на котором установлен датчик. Его показания пропорциональны ускорению тяготения, умноженному на синус угла наклона. Акселерометр в данном случае называют инклинометром.

Здесь, согласно [1], следует обратить внимание на следующее. На чувствительный элемент датчика, имеющего массу, одинаково действуют как сила инерции, так и сила тяготения. В этом проявляется закон эквивалентности, сформулированный Эйнштейном. Однако иногда считают, что силы инерции, в отличие от сил тяготения, являются фиктивными и что в действительности они не существуют. Но что же происходит на самом деле? Согласно второму закону Ньютона ускорение движения физического тела обусловлено приложением к нему движущих сил, в состав которых возникающая сила инерции не входит (иначе не было бы ускоренного движения). А возникает она согласно третьему закону Ньютона и является реакцией по отношению к указан-

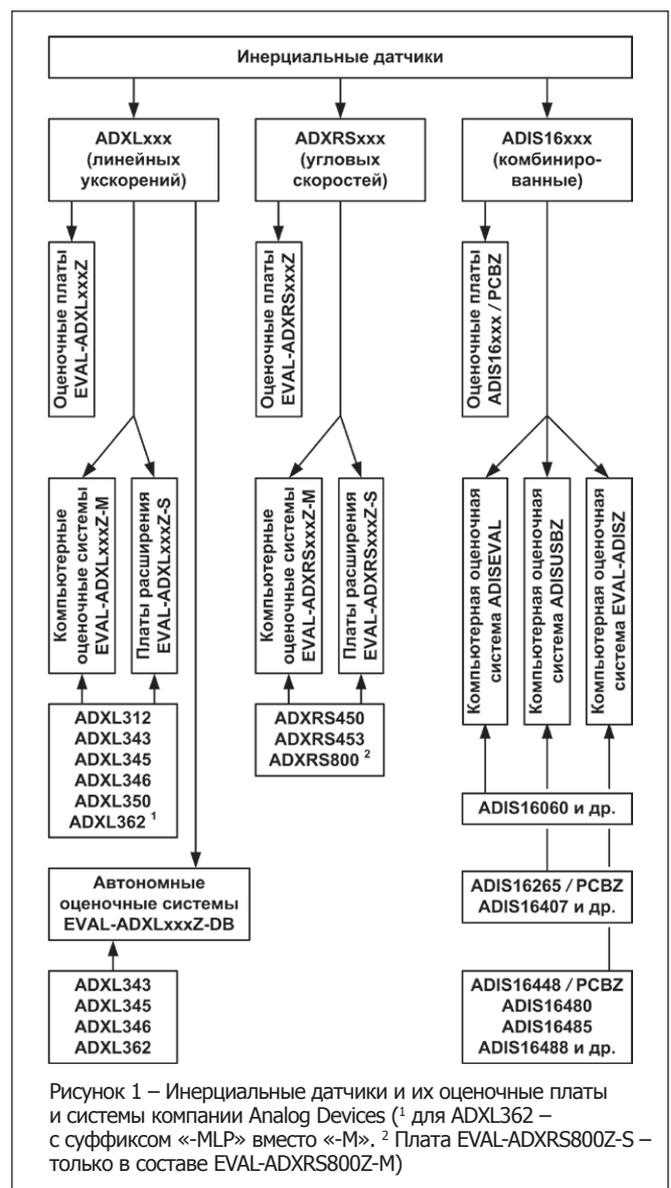


Рисунок 1 – Инерциальные датчики и их оценочные платы и системы компании Analog Devices (¹ для ADXL362 – с суффиксом «-MLP» вместо «-M». ² Плата EVAL-ADXRSt800Z-S – только в составе EVAL-ADXRSt800Z-M)

Таблица 1 – Новые ИМС серии ADXLxxx

Параметры		ИМС (новые – жирным шрифтом)					
		ADXL343	ADXL345 ¹	ADXL346	ADXL350	ADXL362	ADXL377
Тип датчика		Акселерометр					
Количество осей		3 (X, Y, Z)					
Вид воздействия	движение	+					
	вибрация	В диапазоне частот измеряемых ускорений					
	удары	+					
	тяготение	+					
Диапазон частот, Гц	X, Y	1600		1200	200	1600	
	Z					1200	
Выход	вид сигнала	цифровой					аналоговый
	отсчеты, Гц	3200		2400	400	–	
Разрешение, бит		10/11/12/13 ²		13	12	–	
Диапазон измеряемых величин, g	±1	–		+	–	–	
	±2	+					
	±4	+					
	±8	+					
	±16	+			–		
±200	–					+	
Самотестирование		+					
Наличие FIFO		+					
Тип интерфейса	SPI	+					
	I ² C	+				–	
Диапазон напряжения питания, В		2...3,6		1,7...2,75	2...3,6	1,6...3,5	1,8...3,6
Ток потребления, мкА		140		166	1,8 ³	300	
Ток в «спящем» режиме, мкА		0,1		0,2	0,1	0,01	–
Диапазон температур, °С	рабочих	40...+85					
	хранения	40...+105			50...+150		65...+150
Прочность изоляции, В		–			2000	–	
Ударная прочность, g		10 000			5000	10 000	
Корпус	тип	LGA (CC-14-1)		LGA (CC-16-3)	LGA_CAV (CE-16-3)	LGA (CC-16-4)	LFCSP_LQ (CP-16-28)
	число выводов	14		16			
	размеры (X, Y, Z), мм	5,0x3,0x1,0		3,1x3,1x1,0	3,1x4,1x1,3	3,1x3,3x1,14	3,1x3,1x1,5
Масса, мг		30		18		–	
Суффикс в обозначении		BCCZ		ACCZ	BCEZ	BCCZ	BCPZ
Оценочные платы, системы		См. табл. 4					
Data Sheet		Rev. 0, 4/12	Rev. C, 5/11	Rev. B, 5/11	Rev. 0, 9/12	Rev. A, 9/12	Rev. 0, 9/12

¹ Наряду с датчиком ADXL345 выпускается его «расширенный» вариант – ADXL345-EP (Rev. 0, 12/11). Диапазон его рабочих температур – от -55 до +105 °С, хранения – от -65 до +150 °С. Обозначение датчика (с суффиксом) – ADXL345TCCZ-EP.

² В зависимости от диапазона измеряемых ускорений 2/4/8/16 g соответственно.

³ В маломощных режимах 3,3 и 13 мкА.

ным движущим силам. В то же время, сила инерции является движущей в другой, как принято считать, системе координат и, соответственно, воздействует на чувствительный элемент датчика подобно силе тяготения. И никакой фиктивности здесь нет. Иначе датчик не выполнял бы своих функций. Силы тяготения и инерции однотипны – по аналогии с ЭДС индукции и самоиндукции в электротехнике [1].

Вернемся к рассмотрению датчиков. Датчики серии ADXLxxx не только выпускаются, но и совершенствуются, причем некоторые из новых датчиков являются цифровыми. Новыми, разработанными в последнее время, являются ИМС ADXL343, ADXL350, ADXL362 (цифровые) и ADXL377 (аналоговый) – трехосевые акселерометры, а также ADXL345-

EP (цифровой) – вариант ранее разработанного датчика ADXL345, отличающийся более широким диапазоном рабочих температур (EP – Extended Performance). Указанные датчики предназначены для измерения как динамических (ускоренное движение, вибрация, удары), так и статических ускорений. Динамические ускорения обусловлены явлением инерции, а статические, в основном, – явлением гравитации (тяготения).

Датчики ADXL343 и ADXL350 являются развитием датчиков ADXL312, ADXL345 и ADXL346. Датчик ADXL362 отличается весьма высокой экономичностью (за счет изменения некоторых параметров), а датчик ADXL377 предназначен для измерения больших ускорений. Параметры новых датчиков, а также ADXL345 и ADXL346 приведены в таблице 1.

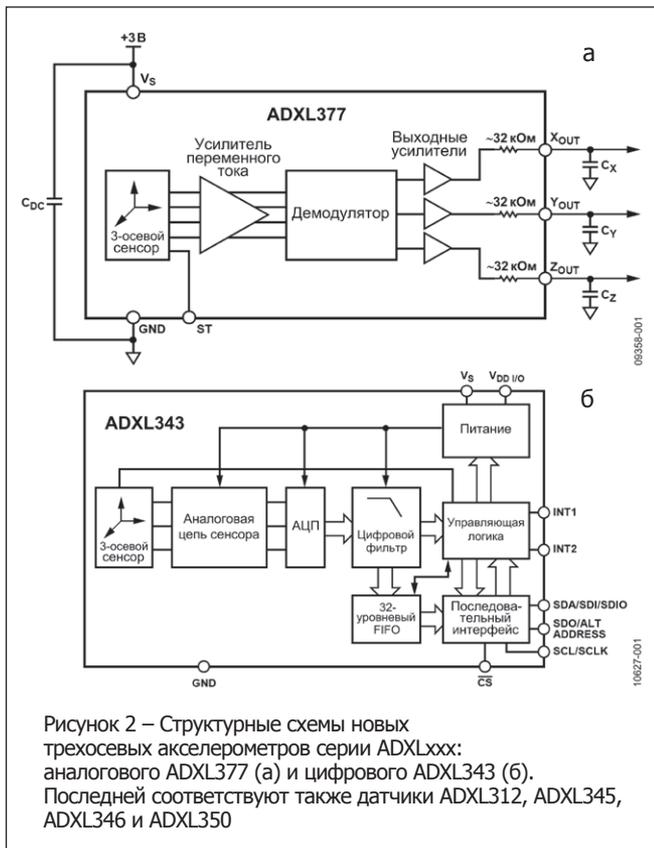


Рисунок 2 – Структурные схемы новых трехосевых акселерометров серии ADXLxxx: аналогового ADXL377 (а) и цифрового ADXL343 (б). Последней соответствуют также датчики ADXL312, ADXL345, ADXL346 и ADXL350

Существует еще один новый датчик – ADXL950, предназначенный для автомобильной техники. Его Data Sheet не публикуется, но подробные технические данные могут быть получены непосредственно от производителя. Датчик – одноосевой, измеряемые ускорения – в диапазоне ±70 g (статические и динамические, с частотой от 0 до 400 Гц), напряжение питания – от 3,3 до 5 В при токе потребления 2,5 мА.

Трехосевой датчик ADXL362 – с существенно пониженным потреблением. Напряжение питания – от 1,6 до 3,5 В и при токах потребления в обычном и маломощных рабочих режимах – 1,8, 3,3 и 13 мкА, а в ждущем и «спящем» режимах – 0,27 и 0,01 мкА, соответственно.

Трехосевые датчики ADXL343, ADXL350 и ADXL362 предназначены для измерения ускорений по каждой из осей, X, Y и Z – в диапазонах (±2, ±4, ±8, ±16), (±1, ±2, ±4, ±8) и (±2, ±4, ±8) g, соответственно, а датчик ADXL377 – в диапазоне до ±200 g. Диапазоны температур датчика ADXL345-EP: рабочих – от -55 до +105 °С, хранения – от -65 до +150 °С.

На рисунке 2 приведены структурные схемы датчиков ADXL343 и ADXL377. Схеме ADXL343 соответствуют также датчики ADXL312, ADXL345, ADXL346 и ADXL350. На рисунке 3 показан пример измерения ускорения земного тяготения датчиком ADXL377 (аналогично измеряется и другими датчиками) – в зависимости от его ориентации относительно Земли. Напомним, что знак показаний датчиков обусловлен направлением ускорения тяготения, а обратный – ускорения движения.

