

основные принципы золь-гель синтеза тонких пленок (в том числе органо-неорганических, гибридных, многослойных, имеющих специальное назначение), описана методика синтеза и свойства объемных стеклообразных и керамических золь-гель материалов, а также применение функциональных золь-гель материалов.

В Главе 20 «Микро- и наносенсоры» (автор – Жоан Пуэтеман, КУ Лювена, Бельгия) описываются микроминиатюрные сенсоры и датчики, а также электронные, механические и оптические компоненты, включая микромеханические системы (МЭМС).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная книга использована при разработке лекционных курсов для магистрантов специальностей «1-31 81 02 Фотоника» и «1-31 81 03 Функциональные наноматериалы», а также тем магистерских диссертаций и дипломных работ для выпускников-специалистов с 4-х летним и 5-ти летним циклами обучения. что будет содействовать повышению конкурентоспособности высшего образования Республики Беларусь в области прикладной физики и функциональных наноматериалов в мировом образовательном пространстве, способствовать обеспечению высокого уровня подготовки и стабильного качества образовательного процесса в области нанотехнологий для удовлетворения требований внешних и внутренних потребителей выпускаемых специалистов, а также дальнейшему развитию международного сотрудничества белорусских университетов с образовательными и научными учреждениями иностранных государств.

ПРОБЛЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ИЗУЧЕНИЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

О. Г. Жевняк

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь,
e-mail: Zhevnyakol@tut.by*

Рассмотрена тенденция дифференцированной подготовки в сфере преподавания дисциплин физического профиля. Обоснованы перспективы такой подготовки в отношении нанoeлектроники. Рассмотрен начальный минимальный уровень знаний, который должен быть достигнут при кратком изучении нанoeлектроники.

Ключевые слова: нанoeлектроника; волновые свойства электрона; гетероструктуры.

PROBLEMS OF DIFFERENTIATED EDUCATION OF NANOELECTRONICS

O. G. Zhevnyak

Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus

Corresponding author: O. G. Zhevnyak (Zhevnyakol@tut.by)

The trend of differentiated education in physics is considered. The prospects of that education in nanoelectronics are postulated. Minimum level of knowledge is considered. It should be achieved in short course of learning.

Key words: nanoelectronics; electron wave properties; geterostructures.

Тенденции развития современного высшего образования в сфере преподавания дисциплин физического профиля, в том числе и в области электроники, направлены на дифференциацию обучения. Перед обществом встают потребности в подготовке специалистов разного уровня владения предметом – минимального (краткая, ускоренная подготовка), среднего (базовая, стандартная подготовка) и повышенного (научная, факультативная подготовка). По десятибалльной оценочной шкале подготовка на этих уровнях соответствует четырем (4), шести–семи (6–7) и девяти–десяти (9–10) баллам. Минимальный уровень предполагает усвоение основ дисциплины, т. е. тех положений, которые лежат в основе разветвления всех ключевых тем дисциплины, составляющих их законов и закономерностей. Базовый уровень обеспечивает знание структуры, основных проблем и задач, теоретического содержания и методов его анализа, а также схем и результатов экспериментального исследования этих ключевых тем дисциплины. Повышенный уровень предполагает глубокое знание всех тем дисциплины, умение применять методы теоретического и экспериментального исследований для решения разных задач, входящих в предмет дисциплины, и умение получать новые или анализировать известные данные по широкому кругу вопросов. Целесообразнее всего критерии знаний и оценок для каждого уровня подготовки следует прописать в учебных программах дисциплины.

В сфере преподавания нанoeлектроники также встает проблема дифференцированной подготовки. А учитывая сложность, теоретическую насыщенность этой дисциплины и высокие требования к уровню предварительных знаний обучающихся, решение этой проблемы является весьма актуальным и своевременным. Особенно важной такая дифференцированная подготовка видится в случае расширения круга изучающих нанoeлектронику и соответственно не имеющих достаточно глубоких предварительно полученных знаний в области электроники, физики электронных устройств, а также теоретической физики, особенно квантовой механики. Пятнадцатилетний опыт преподавания нанoeлектроники на факультете радиофизики и компьютерных технологий БГУ у автора настоящего доклада также позволяет отметить очень высокие учебно-методические перспективы у данной дифференцированной подготовки – постепенное пошаговое углубление в теоретические положения курса повышает заинтересованность обучающихся, не отталкивает их от изучения теоретического содержания, стимулирует творческие инициативы и научные исследования по нанoeлектронной проблематике.

Как известно, наноэлектроника базируется на трех китах – физических основах электроники, физике электронных приборов и квантовой механике. Минимальный уровень подготовки требует знания тех основ этих дисциплин, которые определяют всю специфику наноэлектронных явлений, особенности движения электронов в структурах наноэлектроники, протекание квантовых эффектов в этих структурах.

При раскрытии физических основ электроники наиболее важным является разъяснение корпускулярно-волновой природы электрона, противопоставление его свойств в свободном состоянии, например, в вакууме и при воздействии на него электрического и магнитного полей, свойствам в связанном, локализованном состоянии, например, в атоме, формирование электронных облаков. К одним из важнейших параметров электрона относится его спин, механический момент электрона. Наличие спина означает, что электрон, имея массу покоя, вращается вокруг некоторой оси. Относительное, хотя и грубое представление о спине электрона дает рассмотрение его движения вокруг оси, связанной с ядром атома. Электрон каким-то образом перемещается вокруг некоторой оси. Спин может быть как положительным, так и отрицательным, что можно представлять как перемещение электрона вокруг оси, соответственно, против или по часовой стрелке.

Другой важнейший параметр электрона – длина волны де Бройля, и рассмотрение волновых свойств электрона является ключевой задачей для минимального уровня подготовки. В его рамках необходимо дать исчерпывающие знания об интерференции и дифракции электронных волн. Но при этом обязательно показать отличия свойств электронных волн от электромагнитных, например, световых. Световые характеризуются как дифракцией Фраунгофера (через узкие щели, сравнимые с длиной волны), так и дифракцией Френеля (через щели шириной в несколько длин волн). У электронов может наблюдаться только дифракция через щели, сравнимые с длиной волны де Бройля электрона.

К другим важным вопросам, которые должны быть рассмотрены на минимальном уровне подготовки, относятся основные положения волновой теории электронов или квантовой механики, а именно: уравнение Шредингера, его суть, волновая функция и ее характеристики, плотность электронного потока, квантование энергии электронов в прямоугольной яме бесконечной глубины, проникновение волновой функции в потенциальный барьер конечной высоты и туннелирование электронов через эти барьеры при их толщине, сравнимой с длиной волны электрона. Вопросы, касающиеся особенностей квантования в потенциальных ямах различной формы и глубины, а также туннелирования через потенциальные барьеры различной формы, ширины и высоты относятся уже к базовому уровню подготовки.

Завершающими для минимального уровня являются положения, касающиеся конструкции и основных принципов функционирования приборных структур наноэлектроники. Ключевыми среди них являются инверсионные слои кремния, возникающие, например, в таких основных элементах интегральных микросхем, как МОП-транзисторы, гетероструктуры и КНИ-МОП-транзисторы с проводящими слоями, а также структуры на основе квантовых проводов и квантовых точек. Также должны быть рассмотрены физические явления и режимы работы, определяющие функционирование элементов флеш-памяти.

Освоение данных вопросов является основным критерием прохождения изучающими наноэлектронику минимального уровня подготовки и получения ими удовлетворительной оценки.