

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Факультет Инновационных технологий

Кафедра управления инновациями

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ И К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

по дисциплине «История и философия нововведений»

Составлены кафедрой управления инновациями для студентов, обучающихся
по направлениям подготовки «Инноватика», «Мехатроника и робототехника»

Форма обучения очная

Составитель
доцент кафедры управления инновациями

П.Н. Дробот
«12» ноября 2018 г.

Томск 2018

Оглавление

Введение	3
Материально-техническое обеспечение практических занятий и самостоятельной работы	4
Отчет о выполнении практических заданий	6
Виды самостоятельной работы студентов	6
Проработка лекционного материала.....	6
Задания для практических занятий и для самостоятельной работы.....	7
Практические занятия и рекомендации по самостоятельной работе по разделу 1. «Введение. Методология науки. История открытия полупроводниковых свойств кристаллических веществ в XIX веке».....	7
Практические занятия и рекомендации по самостоятельной работе по разделу 2. «XIX–XX век, развитие полупроводниковой электроники до окончания второй мировой войны» ...	13
Практические занятия и рекомендации по самостоятельной работе по разделу 3 «XX век, история нововведений в развитии полупроводниковых приборов, транзисторная революция, интегральная революция».....	17
Практические занятия и рекомендации по самостоятельной работе по разделу 4. «XX–XXI век, проблемы микроэлектроники на рубеже веков. Нанoeлектроника».	24
Вопросы для самоконтроля	34
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	37

Введение

Дисциплина «История и философия нововведений» играет важную роль в формировании профессиональных знаний в области инноватики и мехатроники и робототехники. Изучение дисциплины имеет цель передачи магистрантам знаний по истории развития естественных наук и появления нововведений технического содержания, их связей и взаимного влияния друг на друга. Дисциплина призвана сформировать умение сопоставлять и анализировать многочисленные факторы, определяющие развитие научного знания и влияние этого развития и самого научного знания на появление инноваций на протяжении многовековой истории развития, прежде всего, науки и техники, а также формирование умений и навыков способности к абстрактному мышлению, анализу, синтезу; способности решать профессиональные задачи на основе истории и философии нововведений, математических методов и моделей для управления инновациями, компьютерных технологий в инновационной сфере; готовностью использовать на практике приобретенные умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, выполняемых малыми группами исполнителей; готовностью пользоваться основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; способностью использовать методы современной теории при оценке эффективности разрабатываемых и исследуемых систем и устройств, а также результатов своей профессиональной деятельности;.

Полученные знания и навыки могут быть использованы в сферах управления инновациями в электронной технике и в управлении разработками робототехнических комплексов.

Практические занятия

Практические задания, предусмотренные настоящими указаниями, выполняются студентами во время аудиторных занятий индивидуально под контролем со стороны преподавателя. Все консультации осуществляются преподавателем.

Перед началом занятий студенты должны изучить инструкцию по охране труда. Преподаватель должен убедиться в знании инструкции, задавая студенту вопросы по ее содержанию, после чего сделать соответствующую запись в журнале охраны труда.

Во время проведения практических занятий в аудитории студентам запрещается передавать друг другу файлы и другие материалы, являющиеся результатом выполнения заданий.

Студент имеет право просить консультации у преподавателя, если он в текущий момент не распределяет задания, не принимает выполненные работы и не консультирует другого студента.

Преподаватель, давая консультацию студенту, указывает раздел технической документации или методической литературы, в которой имеется ответ на вопрос студента. Если необходимые сведения в документации и литературе отсутствуют, то преподаватель должен дать устные пояснения или продемонстрировать практические действия, приводящие к требуемому результату, с последующим повторением студентом.

Консультации, выдача практических заданий и прием результатов выполнения осуществляется только во время аудиторных занятий. Задания выполняются последовательно. Правильное выполнение некоторых заданий возможно только, если студент корректно выполнил предыдущие задания. Поэтому приступать к следующему заданию студент может, только сдав преподавателю результат выполнения предыдущего.

Самостоятельная работа

Самостоятельно изученные теоретические материалы обсуждаются на практических занятиях и входят в экзаменационные вопросы.

В процессе самостоятельной работы студенты:

- осваивают материал, предложенный им на лекциях с привлечением указанной преподавателем литературы,
- готовятся к лабораторным работам в соответствии с описанием лабораторных работ и методическими указаниями к лабораторным работам,
- готовятся к практическим занятиям в соответствии с индивидуальными и/или групповыми заданиями,
- выполняют курсовое проектирование с использованием соответствующих методических указаний,
- ведут подготовку к промежуточной аттестации и экзамену по данному курсу.

Целями самостоятельной работы студентов являются:

- формирование навыков самостоятельной образовательной деятельности;
- выявления и устранения студентами пробелов в знаниях, необходимых для изучения данного курса;
- осознания роли и места изучаемой дисциплины в образовательной программе, по которой обучаются студенты.

Самостоятельная работа студентов должна быть обеспечена необходимыми учебными и методическими материалами:

- основной и дополнительной литературой,
- демонстрационными материалами, представленными во время лекционных занятий,
- методическими указаниями по проведению лабораторных работ,
- методическими указаниями по курсовому проектированию,
- методическими указаниями по проведению практических работ,
- перечнем вопросов, выносимых на экзамен.

Материально-техническое обеспечение практических занятий и самостоятельной работы

Для практических занятий

Лаборатория ГПО

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, помещение для самостоятельной работы

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 126

ауд. Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер Celeron;
- Компьютер WS3 (5 шт.);
- Компьютер WS2 (2 шт.);
- Доска маркерная;
- Проектор LG RD-JT50;
- Экран проекторный;
- Экран на штативе Draper Diplomat;
- Осциллограф GDS-820S;
- Паяльная станция Ersa Dig2000a Micro (2 шт.);
- Паяльная станция Ersa Dig2000A-Power;
- Колонки Genius;
- Веб-камера Logitech;
- Роутер ASUS;

- Проигрыватель DVD Yamaha S661;
 - Учебно-методическая литература;
 - Комплект специализированной учебной мебели;
 - Рабочее место преподавателя.
- Программное обеспечение:
- Microsoft Windows 7 Pro
 - OpenOffice

Лаборатория управления проектами

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, помещение для самостоятельной работы

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 414 ауд. Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер WS2 (6 шт.);
 - Компьютер WS3 (2 шт.);
 - Компьютер Celeron (3 шт.);
 - Компьютер Intel Core 2 DUO;
 - Проектор Nec;
 - Экран проекторный Projecta;
 - Стенд передвижной с доской магнитной;
 - Акустическая система + (2 колонки) KEF-Q35;
 - Кондиционер настенного типа Panasonic CS/CU-A12C;
 - Комплект специализированной учебной мебели;
 - Рабочее место преподавателя.
- Программное обеспечение:
- Microsoft Windows 7 Pro
 - OpenOffice

Для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;

компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;

- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

Размещение и освещенность рабочих мест в учебной аудитории (лаборатории) должно удовлетворять действующим требованиям санитарных правил и норм (СанПиН).

Отчет о выполнении практических заданий

Результаты выполнения практических заданий демонстрируются преподавателю. Во время приема выполненной работы преподаватель вправе:

Требовать у студента демонстрации выполненного задания в виде файлов, таблиц, мнемосхем, рисунков, графиков или диаграмм, в том числе, по возможности и необходимости, в бумажном письменном или распечатанном виде.

Самостоятельно производить манипуляции с программным обеспечением, не изменяя его конфигурацию.

Требовать у студента пояснений, относящихся к способам реализации задания.

Задание считается выполненным и принимается преподавателем только в том случае, если получены все результаты, предусмотренные заданием. Если какие то результаты, предусмотренные заданием, не получены или неверны, то задание подлежит доработке.

Студент должен работать внимательно и аккуратно. Подлежат обязательному исправлению замеченные преподавателем недочеты:

- грамматические ошибки;
- небрежное оформление рисунков, графиков, структур, схем;
- неточности в описаниях, структурах, схемах.

Результаты выполнения заданий сохраняются студентом в электронном виде (файлы), а также, если возможно и удобно, в бумажном формате, до получения зачета/экзамена по данной дисциплине.

До начала экзаменационной сессии студент должен сдать результаты выполнения всех практических заданий, предусмотренным настоящими указаниями. В противном случае студенты к сдаче экзамена (зачета) не допускаются.

Виды самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении данной дисциплины предполагает следующие виды работ, их трудоемкость в часах и формы контроля, представленные в Таблица 1

№п/п	Наименование работы	Форма контроля
1.	Проработка лекционного материала	Опрос
2.	Подготовка к практическим занятиям	Опрос
3.	Подготовка к экзамену	Сдача экзамена

Проработка лекционного материала

Лекционный материал наряду с рекомендуемой литературой является основой для освоения дисциплины. Составной частью самостоятельной работы по лекционному курсу является непосредственная работа на лекциях – ведение конспектов. Самостоятельная проработка материала прочитанных лекций предполагает изучение конспектов лекций, а также материалов лекций по источникам, приведенным в списке основной и дополнительной учебной литературы.

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них.

Задания для практических занятий и для самостоятельной работы

Практические занятия и рекомендации по самостоятельной работе по разделу 1. «Введение. Методология науки. История открытия полупроводниковых свойств кристаллических веществ в XIX веке».

Введение. Методология науки

Цель : изучить основы методологии науки. Проследить исторический генезис развития техники и науки, явившийся практической базой формирования и развития методологии науки и научных исследований

1. Нововведения и промышленная революция (XVII в. – первая половина XVIII в.). Научно-техническая революция (вторая половина XVIII в – XIX). Научно-технические достижения и нововведения (XX в. – начало XXI в.). Создание экспериментальной методики. Учет действия экспериментальной процедуры на объект исследования и погрешности измерения. Корректная интерпретация результатов эксперимента

Методические указания по самостоятельной работе:

Студентам необходимо проработать лекционный материал и материалы учебных пособий из Основной литературы. Дополнительно по каждой теме провести поиск информации в интернет и дополнить новым материалом. Составить описание поставленных проблем исследования. Подготовится к презентации изученного материала, продемонстрировав самостоятельно выявленные материалы, дополняющие сведения из учебных пособий.

В помощь предлагаются следующие материалы :

1. *Наука и техника во второй половине XVII – первой половине XVIII вв.*

Проследим процесс зарождения капиталистических отношений на примере Англии, которая за период с 1540 по 1640 гг. превратилась из отсталой страны в развитую торговую и промышленную державу в Европе. Вместе с тем, сохранялись противоречия между существовавшим политическим строем и новыми формами промышленного производства, настоятельно требовавшими развития передовых технологий. Перешагнув за рамки феодализма, страна все еще сохраняла средневековую основу. Причиной тому было предоставление монополий на изготовление или продажу отдельных товаров. Местные поборы и налоги сдерживали развитие торговли, свободный рост которой был важен для наиболее полного использования возможностей новых способов производства. Политическое влияние ремесленных гильдий вместе с феодальным законодательством ограничивали развитие свободного рынка товаров и рабочей силы. Сосредоточение в руках землевладельцев богатства и власти затрудняло приобретение капитала для новых операций.