Корпуса датчиков – малогабаритные типов: LGA – (Land Grid Array) для ADXL343, ADXL345, ADXL346 и ADXL362; LGA_CAV (Chip Array, Small Outline, No Lead Cavity) – для

ADXL350; LFCSP_LQ – для ADXL377. Число выводов и размеры корпусов приведены в таблице 1.

Оценка возможностей датчиков потребителем может осуществляться с использованием оценочных плат и систем, показанных на рисунке 1 и рассмотренных ниже.

Датчики серии ADXR5xxx (гироскопы)

Следующая серия инерциальных ИМС компании Analog Devices – ADXR5xxx (гироскопы), виброгироскопические датчики которой предназначены для измерения угловых скоростей. Действие датчиков основывается на положениях теоретической механики, в частности – теоремы Кориолиса. Если сердечнику, имеющему физическую массу, сообщить механическое движение с линейной скоростью в плоскости, перпендикулярной оси вращения, на него перпендикулярно векторам обеих скоростей, линейной и вращения, в направлении, обратном направлению вращения, будет действовать сила инерции, именуемая силой Кориолиса. В рассматриваемых датчиках механическим движением, сообщаемым сердечнику, является вибрационное (колебательное) движение. Отсюда и название – виброгироскопические датчики.

Сила Кориолиса, действующая на сердечник, имеющий массу, пропорциональна угловой скорости, которая подлежит измерению. Она, как и сила инерции в акселерометре, смещает его, преодолевая противодействие упругих элементов. Измеряемое смещение сердечника зависит от искомой угловой скорости. В то же время датчик угловых скоростей не реагирует на ускорения, которые может измерять акселерометр (инклинометр),

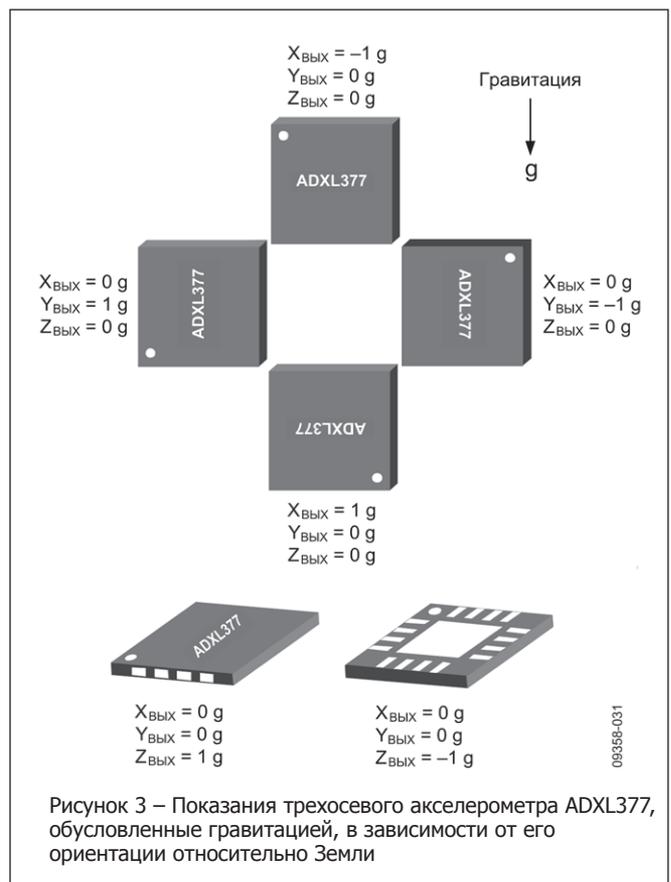
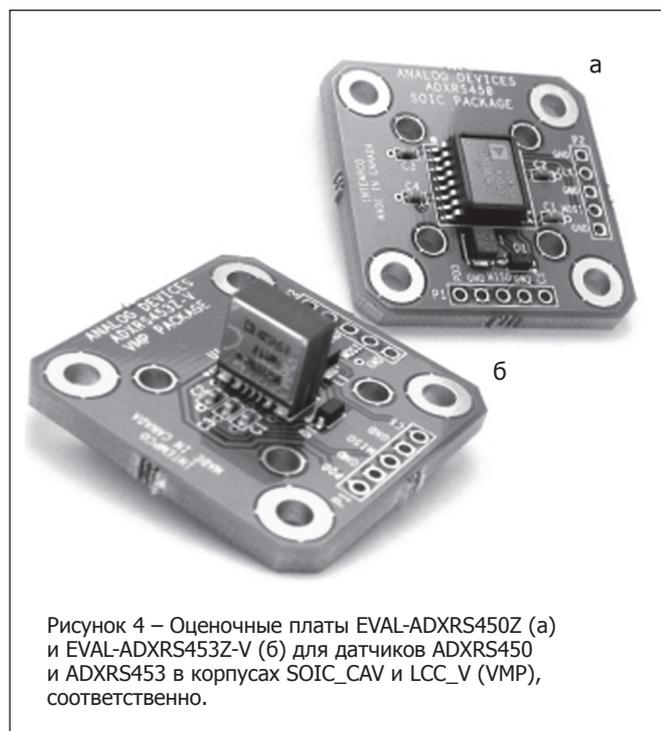


Рисунок 3 – Показания трехосевого акселерометра ADXL377, обусловленные гравитацией, в зависимости от его ориентации относительно Земли

так как содержит две секции, имеющие противофазное возбуждение электрических цепей и дифференциальный съём выходного сигнала. Производится суммирование (удвоение) напряжений, пропорциональных силе Кориолиса, и компенсация напряжений, пропорциональных линейным ускорениям.

Датчики угловых скоростей, как и датчики ускорений, являются инерциальными и используются в автономных навигационных и стабилизирующих системах. Если интегрирование показаний датчиков ускорений обеспечивает измерение расстояний (при компенсации данных ускорения тяготения), то интегрирование показаний датчиков угловых скоростей – определение углов поворота и, соответственно, изменения направления движения. В результате можно определять местонахождение объекта, на котором установлены датчики обоих видов.

Датчики ADXRSxxx, как и датчики предыдущей серии, также выпускаются и совершенствуются. Новыми из них, рассмотренными в [4, 5], являются одноосевые ADXRS450, ADXRS453 (цифровые) и ADXRS652 (аналоговый), с диапазонами измеряемых скоростей ± 300 °/с (первые два) и ± 250 °/с. Каждый из датчиков ADXRS450 и ADXRS453 имеет две разновидности, отличающиеся корпусами. Одна из разновидностей – в корпусе типа SOIC_CAV (Small Outline, Plastic Cavity Package), другая – в керамическом корпусе нового типа LCC_V (Ceramic Leadless Chip Carrier, Vertical Form), называемом также VMP (Vertical Mount Package). Последний благодаря своей конструкции обеспечивает возможность вертикального монтажа датчика на печатной плате. В AN-1073 [12] дается описание как вертикального, так и горизонтального монтажа датчиков в подобном корпусе, а на рисунке 4 показана установка датчиков (в обоих указанных корпусах) на печатных платах. В данном случае, это оценочные платы, рассмотренные ниже.



Более новыми являются аналоговые одноосевые датчики ADXRS642 и ADXRS646, предназначенные, как и ADXRS652, для измерения угловых скоростей в диапазоне ± 250 °/с, и ADXRS649 – для измерения в более широком диапазоне, до $\pm 20\,000$ °/с.

Самыми новыми являются цифровые одноосевые датчики ADXRS800 и ADXRS810, предназначенные для автомобильной техники. Диапазон измеряемых ими угловых скоростей – в пределах ± 300 °/с. АЦП датчиков – с разрядностью 12 бит, интерфейс – 4-проводный SPI, напряжение питания – от 3,15 до 5,25 В, диапазон рабочих температур – от -40 до +105 °С, хранения – до +150 °С.

Корпуса датчиков: для ADXRS800, как и для ADXRS450 и ADXRS453, – двух типов: SOIC_CAV с 16 выводами и новый керамический (VMP) с 14 выводами; для ADXRS810 – одного типа – SOIC_CAV. Монтаж обоих датчиков в корпусе SOIC_CAV (при горизонтальном расположении печатной платы) обеспечивает измерение рыскания (yaw) объекта, а датчика ADXRS800 в керамическом корпусе (в зависимости от ориентировки датчика – вдоль или поперек по отношению к продольной оси объекта), – измерение продольного (pitch) и поперечного (roll) кренов.

Данные новых датчиков серии ADXRSxxx, в том числе датчиков ADXRS800 и ADXRS810, приведены в таблице 2, а их оценочные платы и системы показаны на рисунке 1 и также рассмотрены ниже.

Датчики серии ADIS16xxx (многофункциональные)

Первые датчики двух предыдущих серий, ADXLxxx и ADXRSxxx, были аналоговыми. Новые датчики этих серий могут быть аналоговыми или цифровыми. Датчики серии ADIS16xxx – цифровые (с цифровым управлением и выходом).

Первыми из датчиков серии ADIS16xxx были ИМС простейших акселерометров, инклинометров и датчиков угловых скоростей. Серия датчиков ADIS16xxx, как и датчиков предыдущих серий, получила развитие и в последнее время пополняется многофункциональными инерциальными датчиками, выполненными в виде модулей типа IMU (Inertial Measurement Unit). Датчики содержат, в большинстве своем, как трехосевый акселерометр, так и трехосевой гироскоп (примером являются датчики ADIS16334, ADIS16375 и ADIS16385), а также, дополнительно, – трехосевый магнитометр (в датчиках ADIS16400, ADIS16405) и, кроме того, в самых последних – датчик давления (барометр). Наряду со сложными датчиками выпускаются и более простые, среди которых можно назвать ADIS16133, ADIS16135 (одноосевые гироскопы), ADIS16210 (трехосевый акселерометр, он же – инклинометр), ADIS16223, ADIS16227, ADIS16228 (трехосевые акселерометры) и ADIS16305 (трехосевый акселерометр с одноосевым гироскопом).

Новым датчиком типа IMU является ADIS16407, а самыми новыми – ADIS16445, ADIS16448 (ADIS1644x) и ADIS16480, ADIS16485, ADIS16488 (ADIS1648x). Указанные датчики, кроме ADIS16445 и ADIS16485, содержат трехосевые (трехканальные) акселерометр, гироскоп и магнитометр, а также барометр (одноканальный), всего – десять каналов. Их называют датчиками с десятью степенями свободы (Ten Degrees of Freedom Inertial Sensor). Датчики ADIS16445 и ADIS16485 – более простые, в них отсутствуют магнитометр и барометр.

