

УДК 620.3;621.3.049.77

НАНОТЕХНОЛОГИИ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Кажиакпарова Ж.С., Николаев А.А., Кадилова Ж.К., Носова С.А.

*Западно – казахстанский инженерно-технологический университет, Уральск,
e-mail: ghadira@rambler.ru, antonvoenmech@yandex.ru, zhadira-71@mail.ru, nosova_s.a@mail.ru*

В статье рассмотрено введение новой дисциплины по выбору «Нанотехнологии в микроэлектронике» на кафедре «Вычислительная техника и информационные системы» по специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение» в Западно – Казахстанском инновационно – технологическом университете города Уральска. Так как в настоящее время вопрос нанотехнологий стоит остро, нанотехнологии совершат переворот в микроэлектронике. В статье рассмотрена учебно – методическая разработка по данной дисциплине. В статье рассмотрены вопросы изучения лазерных микро– и нанотехнологий в микроэлектронике. Еще недавно длина волны света считалась пределом его локализации, и в связи с тем, что середина видимой области приходится на 0,5 мкм, оптические методы признавались бесперспективными для субмикронного (нанометрового) диапазона размеров. На смену им разрабатывались процессы и методы электронной и рентгеновской литографии. Поэтому введение данной дисциплины актуально в настоящее время.

Ключевые слова: образование, методика, нанотехнологии, методы, инновационный метод, микроэлектроника

NANOTECHNOLOGY IN MICROELECTRONICS

Kazhiakparova J.S., Nikolaev A.A., Kadirova J.K., Nosova S.A.

*West – Kazakhstan Engineering and innovation – Technology University, Uralsk,
e-mail: ghadira@rambler.ru, antonvoenmech@yandex.ru, zhadira-71@mail.ru, nosova_s.a@mail.ru*

The article deals with the introduction of the new discipline of choice «Nanotechnologies in Microelectronics» at the department of «Computer Science and Information Systems» specialty «Computers and Software» in the West – Kazakhstan innovation – Technological University of Uralsk. Since nanotechnology is now the question is acute, nanotechnology will make a revolution in microelectronics. The article describes the educational – methodical development in the discipline. The paper deals with the study of laser micro- and nanotechnology in microelectronics. More recently he considered light wavelength limit of its location, and due to the fact that the middle of the visible region account for 0.5 micron, optical methods recognized futile for submicron (nanometer) size range. In their place were developed processes and methods for electronic and X-ray lithography. Therefore, the introduction of the discipline topical at the moment.

Keywords: education, methods, nanotechnology, methods, innovative method, microelectronics

Переход на стандарты третьего поколения предусматривает внедрение в учебный процесс инновационных дисциплин, отвечающих запросам отрасли и реализующих выполнение законов Республики Казахстан.

Дисциплина «Нанотехнологии в микроэлектронике» органично сочетается и образует логичную взаимосвязанную целостность с дисциплинами по выбору студента профессионального цикла ООП бакалавриата «Вычислительная техника и программное обеспечение».

Целью дисциплины «Нанотехнологии в микроэлектронике» является формирование у студентов системы компетентных знаний в области понятий, методов и приемов, применяемых при изучении, проектировании и производстве наноструктур, устройств и систем, включающих целенаправленный контроль и модификации формы, размера, взаимодействия и интеграции составляющих их наномасштабных элементов, способствующих улучшению (либо появлению) дополнительных эксплуатационных и/или потребительских харак-

теристик и свойств получаемых продуктов для микроэлектроники, ознакомление студентов с современными достижениями в области наноиндустрии и перспективами их использования. Особое внимание в дисциплине уделено формированию мировоззрения интеграции фундаментальных исследований и современных достижений науки и техники в области нанотехнологий в профессиональную деятельность будущих специалистов; формированию мировоззрения принятия нестандартных научно обоснованных решений при внедрении в практику производства инновационных разработок по нанотехнологиям, обеспечивающих реализацию Государственных программ и международных стандартов ИСО. Учебно – методический комплекс, в который входит курс лекций состоит из следующих глав.

Главы лекционного материала:

- общие определения и межотраслевая классификация нанотехнологий,
- физические основы нанотехнологий,
- принципы моделирования и методы измерений наносистем,

– применение, стадии развития и внедрения нанотехнологий в сфере микроэлектроники.

В первой главе на основе анализа международного опыта и практики в организации научных исследований, стандартизации и статистического учета приведены базовые определения нанотехнологий и проект классификации их направлений. Во второй главе достаточно компактно, доступно и на высоком научном уровне представлена обзорно-аналитическая информация о физических основах нанотехнологий, обоснованы приоритетные направления научных исследований. Третья глава является логическим продолжением и посвящена вопросам фективности дисциплинам и будет результативной только после целенаправленного функционирования набора изучаемых дисциплин и их содержания. Приведены и проанализированы методы и приемы, применяемые при изучении, проектировании и производстве наноструктур для нужд микроэлектроники. В четвертой главе представлены тенденции и перспективы развития нанотехнологий в микроэлектронике. Проанализированы коммерческие перспективы от внедрения нанотехнологий по секторам отрасли [1].