В ходе революции 1640 г. в Англии политическая власть перешла в руки капиталистов и буржуазии в союзе с более прогрессивной частью аристократии. Капиталисты, захватившие политическую власть в XVII в., принадлежали к классу купцов и банкиров. Владельцы промышленных мануфактур продолжали бороться за власть в XVIII - XIX вв., пока не обрели силу, необходимую им для содействия развитию крупной промышленности. Вступив на промышленный путь развития на век ранее, чем другие страны, Англия не встречала конкуренции со стороны соседей.

Следует уяснить, в чем предпочтение капиталистической системы хозяйствования перед феодальным производством, а капиталиста – перед феодалом. Капитализм обеспечивал лучшие экономические возможности для накопления капитала, необходимого для использования крупных машин и создания рынка наемной рабочей

силы, обслуживающей такие машины. Своим рынком, свободной конкуренцией он обеспечивал расширение торговли, чтобы сделать прибыльным крупномасштабное производство. Свободная конкуренция разоряла владельцев малоэффективных предприятий, обеспечивая таким путем дополнительные преимущества за передовой технологией производства. В феодальном обществе правящие классы не имели почти никакой связи с производством. В хозяйственной жизни они выступали в роли потребителей, забиравших долю и не интересовавшихся тем, как этот продукт производится. Капиталист непосредственно не создавал продукцию, но полностью отвечал за организацию производства и управление предприятием. Он был заинтересован в изобретениях и совершенствовании технологии производства, т.к. его благосостояние находится в прямой зависимости от производительности фабрики или рудника. Одаренный и предприимчивый рабочий мог вырасти до промышленного магната, аристократ – стать владельцем рудника, а старорежимный мастер-кустарь старался превратить свою мастерскую в фабрику. Капитализм изменил характер деления общества и устранил причины, задержавшие развитие промышленных сил.

На примере той же Англии мы видим, какой огромный шаг по пути использования технических изобретений в промышленности она сделала, начиная с середины XVI в. Так, в 1540-1600 гг. в Англию были завезены из-за границы первые предприятия по производству бумаги, ружейного пороха, артиллерийского оружия, квасцов, железного купороса и сахара-рафинада. Среднегодовая добыча угля, составившая в 1551-1560 гг. 210000 т, возросла в 1681-1690 гг. до 2982000 т. В техническом отношении новые английские суда превосходили корабли традиционных морских держав.

Необходимо запомнить, что для европейской науки XVII в. характерна взаимосвязь логического обоснования и математического описания теоретического знания, его экспериментальной проверки, а также создания социальной структуры с сетью научных коммуникаций и общественным применением. В основу исследований легли формирование новой научной парадигмы Г. Галилеем, формирование теоретико-методологических основ новой науки Р. Декартом, полное завершение новой научной парадигмы и начало классической науки Ньютоном.

Обратите внимание на то, что в познавательной модели нового времени мир стал ассоциироваться с природой. При этом религиозность не исчезла, но она обратила свой взгляд на природу как наиболее адекватное, не замутненное последующими толкованиями высказывание бога. Разработка общезначимой процедуры «вопросания» - эксперимента и создания специального научного языка диалога с природой составляет главное содержание научной революции.

В содержательном плане научная революция XVII в. знаменовала собой смену картин мира. Главной предметной областью была физика и астрономия. «Старый» космос – это мир «по Аристотелю и Птолемею»: он имеет шаровидную форму, вечен и неподвижен; за его пределами нет ни времени, ни пространства; в центре его – Земля. «Новый» Космос, по Копернику, начинался с простой модели, совпадавшей с моделью А. Самосского: вращение Земли вокруг оси; центральное положение Солнца внутри планетной системы; Земля – планета, вокруг которой вращается Луна.

В создание новой картины мира большой вклад внесен Дж. Бруно. Новизна идеи «множественности миров» заключалась в «перемещении» множественности внутрь «нашего» Космоса. Новая модель мира основывалась на законах движения планет Кеплера. В соответствии с ними каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце; каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца; квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей их орбит. Запомните, что Кеплеровский закон площадей – это первое математическое описание планетарных движений, исключившее принцип равномерного движения по окружности как первооснову, а «мгновенный» метод описания Кеплера стал методом дифференциального исчисления, оформленного Г. Лейбницем и И. Ньютоном.

У Г. Галилея связь космологии с наукой о движении приобрела осознанный характер, что и стало основой создания научной механики. В основе «теории» Галилея четыре простые аксиомы. Они сводятся к тому, что свободное движение по горизонтальной плоскости происходит с постоянной по величине и направлению скоростью; свободно падающее тело движется с постоянным ускорением; тело, скользящее без трения по наклонной плоскости, движется с постоянным ускорением, равным произведению ускорения свободного падения на синус угла наклонной плоскости; принцип относительности Галилея и полет снарядов, траектория движения которых описывается уравнением параболы («преобразования Галилея»).

Первыми «концептуалистами» нового времени принято считать Ф. Бэкона и Р. Декарта. Ф. Бэкону принадлежит провозглашение главенства метода индукции, примата эмпиризма на пути развития практической и экспериментальной науки. В отличие от Ф. Бэкона Р. Декарт ищет обоснование знания не столько в сфере его практической реализации, сколько в сфере самого знания. Р. Декарт провозгласил примат математического описания мира. Отличительная черта взглядов Р. Декарта – синкретичность его механики (и оптики) с философией. Они сводятся к тому, что в мире отсутствует пустота, Вселенная наполнена материей (и вся она в непрерывном движении); материя и пространство суть одно; не существует абсолютной системы отсчета, а, следовательно, и абсолютного движения.

Главными положениями И. Ньютона стали понятия движущей силы, инерции, соотношения гравитационной и инертной масс.

Следует отметить, что отличительными чертами научной революции XVII в. являются новая структура знания, новые методы его обоснования, развитая математическая форма его описания. Одновременно возникает и социальная структура науки. Научные методы начинают проникать в гуманитарные знания и сферу социального управления. В XVII в. наука становится автономной и как социальная система. М. Монтель, Б. Спиноза, Т. Гоббс, Дж. Локк разрабатывали концепции гражданского общества, общественного договора, обеспечения прав личности. Научное мышление позволяло выдвигать и обосновывать механизмы их реализации.

Таким образом, у современной науки в XVII в. два основоположника: Ф. Бэкон установил канон эмпирического исследования, описал методы систематизации и иерархизации эмпирических знаний о явлениях посредством разработанной им процедуры эмпирической индукции. Эти приемы в той или иной степени используются и сегодня при работе с первичным эмпирическим материалом и отвечают распространенным представлениям о развитии науки. Г. Галилей основал современную теоретическую и экспериментальную физику.

2. Основные направления развития науки и техники в России в XVIII в.

В области естественнонаучных знаний следует понять, когда математика сумела отойти от утилитарной роли решения коммерческих и налоговых задач купцами и приказными чиновниками и вышла на уровень государственной важности. Запомните фамилии наших соотечественников Л. Магницкого, Я. Брюса, А. Фарварсона, реализовавших накопительный потенциал в этой области знаний.

В числе иностранных ученых, занимавшихся теоретическими изысканиями в математике и механике, следует назвать Л. Эйлера, Я. Германа, Д. и Н. Бернулли. Наиболее колоритной фигурой предстает Л. Эйлер. Следует представлять круг проблем, над которыми работал ученый. Это – интегральное, дифференциальное и вариационное исчисления; механика точки, твердого тела, жидкостей. При примере Л. Эйлера, прожившего в России большую часть своей жизни, хоть и со значительным перерывом, можно увидеть, как менялось отношение к науке после Петра I – от теоретизирования – к

проецированию математического аппарата на конкретное производство (картографирование).

В XVIII в. значительных успехов достигла практическая астрономия, непосредственно связанная с запросами географии и картографии.

На примере физики XVIII в. можно изучить различные подходы зарубежных и российских ученых к исследованию. Труды петербургских академиков положили начало новому периоду истории физики, который характеризовался сближением между физикой «близкодействия» и математической физикой (Л. Эйлер), между физикой «близкодействия» и атомистикой (М. Ломоносов). Отличительной особенностью российских ученых было стремление объяснить все физические явления на основе единой теории, исходя из понятия о непрерывной движущейся материи, без привлечения распространенных в то время гипотез о «невесомых».

Куда весомее оказались достижения российских исследователей в области химии. Так, М. Ломоносов заложил основы физической химии, атомно-молекулярного учения, молекулярно-кинетической теории теплоты. Отечественные ученые второй половины XVIII в. своими открытиями содействовали развитию неорганической, физической, аналитической и органической химии.

Достижения геологической и географической науки способствовали обобщениям в биологии, касающимся изменчивости живых существ их зависимости от географической среды. Если в первой половине XVIII в. в биологии шел процесс первоначального изучения и описания флоры и фауны, а М. Ломоносовым были заложены научные основы успешного формирования биологических наук, то во второй половине века российские врачи и натуралисты-биологи развили материалистические научные традиции.

Таким образом, в XVIII в. в России была предпринята попытка создания единой научной картины мира, основанной на атомистических представлениях о веществе, на принципе сохранения вещества и движения и на признании изменчивости Земли и всей Вселенной; разработкой математического аппарата механики и физики; накоплением геологических, географических и биологических сведений путем систематического и непосредственного наблюдения природных явлений; всесторонним развитием эксперимента, в том числе, количественного.

Область гуманитарного знания, наиболее традиционного, консервативного и распространенного на Руси, нашла поддержку в лице Е. Дашковой, которая создала Российскую Академию наук для изучения проблем русского языка и литературы, тем самым, способствуя росту национального самосознания в стране.

Рассмотрен процесс развития естественнонаучных, зарождения и складывания инженерных традиций в российском высшем техническом образовании XIX – начала XX вв. Развитие гуманитарных традиций показано путем изучения механизма реализации принципов его преемственности, доступности, гуманного характера воспитания и сбалансированной профессиональной подготовки специалистов.

Наиболее традиционная сторона исследования – технические знания и область их применения. Давние традиции русских в овладении ремеслами в XVIII в. получили преимущественную разработку в области механики. Изучите по учебному пособию материал о А. Нартове, главным изобретением которого стал механизированный суппорт токарного станка. В области артиллерийской техники А. Нартов изобрел скорострельную батарею, подъемный винт для регулировки угла возвышения.

Обратите внимание на способности А. Нартова в менеджменте: объезжал европейские государства для ознакомления с новинками иностранной техники и приобретения достойных внимания машин; в 1742 г. стал руководить всеми мастерскими, объединенными в «Экспериментальную лабораторию механических, инструментальных и прочих мастеров».