Таблица 2 – Новые ИМС серии ADXRSxxx

Параметры	ИМС						
	ADXRS642	ADXRS646	ADXRS649	ADXRS652	ADXRS800	ADXRS810	
Тип датчика	Виброгироскопический (измерение угловых скоростей)						
Число осей	1						
Диапазон измерений, номинальное значение, °/с	300		20 000		300		
Полоса частот, Гц	2000	1000	2000	0,01 / 2500 ¹	– ²	77,5	
Вид сигнала	Аналоговый				Цифровой		
Разрешение, бит	–				16		
Самотестирование	+						
Тип интерфейса	–				SPI		
Напряжение питания, В	4,75...5,25	5,75...6,25	4,75...5,25		3,15...5,25		
Ток потребления, мА	4,5	4	3,5	4,5	– ²	10	
Диапазон температур, °С	рабочих	–40...+105					
	хранения	–65...+150				– ²	–40...+150
Ударная прочность, g	3000	10000		2000			
Корпус	тип	CBGA (BG-32-3)			SOIC_CAV		
	число выводов	32			VMP	–	
					16	–	
	размеры, мм	7,05x7,05x3,8			14	–	
			10,42x10,3x3,73	– ²	–		
Суффикс в обозначении	BBGZ			WBRGZ			
				WBEEZ	–		
Оценочные платы, системы	См. табл. 4						
Data Sheet	Rev. 0, 4/11	Rev. 0, 9/11	Rev. A, 3/11	Rev. A, 7/10	Rev. SpB, 8/11	Rev. 0, 10/12	

¹ Верхние значения, зависящие от емкости подключенного внешнего конденсатора.

² Уточняется.

Отметим, что инерциальными являются те датчики, действие которых связано с явлениями инерции, а также тяготения (гравитации), описываемыми законами механики и обусловленными линейными ускорениями и угловыми скоростями. Магнитометр и барометр не являются инерциальными датчиками, но они входят в общий состав модулей типа IMU, так как используются совместно с инерциальными

датчиками в системах инерциальной навигации. Акселерометр (инклинометр), гироскоп и магнитометр – векторные датчики (в связи с чем они, в большинстве случаев, трехосевые), а барометр – скалярный.

Структурная схема одного из новых датчиков, ADIS16480, приведена на рисунке 5. Слева показаны чувствительные элементы, входящие в состав датчика, а

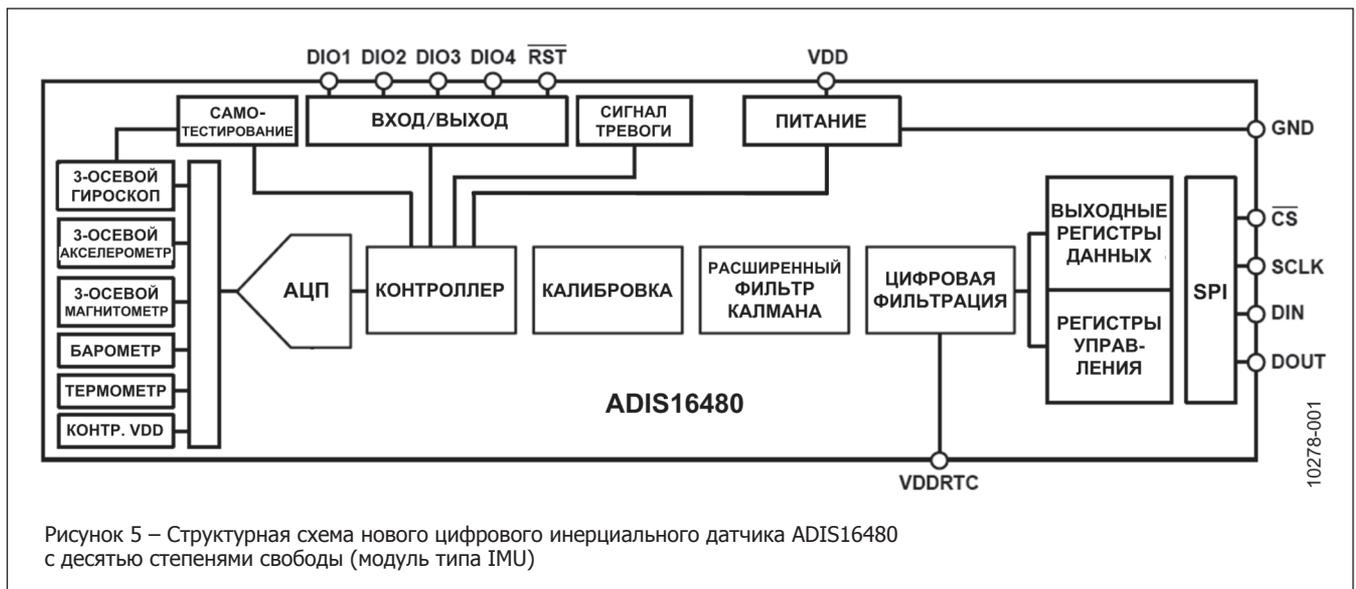
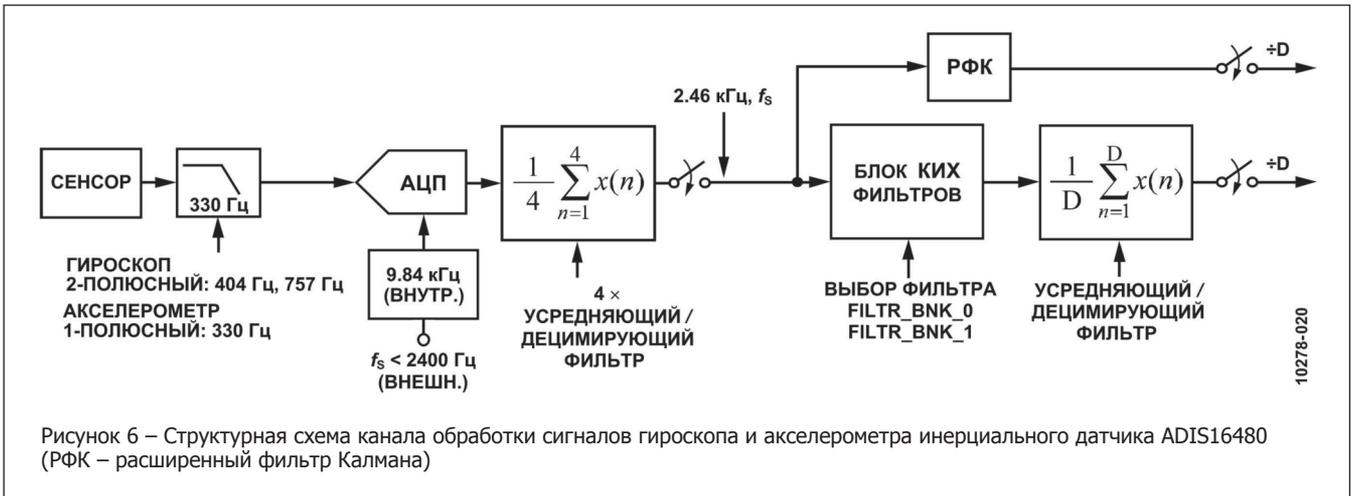


Рисунок 5 – Структурная схема нового цифрового инерциального датчика ADIS16480 с десятью степенями свободы (модуль типа IMU)



на выходе их аналоговых цепей – АЦП и процессор (последний – типа ADSP-BF512 из серии Blackfin®). В составе датчика – регистры управления и регистры данных, а также интерфейс типа SPI. Кроме того, датчик содержит цепи самокалибровки, измерения температуры и напряжения питания, а также расширенный фильтр Калмана (Extended Kalman Filter), впервые примененный в составе датчиков типа IMU. Фильтр предназначен для специальной обработки сигналов при использовании датчиков в системах инерциальной навигации. Фильтр рекомендовался и ранее – для подключения извне и применения с другими датчиками подобного типа.

На рисунке 6 показана структурная схема канала обработки сигналов ускорения и угловой скорости в датчике ADIS16480. Схемы каналов датчиков ADIS16480, ADIS16485 и ADIS16488 аналогичны за исключением того, что в ADIS16480 дополнительно показан РФК – упомянутый выше фильтр Калмана.

Параметры новых датчиков приведены в таблице 3, а их корпуса показаны на рисунке 7: ML-24-2 (а), ML-20-2 (б) и ML-24-6 (в). Корпус ML-24-6 (рисунок 7 в) является более новым, он используется для датчиков ADIS16480, ADIS16485 и ADIS16488, а также для более раннего датчика ADIS16375. В корпусе ML-20-2 (рисунок 7 б) датчика ADIS16448 видно отверстие (справа), через которое он имеет связь со средой измеряемого давления. В нем может быть установлен патрубок для подключения шланга, соединяющего датчик с контролируемой средой. Для датчика ADIS16445 применен аналогичный корпус ML-20-3, но без отверстия.

Датчики двух новых групп, ADIS1644x и ADIS1648x, различаются, в основном, диапазонами измеряемых величин, диапазонами рабочих температур и типами корпусов (таблица 3).

Оценка датчиков серии ADIS16xxx, как и датчиков других серий, ADXLxxx и ADXRSxxx, осуществляется при помощи оценочных плат и систем, показанных на рисунке 1 и рассмотренных ниже.

Средства оценки датчиков

Наряду с датчиками компания Analog Devices выпускает средства их оценки, перечень которых для каждого из датчиков приводится в конце его Data Sheet в разделе

«Ordering Guide». Кроме того, сведения об указанных средствах (с информацией об их поставке) публикуются на страницах веб-сайта фирмы [7–9]. Вопросы применения датчиков и измерения их параметров рассматриваются в AN-1041, AN-1045, UG-015, UG-065, UG-154, UG-260, UG-287, UG-363 и других источниках [6–28].

