

Секция 2

Физико-математические науки

Научная статья
УДК 53.01
ББК 22.31
ГРНТИ 29.01.45
ВАК 01.04.15
PACS 01.40.Di
OCIS 310.6628
MSC 00A79

Онлайн-курс по физическим основам нанотехнологии

К. К. Алтунин ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 7 апреля 2023 года
После переработки 12 апреля 2023 года
Опубликована 5 июня 2023 года

Аннотация. Представлены результаты разработки онлайн-курса по физическим основам нанотехнологии. Произведено описание разработки избранных элементов онлайн-курса по физическим основам нанотехнологии при помощи инструментария Google Classroom. Онлайн-курс по физическим основам нанотехнологии, созданный при помощи инструментария Google Classroom, можно использовать для информационного обеспечения смешанного обучения студентов при изучении физических основ нанотехнологии, а также для визуализации процесса обучения нанотехнологиям. Использование элементов контроля онлайн-курса по физическим основам нанотехнологии позволит систематизировать контроль теоретических знаний по физическим основам нанотехнологии.

Ключевые слова: нанотехнологии, курс по нанотехнологии, курс, онлайн-курс, материал курса, лекция, тест, задание

¹E-mail: kostya_altunin@mail.ru

Введение

В связи с интенсивным развитием различных системы дистанционного обучения становится актуальной задача разработки информационного обеспечения и сопровождения курса по физическим основам нанотехнологии. В работе рассматривается процесс разработки онлайн-курса по физическим основам нанотехнологии.

В работе рассматриваются результаты процесса создания онлайн-курса по физическим основам нанотехнологий.

Целью работы является исследование современных и перспективных технологий создания дистанционных курсов по физическим основам нанотехнологий.

Задачи исследования:

1. написание обзора по основам нанотехнологии и наноэлектроники,
2. создание модульной структуры онлайн-курса по физическим основам нанотехнологий,
3. наполнение тематическим содержанием элементов онлайн-курса по физическим основам нанотехнологий,
4. создание элементов контроля онлайн-курса по физическим основам нанотехнологий,
5. разработка системы тестов, заданий, семинаров онлайн-курса по физическим основам нанотехнологий для добавления новых теоретических сведений по физическим основам нанотехнологий в образовательный процесс в университетах.

Объектом исследования является онлайн-курс по физическим основам нанотехнологий. Предметом исследования является содержательные и методические аспекты создания онлайн-курса по физическим основам нанотехнологий.

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать комбинацию создания дистанционных курсов по физическим основам нанотехнологий, то можно организовать информационную поддержку изучения нанотехнологий в университетах.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что разработка онлайн-курса по физическим основам нанотехнологий будет способствовать новой методологии проектирования курса по физическим основам нанотехнологий в педагогическом университете. Практическая значимость заключается в том, что результаты разработки онлайн-курса по физическим основам нанотехнологий могут быть применены для модернизации и совершенствования учебного процесса студентов педагогических направлений подготовки по учебным дисциплинам, связанным с изучением нанотехнологий.

В качестве методов исследования используются информационные и компьютерные методы создания и модернизации дистанционных курсов. В качестве материалов используются материалы, описывающие физические процессы современных и перспективных нанотехнологий.

Обзор работ по основам нанотехнологии и наноэлектроники

В статье [1] даётся последовательный обзор захватывающей области и сложных областей исследований в мезоскопической физике и наноэлектронике. Выясняется объединяющая роль теории S -матрицы или языка квантовой механики «вход-квантовый процесс-выход» в формулировке квантового переноса в мезоскопической физике и наноэлектронике с применением теории S -матрицы, не зависящей от времени, к мезоскопическим системам и двойным Теория S -матрицы, зависящая от времени по оси времени, в сочетании с решёточной формулировкой Вейля-Вигнера квантовой динамики электронов в твердых телах применительно к сильно нелинейным, далёким от

равновесия и высокоскоростным нанoeлектронным устройствам. В стационарном состоянии и близком к равновесию два независимых состава дают эквивалентные результаты. Технологическое влияние подхода с квантовой функцией распределения многих тел (типичным примером которого является функция распределения Вигнера) демонстрируется полным переходом от уровня базовой нелинейной квантовой физики переноса к инженерному инструменту автоматизированного проектирования интегральных схем. Это делается при выводе модели эквивалентной схемы для устройств резонансного туннелирования, которая включает квантовую индуктивность. В статье [1] основное внимание уделяется основным разработкам в области квантового транспорта, вычислительной нанoeлектроники, новым концепциям устройств и новым физическим явлениям транспорта, обнаруженным в наноструктурах, с потенциальными приложениями в устройствах и интегральных схемах, которые, как считается, окажут значительное влияние на будущие разработки нанoeлектроники.

В статье [2] описан ряд новых методов нанofабрикации, основанных на монослойных технологиях, биомиметических принципах, межфазных реакциях и взаимодействиях, которые позволили создавать новые стабильные воспроизводимые планарные одномерные и двумерные массивы из стабилизированных нанокластеров и наночастиц на твёрдых подложках. Кластеры, наночастицы, нанопроволоки, длинные молекулы в виде нанотрубок и полинуклеотидов, а также функциональные надмолекулярные наноструктуры в настоящее время рассматриваются как потенциальные строительные блоки для нанотехнологий и нанoeлектронных устройств и схем, а также для разработки и внедрения новых методов эффективного управления их структурой, составом и наномасштабом. организации необходимы. В статье [2] описывается ряд новых методов нанofабрикации, основанных на методах монослоя, биомиметических принципах, межфазных реакциях и взаимодействиях. Методы позволили получать новые стабильные воспроизводимые планарные одномерные и двумерные массивы из стабилизированных нанокластеров и наночастиц на твёрдых подложках, ультратонкие полимерные наноразмерно-упорядоченные монослойные и многослойные квазикристаллические и нанокompозитные плёнки, планарные полимерные комплексные пленки с интегрированными ДНК и неорганические строительные блоки в виде квазилинейных массивов полупроводников и наночастиц оксида железа и нанопроводов. Просвечивающая электронная микроскопия, методы сканирующей туннельной микроскопии и атомной силовой микроскопии использовались для характеристики изготовленных наноструктур. Эффекты, связанные с дискретным туннелированием электронов, наблюдались в монослоях нанокластеров и малых наночастиц золота при комнатной температуре с помощью сканирующей туннельной микроскопии.