Технические знания получили широкое развитие во второй половине XVIII в. в связи с ростом промышленности и были направлены на обеспечение новых горных

заводов на Урале и Алтае источниками энергии. Судьбы инженеров-самоучек К. Фролова, И. Ползунова; изобретателя И. Кулибина, известного работами в области прикладной механики лишь подтверждают сложившиеся ранее традиции постижения практическим путем.

Следует остановиться на роли российского общества в приобщении к различным знаниям. Это, прежде всего, общества, объединившие сравнительно большие группы людей, систематически занимавшиеся естественнонаучными исследованиями и наблюдениями физико-химического, геологического или биологического характера. Новые научные центры были тесно связаны с русской жизнью на периферии 1) по характеру своей деятельности; 2) являлись центрами общественного движения; 3) не были связаны с научными учреждениями запада.

Наконец, к концу XVIII в. с развитием всероссийского рынка и товарно-денежных отношений к техническим знаниям обратилась наиболее прогрессивная часть дворянства. Она стала обращать особое внимание на повышение сельскохозяйственной техники в своих поместьях, на организацию заводов для переработки продуктов. Облегчить эту задачу должно было организованное в 1765 г. в Петербурге первое Вольное экономическое общество. Позднее во многих городах начали работать его отделения или самостоятельные общества под тем же названием.

3. Техника эпохи промышленного переворота (1760-1870гг.)

«Промышленная революция» - этап радикальных изобретений и инноваций в энергетике и «рабочих машинах», приведших к установлению нового технологического базиса производства.

Изучение темы следует начать с оценки роли Французской революции 1789 г., которая смела все помехи на пути технического прогресса, которое воздвигало государство абсолютного феодализма, гораздо быстрее и сокрушительнее, чем это сделала революция 1640-х гг. в Англии. В начале XVIII в. промышленная революция приобрела во Франции более решительные формы благодаря сознательному содействию изобретательству и стремлению к повышению уровня индустриализации. С целью поощрения технического прогресса учреждались специальные государственные комиссии. Так, общество содействия национальной промышленности предоставляло изобретателям ссуды, учреждало премии за важные изобретения, критически оценивало их с точки зрения технического совершенства, а также экономического и социального значения. Создавались новые учебные заведения для распространения научных и технических знаний. После получения независимости в 1783 г. США встали на путь индустриализации. Уже через несколько лет они играли ведущую роль в пароморском деле. Политические лидеры страны проявляли к техническому развитию производства значительный интерес. Т. Джефферсон занимался массовым производством и пользовался математическими расчетами при разработке наилучшей формы плужного отвала. Д. Вашингтон проводил опыты по механизации посевных работ.

Целесообразно привести примеры того, как к началу XIX в. машинная техника проникла во все отрасли производства. В середине XVIII в. были изобретены прядильная машина («Дженни») Дж. Харгривса (1768); ветер-машина Р. Аркрайта (1769); мюль-машина С. Кромптона (1779); механический ткацкий станок Э. Картрайта (1785).

Резкая концентрация производства, развитие железообрабатывающей и химической промышленности на фоне острой нехватки древесины интенсифицировали рост добычи каменного угля, что стимулировало появление новых направлений в горном деле и на транспорте. Это привело к широкому применению чугуна.

Процесс создания парового двигателя шел в направлении от пароатмосферных устройств без движущихся частей Де-Ко и Т. Сэвери через нереализованную конструкцию Д. Папена к первой практической доходной машине Т. Ньюкомена, а от нее - к

универсальной паровой машине двойного действия Дж. Уатта. Создание паровой машины Дж. Уатта ознаменовало радикальный переворот в технологиях XVIII – XIX вв.: свободное размещение паровых машин, возможность значительного увеличения мощности и использования автономного двигателя на транспорте, в производственных процессах и т.д.

Материальные блага, поступавшие в распоряжение человечества, значительно возросли, при этом они поступали более равномерно. Фабричный рабочий отказался от тактики уничтожения машин, однако он страдал от неравномерности распределения жизненных благ, сосредоточения фабрики орудий производства и машин в руках небольшой кучки предпринимателей. В результате рабочие находили защиту на путях тред-юнионизма и в ходе политической борьбы. В период с 1802 по 1847 гг. были приняты фабричные законы, направленные на общий подъем жизненного уровня и улучшение условий труда населения.

С возникновением капиталистической системы началась эпоха технического прогресса. Внедрение изобретений способствовало повышению производительности труда, благодаря которым человек отвоевывал у природы средства к своему существованию.

Литература:

1. В.Н. Тарасова. История науки и техники: учебное пособие Часть 1.– М: Издательство: МИИТ, 2004 .– 176 с.
2. В.Н. Тарасова. История науки и техники: учебное пособие Часть 2.– М: Издательство: МИИТ, 2004 .– 150 с.
3. В.Н. Тарасова. История науки и техники: учебное пособие Часть 3.– М: Издательство: МИИТ, 2004 .– 216 с.

Практические занятия по разделу 1. История открытия полупроводниковых свойств кристаллических веществ в XIX веке.

Цель: глубокое изучение сущности экспериментов М.Фарадея, П.С.Мунк аф Розеншельда, А.Э.Беккереля, К.Ф.Брауна и Э.Холла, впервые показавших необычные свойства плохих проводников, явившихся базовыми полупроводниковыми свойствами, лежащими в основе работы всех полупроводниковых приборов.

1. Опишите схему и методику экспериментов М.Фарадея, с какими полупроводниками проводилась работа, назовите дату проведенных исследований. Расскажите об основном свойстве материала, которое было исследовано, в чем состояла его необычность. В каких трудах были опубликованы эти исследования. Как используются эти результаты в современных исследованиях (температурная зависимость электропроводности полупроводников).
2. Опишите схему и методику экспериментов П.С.Мунк аф Розеншельда, с какими материалами проводилась работа, назовите дату проведенных исследований. Расскажите об основном свойстве материала, которое было исследовано, в чем состояла его необычность. В каких трудах были опубликованы эти исследования. Почему результаты не оказались востребованы ни в технике, ни в дальнейших научных исследованиях (проводимость измельченных порошков металлов и других веществ, впервые наблюдавшаяся односторонняя проводимость).
3. Опишите схему и методику экспериментов А.Э.Беккереля, с какими полупроводниками проводилась работа, назовите дату проведенных исследований. Расскажите об основном свойстве материала, которое было исследовано, в чем состояла его необычность. В каких трудах были опубликованы эти исследования. Как используются эти результаты в современных исследованиях (фото-эдс, фотовольтаический эффект).

4. Опишите схему и методику экспериментов К.Ф.Брауна, с какими полупроводниками проводилась работа, назовите дату проведенных исследований. Расскажите об основном свойстве материала, которое было исследовано, в чем состояла его необычность. В каких трудах были опубликованы эти исследования. Как используются эти результаты в современных исследованиях (односторонняя проводимость, выпрямляющий эффект, структура типа «кошачий ус»).
5. Опишите схему и методику экспериментов Э.Холла, с какими материалами проводилась работа, назовите дату проведенных исследований. Расскажите о вкладе Роулэнда в открытие эффекта Холла, об основном свойстве материала, которое было исследовано, в чем состояла его необычность. В каких трудах были опубликованы эти исследования. Как используются эти результаты в современных исследованиях (эффект Холла, температурная зависимость постоянной Холла).

Методические указания по самостоятельной работе:

Студентам необходимо проработать лекционный материал и материалы учебных пособий из Основной литературы. Дополнительно по каждой теме провести поиск информации в интернет и дополнить новым материалом. Составить описание поставленных проблем исследования. Подготовится к презентации изученного материала, продемонстрировав самостоятельно выявленные материалы, дополняющие сведения из учебных пособий.

Практические занятия и рекомендации по самостоятельной работе по разделу 2.

«XIX–XX век, развитие полупроводниковой электроники до окончания второй мировой войны»

Цель: глубокое изучение вопросов успешного практического применения непонятых свойств полупроводников в первых конструкциях полупроводниковых приборов и образцов электронной техники.

1. Расскажите историю создания, схему и методику экспериментов и опишите конструкции ранних фотоэлектрических приборов из селена. (работы У.Смита и его помощника Мэя, селеновый фоторезистор, работы У.Адамса и его студента Р.Дэя, первый фотоэлемент на основе контакта селена и платины, Ч.Фриттс и его первый солнечный элемент).
2. Опишите первые кристаллические детекторы А.С.Попова и Дж.Ч.Бозе, Данвуди и Пиккарда, из каких материалов они были сделаны.
3. Концепция полупроводникового прибора, управляемого электрическим полем, изобретение Лиленфельда. Устройство и принципы работы кристадина Лосева, из какого полупроводника был изготовлен кристадин?
4. Какую выдающуюся роль сыграла твердотельная электроника во второй мировой войне? (радиолокация и высокочастотные детекторы).
5. Историческая обусловленность фундаментальных открытий. Постановка техникой новых задач перед наукой. Как повлияли на развитие науки и в частности

квантовой физики патент Бозе, устройство «стеклянного» полевого транзистора в патентах Лилиенфельда, кристадин и световое свечение Лосева, твердотельный усилитель на основе бромистого калия. Расскажите о появлении в теории квантов Планка, волны Де Бройля, волновой механики Шредингера, квантовая теория твердых тел Блоха и Пайерлса и ее адаптация Вильсоном к полупроводникам. Зонная теория, полупроводники собственные и примесные, технология получения p–n–перехода.

Методические указания по самостоятельной работе:

Студентам необходимо проработать лекционный материал и материалы учебных пособий из Основной литературы. Дополнительно по каждой теме провести поиск информации в интернет и дополнить новым материалом. Составить описание поставленных проблем исследования. Подготовится к презентации изученного материала, продемонстрировав самостоятельно выявленные материалы, дополняющие сведения из учебных пособий.

В помощь предлагаются следующие материалы :

Немецкое слово «полупроводник» – «halbleiter», переведенное на английский язык как «semiconductor» – «полупроводник», впервые использовалось с 1911 г. для описания материалов со значениями удельной проводимости между значениями для металлов (проводники) и для изоляторов. Но объяснение свойств полупроводников постоянно ускользало от ученых в течение десятилетий в силу причин вполне объективных – господства прежней парадигмы в физике, превалирующих классических представлений о веществе. В главе 1 мы уже говорили о научных традициях и революциях, о смене парадигм. В силу понятных причин в физике твердого тела стали происходить революционные изменения, вызванные появлением квантовой механики и квантовой физики.