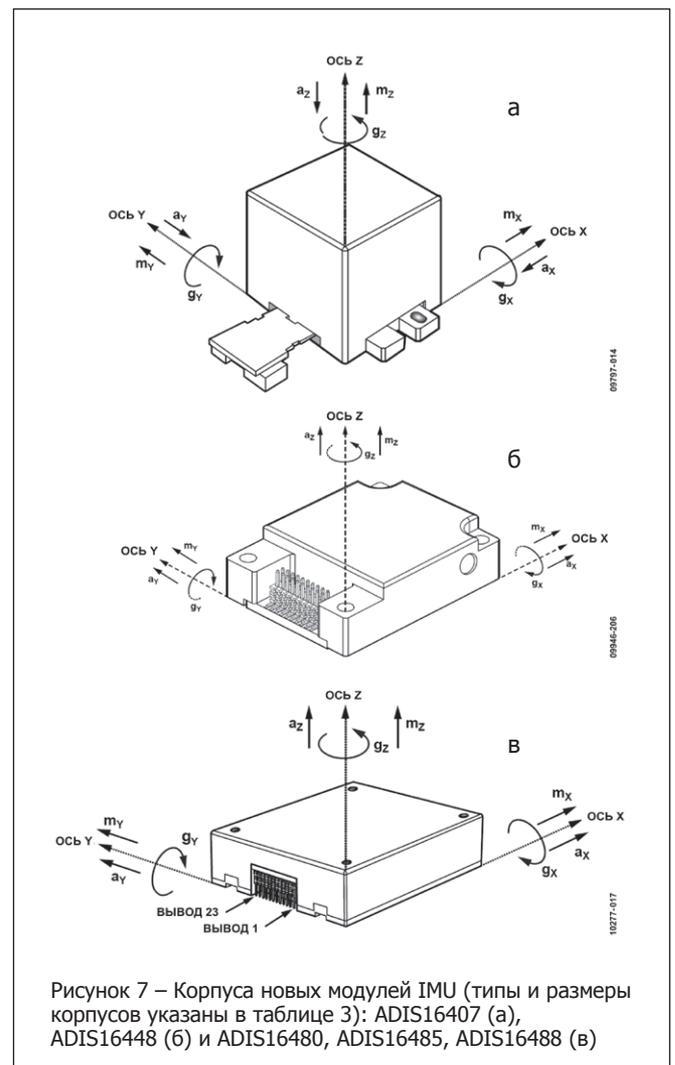


Таблица 3 – Новые модули IMU серии ADIS16xxx

Параметры	Модули IMU						
	ADIS16407	ADIS16445	ADIS16448	ADIS16480	ADIS16485	ADIS16488	
Число «степеней свободы»	10	6	10		6	10	
Измерение ускорений							
Число осей измерения	3						
Диапазон измерения, g	±18	±5	±18	±10	±5	±18	
Измерение угловых скоростей							
Число осей измерения	3						
Диапазоны измерений, °/с	±75	±62	±250	±450			
	±150	±125	±500	-			
	±300	±250	±1000	-			
Измерение магнитного поля							
Число осей измерения	3	-	3		-	3	
Диапазон измерений, Гс	±2,5	-	±1,9	±2,5	-	±2,5	
Измерение атмосферного давления							
Диапазон измерений, мбар ²	10...1200 ³	-	10...1200 ³	300...1100	-	300...1100	
Общие параметры							
Число разрядов	14					16	
Тактовая частота, МГц	0,01...2			0,01...15			
Наличие расширенного фильтра Калмана	-			+	-		
Тип интерфейса	SPI						
Напряжение питания, В	4,75...5,25	3,15...3,45		3...3,6			
Ток потребления, мА	рабочий	70	74	76	245	197	254
	спящий	1,4	-		12,2		
Диапазон температур, °С	рабочих	-40...+105		-40...+85			
	калибровки	-40...+85		-40...+70			
	хранения	-65...+125		-65...+150			
Ударная прочность, g	2000						
Предельное давление, бар	6	2			-	6	
Корпус	тип	ML-24-2	ML-20-3	ML-20-2	ML-24-6		
	число выводов	24	20		24		
	размеры (X, Y, Z), мм	23x31,9x23,5 ⁴	38,1x24,6x11,1		47,3x44,3x14,2		
Суффикс в обозначении	BMLZ	AMLZ					
Оценочные платы, системы	См. табл. 4						
Data Sheet	Rev. C, 10/11	Rev. 0, 10/12	Rev. 0, 8/12	Rev. 0, 5/12	Rev. 0, 5/12	Rev. B, 2/12	

¹ Точностные данные измерений – в Data Sheet.

² 1 мбар = 105 Па.

³ Обеспечивается конструкцией, а согласно спецификации – от 300 до 1100 мбар.

⁴ С учетом фланца и без учета отвода кабеля.

Оценочные средства для инерциальных датчиков существуют под общим названием «Inertial MEMS Evaluation Tools» [22]. К указанным средствам относятся:

- оценочные платы – Evaluation (Breakout) Boards;
- компьютерные оценочные системы, действующие в реальном масштабе времени, – Real-Time Evaluation Systems;
- автономные регистрирующие системы (платы) – Stand-Alone Datalogger / Development Boards.

Первыми из указанных средств являются простейшие монтажные (печатные) платы с установленными на них (или подключенными к ним) датчиками. На платах могут быть установлены также конденсаторы по цепям питания.

Платы обеспечивают удобство подключения датчиков для их проверки и оценки. Примером для ИМС серий ADXLxxx и

ADXRxxxx, а также для первых датчиков из серии ADIS16xxx (ADIS160xx, ADIS161xx, ADIS162xx) могут быть платы с датчиками ADXRS450 и ADXRS453, показанные на рисунке 4.

Для модулей IMU серии ADIS16xxx (ADIS163xx, ADIS164xx) оценочные платы имеют другую конструкцию. В большинстве случаев модули не располагаются на плате, а подключаются к ней либо имеющимся на модуле отводом кабеля, либо отдельным промежуточным кабелем. Но модули в новых корпусах ML-24-6 (в том числе, ADIS1648x) располагаются на плате и подключаются к ней через разъемное соединение без кабеля. В то время как механическая установка ИМС на плате производится путем пайки, модули датчиков в корпусах ML-24-6 крепятся при помощи крепежных винтов. В любом случае, датчик, а также кабель, если

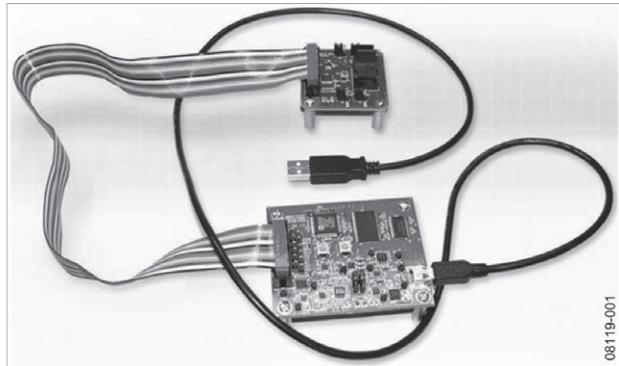
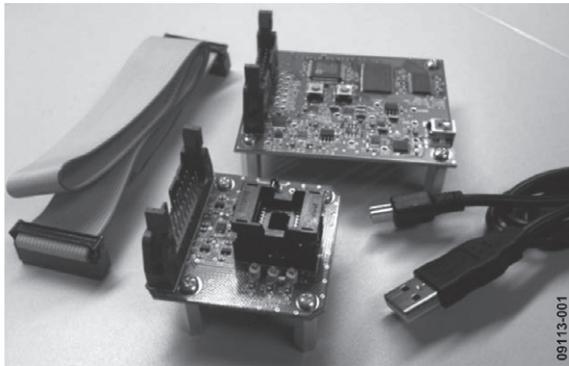


Рисунок 8 – Компьютерная оценочная система для датчиков ADXLxxx и ADXRSxxx, содержащая две платы, материнскую и расширения (последняя – с датчиком), и два кабеля, один из них – для подключения к компьютеру. Слева – система в разобранном виде

он необходим, входят в состав комплекта оценочной платы и поставляются вместе с ней.

Примерами обозначения оценочных плат (в зависимости от серии датчиков) являются: EVALADXLxxxZ, EVAL-ADXRSxxxZ и ADIS16xxx/PCBZ. Возможны, однако, отличия в обозначениях, обусловленные, например, разными типами корпусов одного и того же датчика: EVAL-ADXRS450Z-V, EVAL-ADXRS453Z-V, EVAL-ADXRSZ800Z-RG, EVAL-ADXRSZ800Z-EY.

Кроме указанных выше средств оценки имеются оценочные системы, управляемые прикладными программами (Application Software) и используемые вместе с компьютером, к которому они подключаются. Они действуют в реальном масштабе времени (real-time), то есть индикация производится одновременно с измерениями. Согласно [22] эти системы подразделяются на два вида: Inertial Sensor Evaluation System (содержащую плату ISEB – Inertial Sensor Evaluation Board) и iSensor Evaluation Tools.

Первая из указанных систем – новая, предназначена для датчиков серий ADXLxxx и ADXRSxxx последних разработок – ADXL312, ADXL343, ADXL345, ADXL346, ADXL350, ADXL362, ADXRS450, ADXRS453, ADXRS800 (рисунок 1). Система содержит две платы: ISEB, называемую также материнской (Mother board) и являющуюся универсальной, причем для датчиков обеих серий – ADXLxxx и ADXRSxxx, и плату расширения Satellite Board. В состав системы входит также датчик, который, в отличие от оценочных плат, устанавливается в контактное гнездо (Socket) на плате расширения без применения пайки и является съемным.

Комплект из указанных двух плат (с датчиком в плате расширения), а также двух кабелей, один из которых предназначен для соединения плат, а другой – для подключения к компьютеру, обозначается как EVAL-ADXLxxxZ-M или EVAL-ADXRSxxxZ-M (с суффиксом «-M», обусловленным наличием материнской платы). Исключение составляет оценочная система для одного из новых датчиков – ADXL362, снабженная своей, с небольшими отличиями, материнской платой. Система обозначается как EVAL-ADXL362Z-MLP (с суффиксом «-MLP» вместо «-M»). Надо полагать, она ляжет в основу систем EVAL-ADXLxxxZ-MLP, аналогичных EVAL-ADXLxxxZ-M, – для новых датчиков с малым потреблением (Low Power).

Указанные системы, EVAL-ADXLxxxZ-M, EVAL-ADXRSxxxZ-M и EVAL-ADXL362Z-MLP, снабжаются также дополнительными

аксессуарами – втулками с внутренней резьбой и крепежными винтами, предназначенными для установки плат на плоской поверхности.

Как уже было сказано, датчик является съемным, однако, в зависимости от типа и, соответственно, конструкции и схемы, платы расширения могут быть разными и иметь разные контактные гнезда. В то же время, одна и та же плата может быть использована для проверки нескольких однотипных датчиков. Плата расширения может поставляться отдельно без материнской платы и кабелей, но с датчиком (и соответствующими аксессуарами). В этом случае она будет обозначаться как EVAL-ADXLxxxZ-S или EVAL-ADXRSxxxZ-S, в том числе EVALADXL362Z-S (с суффиксом «-S»).

На рисунке 8 показана рассматриваемая система, содержащая обе платы с кабелями. Система показана в двух видах – разобранном (слева) и собранном (справа). На рисунке слева виден датчик, установленный в контактное гнездо (гнездо показано незакрытым).

Системы другого вида, iSensor Evaluation Tools, к которым относятся ADISUSBZ и EVAL-ADISZ, – также новые и предназначены для датчиков серии ADIS16xxx (ADIS16407, ADIS16480 и др.). Они имеют более широкие возможности (Advanced Real-Time Evaluation Systems) по сравнению с предыдущими, что обусловлено свойствами датчиков ADIS16xxx.

На рисунке 9 показаны платы двух указанных систем (верхние две – ADISUSBZ, нижние – EVAL-ADISZ). С платой соединяется датчик или, в зависимости от его конструкции, оценочная плата (с датчиком), которые не входят в состав системы и поставляются отдельно.

В состав систем входят помимо платы кабель для подключения к компьютеру (на рисунке не показан), кабель-переходник (последний – только для ADISUSBZ) и крепежные винты (для EVAL-ADISZ). Кабель-переходник для системы EVAL-ADISZ, при необходимости, используется из состава оценочной платы датчика.

