

МИКРОМИНИАТЮРНЫЕ ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИЗ ГЕТЕРОСТРУКТУР КАК ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ МИКРОМАГНИТОЭЛЕКТРОНИКИ

**В.И. Прокошин¹, В.В. Углов²,
А.П. Дραπεзо³, В.А. Ярмолович²**

¹ Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований г. Минск, Беларусь;

viproko@mail.ru

² Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

³ ООО «НТЦ Вист групп сенсор» г. Минск, Беларусь

На примере микроминиатюрных преобразователей Холла из эпитаксиальных пленок АЗВ5 на полуизолирующем арсениде галлия, разработанных авторами, рассмотрены датчики и устройства, которые были использованы в различных отраслях: космической, автомобильной, автоматике, приборостроении.

В последнее десятилетие в результате синтеза современной микроэлектроники, точного машиностроения и микротехнологий возникло новое направление [1] – микромагнитоэлектроника. Развитие микромагнитоэлектроники позволяет разрабатывать и производить современные магнитоэлектронные устройства и приборы.

В этом отношении представляют интерес наши работы в области создания прецизионных механоэлектрических преобразователей для контроля положения подвижных исполнительных механизмов сканирующих систем космической аппаратуры. Многолетний опыт сотрудничества с Институтом космических исследований РАН (Россия) показал высокую эффективность использования эффекта Холла для создания прецизионных механоэлектрических преобразователей.

Разработанные устройства хорошо себя зарекомендовали на стадии предполетных испытаний в космическом аппарате «Марс-96», в реальном полете «Марс Экспресс» и др. Уникальность механоэлектрических преобразователей проявилась в прецизионном соблюдении всех функциональных технических характеристик на протяжении длительной эксплуатации в сложных космических условиях. Изделия прошли опытную эксплуатацию в условиях космического вакуума и сверхнизких температур.

Использование эффекта Холла дает возможность конструирования различного рода прецизионных преобразователей механических перемещений повышенной стабильности и надежности. В настоящее время разработаны прецизионные механоэлектрические преобразователи положения исполнительных механизмов для ряда приборов, которые могут быть установлены в космических аппаратах, а именно сенсоры положения сканирующих узлов для геостационарных спутников, датчиков положения исполнительных органов измерительных приборов для космических научных программ. На рис.1 и 2 представлены некоторые из таких устройств.



Рис.1. Сенсор магнитного поля для космических аппаратов



Рис. 2. Датчик угла поворота

Для развития микромагнитоэлектронной техники требуется разработка, создание и обеспечение промышленного

производства микроминиатюрных магнитоэлектронных устройств. Эти устройства состоят из первичного магниточувствительного элемента, источника магнитного поля и схемы обработки электрического сигнала, которые объединены в едином корпусе и создаются с применением групповой (интегральной, гибридной или твердотельной) технологии. Анализ тенденций развития современных датчиков и устройств, использующих в качестве «рабочей среды» магнитное поле, показывает необходимость изготовления высокостабильных и микроминиатюрных преобразователей Холла (МПХ) на основе гетероструктур $A^3B^5 - i - GaAs$, из которых особенно перспективны $n - InSb - i - GaAs$ (вследствие высокой подвижности носителей заряда), в том числе наноразмерные сэндвич-структуры типа $InBi$ в эпитаксиальной пленке $InSb$, заменяющие технологически сложные процессы контролируемого легирования пленок $InSb$ до необходимой концентрации электронов n такими элементами, как олово или теллур. Разработка микроминиатюрных преобразователей Холла из такого рода гетероструктур была выполнена авторами.

Изготовление малодефектных гетероструктур $n - InSb - i - GaAs$ с ориентацией (110) состояло в уменьшении толщины гетероэпитаксиальной пленки антимонида индия с 7–9 мкм до 2–3 мкм за счет снижения толщины высокодефектного переходного слоя. Для этого в процессе напыления на подложке применялось двухступенчатое термическое напыление в вакууме с принудительной очисткой поверхности адсорбированного поверхностного слоя атомов кислорода, азота и других примесей, образующихся при подготовке поверхности пластины полуизолирующего арсенида галлия для напыления. На первом этапе роста магниточувствительного слоя формируется гетероэпитаксиальная структура $n-InSb-i-GaAs$ со сверхтонким магниточувствительным слоем $InSb$ толщиной 0,25–0,5 мкм. Температура подложки при этом превышает температуру плавления $InSb$ на 30 – 40 °С. Затем подложка

медленно охлаждается, дальнейший эпитаксиальный рост происходит из молекулярного пучка при температуре 520–530 °С и формируется слой антимонида индия толщиной до 2–3 мкм. При этом скорость осаждения не более 0,02 мкм/с. Затем проводится термический отжиг в течение 1 ч при температуре 450 °С без вскрытия вакуумной камеры с последующим медленным охлаждением.

Наноразмерные сэндвич-структуры типа InBi в эпитаксиальной пленке InSb получались следующим образом. Заготовки n-InSb-i-GaAs вакуумировались в кварцевой ампуле вместе с навеской висмута и подвергались термическому отжигу, при котором происходит процесс диффузионного насыщения висмутом и образуется пленочный сэндвич n-InSb_{1-x}Bi_x – n-InSb-i-GaAs (пленочные образцы с неравномерным распределением висмута по глубине (рис. 3).