В 1900 г. Макс Планк постулировал квантовую гипотезу, ставшую основой атомной теории и впоследствии теории, объясняющей поведение электронов в твердых телах. Именно на основе работы Планка Альберт Эйнштейн смог объяснить в 1905 г. фотоэлектрический эффект Беккереля: в 1906 г. в немецком журнале «Annalen der Physik» появились три статьи 26-летнего Альберта Эйнштейна, – о теории относительности, квантовой теории фотоэффекта и теории броуновского движения, – которые обозначили поворот в развитии физики. Хотя первые исследователи и сумели установить, что фотоны могут вызвать эмиссию электронов из некоторых материалов, до Планка и Эйнштейна не существовало ответа на загадочный вопрос: почему, если число полученных электронов пропорционально интенсивности света, их энергия пропорциональна длине волны света? Квантовая теория предложила считать природу фотонов двойственной, обладающей свойствами как волн, так и частиц: если свет действительно состоит из небольших волновых пакетов, энергия которых пропорциональна длине волны, то экспериментальные данные могут быть удовлетворительно объяснены.

К началу 1920-х годов считалось общепринятым, что хорошая проводимость металлов объясняется наличием в них свободных электронов. Однако, для количественного объяснения поведения электронов в твердых телах потребовалось знаменитое квантово-механическое уравнение Эрвина Шредингера, которое австрийский физик опубликовал в 1926 г. Введя понятие функции, описывающей состояние микрообъекта, Шрёдингер получил знаменитое «волновое уравнение» материи, названное его именем, играющее в атомной физике такую же фундаментальную роль, как ньютоновские уравнения в классической механике и уравнения Максвелла в классической электродинамике. В течении следующих 10 лет это уравнение помогало энергичным

физикам, так как оно позволяло связать все загадочные явления в твердых телах, открытые в предыдущем столетии.

В 1928–1930 годах американский физик Феликс Блох, французский физик Леон Бриллюэн и английский физик-теоретик немецкого происхождения Рудольф Пайерлс изучали особенности поведения электронов в кристаллах и заложили основы зонной теории твердых тел. Пайерлс в 1929 году предложил концепцию дырочной проводимости полупроводников (независимо от Якова Френкеля). В дальнейшем теорию дырок развил английский физик Поль Дирак и немецкий физик Вернер Гейзенберг в середине тридцатых годов XX века.

Наконец наступил переломный 1931 г. Это был год, когда крупный немецкий физик-теоретик Вольфганг Паули с сомнением высказывался о будущем полупроводников: «невозможно работать с полупроводниками, представляющими собой грязный беспорядок; кто знает, существуют ли вообще какие-нибудь полупроводники». Это говорил ученый, с именем которого связано такое фундаментальное понятие квантовой механики, как спин элементарной частицы и который сформулировал «принцип запрета» (1924 г.) – принцип Паули, за что был удостоен Нобелевской премии по физике за 1945 год.

Алан Вильсон, физик из университета в Кембридже, работая в Германии в Лейпциге, приспособил квантовую теорию твердых тел, разработанную Блохом и Пайерлсом, чтобы создать модель, описывающую полупроводник. Это была квантовая теория полупроводников, разработанная с привлечением математического аппарата квантовой механики.

В соответствии с этой теорией в твердом теле энергетические состояния электронов образуют так называемые зоны, разделенные промежутками запрещенных значений энергий. Верхняя зона, в которой находятся свободно перемещающиеся заряды, получила название *зоны проводимости*, а нижняя, в которой заряды находятся в связанном состоянии, была названа *валентной зоной*. Промежуточное расстояние называли *запрещенной зоной*.

Исходя из представлений о зонной структуре электронного спектра, Вильсон провел деление кристаллов на металлы, полупроводники и диэлектрики. Если ширина запрещенной зоны велика, то в твердом теле с такой энергетической характеристикой электропроводность отсутствовала. Такие вещества называются диэлектриками. Если же ширина запрещенной зоны невелика, то существуют различные возможности возбуждения электронов. Это *полупроводники*. Например, при разогреве твердого тела происходит тепловое возбуждение электронов, повышается их энергия, и они из валентной энергетической зоны переходят в более высокоэнергетическую зону проводимости. При этом вещество с такой энергетической зонной структурой обладает большей электропроводностью, а значит, меньшим сопротивлением. С ростом температуры число возбужденных электронов увеличивается, стало быть, сопротивление полупроводников падает. Возможен и другой механизм перевода электронов из валентной зоны в зону проводимости. Речь идет о возбуждении электронов квантами света. Термически или оптически возбужденные электроны становятся свободными электронами проводимости.

Таким образом, теория Вильсона объяснила две первые загадки: почему сопротивление полупроводников падает при нагревании и освещении. Впоследствии выяснилось, что процесс электропроводности полупроводников значительно сложнее. Квантово-механическое представление структуры твердого тела подсказывало исследователям, что освободившиеся от электронов места в процессе их перехода в зону проводимости образуют вакансии или *дырки* и становятся свободными носителями положительного заряда. Поведение дырок аналогично поведению возбужденных электронов. Они обладают подвижностью, эффективной массой и могут образовывать электрический ток, направление которого противоположно току электронов. Стал понятен

эффект Холла, когда в одних полупроводниках преобладают отрицательные носители заряда, а в других – положительные.

Стало ясно, что существуют полупроводники с *электронным* типом проводимости (*n*-типа), для которых эффект Холла имеет отрицательное значение во всей области температур. Вместе с тем, есть полупроводники с положительным значением эффекта Холла, которые имеют *дырочный* тип проводимости (*p*-тип). Первые были названы донорными, а вторые – акцепторными. Зонная теория «заработала». Открытия посыпались, как из рога изобилия.

А вот разгадать загадку выпрямления долго не удавалось. В 1932 Вильсон попытался объяснить однонаправленный электрический ток в точечном диоде, как обусловленный квантово-механическим туннелированием из металла в полупроводник – или наоборот. Но наряду с подобными попытками других ученых в начале 1930-ых годов, его объяснение, в конечном счете оказалось неверным. Ни теория Вильсона, ни дальнейшее ее развитие не могли объяснить этот феномен полупроводников. А между тем на практике широко использовались полупроводниковые выпрямители электрического тока. Хорошие выпрямители одновременно выполняли функции хороших фотоэлементов. Выяснилось также, что величина термо-ЭДС в полупроводниках на несколько порядков выше, чем в металлах. Все эти экспериментальные факты нуждались в обобщении и объяснении. Теория Вильсона не могла все объяснить, в частности механизм выпрямления тока. Оставалась одна загадка – «загадка века».

Весомый вклад в развитие квантовой теории полупроводников внесли как зарубежные теоретики, так и выдающиеся отечественные ученые – Френкель, Тамм, Давыдов.

Выдающийся советский физик Яков Ильич Френкель в 1926 году в немецком физическом журнале *Zeitschrift für Physik* (том 5, стр. 652) опубликовал работу, показавшую реальную картину внутреннего мира кристаллов. Френкель обратил внимание на то, что наряду с испарением атомов с поверхности кристаллической решетки в окружающее пространство может иметь место своеобразное испарение атомов из равновесных положений в кристалле в пространство междуузлий (ионы в междуузлиях, как заметил другой выдающийся советский физик А.Ф.Иоффе, играют определяющую роль в электропроводности ионных кристаллов; в его работе, однако, оставались без внимания пустые узлы кристаллической решетки, образовавшиеся за счет ухода атома (иона) в междуузлие). Такого рода диссоциация кристаллической решетки на атомы (ионы) в междуузлиях и вакантные узлы (дырки) приводят к образованию того, что в литературе получило название «дефектов по Френкелю». Дырка (или вакантный узел решетки) может перемещаться по кристаллу независимо от покинувшего ее атома. Она может, в частности, «испариться», выйдя на поверхность). Атомы в междуузлиях совместно с вакантными узлами (дырками) и образуют картину реального кристалла.

В 1932 году советский физик Игорь Евгеньевич Тамм предсказал существование на поверхности кристаллов особых состояний электронов – *уровней Тамма*.

В 1938 г., семь лет спустя после опубликования теории электронных полупроводников Вильсона, Борис Давыдов (Физико-технический институт АН СССР под руководством А.Ф.Иоффе, г. Ленинград), Невилл Мотт (Бристольский университет, Великобритания), и Вальтер Шоттки («Сименс&Хальске, Мюнхен, Германия) независимо друг от друга объясняют эффект выпрямления и предлагают теорию контактных явлений.

Оказывается, в полупроводниковых материалах вблизи границы дырочного и электронного типов полупроводников имеет место область обеднения носителями заряда. В этом месте возникает эффективный электронно-дырочный барьер для равновесных электронов, который не позволяет электронам и дыркам свободно «гулять» по полупроводнику. Через такую систему ток проходит свободно в одном направлении, а в другом – плохо. Электрическое сопротивление системы зависит от величины и направления приложенного напряжения. Например, при приложении электрического поля

в прямом направлении высота барьера снижается, и наоборот. Неосновные носители заряда (дырки в электронном и электроны в дырочном полупроводнике) играют определяющую роль.

Практические занятия и рекомендации по самостоятельной работе по разделу 3 «XX век, история нововведений в развитии полупроводниковых приборов, транзисторная революция, интегральная революция»

Цель: изучение нововведений в развитии полупроводниковых приборов и как это привело к развитию технологий и обусловило интегральную революцию: влияния на развитие полупроводниковой электроники и изобретение интегральных схем.

1. Основы зонной теории твердых тел в работах Блоха, Бриллюэна, Пайерлса, концепция дырочной проводимости Пайерлса и Френкеля. Теория твердых тел Вильсона. Развитие физики полупроводников отечественными учеными: Тамм, Давыдов, Иоффе.
2. Экспериментальное обнаружение p–n–перехода Ойлом и Лашкаревым, теория контактных явлений Шоттки и Давыдова. Изобретение точечного транзистора Бардиным и Браттейном. «Страстная неделя» Шокли, концепция плоскостного транзистора. Французский точечный транзистор немецких изобретателей Велкера и Матаре.
3. Координационный комитет по экспортному контролю и стратегия «контролируемого технологического отставания». Создание транзистора в СССР, работы Красилова и Мадоян. Создание полупроводниковых институтов – номерных НИИ.
4. Технологический рывок, технологии роста и очистки кристаллов: методы Чохральского и зонной плавки, изобретение метода зонной плавки с плавающей зоной. Переход к кремниевой транзисторной технологии: от BellLabs к Texas Instruments
5. Соглашение Шокли и Бекмана (1955 г.) о создании в Кремниевой долине компании Shockley Semiconductor Laboratory как отделения Beckman Instruments. Первый промышленный полевой транзистор текнетрон (1958 год, Станислав Тешнер, Франция). Современный полевой транзистор на базе структуры металл – окисел – полупроводник (МОП).
6. «Вероломная восьмерка», покинувшая Shockley Semiconductor Laboratory организовала компанию Fairchild Semiconductor Corporation в Пало Альто. Создание мезатранзистора.
7. Освоение промышленного производства транзисторной электронной техники. Слуховые аппараты (Sonotone, Maico), радиоприемники (TR-1 Regency, TR-52 Sony), компьютеры (SEAC, TRADIC, TX-0, ETL Mark III). 1960-1966 г.г. Советские компьютеры 1 и 2 поколения.
8. Создание планарной технологии. Работы Килби и Нойса. Начало промышленного производства интегральной электронной техники: узкоспециализированная аппаратура, космическое приборостроение, компьютеры на ИС. Первая ИС по планарной технологии, МОП-процесс производства ИС. МОП-, КМОП-структуры, DTL-, TTL-микросхемы, гибридные микросхемы Создание 34-х электронных фирмы в Кремниевой долине. Закон Мура.
9. Развитие советской микроэлектроники в 60-70-е г.г XX века, создание НИИ, научных центров и заводов полупроводниковых приборов. первые ИС ТС–100 НИИ-35(НИИ «Пульсар»), создание центров и НИИ микроэлектроники с заводскими мощностями при них, научный центр в Зеленограде, НИИ и заводы полупроводниковых приборов в десятке крупных городов, НИИПП в Томске.
10. Создание микропроцессоров и микроконтроллеров, микроминиатюризация, скачок в развитии технологии производства интегральных схем.