В свою очередь, система EVAL-ADISZ является более совершенной, чем ADISUSBZ, и имеет более широкие возможности. Она применяется для датчиков более поздних разработок, к которым относятся ADIS1613x (кроме ADIS16130), ADIS16334, ADIS16375, ADIS1644x и ADIS1648x,

Таблица 4 – Оценочные платы и системы для новых датчиков серий ADXLxxx, ADXRSxxx и ADIS16xxx

Тип датчика	Тип оценочной платы или системы ¹								
	Суффикс в обозначении						ADIS EVAL	ADIS USBZ	EVAL-ADISZ
	- ²	-MLP	-M	-S	-DB	/ PCB ³			
Серия ADXL xxx (EVAL-ADXLZxxx-Suffix)									
ADXL312	+	-	+	-	-				
ADXL343									
ADXL345									
ADXL346									
ADXL350	- ⁴		- ⁴		-				
ADXL362	+	+	-	+	+				
ADXL377									
Серия ADXRSxxx (EVAL-ADXRSZxxx-Suffix)									
ADXRS450	+ ⁵		+						
ADXRS453									
ADXRS642	+	-	-						
ADXRS646									
ADXRS649									
ADXRS652									
ADXRS800	+ ⁶		+						
ADXRS810	- ⁴		- ⁴						
Серия ADIS16xxx									
ADIS16407			-		+	-		+	
ADIS16445								-	
ADIS16448									
ADIS16480									
ADIS16485									
ADIS16488									

¹ Оценочные системы ADISEVALZ, ADISUSBZ и EVAL-ADISZ – автономные (универсальные) для датчиков серии ADIS16xxx, в связи с чем их названия не «привязаны» к названиям датчиков.
^{2,3} Обозначения оценочных (breakout) плат для датчиков серий ADXLxxx и ADXRSxxx – без суффикса (кроме примечаний 6, 7), а для серии ADIS16xxx – с суффиксом «/PCBZ», где символ «Z» перенесен из обозначения датчика.
⁴ Данные уточняются.
⁵ В двух вариантах: без суффикса и с суффиксом «-V», в зависимости от типа корпуса – SOIC_CAV (пластиковый) и LCC_C (керамический, с вертикальным расположением на плате).
⁶ В двух вариантах: с суффиксами «-RG» и «-EY», в зависимости от типа корпуса (аналогично 5).

причем датчики ADIS16334 и ADIS1644x входят в состав оценочных плат (для их подключения используется кабель-переходник). Предполагается, что систему EVAL-ADISZ в дальнейшем можно будет использовать и для других датчиков (например, для ADIS1640x).

Система ADISUSBZ является более ранней, используемой для оценки других датчиков серии ADIS16xxx (но, в том числе, и нового – ADIS16407). Исключение составляет датчик ADIS16060 (из числа ранее разработанных), для которого, а также для других датчиков, может быть использована система, предшествующая указанным двум, – ADISEVAL.

И, наконец, системы (платы) Stand-Alone Datalogger/Development Boards – это автономные оценочные платы, которые, как и указанные выше системы, также управляются программно, однако, их программы, содержащиеся в прилагаемых к ним компакт-дисках, инсталлируются в самих оценочных платах (Embedded Software). Программирование осуществляется пользователем при помощи компьютера, к которому подключаются платы. В работе платы используются автономно после отключения от

компьютера. Указанные платы являются нововведением и впервые были использованы для датчиков ADXL345 и ADXL346, а затем и для более новых – ADXL343 и ADXL362. Пример обозначения плат: EVAL-ADXL343Z-DB, с суффиксом «-DB». Новые платы (для датчиков ADXL343 и ADXL362) являются более совершенными и существуют только для датчиков серии ADXLxxx.

Платы Stand-Alone Datalogger/Development Boards, в которых используется автономное батарейное питание, производят измерение и запоминание измеряемых данных (причем как данных измеряемого ускорения, так и данных, характеризующих состояние датчика). Данные в текстовом формате записываются на карту флэш-памяти типа MicroSD, которая устанавливается на плате. Напомним, что, как сказано выше, датчик ADXL345, с которым впервые начала применяться описываемая система, отмечен призом – за лучшую разработку датчика в 2010 году.

На рисунке 10 показана плата (с «-DB»), предназначенная для нового датчика ADXL362. Плата показана с подсоединенным к ней дисплеем типа «e-Paper». На

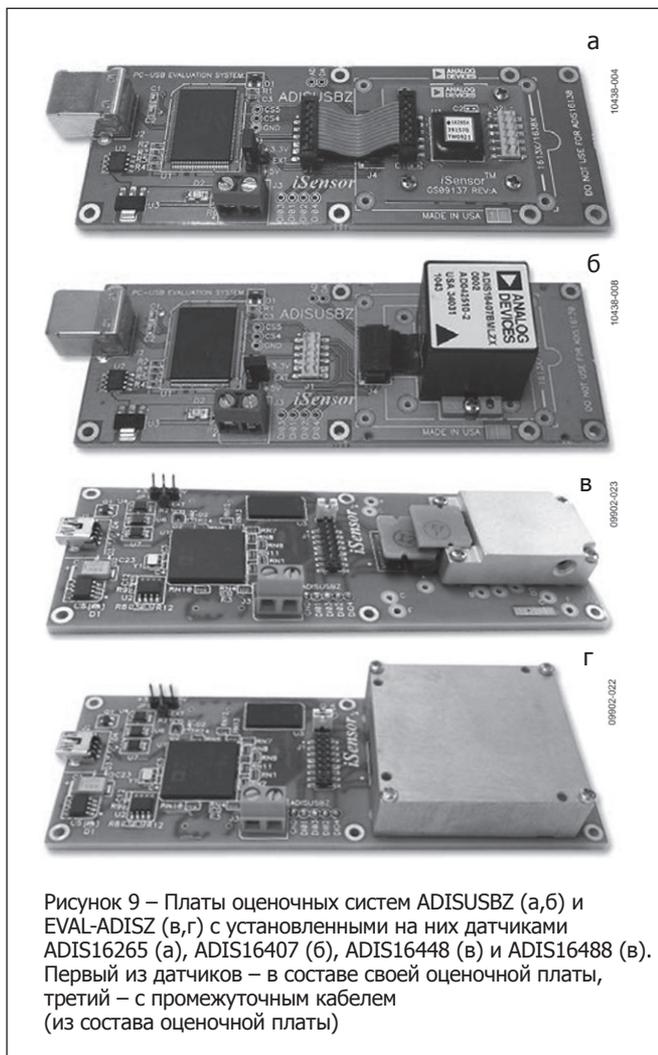


Рисунок 9 – Платы оценочных систем ADISUSBZ (а,б) и EVAL-ADISZ (в,г) с установленными на них датчиками ADIS16265 (а), ADIS16407 (б), ADIS16448 (в) и ADIS16488 (в). Первый из датчиков – в составе своей оценочной платы, третий – с промежуточным кабелем (из состава оценочной платы)

плате, слева, виден разъем для подключения к компьютеру и тумблер для включения питания (батарея питания расположена под платой), справа – устройство (Card Reader) для подключения карты MicroSD. Подробнее с автономной оценочной системой, в частности, EVAL-ADXL345Z-DB, можно ознакомиться в UG-065 [13].

Данные об оценочных платах и системах для описываемых датчиков приведены на рисунке 1 и в таблице 4.

Дополнительную информацию об инерциальных датчиках – ИМС и модулях IMU, а также об их оценочных системах (платах) и других компонентах можно получить в НПФ VD MAIS (info@vdm.kiev.ua), являющейся официальным дистрибьютором компании Analog Devices в Украине, а также на веб-сайтах: www.analog.com и www.vdm.kiev.ua.

Литература:

1. Голуб, В.С. Датчики ускорений и силы инерции и тяготения / В.С. Голуб // Технология и конструирование в электронной аппаратуре (ТКЭА). – 2007. – № 5. – С. 14–16.
2. Голуб, В.С. Датчики ускорений и угловых скоростей: ИМС компании Analog Devices / В.С. Голуб // Электронные компоненты и системы (ЭКиС). – 2008. – № 11. – С. 3–10.



Рисунок 10 – Автономная оценочная плата (Datalogger / Development Board) EVAL-ADXL362Z-DB с подключенным микродисплеем

3. Голуб, В.С. Инерциальные датчики типа IMU фирмы Analog Devices / В.С. Голуб // Электронные компоненты – Украина (ЭКУ). – 2010. – № 9/10. – С. 17–22.

4. Голуб, В.С. Инерциальные датчики фирмы Analog Devices / В.С. Голуб // Компоненты и технологии. – 2011. – № 3. – С. 34–38.

5. Голуб, В.С. Инерциальные датчики фирмы Analog Devices / В.С. Голуб // CHIP NEWS Украина. – 2011. – № 5. – С. 69–77.

6. Analog Devices' Press Releases: about «Golden Mousetrap Award» (ADXL345), Apr. 19, 2010; about «Best of Sensors Expo» (ADIS16223), June 14, 2010; about ADIS16407, June 7, 2011; about ADXRS800, Sep. 6, 2011; about ADXL346, Nov. 28, 2011; about ADXL377, May 23, 2012; about ADXL362, June 4, 2012; about ADIS16480, June 25, 2012 (www.analog.com).

7. Analog Devices' Web-Pages: ADXL343, ...(www.analog.com/en/mems-sensors/mems-accelerometers/adxl343/products/product.html, ...).

8. Analog Devices' Web-Pages: ADXRS642, ...(www.analog.com/en/mems-sensors/mems-gyroscopes/adxrs642/products/product.html, ...).

9. Analog Devices' Web-Pages: ADIS16407, ...(www.analog.com/en/mems-sensors/memsinertial-measurement-units/adis16407/products/product.html, ...).

10. Analog Devices' Data Sheets: ADXL343, Rev. 0, 4/12; ADXL345, Rev. C, 5/11; ADXL345-EP, Rev. 0, 12/11; ADXL346, Rev. B, 5/11; ADXL350, Rev. 0, 9/12; ADXL362, Rev. A, 9/12; ADXL377, Rev. 0, 9/12; ADXRS642, Rev. 0, 4/11; ADXRS646, Rev. 0, 9/11; ADXRS649, Rev. A, 3/11; ADXRS652, Rev. A, 7/10; ADXRS800, Rev. SpB, 8/11; ADXRS810, Rev. 0, 10/12; ADIS16407, Rev. C, 10/11; ADIS16445, Rev. 0, 10/12; ADIS16448, Rev. 0, 8/12; ADIS16480, Rev. 0, 5/12; ADIS16485, Rev. 0, 5/12; ADIS16488, Rev. B, 2/12 (www.analog.com).

11. Analog Devices' Silicon Anomaly: ADIS16488, Rev. B, 4/12 (www.analog.com).

12. Analog Devices' Application Notes: AN-1041, Rev. 0, 8/09; AN-1042, Rev. 0, 8/09; AN-1045, Rev. 0, 11/09; AN-

1049, Rev. 0, 10/09; AN-1057, Rev. 0, 2/10; AN-1073, Rev. 0, 4/10; AN-1077 (about ADXL345), Rev. 0, 6/10; AN-1078 (about ADXL346), Rev. 0, 6/10; AN-1146 (about ADIS16334), Rev. A, 6/12; AN-1157 (about ADIS16480), Rev. 0, 7/12 (www.analog.com).

13. Analog Devices' Evaluation Board User Guides: UG-012 (about EVAL-ADXR346Z-M), Rev. 0,5/10; UG-015 (about EVAL-ADXR345Z-M), Rev. 0, 6/09; UG-065 (about EVAL-ADXR345Z-DB, EVAL-ADXR346Z-DB), Rev. A, 3/11; UG-154 (about EVAL-ADXR800Z-M), Rev. 0, 3/11; UG-209 (about EVAL-ADXL312Z-M), Rev. 0,1/11; UG-245 (about EVAL-ADXR3450Z-V), Rev. 0,3/11; UG-260 (about EVAL-ADXR3450Z-M, EVAL-ADXR3453Z-M), Rev. 0, 7/11; UG-287 (about EVAL-ADIS), Rev. A, 6/12; UG-314 (about EVAL-ADXR3646Z), Rev. 0, 10/11; UG-363 (about ADISUSB), Rev. A, 3/12 (www.analog.com).