В статье [3] предлагается новый трёхмерный нанoeлектронный строительный блок (3DnanoBB) для поперечных наноструктурной интегральной схемы, который можно использовать для создания массивов памяти. Значительный прогресс был достигнут в различных приложениях нанотехнологий. Статья [3] посвящена перспективным исследованиям в области трёхмерной нанoeлектроники и наноИС. Быстрая миниатюризация электроники до наноразмеров была ключевой силой, а нанoeлектроника — это рубеж двадцать первого века. За последние несколько лет был достигнут значительный прогресс в различных приложениях нанотехнологий к нанoeлектронике. В последние годы были достигнуты значительные успехи в производстве и демонстрации молекулярных проводов, диодных переключателей, одноэлектронных транзисторов, квантовых точек. Однако фундаментальные и прикладные разработки в области трёхмерной нанoeлектроники и наноструктурных интегральных схем отстают от экспериментальных исследований. Изготовление, тестирование и определение характеристик различных наноструктур (транзисторов и межсоединений из углеродных нанотрубок, кремниевых

нанопроводов, молекулярных транзисторов, квантовых точек и др.) приводят к возможности их применения в трёхмерных наноструктурных интегральных схемах (3DnanoIC). В статье [3] предлагается разработать трехмерные строительные блоки нанoeлектроники (3DnanoBB) и проиллюстрировать их применение в поперечных наноструктурных интегральных схемах. Используя различные 3DnanoBB и 3DnanoFabrics, можно проектировать функциональные 3DnanoIC и массивы памяти с применением предложенной парадигмы наноархитектуры. На самом деле, одним из наиболее многообещающих направлений, которое приведет к прогрессу в бенчмаркинге, является синтез, проектирование и анализ трёхмерных наноструктурных интегральных схем сверхвысокой плотности (Super3DnanoIC).

В статье [4] описаны два недавно разработанных курса по нанотехнологиям в контексте общеобразовательных требований университетов, включая спекание нано-серебра и перколяцию углеродных нанотрубок. Два недавно разработанных курса по нанотехнологиям описываются в контексте общеобразовательных требований университета. Лабораторный курс для студентов старших курсов в основном сосредоточен на приготовлении и свойствах ультратонких прерывистых золотых плёнок, осажденных в вакууме на стекле (то есть структурно-зависимых электрических и оптических свойствах), но также включает эксперименты по спеканию нано-серебра и перколяция нанотрубок. Курс моделирования нанoeлектроники для младших классов использует LT-SPICE и действует как факультатив для специальностей естественно-научного профиля и факультатив по общим исследованиям для неспециалистов. Моделирование охватывает основные схемы, перколяцию углеродных нанотрубок, туннелирование электронов, туннельные диоды, одноэлектронные транзисторы, квантовые автоматы, наносенсоры и мемристоры.

В статье [5] обсуждаются потенциальные преемники кремниевой КМОП-технологии, а также прорывные технологии, основанные на нанотехнологиях, которые будут способствовать дальнейшему развитию технологии интегральных схем. Ожидается, что будущие миниатюрные устройства, выходящие за пределы эры закона Мура для кремния, будут опираться на новые оригинальные методы реализации пространственно контролируемых и высокофункциональных наноразмерных компонентов, синтезированных с помощью недорогой химии.

В статье [6] рассмотрена ситуация на рынке дешевых ноутбуков и в сегменте суперкомпьютеров и показаны возможные направления дальнейшего обновления элементной базы нанoeлектроники. Дана краткая характеристика роли электронной техники в информационном обществе, состоянии и перспективах её развития. Рассмотрена ситуация на рынке дешевых ноутбуков и в сегменте суперкомпьютеров. В статье [6] показаны возможные направления дальнейшей модернизации элементной базы нанoeлектроники. Приведена информация о состоянии работ по изготовлению интегральных микросхем по технологическим нормам 32, 45, 51 и 55 нм.

В статье [7] авторы обобщают некоторые из самых последних кремниевых инноваций, сделанных для передовых КМОП-транзисторов в эпоху нанотехнологий для высокоскоростных и энергоэффективных цифровых приложений сверхбольших интегральных схем. В работе [7] сначала будут обобщены некоторые из самых последних кремниевых инноваций, сделанных для передовых КМОП-транзисторов в эпоху нанотехнологий для высокоскоростных и энергоэффективных цифровых приложений сверхбольших интегральных схем. Ожидается, что благодаря этим кремниевым нанотехнологиям тенденции масштабирования и повышения производительности КМОП будут расширяться и сохраняться в следующем десятилетии. Кроме того, был достигнут значительный прогресс и возник большой интерес к исследованиям некремниевых материалов и их интеграции в большие кремниевые пластины для повышения производительности ин-

тегральных схем, обеспечения большего количества функций и снижения рассеиваемой мощности. Например, составные полупроводники III-V и их интеграция в кремний в настоящее время изучаются для будущих высокоскоростных и сверхмаломощных цифровых КМОП-приложений. Новые наноматериалы и нанотехнологии, такие как нанотрубки, нанопроволоки и наноленты, а также новые области, такие как устройства без заряда и спинтроника, изучаются для будущих приложений для вычислений и хранения данных. Кроме того, некоторые из этих наноустройств находят потенциальное применение в других важных областях, таких как здоровье и окружающая среда, преобразование и хранение энергии, бытовая электроника, устройства связи, датчики и так далее. В работе [7] будут обсуждаться результаты исследований этих новых нанотехнологий и нанoeлектронных устройств, а также проблемы и возможности объединения нанoeлектроники «сверху вниз» и «снизу вверх».