11. Университеты и вся система образования как средство для обмена, распространения и умножения знаний. Наука, функции и цели науки, предмет науки. Условное деление науки по предмету и методу познания показано схемой. Деление наук на группы, отрасли и отдельные дисциплины. Условное деление науки по связи с производством.

Методические указания по самостоятельной работе:

Студентам необходимо проработать лекционный материал и материалы учебных пособий из Основной литературы. Дополнительно по каждой теме провести поиск информации в интернет и дополнить новым материалом. Составить описание поставленных проблем исследования. Подготовится к презентации изученного материала, продемонстрировав самостоятельно выявленные материалы, дополняющие сведения из учебных пособий

Рекомендуется использовать следующий материал

Открытие р–п–перехода, развитие полупроводниковой технологии, производство ВЧ диодов для радиолокации.

Вдохновленный исследованием купроксных (оксид меди) выпрямителей в Лаборатории Белл Телефон (Bell Telephone Laboratories) и теми трактовками полупроводникового выпрямления, которые сделали Невилл Ф. Мотт и Вальтер Г. Шоттки (Nevill F. Mott и Walter H. Schottky), Уильям Шокли (William Shockley) записал в декабре 1939: «Сегодня мне открылось, что усилитель, использующий полупроводники, а не вакуум, в принципе возможен.». По этому его направлению Уолтер Браттейн (Walter Brattain) и другие исследователи выполнили эксперименты на полупроводниковых приборах с тремя электродами, но не получили усиления.

Bell Telephone Laboratories ((известная также как Bell Labs, прежние названия – AT&T Bell Laboratories, Bell Laboratories)– американская корпорация, крупный исследовательский центр в области телекоммуникаций, электронных и компьютерных систем, основана в 1925 г. как исследовательский центр компании AT&T, США. В 1995 году Bell Labs стала принадлежать Lucent Technologies, которая в 2006 году в результате слияния с французской компанией Alcatel преобразовалась в Alcatel-Lucent. В настоящее время является исследовательским центром корпорации Alcatel-Lucent. Alcatel-Lucent – франко-американская компания, осуществляющая деятельность в области телекоммуникационного и компьютерного оборудования, программного обеспечения и др. Головной офис компании размещается в Париже, американский офис – в городе Мюррей-Хилл, штат Нью-Джерси. Обладает всеми юридическими правами на формат аудиоданных MP3. Bell Labs и ее сотрудники сыграли выдающуюся роль в развитии полупроводниковой электроники как в США, так и во всем мире.

В середине 1930-ых Рассел Ойл (Russell Ohl), электрохимик из Белл Телефон в городке Холмдел в Нью-Джерси, начал исследовать применение кремниевых выпрямителей в качестве детекторов для радаров. Он нашел, что очистка кремния и «увеличение кремниевой беспримесности» помогло улучшить способность обнаружения детекторов. 23 февраля 1940 г. он тестировал маленькую кремниевую пластинку, что привело к странным, удивительным результатам. Когда пластинка подставлялась яркому свету, ток, текущий через нее, заметно подскакивал. Он также заметил, что различные части кристалла демонстрировали противоположные электрические явления (это контролировалось зондом в виде контактной пружины типа «кошачий ус»).

Ойл и его коллега Джек Скафф (Jack Scaff) обнаружили границу раздела в кремниевой пластине на области, содержащие явно противоположные виды примесей. Одна примесь, элемент фосфора, создавала слабый избышек электронов в одной области пластины, а другая примесь, бор, создавала в другой области пластины небольшой недостаток электронов (позже признанный как «дырки»). Они назвали области электронной и дырочной соответственно, а поверхность или «барьер», где эти области встречались стали называть как « $p-n$ переход». Свет, падающий на этот спай, стимулировал электроны для перетекания из n -области в p -область, приводя к электрическому току. Ойл обнаружил фотогальванический эффект, на котором основаны сегодняшние солнечные элементы.

Впоследствии из случайного открытия Ойла 1940 года родилась концепция плоскостного транзистора Шокли в 1948 году, а $p-n$ переход стал наиболее привычной и стандартной формой выпрямителя, используемого в электронной промышленности и с тех пор стал фундаментальной основой для разработки полупроводниковых приборов.

Независимо от Ойла и одновременно с ним советский физик Вадим Евгеньевич Лашкарев впервые обнаружил $p-n$ -переход в закиси меди. В 1941 году в журнале Известия АН СССР он опубликовал статью «Исследование запирающих слоев методом термозонда» (Известия АН СССР, сер. Физика .–1941 .– Т. 5). Он установил, что обе стороны «запорного слоя», расположенного параллельно границе раздела медь–закись меди, имели противоположные знаки носителей тока. Также Лашкаревым был раскрыт механизм инжекции – важнейшего явления на основе которого действуют полупроводниковые диоды и транзисторы. Работающий транзистор, сделанный Бардином и Браттейном появился только через семь лет после статьи Лашкарева.

Итак, только спустя сто лет, в 40-е годы XX века удалось разгадать все загадки полупроводников. Разработанная независимо друг от друга Давыдовым, Моттом и Шоттки теория выпрямления тока в области контакта материалов разного типа проводимости получила блестящее экспериментальное подтверждение. Таким образом, была решена последняя загадка полупроводников.

Вторая мировая война предъявила особые требования к качеству полупроводниковых диодов, что потребовало совершить гигантский скачок в развитии технологии получения высокочистых кристаллов германия и кремния. Потребовалось поставить на военную службу полупроводниковые диоды, поскольку радарные приемники нуждались в твердотельных детекторах для обнаружения и преобразования микроволновых сигналов на частотах выше, чем могли позволить электровакуумные диоды.

Следуя пионерским работам Рассела Ойла на кремнии исследователи в университетах и компаниях в Великобритании и Соединенных Штатах разрабатывали технологии, как для очистки полупроводников, так и для легирования их выбранными примесями, чтобы получить желательные полупроводниковые свойства. Миллионы кристаллических выпрямительных диодов, с металлическим острием, контактирующим с крошечным осколком кремния или германия, помещенные в металлический корпус, были изготовлены для использования в радарных приемниках союзников.

Летом 1940 года после оккупации гитлеровцами Западной Европы Англия оказалась один на один против армады нацистских бомбардировщиков, начавших

планомерное разрушение ее обороны и подготовку морского десанта. От краха Англию спасли чудо, решительность нового премьера У.Черчилля и... радары (так на западе называли радиолокаторы). Появившиеся еще в предвоенные годы почти одновременно в СССР, Англии и США, радары позволяли быстро и точно обнаруживать вражеские самолеты и своевременно организовывать противодействие. В небе над Ла-Маншем развернулась грандиозная «битва за Британию», достигшая своего апогея 15 сентября 1940 года (именно эта дата выбита на мемориальном камне в Вестминстерском аббатстве – как важнейшая во всей биографии У.Черчилля), после чего гитлеровцы, потеряв более 1000 самолетов, отказались от идеи вторжения. Отметим, что много лет спустя одна из книг, посвященных тому времени, вышла под весьма выразительным названием: «Как горстка пионеров радиолокации выиграла вторую мировую войну!»

Англии нужны были радары, радарам – кристаллические детекторы, детекторам – совершенные германий и кремний. Война продвинула эту проблему необычайно быстро, и вскоре германий в значительных количествах появился на заводах и в исследовательских лабораториях — трамплин для прыжка к транзистору был готов. С кремнием, из-за высокой температуры его обработки, поначалу дело шло не так гладко, но через несколько лет тоже успешно разрешилось.

Большинство исследований по очистке германия происходило в университете имени Джона Пердью (Purdue University) под руководством Карла Ларк–Горовица (Karl Lark-Horovitz). Кремниевая очистка развивалась главным образом в университете Пенсильвании под руководством физика Фредерика Зейтца (Frederick Seitz) под эгидой Лаборатории излучений Массачуссетского технологического института и Химической компании Дюпон (Dupont). К концу войны стал возможным получать кремний 99,999 процентов чистоты.

Также крайне важными были программы исследований в Bell Labs во главе с металлургом Джеком Скаффом и химиком Генри Тойрером (Henry Theurer). Эти работы помогли понять, как наличие различных примесей приводят к электронным полупроводникам с избытком электронов и к дырочным полупроводникам с дефицитом электронов (или избытком дырок). Добавляя буквально крошечное количество элементов, таких как фосфор из пятого столбца (пятой группы) таблицы Менделеева, к чистому кремнию или германию, они получали материал *n*-типа. Добавление элементов третьей группы, таких как бор, давало дырочный полупроводник.

В военные годы быстрыми темпами развивалась радиолокация, мощные источники высокочастотной энергии. Нужны были электронные приборы дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн, в котором, как отмечалось выше, электронные лампы были не годны, а эффективными в этой области были именно твердотельные, германиевые и кремниевые, детекторы (СВЧ-диоды), способные работать в частотном диапазоне до 4 ГГц.

По занятию 11. «Университеты и вся система образования как средство для обмена, распространения и умножения знаний. Наука, функции и цели науки, предмет науки. Условное деление науки по предмету и методу познания показано схемой. Деление наук на группы, отрасли и отдельные дисциплины. Условное деление науки по связи с производством.» используйте следующий материал : рисунки 1.1 – 1.3

Университеты и система образования как средство для обмена, распространения и умножения знаний. Образование – целенаправленный процесс *воспитания и обучения* в интересах человека, общества, государства, сопровождающийся констатацией достижения гражданином (обучающимся) установленных государством образовательных уровней (образовательных цензов). В традиционном смысле образование – процесс и результат овладения человеком определенной системой знаний, умений и навыков, а также способами мышления, необходимыми для его полноценного включения в социальную и культурную жизнь общества и выполнения определенных профессиональных функций

Система образования – сложный социально-экономический и научно-технический комплекс народного хозяйства, характеризующийся совокупностью следующих показателей: число учебных заведений, численность учащихся, выпуск учащихся, численность преподавательского состава. С организационной точки зрения система образования – совокупность образовательных учреждений независимо от их организационно-правовых форм, типов и видов, реализующих преемственные образовательные программы и государственные образовательные стандарты различного уровня и направленности.