14. Analog Devices' Bulletin: Sensor and Sensor Interface ICs / Vol. 10, Issue 6, 2010 (www.analog.com).

15. Analog Devices' CN-0133: Sensing Low-g Acceleration Using the ADXL345 Digital Accelerometer Connected to the ADuC7024 Precision Analog Microcontroller / Rev. 0, 10/09 (www.analog.com).

16. Analog Devices' CN-0163: Sensing Angular Velocity Using the ADXR3450 Digital Rate Sensor with Programmable Supply Voltage / Rev. 0, 5/10 (www.analog.com).

17. Analog Devices' MS-2151: Precision MEMS Sensors Enable New Navigation Applications / by B. Scannell. Rev. 0, April 2011 (www.analog.com).

18. Analog Devices' iSensor® The Simple Solution for Sensor Integration: Demo/ Evaluation Tips for the ADIS1640x / by M. Looney. May 2009 (www.analog.com/isensor-evaluation_ADIS1640x_Demo_EvalTips.pdf).

19. Geen J., Krakauer D. New iMEMS® Angular-Rate-Sensing Gyroscope // Analog Dialogue, March 2003 (www.analog.com/analogdialogue).

20. Looney M. Analyzing Frequency Response of Inertial MEMS in Stabilization Systems // Analog Dialogue, July 2012 (www.analog.com/analogdialogue).

21. Analog Devices' Evaluation System for iMEMS Digital Inertial Sensors / April 2010 (www.analog.com/MEMS).

22. Inertial MEMS Evaluation Tools (www.analog.com/en/evaluation/eval-mst-all/eb.html).

23. Real Time Eval System for Digital Output Sensor (www.analog.com/en/evaluation/evalmstiseb/eb.html).

24. ADXL362 Real-Time Evaluation System / Sep 2012 (www.analog.com/eval-adxl362zmlp.pdf).

25. Analog Devices' Web-Page: EVAL-ADIS Evaluation System (www.analog.com/en/evaluation/eval-adis/eb.html).

26. Analog Devices' Web-Page: ADISUSB Evaluation System (www.analog.com/en/evaluation/ADISUSB/eb.html).

27. Analog Devices' iSensor™ PC Evaluation System ADISEVAL, Rev. PrC, 7/08 (www.analog.com/ADISEVAL.pdf).

28. ADIS1648x Evaluation on the EVAL-ADIS (<http://wiki.analog.com/resources/eval/userguides/inertial-mems/imu/adis1648x>).

НОВОСТИ

ПОРТФЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ РОСНАНО БУДЕТ СОЗДАВАТЬ «БЕСШУМНЫЙ» АСФАЛЬТ

«Уником» предложил способ модификации асфальтобетона с помощью активного порошка дискретно девулканизированной резины. Такой порошок особым методом получают из отработанных автопокрышек.

ООО «Уником», портфельная компания ОАО «РОСНАНО», при научной поддержке Института химической физики Российской академии наук стала одним из победителей конкурса Европейского Союза на разработку и производство «бесшумного» асфальта для шоссе дорог, сообщает РОСНАНО.

Инициатором этого проекта USP (Ultra Silent Pavement) стало Министерство инфраструктуры и окружающей среды Нидерландов. По его заданию участники проекта должны будут совместно разработать принципиально новый вид звукопоглощающего дорожного покрытия, которое способно снизить уровень шумового загрязнения автотрасс на 10 дБ.

Помимо «Уномика», право стать партнерами проекта получили еще трое претендентов: голландские дорожно-строительные компании SGS Intron Heijmans и Dura Vermeer, а также подразделение швейцарской группы SGS

(Societe Generale de Surveillance), которое специализируется на экспертизе качества и сертификации в области дорожных и строительных материалов.

«Уником» предложил способ модификации асфальтобетона с помощью активного порошка дискретно девулканизированной резины. Такой порошок особым методом получают из отработанных автопокрышек. При введении в горячий битум этот порошок создает наноструктуры, которые придают дорожному покрытию повышенную прочность. Проведенные ранее исследования показали, что применение активного резинового порошка при укладке плотных асфальтобетонов способно снизить шум на трассе как минимум на 6–12 дБ.

«Уником» выполняет проект по созданию промышленного производства композиционного материала «Унирем» на основе резинового порошка в качестве модификатора асфальтобетонных смесей и битумов для дорожных покрытий. Общий бюджет проекта – 1,85 млрд руб., из них доля РОСНАНО – 1,29 млрд руб.

rusnano.com

VIPA SLIO – САМАЯ КОМПАКТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВВОДА-ВЫВОДА

Система SLIO является модульным расширением ПЛК фирмы VIPA. SLIO – это компактная система управления и распределенного ввода-вывода с быстрой системной шиной. Система сочетает в себе широкие функциональные возможности, оригинальное конструктивное исполнение и небольшие размеры. Благодаря широкому набору модулей она может быть интегрирована в различные существующие системы управления. Данные модули предназначены для реализации задач распределенного сбора данных и управления. Высокоскоростная внутренняя шина позволяет оперативно обрабатывать сигналы от датчиков и обеспечивает высокое быстродействие. В состав системы SLIO входят сигнальные, функциональные и интерфейсные модули. Так же сюда следует отнести коммуникационные процессоры и модули питания. Все перечисленные составляющие системы SLIO полностью совместимы со всеми существующими моделями ПЛК фирмы VIPA, а так же с системами других производителей.

Сигнальные модули служат для подключения к системе датчиков и исполнительных устройств и обеспечивают ее связь с уровнем процессора. Здесь следует разделять дискретные и аналоговые сигнальные модули. Они необходимы для обработки дискретных и аналоговых сигналов соответственно.

Функциональные модули являются интеллектуальными устройствами и обеспечивают выполнение таких задач как позиционирование, скоростной счет, перемещение и другие технологические задачи. Данный тип модулей используется, когда требуется высокая точность и скорость выполнения операций.

Интерфейсные модули выступают в роли связующего звена между сигналами контролируемого технологического процесса и промышленной сетью передачи данных. Поддерживаются протоколы и сети CANopen, PROFIBUS, PROFINET, Ethernet/IP, DeviceNet, EtherCAT, Modbus. К одному модулю может быть подключено до 64 модулей расширения.

Коммуникационные процессоры используются для организации подключения к различным системам через сетевые интерфейсы. Например, через сети Ethernet к системам ERP предприятия или через последовательные интерфейсы к принтерам, сканерам или другим периферийным устройствам.

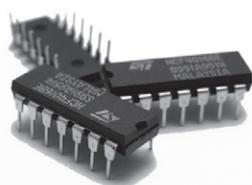
Модули питания обеспечивают электроэнергией составляющие системы SLIO. Если выходной мощности одного модуля будет недостаточно для стабильной работы системы, то возможно использовать дополнительные модули питания. С их помощью также могут быть организованы изолированные потенциальные группы для силовой секции 24 В постоянного тока питания нагрузок.

Среди особенностей SLIO следует отметить узкие модули шириной всего 12,5 мм, лестничный профиль клеммных терминалов для рациональной укладки проводников, наличие на каждом модуле информации о назначении контактов и схеме подключения защита электроники от переплюсовки, наглядная индикация состояния каналов ввода-вывода, быстрая системная шина со скоростью передачи данных до 48 Мбит/с. На все модули системы SLIO распространяется гарантия 24 месяца.

Вектор Технологий

VECTOR OF TECHNOLOGIES

**Поставка электронных компонентов со склада и под заказ:
тиристорные модули, транзисторные модули,
микросхемы, диоды, транзисторы,
диодные мосты.**



**Компания «Вектор Технологий»
также является официальным дистрибьютором
на территории Республики Беларусь компаний
SICK, YASKAWA, DATALOGIC, STEUTE, FOTEK, WEG и VIPA.**

Наши специалисты с радостью помогут решить ваши задачи.
Tel: +375-17-265-60-15, fax: +375-17-265-60-16, mob: +375-29-685-60-15.
info@vec-tech.by, web: <http://www.vec-tech.by>

ДИОД ИМПУЛЬСНЫЙ 2Д 814А1 АЕЯР.432120.340 ТУ

Кремниевые эпитаксиально-планарные импульсные диоды 2Д814А1 в корпусе КД-34 ГОСТ 18472 предназначены для работы в аппаратуре специального назначения.

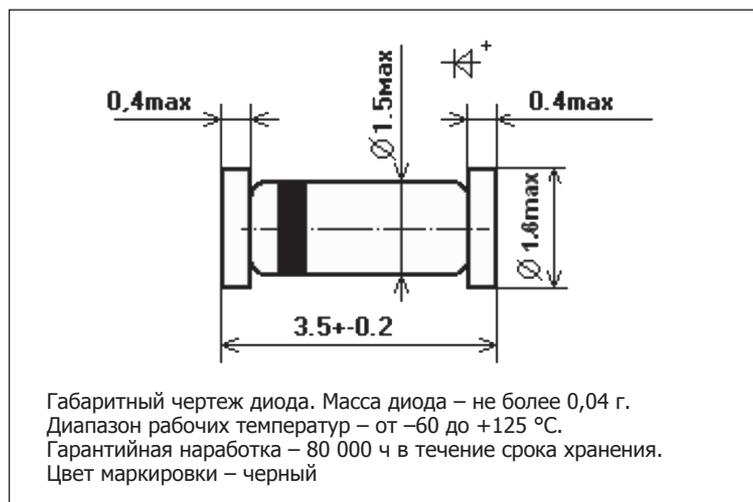
Технические характеристики

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение	Норма	
		не менее	не более
Обратный ток при максимальном обратном напряжении, мкА $U_{OBR1} = 75 \text{ В}$ $U_{OBR2} = 20 \text{ В}$	I_{OBR}	–	5 0,025
Прямое напряжение при постоянном токе $I_{пр} = 10 \text{ мА}$, В	$U_{пр}$	–	1
Обратное пробивное напряжение при обратном токе $I_{OBR} = 100 \text{ мкА}$, В	$U_{проб}$	100	–
Емкость при обратном смещении $U_{OBR} = 0 \text{ В}$ и частоте сигнала $f = 1 \text{ МГц}$, пФ	C_D	–	4
Заряд восстановления при переключении с $I_{пр} = 10 \text{ мА}$ на $U_{OBR} = 10 \text{ В}$, пКл	$Q_{вос}$	–	200
Время обратного восстановления, нс при $I_{пр} = 10 \text{ мА}$, $U_{OBR} = 10 \text{ В}$, $i_{вос} = 0,1 \times I_{OBR}$, $R_{\Sigma} = 300 \text{ }\Omega$	$t_{вос.обр.}$	–	4
Примечания: 1. I_{OBR} при $U_{OBR2} = 20 \text{ В}$ измеряется при $T_{окр} = +(25-5) \text{ }^\circ\text{C}$ 2. Время обратного восстановления ($t_{вос.обр.}$) гарантируется конструкцией и измерением заряда восстановления ($Q_{вос}$).			

Предельно допустимые значения параметров электрических режимов эксплуатации диодов в диапазоне температур от минус 60 до плюс 125 °С

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра для диодов 2Д814А1
Постоянное обратное напряжение, В	$U_{обр}$	75
Импульсное обратное напряжение, В, при длительности импульса не более 2 мкс и скважности не менее 10	$U_{обр.и}$	100
Средний выпрямленный прямой ток, мА * $f = 50 \text{ Гц}$ при $T_{окр} = +25 \text{ }^\circ\text{C}$ при $T_{окр} = +125 \text{ }^\circ\text{C}$ при $T_{окр} = \text{минус } 60 \text{ }^\circ\text{C}$	$I_{пр.ср.}$	150 75 150
Импульсный прямой ток, мА*, при длительности импульса не более 10 мс и скважности не менее 2 при $T_{окр} = +25 \text{ }^\circ\text{C}$	$I_{пр.и}$	500

*Значения $I_{пр.ср.}$ и $I_{пр.и}$ в диапазоне температур от плюс 50 до плюс 125 °С снижаются линейно.