В статье [8] показано, что трёхмерное изображение с атомарным разрешением возможно для просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения с использованием линз и монохроматоров с коррекцией аберраций. Качество изображения в электронной микроскопии часто страдает от аберраций объектива. В результате аберраций объектива критическая информация оказывается искажённой на атомном уровне в просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения. В сканирующей просвечивающей электронной микроскопии резко снижается пространственное разрешение изображений и качество спектроскопических данных. С недавним появлением линз и монохроматоров с исправлением аберраций новые захватывающие изображения с пространственным разрешением менее 0.1 нм теперь регистрируются регулярно, а данные о потерях энергии электронов используются для определения местоположения отдельного атома в атомной колонке. В результате уменьшенной глубины фокуса линзы с коррекцией аберраций, используемой в сканирующей просвечивающей электронной микроскопии, мечта о трёхмерном атомном разрешении стала на один шаг ближе, и для просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения было показано, что трёхмерное изображение с атомарное разрешение возможно. Однако понимание визуализации и спектроскопии в просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения и сканирующей просвечивающей электронной микроскопии по-прежнему требует уточнённого моделирования лежащих в основе процессов рассеяния электронов с помощью многослойного моделирования изображений. Поскольку исследования в области физики и технологии нанoeлектронных устройств уже перешли к затворам транзисторов с длиной затвора менее 10 нм, потребность в хорошо изученных изображениях и спектроскопии в наноразмерах уже возникла. К счастью, нанопроволоки и другие нанотехнологические материалы служат полезными тестовыми образцами, а также потенциальными материалами для будущей нанoeлектроники. Это позволяет на раннем этапе разрабатывать методы микроскопии, которые будут использоваться для исследования будущих поколений интегральных схем.

В статье [9] представлены результаты, полученные с использованием этих конфигураций в нескольких областях микроэлектроники или нанотехнологий, таких как силанизация поверхностей кремния для биологических приложений; показано исследование эффективности прививки и проверка различных процессов, модифицирующих концевые функциональные группы; и характеристика материалов с высоким показателем преломления, предназначенных для замены оксидов кремния затвора с технологическим узлом 32 нм. Инфракрасная спектроскопия — это метод характеристики, который широко используется для наблюдения сигнатур молекулярных колебаний. Используя определённую оптическую конфигурацию, такую как многократное внутреннее отражение или ослабленное полное отражение, можно усилить сигнал от сверхтонких слоев или от загрязняющих веществ с низкой концентрацией. Объяснены причины повыше-

ния чувствительности благодаря этим оптическим схемам. Преимущества этих методов подчёркиваются, показывая широкий спектр приложений, в которых они используются. В статье [9] представлены результаты, полученные с использованием этих конфигураций в нескольких областях микроэлектроники или нанотехнологии: силанизация поверхностей кремния разрабатывается для биологических приложений; показано исследование эффективности прививки и проверка различных процессов, модифицирующих концевые функциональные группы; характеристика материалов с высоким показателем преломления, предназначенных для замены оксидов кремния затвора с технологическим узлом 32 нм.

В статье [10] описывается общая политика проектирования наноэлектронных систем, показывающая, как можно использовать определенные свойства квантовых устройств, а не противодействовать им, вводя нетрадиционные подходы к проектированию. В статье [10] описывается общая политика проектирования наноэлектронных систем, показывая, как можно использовать определенные свойства квантовых устройств, а не противодействовать им, вводя нетрадиционные подходы к проектированию. Более подробно описаны идеи схем одноэлектронного туннелирования как компонентов нейронных сетей. Утверждается, что ортодоксальная теория одноэлектронных устройств не подходит для проектирования и моделирования схем и требует пересмотра. В статье [10] дан обзор схем одноэлектронного туннелирования.

В статье [11] представлена новая технологическая схема изготовления электронных и электромеханических устройств с одностенными углеродными нанотрубками, где метод рамановской визуализации использовался для мониторинга самого процесса изготовления и для последующего наблюдения за модификациями интегрированных нанотрубок во время обработки. Во-первых, расширенные рамановские изображения использовались для определения местоположения нанотрубок относительно эталонных маркеров выравнивания, позволяющих отличить полупроводниковые нанотрубки от металлических углеродных до электрического контакта с ними. Во-вторых, в статье [11] использовали рамановскую визуализацию для мониторинга отдельных этапов процесса. В статье [11] показано, что сигнал режима радиального дыхания очень чувствителен к стандартным процессам, используемым для контакта с отдельными нанотрубками. Кроме того, в статье [11] заключается, что травление HF для высвобождения нанотрубок приводит к значительному увеличению D -линии, индуцированной дефектами.

В статье [12] рассмотрена динамика плазмы в наноразмерных металлодиэлектрических структурах и разработаны схемные модели для наноустройств и схем с потенциальными плазменными волнами. Представлены схемные представления поверхностно-плазмонных волноводов, наноантенн и генераторов поверхностных плазмонов на основе нарушенного полного отражения. В структурах металл-изолятор-металл туннелирование также возбуждает поверхностные плазмонные волны, и эквивалентная схема, представленная в статье [12], помогает разработать схемы, использующие поверхностные плазмонные волны. Эти наноэлектронные схемы могут повлиять на будущее терагерцовой и инфракрасной электроники.

Результаты разработки структуры и элементов дистанционного курса по физическим основам нанотехнологий

Учебная дисциплина по физическим основам нанотехнологии изучается во втором семестре студентами магистратуры, обучающимися по направлению подготовки 44.04.01 Педагогическое образование, направленность образовательной программы «Организация научно-технического творчества молодежи». На учебную дисциплину по физическим основам нанотехнологии отведено лекций в объёме 2 часа и лабораторных занятий в объёме 16 часов. Предусмотрена также выполнение одной контрольной работы. На вы-

полнение контрольной работы отводится 2 часа. Основной формой итогового контроля и оценки знаний студентов по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» является зачёт во втором семестре.