Человек, получающий образование изначально и в соответствии с еще не освоенным уровнем образования получает базовое образование, соответствующее данному уровню. Базовое образование – *система знаний, умений, навыков и качеств личности*, представляющая достигнутый человеком *уровень (ступень) образования* и составляющая необходимую основу для их дальнейшего развития, приобретения и приращения на последующем уровне (ступени) образования.

Дополнительное образование – процесс и результат реализации *дополнительных образовательных программ*, дополняющих систему *основных образовательных программ* с целью удовлетворения потребностей личности, общества, государства в непрерывном развитии личности, повышении профессиональной квалификации и переподготовке специалистов, не предусмотренных целями основных образовательных программ.

Уровни универсального образования имеют определенную структуру. В настоящее время, к *общему образованию* в широком смысле принято относить следующие составляющие: дошкольное, начальное общее, основное общее, среднее (полное) общее и дополнительное образование детей.

Следующим по уровню идет профессиональное образование, к которому в настоящее время относят начальное профессиональное образование, среднее профессиональное образование, высшее профессиональное образование, а также послевузовское профессиональное образование.

Существуют также особые формы повышения квалификации лиц с целью подготовки их к соисканию учёной степени кандидата наук (аспирантура) или к соисканию учёных степеней доктора наук (докторантура).

Наука: функции, цели, предмет, классификация. Исторические рубежи возникновения науки. Наука как особый социальный институт.

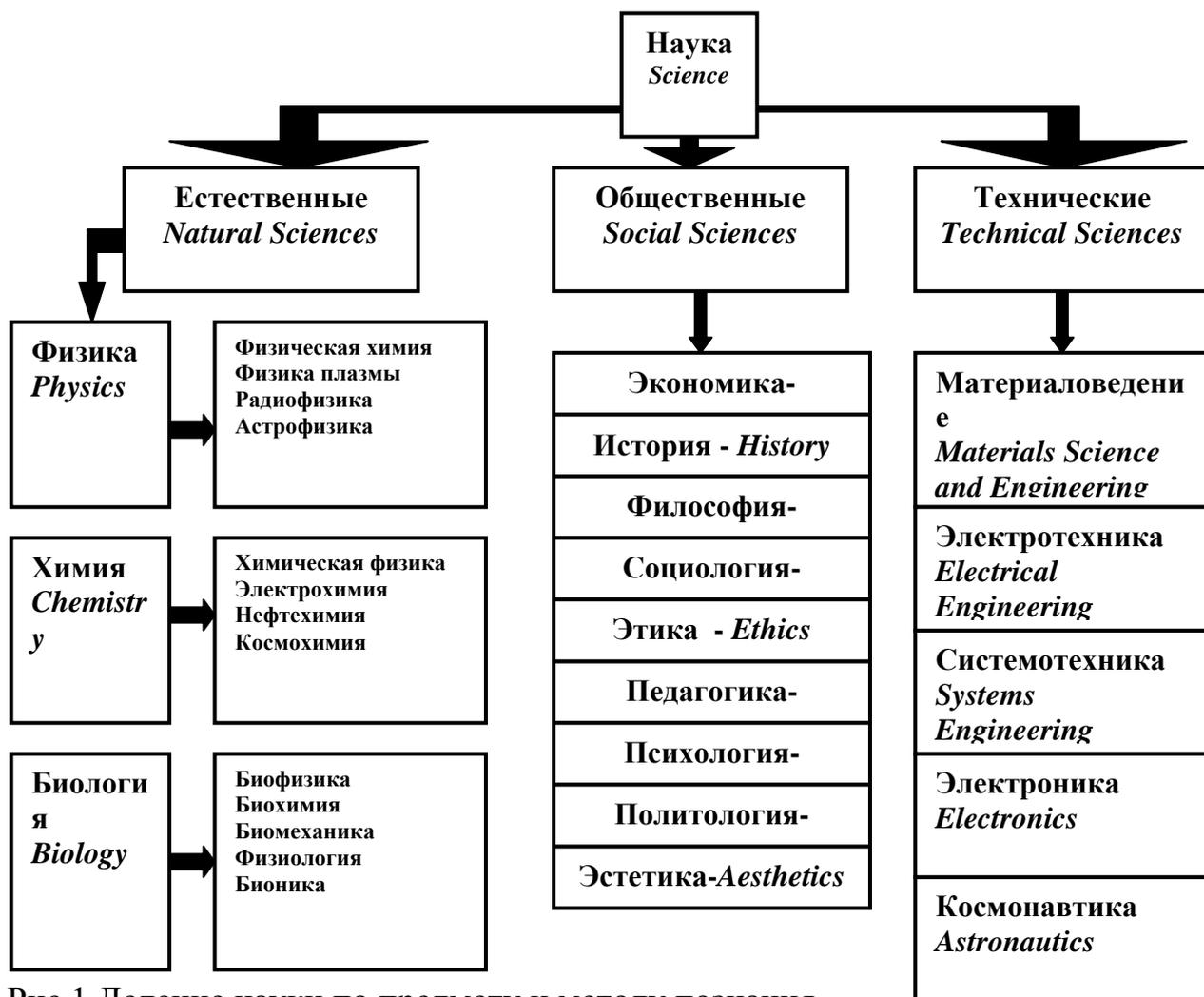


Рис.1 Деление науки по предмету и методу познания

Наука – это деятельность по выработке знаний об объективной реальности и их систематизация и это важнейшая функция науки. Это и деятельность по получению нового знания, и результат этой деятельности в виде суммы знаний, составляющих основу научной картины мира.

Цель науки – описание, объяснение и предсказание действительности, всех процессов и явлений, они – предмет науки, предмет ее изучения. Эта цель реализуется на основе открываемых наукой законов, научных законов.

Условное деление науки по предмету и методу познания показано схемой:

Группы наук (естественные, общественные и технические) делятся на отрасли (физика, химия, биология и другие), а отрасли – на отдельные дисциплины

(физическая химия, физика плазмы, радиопизика, химическая физика, биофизика и т. п.).

По связи с производством все виды науки делят на два крупных типа:

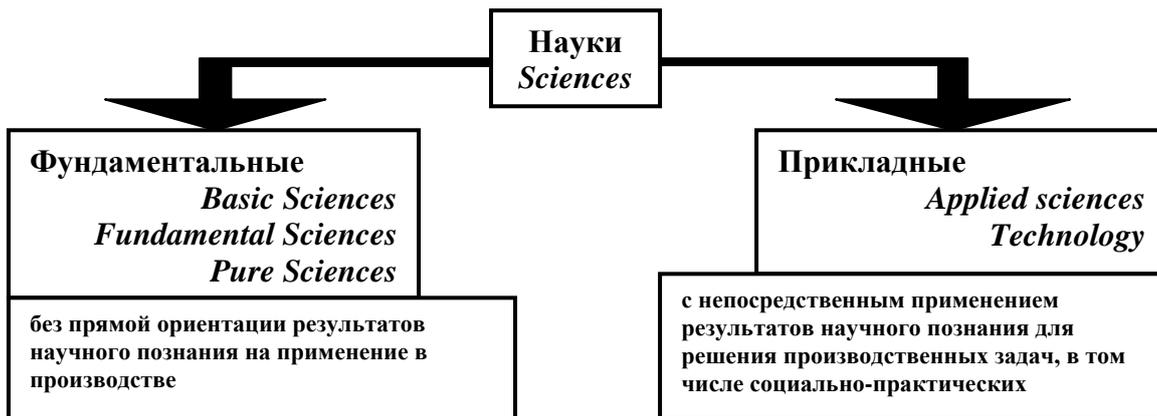


Рис.2. Деление науки по связи с производством

Рассмотренное структурирование науки сложилось за многовековую историю развития человечества и значительная длительность и историческая протяженность этого развития послужили основой для неоднозначности ответа на вопрос – когда возникла наука?

Можно считать, что естествознание возникло в каменном веке, когда человек стал накапливать и передавать другим знания о мире. Естествознание имеет дело с манипуляциями и преобразованиями материи, поэтому главный поток науки вытекает из практических, технических приемов первобытного человека – так считал английский физик и общественный деятель Джон Бернал (1901 – 1971). Значительная часть его работ – о проблеме происхождения жизни и роли и месту науки в обществе. Его книга «Социальная функция науки» (1939) положила начало новой области – науке о науке, или науковедению.

Но если науку трактовать как знание с его обоснованием, то справедливо считать, что наука возникла в 5 веке до новой эры в Греции, так как только греки начали доказывать теоремы, хотя большой объем знаний был накоплен до греков в Древнем Египте и Вавилоне.

Большинство историков считает, что в привычном нам смысле естествознание появилось в 16-17 веках вместе с работами Иоганна Кеплера, Христиана Гюйгенса, Галилео Галилея и в особенности Исаака Ньютона – то есть вместе с рождением физики и обслуживающего ее математического аппарата.



Рис.1.3. Структура научного знания.

**Практические занятия и рекомендации по самостоятельной работе по разделу 4.
«XX–XXI век, проблемы микроэлектроники на рубеже веков.
Наноэлектроника».**

Цель: изучение проблем, связанных с дальнейшей микроминиатюризацией элементов интегральных схем и их влияния на развитие наноэлектроники. Новые материалы и приборы на их основе.

1. Наука, образование, инновации и технологии как неотъемлемые компоненты экономики знаний.

Этот вопрос полезно осветить, используя материалы по взаимодействию науки, бизнеса и государства в модели «Тройная спираль».

Применение модели Тройная спираль в количественных оценках инновационных процессов не является очевидным. Сложность моделируемых взаимоотношений в модели ТС затрудняет конкретное применение этой модели для количественных оценок взаимодействий спиральных гармоник университет, бизнес и власть. Поэтому в предыдущей работе [1] показана применимость к анализу модели Тройная спираль метода аналогий, лежащего в основе методологии физической экономики Ларуша [2,3], построенной по образу и подобию точных и естественных наук (в частности, физики) с привлечением математического моделирования. Это современное направление в экономике получило название «физическая экономика». Если в физических средах измерения физических величин чаще всего не вызывают принципиальных затруднений, то измерения в сложных социо-экономических средах характеризуются значительными трудностями. Задачей настоящих исследований является выработка подходов к разработке на основе модели Тройная спираль инструментария, способного измерять и выражать количественно величины, определяющие закономерности развития инновационных процессов в сложном взаимодействии спиральных гармоник университет, бизнес и власть.