Четвертая глава рассказывает о свойствах поверхности нанокристалла и электронное строение цепочки атомов. Сущность нанотехнологии заключается в манипулировании материальными объектами на молекулярном и атомарном уровне с целью создания приборов и устройств с качественно новыми характеристиками. В более широком смысле этот термин означает, что нанотехнология имеет дело с наноструктурами, физические размеры которых меньше 100 нм. Именно этот диапазон размеров характеризуется проявлением качественных отличий физических и химических свойств нанобъектов от микро- и макрообъектов, имеющих кажущееся аналогичное компонентное и структурное строение. Эти отличия вызваны двумя взаимозависимыми фундаментальными физическими условиями:

– свойства поверхности нанокристалла (объект, размеры которого меньше 100 нм) вносят заметный вклад в интегральные свойства, не приводя к существенным отличиям свойств нанокристалла по сравнению с классическими представлениями о макрообъекте;

– электронное строение цепочки (или решетки) атомов определяется граничными условиями (геометрическими или энергетическими барьерами), изменяющими колебательные спектры связанных и свободных

электронов и приводящих к изменению колебательного спектра атомов, составляющих материальный объект.

Таким образом, нанобъект сохраняет все свойства, обусловленные его природной структурой, и приобретает дополнительно качества, обусловленные его поверхностными свойствами (характеристиками). Отмеченные границы могут служить критериями перехода от микроскопических к мезоскопическим и наноскопическим размерам, хотя эти границы определяются характером взаимодействия между электронами и атомами решетки [2]. Тем не менее, именно это разделение микро-, мезо- и нанобъектов сегодня общепринято.

Более строгое определение нанотехнологии основывается на принципиальном положении, что в основе ее лежит квантовый характер нанобъектов и нанопроцессов и целенаправленная сборка на атомно-молекулярном уровне.

Квантовый характер нанотехнологических процессов делает технологию в высочайшей степени наукоемкой и вызывает необходимость использования методов химической физики (строение сложных молекул и молекулярных ансамблей), физики и электроники, молекулярной биологии, развития и овладения многоуровневым математическим моделированием и методами «зонной инженерии» и «инженерии волновых функций».

Основная задача сводится к созданию квантово-размерных структур с заданным электронным спектром, который определяет электрические, оптические, магнитные и другие свойства формируемых приборов.

Исходя из этой всеобщности квантового подхода, характеристика использования фундаментальных терминов квантовых явлений в приборных полупроводниковых структурах, имеющих в настоящее время наибольшее практическое приближение, выглядит следующим образом.

Квантовые ямы. Термин используется для обозначения системы, которая имеет размерное квантование движения носителей заряда в одном направлении. Основные явления для квантовых ям: размерное квантование электронного спектра, квантовый (целочисленный и дробный) эффект Холла. Молекулярно-лучевая эпитаксия дает возможность формирования гетероструктур с квантовыми ямами, на которых возможно достижение высоких значений подвижности электронов, а, следовательно, и быстродействия приборов.

Также уделено большое внимание фотонным материалам, которые имеют ряд специфических свойств. Это упорядочен-

ные системы, в которых существенную роль играет зонный спектр фотонов. Примерами служат опаловые матрицы и самоорганизованные нанопористые структуры, например на основе оксида алюминия. Такие материалы позволяют продвинуться в создании низкопороговых лазеров, приемников излучения, систем управления световыми потоками.

Фуллереноподобные материалы на основе углерода и других неорганических материалов стали интенсивно изучаться в последнее время и сейчас рассматриваются как одни из самых перспективных материалов для нанoeлектроники и микроэлектромеханики, благодаря совокупности таких свойств, как уникальная прочность, управляемое изменение размеров от единиц до сотен нанометров, возможность заполнения полостей молекулами газов, органическими и неорганическими молекулами, что дает возможность получать управляемые физические свойства.

Фуллерены – агрегаты атомов углерода (C₆₀), собранные в молекулу с ковалентными связями. Число атомов в молекуле углерода может достигать 1 млн. и более, и они могут иметь форму одностенной трубки диаметром 1,1 нм и длиной в несколько десятков микрон – это нанотрубки. Возможность вводить в структуру различные присадки увеличивает число фуллереновых материалов и придает им свойства полупроводников, металлов, ферромагнетиков, полимеров – эти материалы называют фуллеритами. Все эти молекулы (известно в настоящее время более десятка тысяч) могут служить строительными элементами для создания наноустройств с помощью методов молекулярного моделирования (механические приводы, моторы, шестеренки, молекулярные насосы, амортизаторы, пружины и т.д.). На основе нанотрубок можно создавать электронные компоненты, сенсоры, избирательные фильтры, автокатоды, индикаторы, нити накаливания, материалы для строительства микроустройств, нити и высокопрочные ткани.