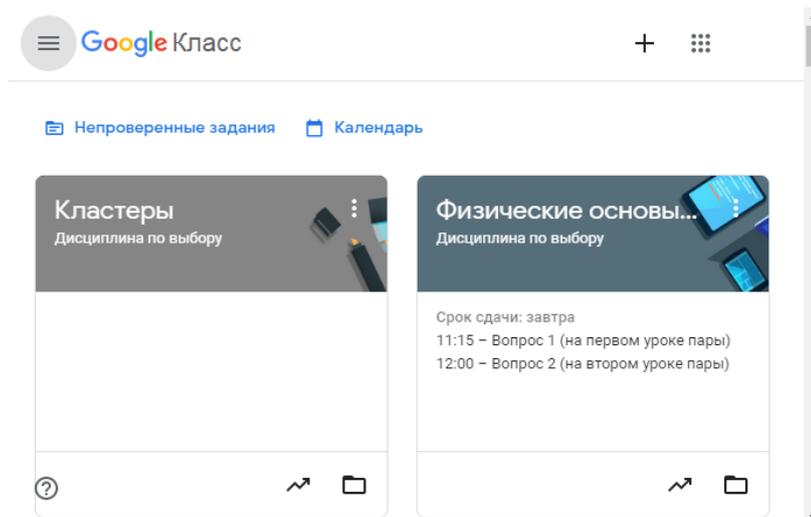


Рис. 1. Входная страница курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

На рис. 1 приведено изображение входной страницы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom. Входная страница дистанционного курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» содержит информацию о названии курса, краткое описание курса, эмблему курса, текущие задания курса.

Первой темой учебной дисциплины «Физические основы нанотехнологии» является тема, связанная с изучением методов и физических принципов нанотехнологии. Второй темой учебной дисциплины «Физические основы нанотехнологии» является тема, связанная с изучением физики и технологии изготовления полупроводниковых квантово-размерных систем пониженной размерности. Третьей темой учебной дисциплины «Физические основы нанотехнологии» является тема, связанная с изучением физических свойств сверхрешёток и размерного квантования в сверхрешётках. Четвёртой темой учебной дисциплины «Физические основы нанотехнологии» является тема, связанная с изучением квантовых эффектов в квантово-размерных системах пониженной размерности и квантового эффекта Холла.

На рис. 2 приведено изображение календаря с текущими заданиями курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

На рис. 3 приведено изображение ленты курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

На рис. 4 приведено изображение элементов первой темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

На рис. 5 приведено изображение страницы с материалом, содержащим понятие о нанокompозитах, в составе курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

На рис. 6 приведено изображение вопроса 1 из первой темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

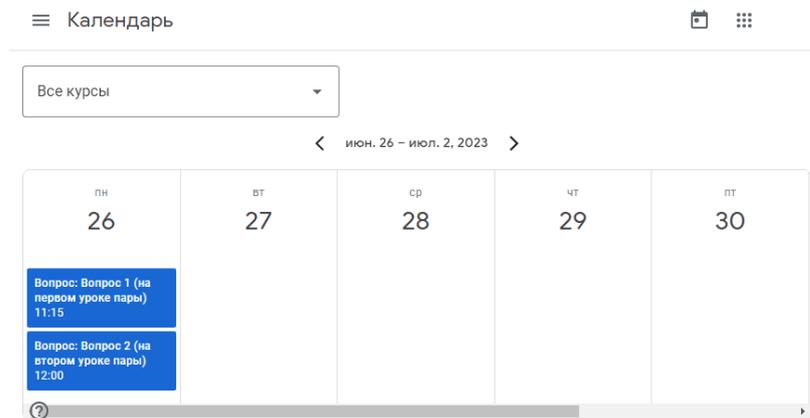


Рис. 2. Календарь с текущими заданиями курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

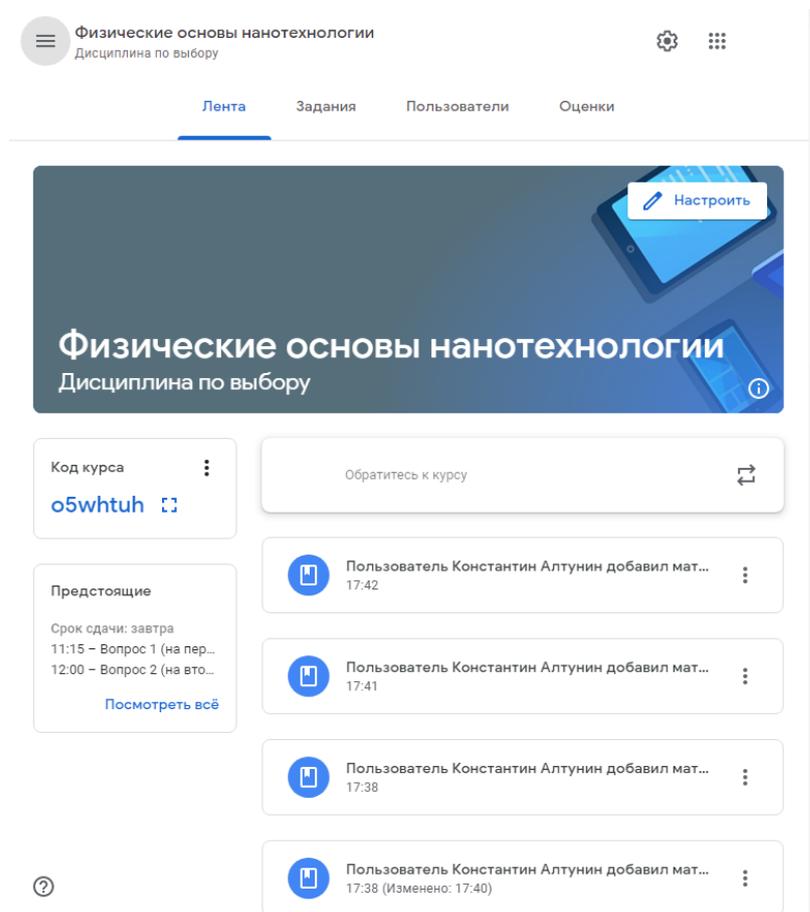


Рис. 3. Лента курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

На рис. 7 приведено изображение вопроса 2 из первой темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