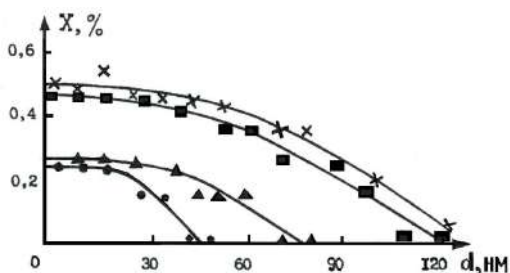


Рис. 3. Профили распределения висмута по глубине при температурах 290, 330, 370 и 400 °С соответственно (снизу вверх). Время насыщения – 2 ч

При этом использовался метод расчета спектров обратного резерфордовского рассеяния (RBS) ионов гелия с энергиями 1,4 МэВ. Съемка RBS-спектров неканализованного излучения проводилась в вакуумной камере при давлении $5 \cdot 10^{-4}$ Па, диаметре пучка 1 мм, энергии 5,44 кэВ/канал. Детектор находился под углом 170° относительно первичного пучка. Технологический процесс изготовления МПХ показан на рис. 4.



Рис. 4. Технологический процесс изготовления МПХ

Увеличение температуры насыщения приводит к росту концентрации висмута в приповерхностных слоях. В то же время наблюдается неравномерное распределение висмута по толщине пленки, причем максимальная глубина его проникновения не превышает 100–120 нм.

Основные технические характеристики МПХ близки к приведенным в [2]. МПХ из n - InSb - i - GaAs успешно прошли испытания на следующие дозы и виды радиационных излучений при сроке активного существования в космосе 5 лет (электроны ЕРПЗ – не менее $2,0 \cdot 10^7$, протоны ЕРПЗ, СКЛ и ГКЛ – не менее $1,1 \cdot 10^4$). Последние испытания в 2009 г. (стойкость к ВВФ – более 2,5 Мрад). Относительные изменения основных параметров МПХ, подвергнутого радиационному воздействию дозой облучения 500 крад. с энергией до 1,25 МэВ, не превышали 1,0 %.

Облучение МПХ проводилось источником γ -лучей Co^{60} в γ -установке «Исследователь». Работа ее основана на использовании гамма-излучения радиоактивного изотопа Co^{60} со средней энергией квантов около 1,25 МэВ. Установка представляет собой свинцовый контейнер диаметром около 1 м и высотой 2 м. Расположенный на станине контейнер состоит из корпуса и крышки. В центре контейнера имеется облучатель в

виде кассеты с источником излучения Co^{60} , в которой находятся 36 источников излучения, общей активностью 30000 Кюри. Мощность экспозиционной дозы гамма- излучения в рабочей камере составляет $2,0 \cdot 10^6$ рентген/ч. Объем рабочей камеры равен 4200 см^3 .

Облучение электронами проводилось на линейном ускорителе электронов ЭЛУ-4. Быстрые электроны непосредственно из электропровода попадали на кассету с МПХ. Попадание пучка на МПХ и его точная фокусировка осуществлялась при помощи цилиндра Фарадея, который одновременно служил и для замера тока пучка.

На рис. 5–8 показаны созданные авторами устройства с МПХ, используемые в автомобилестроении.



Рис. 5. Датчик уровня топлива



Рис. 6. Электронная педаль



Рис. 7. Датчик деформации



Рис. 8. Датчик загрузки самосвала

Литература

1. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Т.1. Принципы функционирования основных изделий

микромагнитоэлектроники // Под общ. ред. доктора физ.-мат. наук, проф. В.Н. Мордковича М: ДМК Пресс, 2001. – 544 с. ил. (Сер. «Учебник» ISBN 5-94074-078-2) Электронная версия. – 373 с.

2. Прокошин В.И., Ярмолович В.А., Драпезо А.П., Шилагарди Г. Синтез и исследование свойств полупроводниковых структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$, в том числе легированных теллуром, перспективных для изготовления высокостабильных миниатюрных элементов Холла // Сб. док. Междунар. науч. Конф. «Актуальные проблемы физики твердого тела», 18-21 октября 2011 г., Минск, В 3-х т. Т. 3 А.Н. Вркисин, С. 208–210.

SUBMINIATURE GALVANOMAGNETIC CONVERTER FROM HETEROSTRUCTURES DEVELOPMENT AS A KEY ELEMENTS OF DEVICES OF MIKROMAGNITOELEKTRONIKS

**¹Prokoshin V.I., ²Uglov V.V.,
³Drapezo A.P., ²Yarmalovich V.A.**

¹Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research
Minsk, Belarus

²Belarusian State University, Minsk, Belarus

³LLC «NTC Whist group sensor» Minsk, Belarus

On the example of microminiature converters Hall of epitaxial films A^3B^5 on semi-insulating gallium arsenide, developed by the authors, considered sensors and devices, that have been used in various industries: aerospace, automotive, automation, instrumentation.