Сопоставление и анализ аналогий проводились в работе [1] в отношении модели взаимодействия трех спиральных гармоник университет, бизнес и власть и модели винтовой (спиральной) неустойчивости электронно-дырочной плазмы в полупроводниках, при которой возникают спиральные волны плотности плазмы $n_1(r, z, \varphi)$ в виде гармоник с угловым (азимутальным) числом $m = 1, 2, 3$:

$$n_1(r, z, \varphi) = f(r, z) \exp(im\varphi + ik_z z - i\omega t), \quad (1)$$

где r, z, φ - цилиндрические координаты; k_z - составляющая волнового числа вдоль длины образца; m - угловое (азимутальное) число; ω - круговая частота; $f(r, z) = f_1(r)Z_0(z)$, $Z_0(z)$ - некоторая слабая функция от z , показывающая, что плотность плазмы постоянна вдоль длины полупроводникового цилиндрического образца, $f_1(r)$ некоторая функция от радиуса, которая аппроксимируется функцией Бесселя первого порядка $J_1(\beta_1 r)$, $\beta_1 = (\alpha_1/a)$, α_1 - первый ноль J_1 , a - радиус цилиндрического образца.

В работе [1] было показано, что в модели Тройной спирали основной спиральной гармоникой, обладающей наиболее низким порогом возбуждения среди всех трех спиралей, является спираль U -компоненты (university), в которую мы включаем и академическую науку. В силу этого U -спираль возникает первой на неразработанном инновационном поле и потому роль университетов в модели Тройная спираль является преобладающей.

Проведенный в настоящей работе для модели Тройная спираль анализ развития основной спиральной U -гармоники (university) выявил следующие закономерности.

Возбуждение U -гармоники может иметь либо мягкий режим возбуждения, либо жесткий (взрывной). Начиная от порога возбуждения амплитуда U -гармоники растет с

ростом силы F_{TC} , вызванной энергией и трудом исследователей. При мягком режиме возбуждения на кривой зависимости амплитуды от параметра надкритичности A (ΔF_{TC}) первый участок, соответствующий малым значениям надкритичности ΔF_{TC} , является степенной функцией с показателем 0.5. При жестком режиме возбуждения U -гармоники амплитуда на пороге возбуждения скачком изменится до конечного значения A_0 . Кривая зависимости амплитуды от силы F_{TC} имеет разрывы и петлю гистерезиса: скачкообразное возникновение при росте силы F_{TC} и срыв спиральных волн при уменьшении силы F_{TC} происходят при различных значениях F_{TC} .

Дальнейший плавный рост амплитуды с ростом силы F_{TC} качественно одинаков для любого режима возбуждения. Амплитуда U -гармоники растет с ростом силы F_{TC} и надкритичности $\Delta F_{TC}=(F_{TC}-F_{TCn})/F_{TCn}$ до тех пор, пока ее рост не ограничится высокой степенью изученности научной или технической проблемы. Тогда амплитуда U -спирали замедляет свой рост и стремится к насыщению или выходит на насыщение при значительном выходе за порог возбуждения ($\Delta F_{TC} \gg 1$). На этом последнем участке стагнации U -гармоники увеличение силы F_{TC} более не приводит к увеличению объема новых знаний, новых научных публикаций и, соответственно, к росту амплитуды A .

На этом этапе развития модели Тройная спираль создаются пороговые условия для появления второй спирали – B -гармоники (business). При достижении достаточно больших значений количества печатных работ, индексов цитирования и коцитирования в выбранной области научных исследований, возникают пороговые условия для перехода полученных знаний в область практического использования патентов, трансфера технологий, создания технологических фирм и предприятий. B -спираль усиливается с ростом количества технологий и производственных предприятий, использующих знания, созданные при развитии U -спирали.

Экспериментальным материалом для проверки положений теории о характере развития спиральной U -гармоники будут служить первичные статистические данные о деятельности исследователей (количество публикаций, заявок на патенты, патенты). Эти экспериментальные данные эффективно учитываются методами дескриптивной статистики: наблюдение, учет и сводка статистических данных, последующая группировка первичных данных по группировочным признакам и дальнейший анализ для выявления закономерностей. Обладая статистическим экспериментальным материалом по деятельности исследователей в определенном научно-техническом направлении и используя положения теории о мягком и взрывном (жестком) режимах возбуждения можно определить режим возбуждения спиральной U -гармоники и дальнейший характер ее развития.

Литература

1. Дробот Д.А. Превалирующая роль университетов в модели тройной спирали / П.Н. Дробот, А.Ф. Уваров // Инновации .– 2011 .– №4 .– с.93-96.
2. Ларуш Л. Вы на самом деле хотели бы знать все об экономике? / Л. Ларуш .– М. – 1992 г .– 207 с.
3. Ларуш Л. Физическая экономика – платоновская эпистемологическая основа всех отраслей человеческого знания / Л. Ларуш . – М: Научная книга .– 1997 г. – 125 с.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика .– Издание 5-е .– 2006 .– Т.VI. Гидродинамика .– 736 с.

2. История открытия винтовой неустойчивости в полупроводниках (осцилляторный эффект) и применение этого физического эффекта для создания новых приборов как альтернатива традиционной интегральной электронике..

Изучите следующий материал и подготовьте презентацию с докладом на тему занятия.

Винтовая неустойчивость была экспериментально обнаружена независимо и почти одновременно в полупроводниковом германии Ю.Л.Ивановым и С.М.Рывкиным и в

газовом разряде Б.Ленертом в условиях, когда параллельно протекающему току приложено магнитное поле. Результаты этих открытий были опубликованы в 1958 году [1,2].

В работе [3] было показано, что явление, обнаруженное в работе [2], обусловлено неустойчивостью плазмы относительно винтовых волн плотности, позже названной токово-конвективной неустойчивостью [4, 5]. Затем в работе [6] действительно был зафиксирован на фотографии вращающийся светящийся винт газового разряда при магнитном поле выше определенного порогового значения, а авторы работы [7] дали физическую интерпретацию механизма неустойчивости.

По аналогии с работой [3] результаты Ю.Л.Иванова и С.М.Рывкина [1] были объяснены М.Гликсманом [8], а экспериментальное доказательство винтовой волны плотности полупроводниковой плазмы было представлено в работе [9]. В работах зарубежных авторов название токово-конвективная неустойчивость не использовалось, а чаще использовался термин винтовая (screw , helical) неустойчивость [7,8], который прочно закрепился в литературе. С 1991 года статья под таким названием появилась в энциклопедическом словаре [10]. Р.Ларраби и М.Стил попытались экспериментально выяснить физический механизм колебаний Иванова-Рывкина и впервые дали определение «осциллятор» прибору, состоящему из помещенного в продольное магнитное поле полупроводникового образца и сопротивления нагрузки, включенных последовательно с источником электрического питания [11]. Р.Ларраби провел важные экспериментальные исследования о влиянии на условия возбуждения осциллятора качества обработки поверхности образцов, их размеров, времени жизни носителей заряда и некоторых других параметров [12].

Открытия - Ю.Л.Ивановым и С.М.Рывкиным винтовой неустойчивости (ВН) в германии [1] и Дж.Б. Ганном [13] – микроволнового излучения в арсениде галлия – были основными стимулами к исследованию плазменных эффектов в полупроводниках.

Литература

1. Иванов Ю.Л., Рывкин С.М. Возникновение колебаний тока в образцах германия, помещенных в электрическое и продольное магнитное поле //ЖТФ.–1958.–Т.28.–Вып.4.– С.774-775.
2. Ленерт Б. Процессы диффузии в положительно заряженном цилиндре в продольном магнитном поле // Труды Второй Междунар. конф. по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1958.– М.: Атомиздат.– 1959.– Избранные докл. иностр. ученых.–Т.1.– С. 648-651.
3. Kadomtsev В. В., Nedospasov A.V. Instability of the positive column in a magnetic field and the anomalous diffusion effect // J. Nucl. Energy.–1960.– part C : Plasma Physics .– V.1.– P. 230-235.
4. Кадомцев Б.Б. Конвекция плазмы положительного столба в магнитном поле // ЖТФ .– 1961 .– Т.31 .– Вып.11 .– С.1273-1283.
5. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме.– М.: Наука.– 1988.–304 с.
6. Allen Т.К., Paulikas G. A., Pyle R.V. Instability of a positive column in a magnetic field // Phys . Rev. Lett. – 1960 .– V.5 .– №9 .– p. 409-411.
7. Hoh F.C., Lehnert В. Screw Instability of a Plasma Column // Phys. Rev. Lett.–1961.–V.7.– №3.–P.75-76.
8. Glicksman M. Instabilities of a Cylindrical Electron-Hole Plasma in a Magnetic Field // Phys. Rev.–1961.–V.124.–№6.–P.1655-1664.
9. Okamoto F., Koike T., Tosima S. Experimental evidence for helical instabilities in a semiconductor plasma // J. Phys. Soc. Japan . – 1962.– V.17.–№ 5 .– P.804-807.
10. Электроника. Энциклопедический словарь.–М. : Советская энциклопедия .– 1991.– С. 58.

11. Larrabee R.D., Steel M.C. Oscillistor - New Type Semiconductor Oscillator // J. Appl. Phys.–1960.– v.31.– №9.– P.1519-1523.
12. Larrabee R.D. Conditions existing at the onset of oscillistor action // J. Appl. Phys.–1963.– V.34.–№4.–P.880-890.
13. Gunn J.B. Microwave oscillation of current in III-V-semiconductor.// Sol.St.Com.–1963.– V.1.– P.88-90.
14. Hartnagel H. Semiconductor plasma instabilities.–London: H. Ed. Books.–1969.–206 p.

3. Новые материалы: молибденит, алмаз, антимониды и арсениды индия.
Полупроводниковые приборы на их основе.
Используйте для подготовки материал :

Молибденит и приборы на его основе

Когда академика РАН К.Валиева спросили о том, что будет в развитии электроники после кремния, он ответил: «Кремний – это фундамент микроэлектроники. Я думаю, что кремний будет всегда, по крайней мере, до тех пор, пока совершенно новое не превратит кремниевые СБИС (сверхбольшие интегральные схемы) в изделия «каменного века» [3].

Среди современных, альтернативных кремнию, материалов полупроводниковой электроники, можно особо выделить молибденит – дисульфид молибдена MoS_2 , английское название: Molybdenite. В природе встречается в виде минерала. В полупроводниковой электронике, в ранней радиотехнике природные кристаллы молибденита, наряду с кристаллами галенита, сульфида свинца PbS , использовались в кристаллических детекторах в радиоприемных устройствах.



Рис.1.4. Природный кристалл молибденита.

Древние греки минерал сульфида свинца (галенит), называли «молибдена». Молибденит очень похож на галенит. В результате два разных минерала не различали, принимая за один и тот же, не только древние греки, но и химики 18 века. Поэтому, когда в 1778 году шведский химик Карл Вильгельм Шееле обнаружил в минерале «молибдена» новый элемент, он ошибочно назвал его «молибдос» (Mo), что в переводе означает свинец. Хотя на самом деле это не был свинец (Pb). Впоследствии в названии минерала сульфида свинца перешли с греческого («молибдена») на латынь («галена»), а за минералом состава MoS закрепилось название молибденит.