На рис. 8 приведено изображение элементов второй темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

На рис. 9 приведено изображение страницы с материалом по элементам зонной тео-

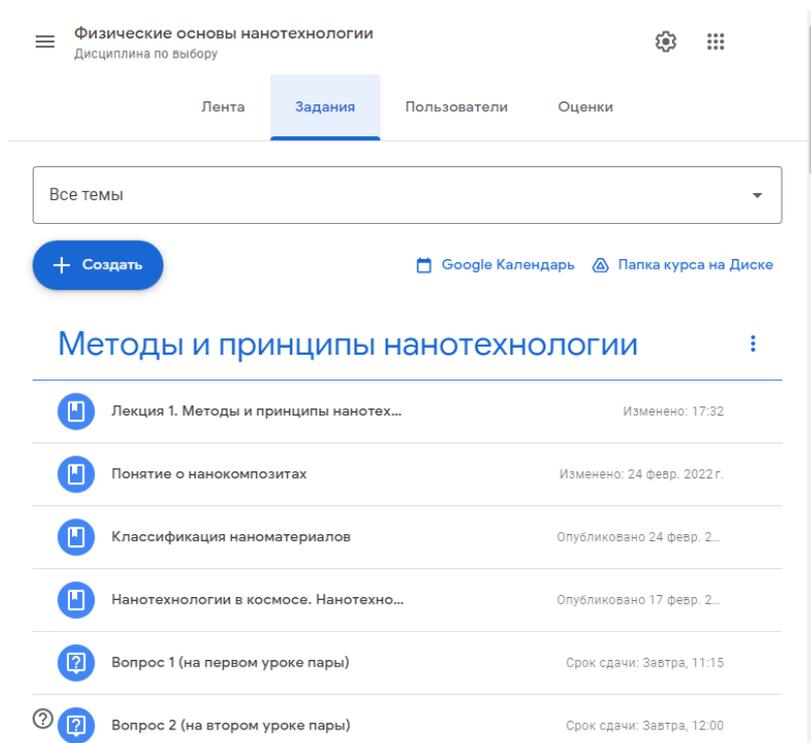


Рис. 4. Элементы первой темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

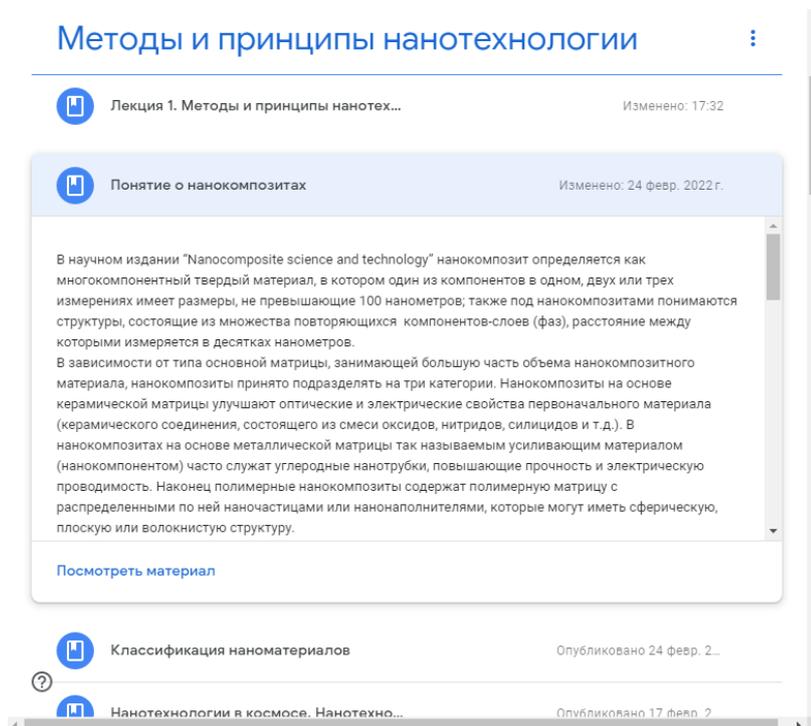


Рис. 5. Материал, содержащий понятие о нанокompозитах, в составе курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

рии твёрдого тела в составе курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

На рис. 10 приведено изображение страницы с избранными элементами третьей темы

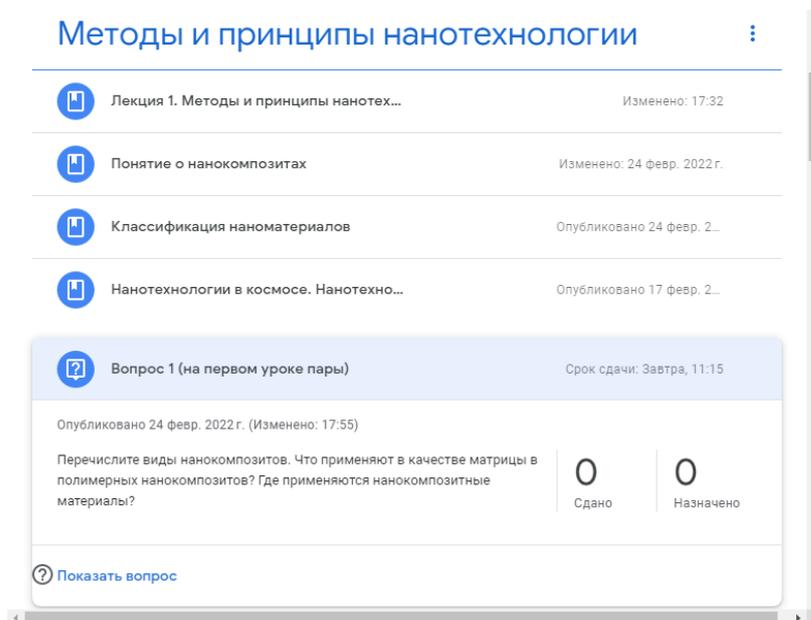


Рис. 6. Вопрос 1 из первой темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