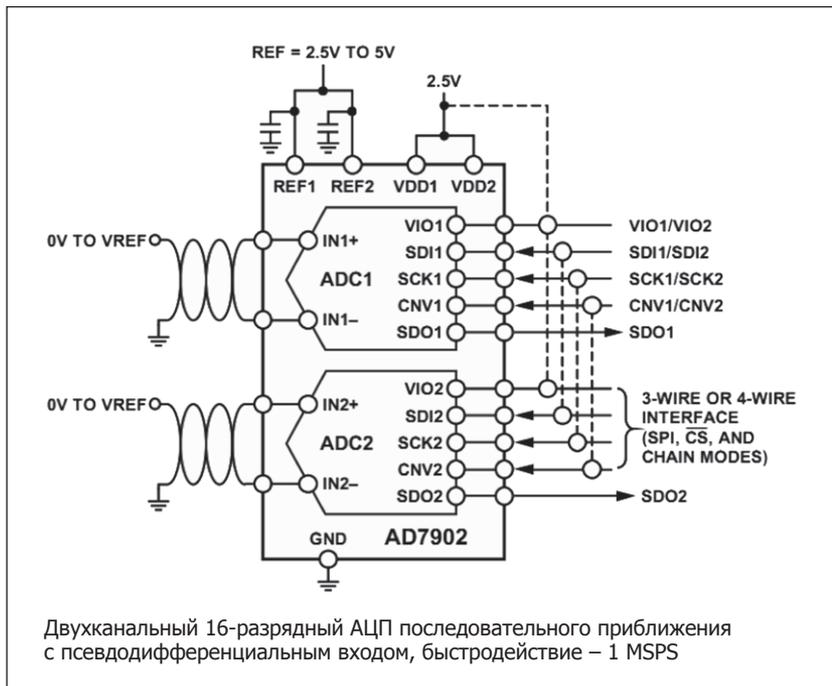
ИНТЕГРАЛ

Разработка и производство микросэлектронных компонентов, средств отображения информации, изделий электронной техники.

ОАО "ИНТЕГРАЛ"-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»,
ул. Казинца И.П., д. 121А, г. Минск,
220108, Республика Беларусь.
Тел.: (+375 17) 398 75 13
Факс: (+375 17) 212 30 51
E-mail: market@integral.by
www.integral.by

УНП 100386629

АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (АЦП)

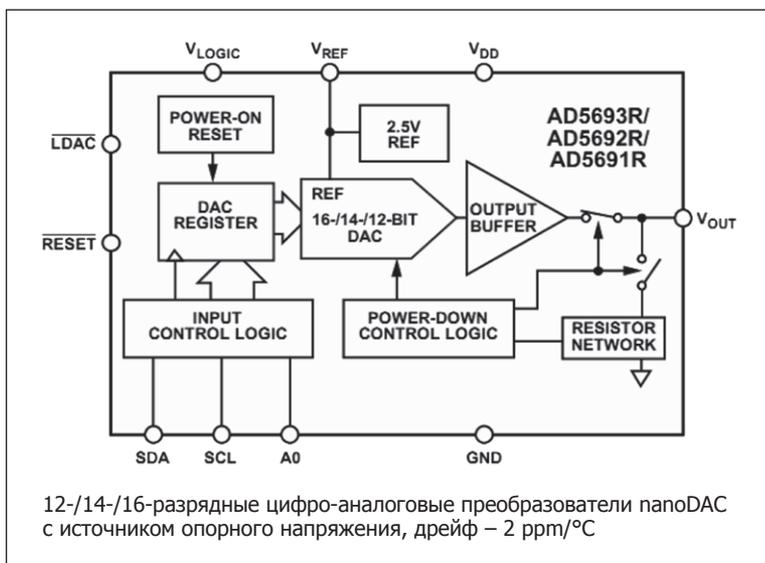


интерфейс. Компонент осуществляет дискретизацию с частотой до 1 MSPS, обладает интегральной нелинейностью (INL) ± 1 LSB, дифференциальной нелинейностью (DNL) $\pm 0,5$ LSB, отношением сигнала к шуму и искажениям (SINAD) – 91 дБ, полным уровнем гармонических искажений (THD) –105 дБ и имеет характеристику преобразования без пропущенных кодов. Он поддерживает работу с дифференциальными входными сигналами в диапазоне от 0 В до VREF относительно напряжения земли, а внешнее опорное напряжение VREF может изменяться в диапазоне от 2,4 В до 5,1 В. Совместимый с SPI последовательный интерфейс позволяет объединять несколько АЦП в цепочку с последовательным опросом и имеет опциональный сигнал индикатора занятости. AD7902 работает с однополярным напряжением питания 2,5 В, рассеивая 12 мВт при 1 MSPS, 140 мкВт при 10 kSPS и 1 нВт в режиме ожидания. Отдельное напряжение питания ввода/вывода обеспечивает совместимость с логическими

микросхема двухканального, 16-разрядного аналого-цифрового преобразователя PuISAR® AD7902 включает в себя два малопотребляющих, быстродействующих АЦП с внутренней выборкой и универсальный последовательный

схемами, имеющими напряжение питания от 1,8 В до 5,5 В. Компонент выпускается в 20-выводном корпусе QSOP, рабочий температурный диапазон составляет от –40°C до +125°C.

ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ЦИФРОВЫЕ ПОТЕНЦИОМЕТРЫ

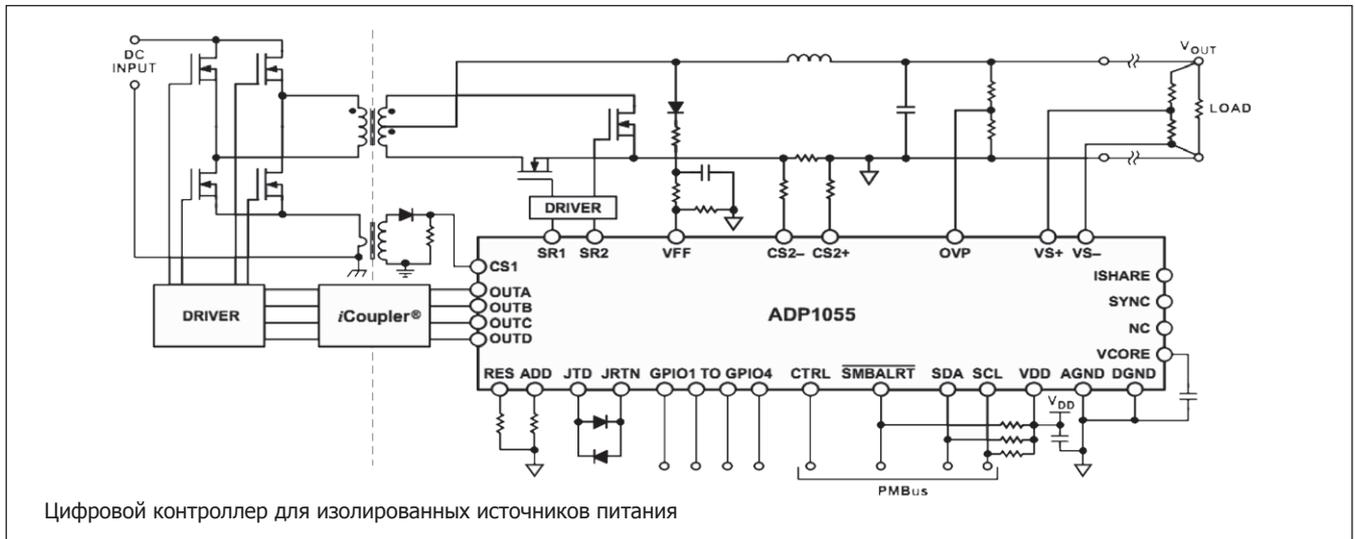


напряжение полной шкалы может быть установлено равным 2,5 В или 5 В. Архитектура ЦАП гарантирует монотонность характеристики преобразования; погрешность коэффициента усиления составляет менее 0,06 % от диапазона полной шкалы, а погрешность напряжения смещения – 1,5 мВ. Схема сброса при включении питания устанавливает выходное напряжение в ноль шкалы при подаче питания и гарантированно поддерживает это состояние до первой записи достоверных данных. ЦАП имеют совместимый с I²C последовательный интерфейс и, в зависимости от типа корпуса, могут иметь асинхронный вход загрузки, асинхронный вход сброса, а также вывод для совместимости с логикой 1,8-5,5 В. AD5691R/AD5692R/AD5693R работают с напряжением питания от 2,7 В до 5,5 В, потребляя ток 350 мкА при активном внутреннем источнике опорного напряжения и 110 мкА при неактивном источнике опорного напряжения. Режим пониженного энергопотребления, активируемый для

каждого канала в индивидуальном порядке, позволяет сократить потребляемый ток до 2 мкА. Компоненты выпускаются в 10-выводном корпусе MSOP и 8-выводном корпусе LFCSP, имеющем габариты 2 мм × 2 мм, рабочий температурный диапазон составляет от –40°C до +105°C.

каждого канала в индивидуальном порядке, позволяет сократить потребляемый ток до 2 мкА. Компоненты выпускаются в 10-выводном корпусе MSOP и 8-выводном корпусе LFCSP, имеющем габариты 2 мм × 2 мм, рабочий температурный диапазон составляет от –40°C до +105°C.

УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ И ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ

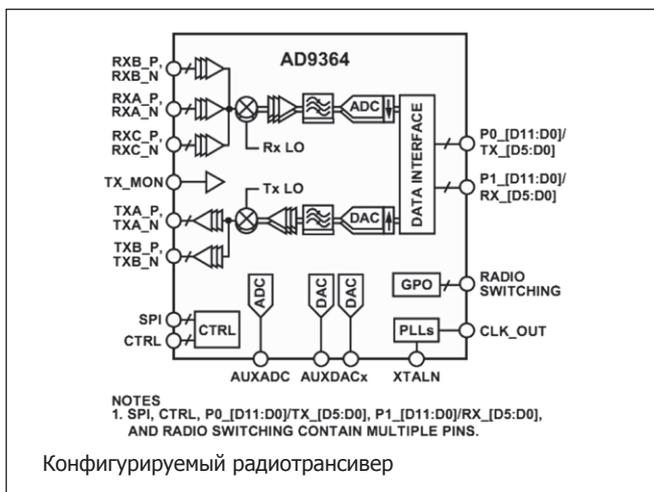


Цифровой контроллер для изолированных источников питания

В цифровом контроллере ADP1055 применяется комбинация технологий быстродействующих аналого-цифровых преобразователей с высоким разрешением и контура с нелинейной передаточной характеристикой, которая обеспечивает широкую полосу и характеристики переходного отклика, эквивалентные традиционным аналоговым контроллерам. Этот универсальный цифровой контроллер имеет шесть логических выходов в формате ШИМ (широкоимпульсная модуляция), которые могут программироваться при помощи простого в использовании графического интерфейса пользователя через интерфейс PMBus. Компонент позволяет создавать топологии с высоким КПД, включая мостовые схемы с прецизионной синхронизацией и управлением вторичными синхронными выпрямителями. Линии GPIO (универсального ввода/вывода) контроллера могут быть использованы для схемы активного ограничения выбросов. Дополнительная оптимизация энергоэффективности достигается за счет

адаптивной компенсации «мертвого» интервала, низкой собственной потребляемой мощности и программируемого режима малой нагрузки. Компонент обеспечивает функции сигнализации об отказах при помощи аналоговых и цифровых сигналов через интерфейс PMBus и конфигурируемые линии GPIO. Он также способен регистрировать первый случай отказа во внешних цепях и обеспечивает функцию «черного ящика», что делает его идеальным выбором для анализа надежности и механизмов сбоя в системе. Функции защиты от перегрузки по току (OCP), перегрузки по напряжению (OVP), просадки напряжения (UVLO) и перегрева (OTP) повышают надежность. ADP1055 работает с однополярным напряжением питания в диапазоне от 3,0 В до 3,6 В, потребляя 63 мА в нормальном режиме и 100 мкА в режиме отключения. Компонент выпускается в 32-выводном корпусе LFCSP, рабочий температурный диапазон составляет от -40°C до +125°C.