Молекулярный характер фуллереноподобных материалов открывает дорогу для химических методов сборки функциональных структур (самоорганизация) на основе таких материалов [3].

Наконец, наноматериалы могут привести и уже приводят к созданию новых конструкционных материалов, сочетающих высокие прочность и пластичность, термо- и коррозионную стойкость, низкую воспламеняемость. Такие материалы необходимы при создании микро- и нанороботов, работающих в специальных условиях и средах,

конструкциях летательных и космических аппаратов.

Главная цель нанотехнологии – создание наноприборов, к настоящему времени определились два главных принципа: «сверху-вниз» и «снизу-вверх».

Принцип «сверху-вниз» – это миниатюризация традиционных микроэлектронных схем и микроэлектромеханических устройств до наноразмеров с помощью:

- усовершенствованных методов и процессов, используемых полупроводниковой технологией;

- новых нетрадиционных процессов, таких как программное воздействие зондами с наноразмерным острием (кантилевер в зондовых микроскопах) на материал с целью его локальной модификации на уровне атомов или молекул;

- новых материалов и новых физических эффектов.

Принцип «снизу-вверх» – это создание наноприборов и наноустройств, собранных из молекул или атомов.

Ситуация радикальным образом изменилась в последние годы в связи с достижениями в лазерных технологиях (пороговые процессы), в изучении процессов взаимодействия излучения с веществом (нелинейные процессы) и в появлении новой области – ближнепольной оптики. Теперь оптические методы и процессы в связи с их разработанностью, гибкостью, относительной простотой, и в связи с появлением перспективы вновь являются основными методами локализации воздействий на данном этапе развития нанотехнологий.

Толщина диэлектрика полевых транзисторов ныне составляет менее 1,2 нм, что достигается созданием самоформирующихся слоев диэлектрика с толщиной в 3-5 атомных слоев. Для улучшения электрических характеристик кремния используется его растяжение (напряженный кремний), улучшающее атомарную структуру материала.

Вместо алюминия для проводников СБИС все чаще применяется медь – материал с меньшим удельным сопротивлением. Уже нынешний уровень развития нанотехнологий в микроэлектронике позволяет создавать пластины и даже трубки толщиной в атомный слой, так что возможности этого направления почти безграничны. Они и служат гарантией того, что закон Мура будет соблюдаться еще многие годы.

Актуальность и степень освещения практических вопросов достаточна для их применения в данной сфере производств АПК. С методической точки зрения дисциплина отличается взаимосвязанностью глав, доступностью изложения, наличием

примеров и визуального материала. В учебно-методическом комплексе даны точные определения и формулировки с использованием общепринятой терминологии. Уровень изложенного материала соответствует современным достижениям в области нанотехнологий для микроэлектроники. Список литературы достаточно полно освещает вопросы рассматриваемых разделов.

Нанотехнологии в микроэлектронике – довольно горячо обсуждаемая в данное время тема, ей посвящены сотни научных конференций и семинаров в год. Недаром в своё время эмблемой фирмы Intel были и люди в космических скафандрах: только в 2002 и 2003 годах затраты Intel на проведение научных исследований в области нанотехнологий в микроэлектронике составили более 4 миллиардов долларов. Чтобы микропроцессоры с десятками и сотнями миллионов транзисторов не превратились попутно в микроволновые печи (а такая перспектива при работе процессоров на частотах в единицы ГГц, увы, есть), Intel ведет исследования в области нанотехнологий в микроэлектронике. Уже пал барьер

геометрического разрешения в 0,1 мкм или 100 нм. А с помощью установок фотолитографии с жесткими ультрафиолетовыми лучами (EUV) уже удалось получить разрешение менее 40-50 нм [4].

Вне сомнения учебно – методический комплекс по дисциплине «Нанотехнологии в микроэлектронике» также может быть рекомендована для заочного и дистанционного обучения.

Список литературы

1. Авакянц Л.П. Оптическая спектроскопия колебательных и электронных состояний полупроводниковых наноструктур кремния и арсенида галлия: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. – М., 2010. – С. 38.
2. Актуальные проблемы нанобиотехнологии и инноваций с нетрадиционными природными ресурсами и создания функциональных продуктов: V Рос. науч.-практ. конф. (5 октября 2009 г.): матер. конф. – Москва: РАЕН, 2009. – С. 124.
3. Огемян В.Ф. Основы фотоники полупроводниковых кристаллов и наноструктур: учеб.-метод. пособие. – СПб., 2007.
4. Райбушев А.В. Фемтосекундная фотоника наноструктурированных систем Ag/TiO₂ и Au/TiO₂: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 2009. – С. 20.