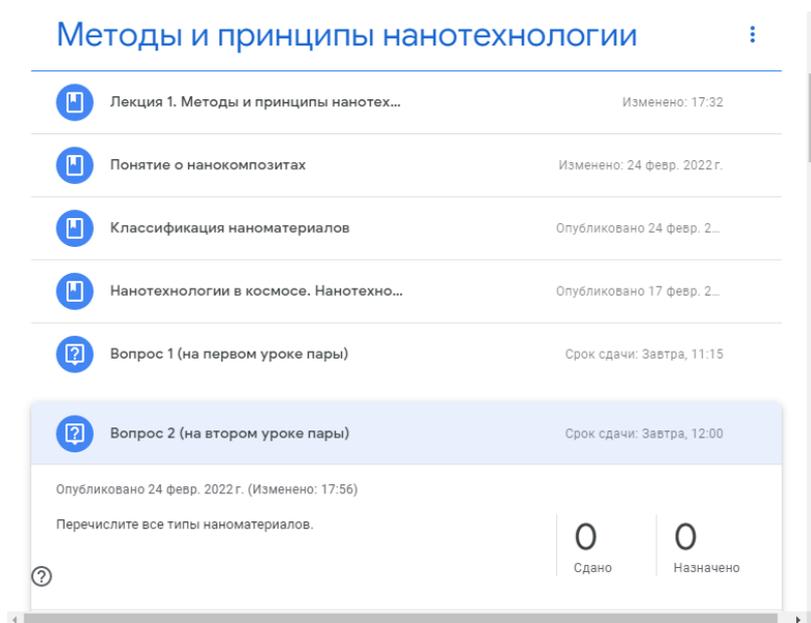


Рис. 7. Вопрос 2 из первой темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

На рис. 11 приведено изображение страницы с избранными элементами четвертой темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

Первая лекция по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» посвящена изучению методов и принципов нанотехнологии. В составе учебной дисциплины «Физические основы нанотехнологии» предусмотрена только одна лекция.

Первое лабораторное занятие по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» посвящено изучению физических свойств полупроводниковых квантово-

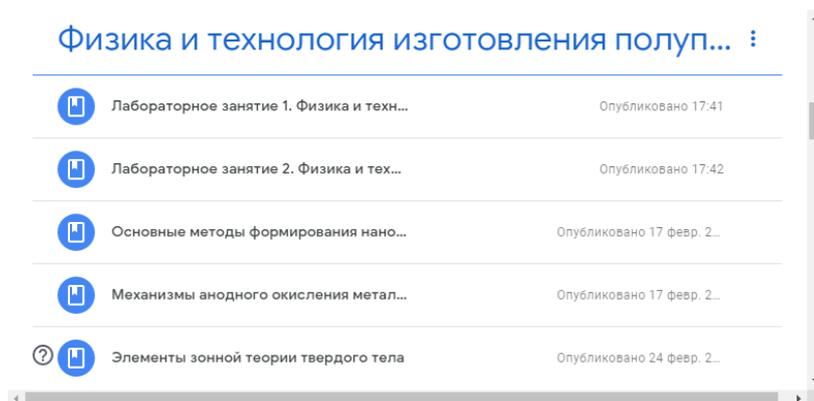


Рис. 8. Избранные элементы второй темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

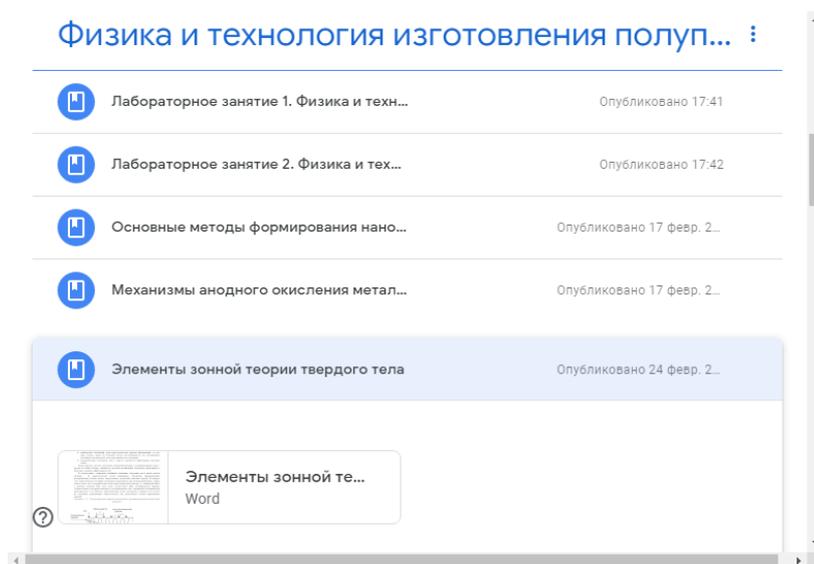


Рис. 9. Материал по элементам зонной теории твёрдого тела в составе курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

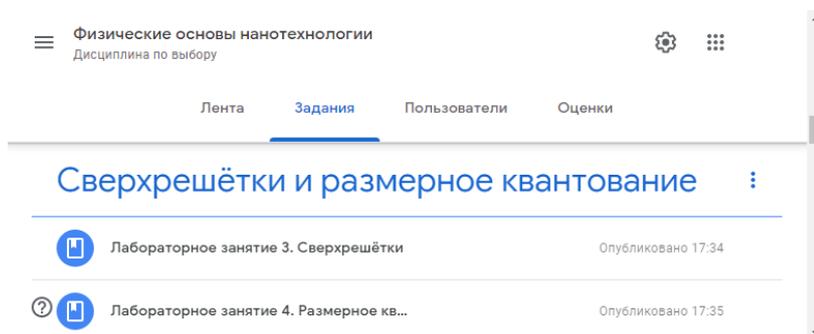


Рис. 10. Избранные элементы третьей темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

размерных систем и систем пониженной размерности. Второе лабораторное занятие по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» посвящено изучению технологии изготовления полупроводниковых квантово-размерных систем и систем пониженной размерности. На втором лабораторном занятии по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» применяются интерактивные формы в виде творческих