ВЧ И ПЧ КОМПОНЕНТЫ, КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ И ШИРОКОПОЛОСНОЙ СВЯЗИ



Конфигурируемый радиотрансивер

Высококачественный, обладающий высокой степенью интеграции, конфигурируемый радиотрансивер AD9364 поддерживает работу в широком диапазоне частот и обладает возможностями программирования, которые делают его идеальным выбором для самых разнообразных приемопередающих радиосистем. Компонент совмещает в себе входной интерфейс ПЧ, конфигурируемый каскад аналого-цифровой обработки сигнала в полосе модулирующих частот и интегрированные синтезаторы сетки частот, упрощая проектирование благодаря конфигурируемому цифровому интерфейсу с процессором. Трансивер обеспечивает работу в полосе частот от 70 МГц до 6,0 ГГц с шириной канала от 200 кГц до 56 МГц, поддерживая большинство лицензируемых и нелицензируемых диапазонов. Компонент выпускается в корпусе CSP_BGA со 144 шариковыми контактами, имеющем габариты 10 мм × 10 мм.

Альфачип ЛТД

НАИМЕНОВАНИЕ ТОВАРА	ЦЕНА	НАЗВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ	АДРЕС, ТЕЛЕФОН
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ			
Индукционные лампы Saturn 40, 80, 120, 150, 290, 300W. В комплекте электронный балласт	80-380 у.е.	ООО «ФЭК»	г. Минск. Тел./ф.: 200-34-23, тел.: 200-04-96. E-mail: lighting@fek.by
Индукционные лампы Smart Dragon 40, 80, 120, 150, 200, 300W.	80-380 у.е.		
Дроссели, ЭПРА, ИЗУ, пусковые конденсаторы, патроны и ламподержатели для люминесцентных ламп	Договор	ООО «АльфаЛидер групп»	г. Минск. Тел./ф.: 391-02-22, тел.: 391-03-33. www.alider.by
Мощные светодиоды (EMITTER, STAR), сборки и модули мощных светодиодов, линзы ARLIGHT	Договор	ООО «СветЛед решения»	г. Минск. Тел./ф.: 214-73-27, 214-73-55. E-mail: info@belaist.by www.belaist.by
Управление светом: RGB-контроллеры, усилители, диммеры и декодеры			
Источники тока AC/DC для мощных светодиодов (350/700/100-1400 mA) мощностью от 1W до 100W ARLIGHT			
Источники тока DC/DC для мощных светодиодов (вход 12-24V) ARLIGHT			
Источники напряжения AC/DC (5-12-24-48V/ от 5 до 300W) в металлическом кожухе, пластиковом, герметичном корпусе ARLIGHT, HAITAIK			
Светодиодные ленты, линейки открытые и герметичные, ленты бокового свечения, светодиоды выводные ARLIGHT			
Светодиодные лампы E27, E14, GU 5.3, GU 10 и др.			
Светодиодные светильники, прожектора, алюминиевый профиль для светодиодных изделий			
КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ, ГЕНЕРАТОРЫ, ФИЛЬТРЫ, ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ			
Любые кварцевые резонаторы, генераторы, фильтры (отечественные и импортные)	от 0,10 у.е.	УП «Алнар»	г. Минск. Тел./ф.: 209-69-97, тел. (029) 644-44-09. E-mail: alnar@alnar.net www.alnar.net
Кварцевые резонаторы Jauch под установку в отверстия и SMD-монтаж	от 0,10 у.е.		
Кварцевые генераторы Jauch под установку в отверстия и SMD-монтаж	от 0,50 у.е.		
Термокомпенсированные кварцевые генераторы	от 2,20 у.е.		
Резонаторы и фильтры на ПАВ			
Пьезокерамические резонаторы, фильтры, звонки, сирены	от 0,04 у.е.		
СПЕЦПРЕДЛОЖЕНИЕ			
Большой выбор электронных компонентов со склада и под заказ	Договор	ЧТУП «Чип электроникс»	г. Минск. Тел./ф.: 269-92-36. E-mail: chipelectronics@mail.ru www.chipelectronics.by
Широчайший выбор электронных компонентов (микросхемы, диоды, тиристоры, конденсаторы, резисторы, разъемы в ассортименте и др.)	Договор	ООО «АльфаЛидер групп»	г. Минск. Тел./ф.: 391-02-22, тел.: 391-03-33. www.alider.by
Мультиметры, осциллографы, вольтметры, клещи, частотомеры, генераторы отечественные и АКИП, APPA, GW, LeCroy, Tektronix, Agilent	1-й поставщик	ООО «Приборостроительная компания»	г. Минск. Тел./ф.: 284-11-18, тел.: 284-11-16. E-mail: 4805@tut.by



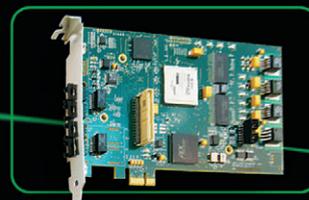
Great River
Technology

Advanced Video and Data Systems

Мировой лидер в разработке систем на основе стандарта ARINC 818 — базового стандарта Интегрированной Модульной Авионики

GRT предлагает следующие решения:

- Платы захвата кадра и генераторы видеосигнала
- Отдельно устанавливаемые высокоскоростные модули генерации сигнала
- Модули преобразования видеосигнала в защищенном исполнении
- Системы записи и воспроизведения
- Коммутаторы



ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР GREAT RIVER TECHNOLOGY



«Фаворит – Электронная Компания»

WWW.FAVORIT-EC.RU тел./факс: +7(495) 627-76-24, г. Москва

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»
в Республике Беларусь, г. Минск
Тел.: +375 (17) 207-01-85
info@favorit-ec.ru

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»
в Санкт-Петербурге
Тел.: +7 (812) 449-52-41
www.spbnek.ru • spb@favorit-ec.ru

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»
в Нижнем Новгороде
Тел.: +7 (910) 886-80-60
alexandra@favorit-ec.ru

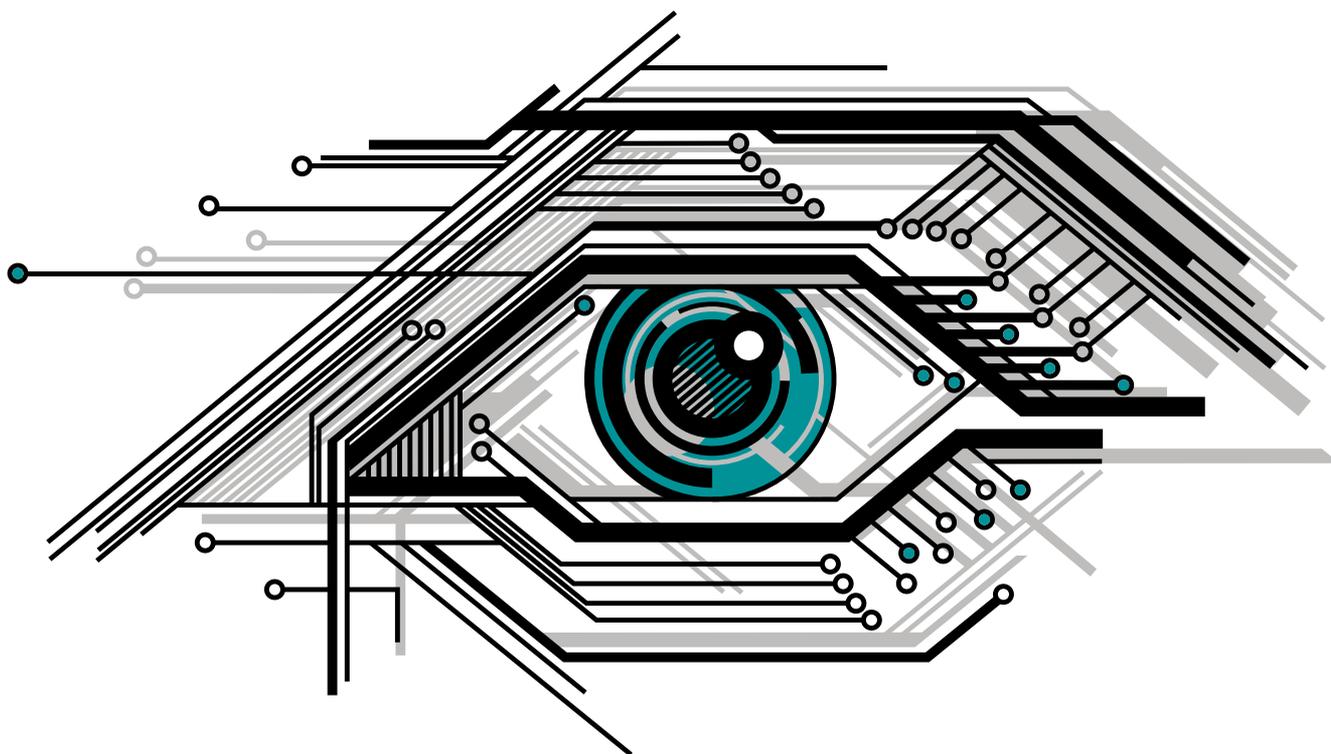
03 июня 2014 года – г. Минск

Приглашаем на семинар «Преимущества нового поколения светодиодных светильников с применением CoB (матриц): экономика, компоненты и материалы, подходы к конструированию»

<http://www.rainbow.by/seminar>

Контактная информация и регистрация:

+375 29 667 62 47, skype: natali.boreiko, boreiko@rainbow.by



Программа семинара

I секция. Компоненты и материалы для светильников на CoB (матрицы):

- CREE CoB
- Оптика для Chip-on-Board от компании LEDIL
- Теплопроводящие материалы для CoB

II секция. Экономика и особенности проектирования светильника High Bay нового поколения на COB (матрицах):

- Постановка задачи, предварительные расчеты
- Коммерческое сравнение решений на дискретных СИД, и нового на CoB
- Системы управления освещением

III секция:

- Источники света CREE для различных приложений
- LEDIL: компания, продукция, новинки. Оптические решения для indoor-освещения
- Интеллектуальные системы управления освещением LG