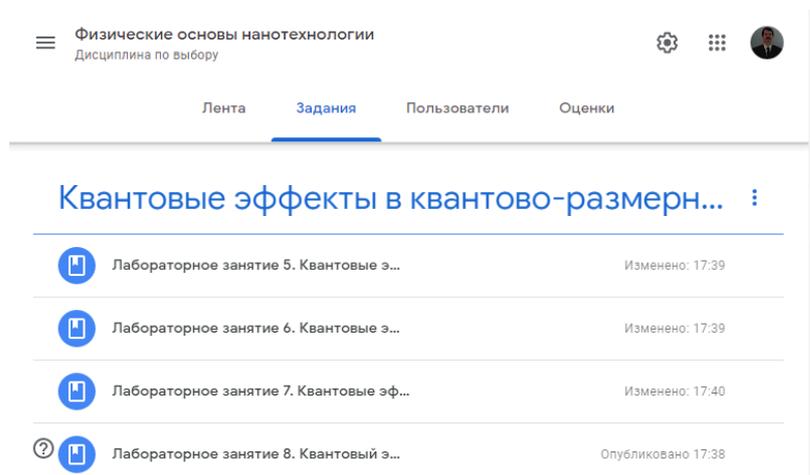


Рис. 11. Избранные элементы четвертой темы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom.

заданий с элементами дискуссии. Третье лабораторное занятие по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» посвящено изучению физических свойств сверхрешёток. Четвёртое лабораторное занятие по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» посвящено изучению размерного квантования в сверхрешётках. На четвёртом лабораторном занятии по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» применяются интерактивные формы в виде творческих заданий с элементами дискуссии. Пятое лабораторное занятие по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» посвящено изучению квантовых эффектов в одномерных квантово-размерных системах. Шестое лабораторное занятие по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» посвящено изучению квантовых эффектов в двумерных квантово-размерных системах. Седьмое лабораторное занятие по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» посвящено изучению квантовых эффектов в трёхмерных квантово-размерных системах. Восьмое лабораторное занятие по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» посвящено изучению квантового эффекта Холла. На восьмом лабораторном занятии по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» применяются интерактивные формы в виде творческих заданий с элементами дискуссии.

Представленные элементы курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» позволяют организовать обучение в смешанной форме.

Заключение

В работе описаны результаты процесса разработки курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии», созданного при помощи инструментария Google Classroom, который готов к началу использования в учебном процессе в педагогическом университете, позволяет автоматизировать проверку знаний по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии».

Написанный обзор научных работ по теме, связанной с исследованиями в области нанотехнологий, показал актуальность разработки дистанционного курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии». Написанный обзор научных работ по теме, связанной с исследованиями в области нанотехнологий, позволил наполнить модульную структуру курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии».

Выводы по работе можно сформулировать следующим образом:

1. разработанные элементы в виде лекций и материалов содержат необходимые теоретические сведения для изучения курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии»,
2. разработанная система заданий и вопросов, семинаров позволяет оперативно контролировать теоретические знания в онлайн-курсе по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии»,
3. разработанный онлайн-курс по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» может быть использован на педагогическом управлении подготовки с профилями по физике и математике, физике и информатике, физике и астрономии.

К положительным результатам применения онлайн-курса по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» можно отнести выбор студентами оптимального темпа выполнения заданий по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» с учётом их индивидуальных способностей, немедленная оценка усилий, возможность получить сведения о знаниях студентов по всей учебной дисциплине.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать комбинацию создания дистанционных курсов по физическим основам нанотехнологий, то можно организовать информационную поддержку изучения нанотехнологий в университетах, подтверждена полностью. В качестве подтверждения гипотезы исследования был спроектирован дистанционный курс по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологии» при помощи инструментария Google Classroom, который основан на комбинации теоретических методов, численных методов, методов программирования в процессе изучения физических основ нанотехнологий.

Задачи работы полностью решены.

Список использованных источников

1. Buot Felix A. Mesoscopic physics and nanoelectronics: nanoscience and nanotechnology // Physics Reports. — 1993. — nov. — Vol. 234, no. 2-3. — P. 73–174. — URL: [https://doi.org/10.1016/0370-1573\(93\)90097-w](https://doi.org/10.1016/0370-1573(93)90097-w).
2. Interfacial nanofabrication strategies in development of new functional nanomaterials and planar supramolecular nanostructures for nanoelectronics and nanotechnology / G. B. Khomutov [et al.] // Microelectronic Engineering. — 2003. — sep. — Vol. 69, no. 2-4. — P. 373–383. — URL: [https://doi.org/10.1016/s0167-9317\(03\)00324-1](https://doi.org/10.1016/s0167-9317(03)00324-1).
3. Lyshevski S. E. Nanotechnology and super high-density three-dimensional nanoelectronics and nanoICs // 2003 Third IEEE Conference on Nanotechnology, 2003. IEEE-NANO 2003. — IEEE, 2003. — URL: <https://doi.org/10.1109/nano.2003.1230997>.
4. Morris James E. Nanotechnology laboratory and nanoelectronics simulation courses // 2015 IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference (NMDC). — IEEE, 2015. — sep. — URL: <https://doi.org/10.1109/nmdc.2015.7439275>.
5. Yu B., Meyyappan M. Nanotechnology: role in emerging nanoelectronics // Solid-State Electronics. — 2006. — apr. — Vol. 50, no. 4. — P. 536–544. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.sse.2006.03.028>.
6. Bogomolov B. K. Nanoelectronics and nanotechnology — Basis of information of a society // 2008 Third International Forum on Strategic Technologies. — IEEE, 2008. — jun. — URL: <https://doi.org/10.1109/ifost.2008.4602941>.

7. Chau Robert. Challenges and opportunities of emerging nanotechnology for VLSI nano-electronics // 2007 International Semiconductor Device Research Symposium. — IEEE, 2007. — dec. — URL: <https://doi.org/10.1109/isdrs.2007.4422457>.
8. Application of aberration-corrected TEM and image simulation to nanoelectronics and nanotechnology / Brian A. Korgel [et al.] // IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing. — 2006. — nov. — Vol. 19, no. 4. — P. 391–396. — URL: <https://doi.org/10.1109/tsm.2006.884713>.
9. Enhancement of infrared spectroscopy capabilities for nanoelectronic and nanotechnology applications / N. Rochat [et al.] // AIP Conference Proceedings. — AIP, 2007. — URL: <https://doi.org/10.1063/1.2799441>.
10. van Roermund A., Hoekstra J. From nanotechnology to nanoelectronic systems, from SETs to neural nets // 2000 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Emerging Technologies for the 21st Century. Proceedings (IEEE Cat No.00CH36353). — Presses Polytech. Univ. Romandes, 2000. — URL: <https://doi.org/10.1109/iscas.2000.857012>.
11. Raman imaging for processing and process monitoring for nanotube devices / C. Stampfer [et al.] // physica status solidi (b). — 2007. — nov. — Vol. 244, no. 11. — P. 4341–4345. — URL: <https://doi.org/10.1002/pssb.200776139>.
12. Csurgay Árpád I., Porod Wolfgang. Surface plasmon waves in nanoelectronic circuits // International Journal of Circuit Theory and Applications. — 2004. — sep. — Vol. 32, no. 5. — P. 339–361. — URL: <https://doi.org/10.1002/cta.285>.

Сведения об авторах:

Константин Константинович Алтунин — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: kostya_altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

Original article
PACS 01.40.Di
OCIS 310.6628
MSC 00A79

Online course on the physical foundations of nanotechnology

K. K. Altunin 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted April 7, 2023
Resubmitted April 12, 2023
Published June 5, 2023

Abstract. The results of the development of an online course on the physical foundations of nanotechnology are presented. The description of the development of selected elements of an online course on the physical foundations of nanotechnology using the Google Classroom tools is made. An online course on the physical foundations of nanotechnology, created using the Google Classroom toolkit, can be used to inform students' blended learning when studying the physical foundations of nanotechnology, as well as to visualize the process of learning nanotechnology. The use of control elements of the online course on the physical foundations of nanotechnology will make it possible to systematize the control of theoretical knowledge on the physical foundations of nanotechnology.

Keywords: nanotechnology, nanotechnology course, course, online course, course material, lecture, test, task

References

1. Buot Felix A. Mesoscopic physics and nanoelectronics: nanoscience and nanotechnology // *Physics Reports*. — 1993. — nov. — Vol. 234, no. 2-3. — P. 73–174. — URL: [https://doi.org/10.1016/0370-1573\(93\)90097-w](https://doi.org/10.1016/0370-1573(93)90097-w).
2. Interfacial nanofabrication strategies in development of new functional nanomaterials and planar supramolecular nanostructures for nanoelectronics and nanotechnology / G. B. Khomutov [et al.] // *Microelectronic Engineering*. — 2003. — sep. — Vol. 69, no. 2-4. — P. 373–383. — URL: [https://doi.org/10.1016/s0167-9317\(03\)00324-1](https://doi.org/10.1016/s0167-9317(03)00324-1).
3. Lyshevski S. E. Nanotechnology and super high-density three-dimensional nanoelectronics and nanoICs // 2003 Third IEEE Conference on Nanotechnology, 2003. IEEE-NANO 2003. — IEEE, 2003. — URL: <https://doi.org/10.1109/nano.2003.1230997>.
4. Morris James E. Nanotechnology laboratory and nanoelectronics simulation courses // 2015 IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference (NMDC). — IEEE, 2015. — sep. — URL: <https://doi.org/10.1109/nmdc.2015.7439275>.
5. Yu B., Meyyappan M. Nanotechnology: role in emerging nanoelectronics // *Solid-State Electronics*. — 2006. — apr. — Vol. 50, no. 4. — P. 536–544. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.sse.2006.03.028>.

6. Bogomolov B. K. Nanoelectronics and nanotechnology — Basis of information of a society // 2008 Third International Forum on Strategic Technologies. — IEEE, 2008. — jun. — URL: <https://doi.org/10.1109/ifost.2008.4602941>.
7. Chau Robert. Challenges and opportunities of emerging nanotechnology for VLSI nanoelectronics // 2007 International Semiconductor Device Research Symposium. — IEEE, 2007. — dec. — URL: <https://doi.org/10.1109/isdrs.2007.4422457>.
8. Application of aberration-corrected TEM and image simulation to nanoelectronics and nanotechnology / Brian A. Korgel [et al.] // IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing. — 2006. — nov. — Vol. 19, no. 4. — P. 391–396. — URL: <https://doi.org/10.1109/tsm.2006.884713>.
9. Enhancement of infrared spectroscopy capabilities for nanoelectronic and nanotechnology applications / N. Rochat [et al.] // AIP Conference Proceedings. — AIP, 2007. — URL: <https://doi.org/10.1063/1.2799441>.
10. van Roermund A., Hoekstra J. From nanotechnology to nanoelectronic systems, from SETs to neural nets // 2000 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Emerging Technologies for the 21st Century. Proceedings (IEEE Cat No.00CH36353). — Presses Polytech. Univ. Romandes, 2000. — URL: <https://doi.org/10.1109/iscas.2000.857012>.
11. Raman imaging for processing and process monitoring for nanotube devices / C. Stampfer [et al.] // physica status solidi (b). — 2007. — nov. — Vol. 244, no. 11. — P. 4341–4345. — URL: <https://doi.org/10.1002/pssb.200776139>.
12. Csurgay Árpád I., Porod Wolfgang. Surface plasmon waves in nanoelectronic circuits // International Journal of Circuit Theory and Applications. — 2004. — sep. — Vol. 32, no. 5. — P. 339–361. — URL: <https://doi.org/10.1002/cta.285>.

Information about authors:

Konstantin Konstantinovich Altunin – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Technical Disciplines of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: kostya.altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207