Кристаллическая сингония молибденита гексагональная, в его химическом составе возможны рений Re и селен Se, поэтому молибденит служит рудной основой для добычи этих элементов. По гексагональной форме и низкой твёрдости молибденит можно спутать с графитом. Различают их так: при растирании черты молибденита она приобретает зеленоватый цвет, а черта графита остаётся серой. У галенита кубическая форма кристалла, а удельный вес и твёрдость выше, чем у молибденита.

В 2011 году ученые из Швейцарии, из Федеральной политехнической школы города Лозанны (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL)) объявили, что в их Лаборатории нанoeлектроники и наноструктур создана интегральная электронная схема, в которой, вместо обычного для современной электроники кремния, применен дисульфид молибдена. Молибденит имеет ширину запрещенной зоны, характерную для полупроводников, 1,8 эВ [4]. Это полупроводник, идеально подходящий для изготовления транзисторов: по некоторым своим характеристикам он потенциально превосходит кремний, а по нескольким параметрам – даже такую «экзотику», как графен.

Директор лаборатории нанoeлектроники и наноструктур Андрас Кис рассказал о новой разработке: «Мы сделали первый прототип, он состоит всего из нескольких типовых транзисторов, но при этом способен производить бинарные логические операции, а это значит, что мы сможем сделать большие, намного более сложные, чипы» [5].

Важным достоинством дисульфида молибдена по сравнению с кремнием является его двумерная структура, тогда как кремний образует объёмные кристаллы. Двумерная структура позволяет легко формировать тонкие пленки толщиной 6,5 Å (0,65 нм), в которых подвижность электронов при комнатной температуре $200 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ соответствует подвижности электронов в слое кремния толщиной 2 нм [4].

Преимущества молибденита проявляются в связи с дальнейшей миниатюризацией кремниевых чипов и отдельных их элементов, таких как транзисторы. Слой кремния невозможно сделать тоньше двух нанометров – иначе он начинает окисляться, что резко

снижает его электронные качества. Интегральная схема из молибденита стабильно работает даже при толщине в три атома, что потенциально позволяет делать гораздо более миниатюрные чипы. Транзисторные MoS₂-ключи могут переключаться быстрее, чем кремниевые. По механическим качествам молибденит представляется весьма привлекательным материалом для использования в гибкой электронике, из него можно создавать целые «простыни» из микрочипов, которые впоследствии будут использовать, например, для производства компьютеров, сгибаемых в трубку, или для приборов, наносимых непосредственно на человеческую кожу.

Испытания молибденитового микрочипа подтвердили прежние предположения сотрудников Лаборатории нанoeлектроники и наноструктур о том, что молибденитовая электроника способна преодолеть физические ограничения, наложенные на кремниевую в отношении таких характеристик, как миниатюризация, электропотребление и механическая гибкость.

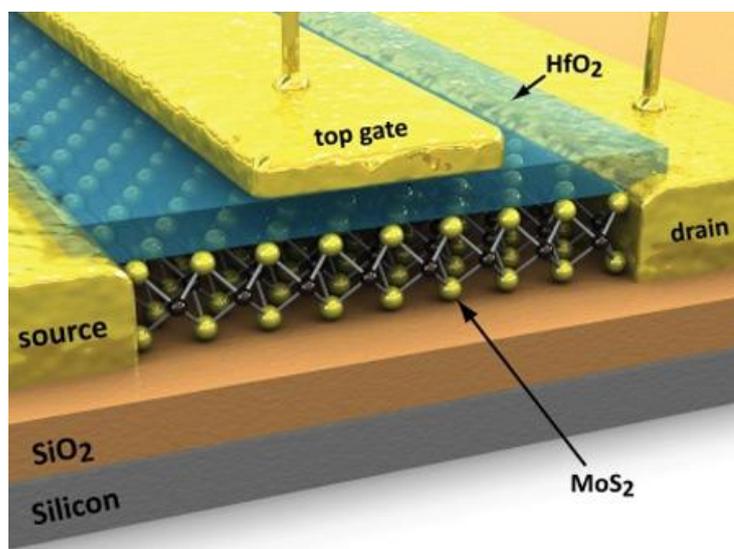


Рис.1.5. Молибденитовый полевой транзистор: «source» – «исток», «drain» – «сток», «top gate» – «затвор», HfO₂ – диэлектрик оксид гафния.

На рис.1.5 показан полевой транзистор со сверхмалым энергопотреблением – транзисторы, произведённые из молибденита, в неактивном состоянии потребляют в 100 тысяч раз меньше энергии, чем транзисторы из традиционного кремния. Канал транзистора из дисульфида молибдена сформирован на подложке из оксида кремния и отделен от затвора слоем материала с высокой диэлектрической проницаемостью ϵ – диоксид гафния. Об использовании диоксида гафния в качестве диэлектрика вместо традиционного диоксида кремния мы поговорим в следующих главах.

4. История развития представлений о графене, лабораторная методика получения графена и первых электронных приборов на его основе.
Используйте для подготовки материал

Графен

В сентябре 2004 года редакция престижного научного журнала Science, после долгих девяти месяцев доработки, приняла к публикации статью авторов Гейма и Новоселова (Department of Physics, University of Manchester) и их соавторов из Манчестерского университета, а также тех соавторов, кто работает в России (Институт проблем технологии микроэлектроники АН СССР, Черноголовка) [6]. Наиболее существенной частью этой работы были электрические измерения по влиянию электрического поля на свойства двумерного слоя углерода, то есть слоя, толщиной в один атом, но имеющего длину и ширину. Такой атомарный слой углерода в свое время получил название графен, а результаты работы 2004 года [6] послужили основой для Нобелевской премии по физике 2010 года для Андрея Гейма совместно с Константином Новосёловым [7].

Впервые в чистом виде графен получен всего лишь около семи лет назад, поэтому подавляющее большинство публикаций о графене, как в отечественной, так и в мировой научной прессе в целом пока связано преимущественно с экспериментами и исследованиями лабораторного уровня.

В лабораторных условиях графен можно получить простым способом. Высокоориентированный пиролитический графит (ВОПГ) – это стандартно используемый материал для сканирующей туннельной микроскопии (СТМ), где образец со свежей поверхностью обычно готовится путём отслаивания верхнего слоя графита с помощью липкой ленты [7]. А.Гейм говорит «Мы годами использовали эту технику, но никогда внимательно не смотрели на то, что же мы выбрасываем вместе с лентой» [7]. Когда остатки графита на скотче были рассмотрены в микроскоп, то были обнаружены фрагменты очень малой толщины (рис.1.6), некоторые из чешуек были толщиной всего в несколько нанометров [7].

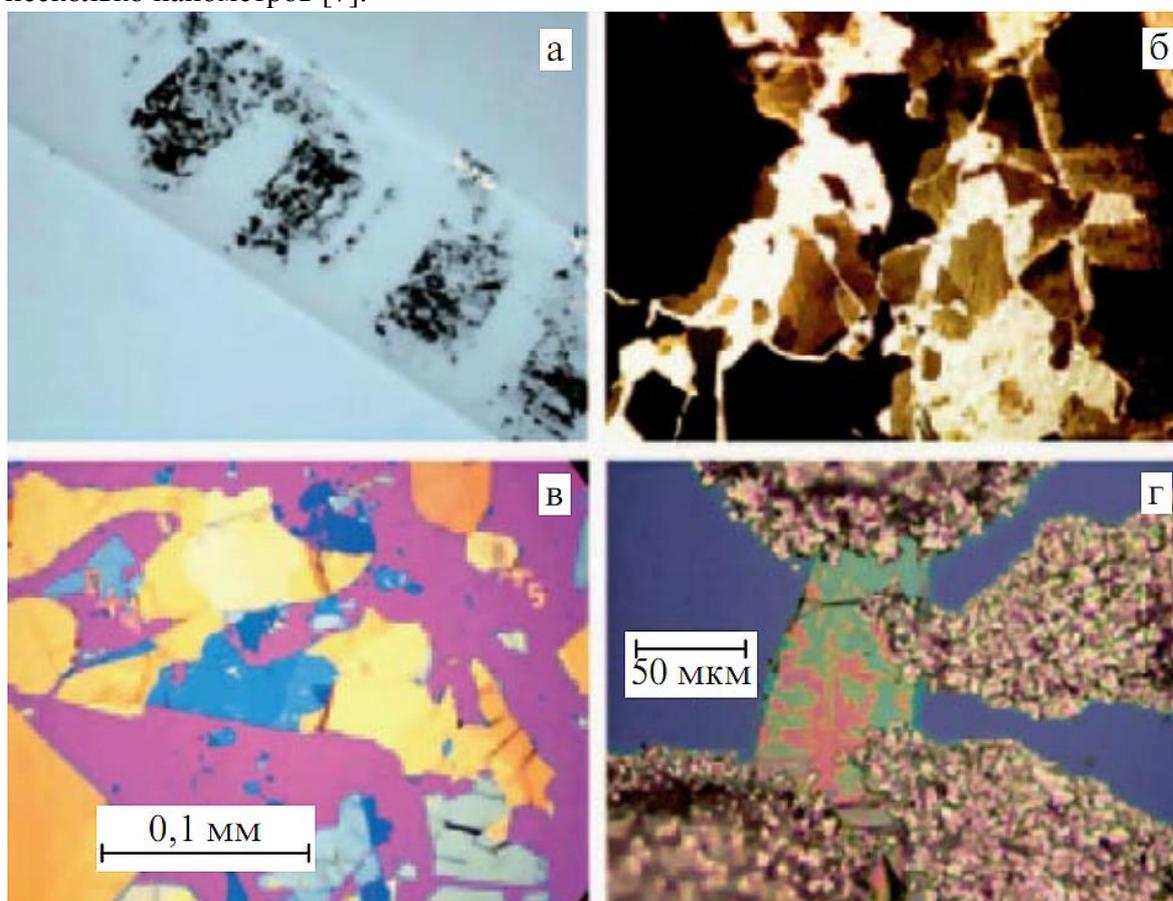


Рис.1.6. (а) Следы ВОПГ, оставшиеся на скотче. (б) Некоторые кристаллики оптически прозрачны, если взглянуть на них через оптический микроскоп или даже через

увеличительное стекло. (в) На подложке из оксида кремния светопроницаемые кристаллики дают различные оттенки голубого цвета. (г) Одно из самых первых устройств, изготовленное вручную в лабораторных условиях с помощью пинцета, зубочистки и серебряной пасты для электрических контактов [7].

На рис.1.6г показано одно из первых лабораторных устройств. В центральной части находится кристалл графита толщиной ~ 20 нм, а его поперечный размер соизмерим с диаметром человеческого волоса, ~ 50 мкм. К кристаллу изготовлены четыре близко расположенных контакта с помощью серебряной пасты. В самом первом образце, сделанном вручную на стекле, ясно проявился эффект электрического поля (ЭЭП), который заключался в том, что сопротивление образца можно было изменять на несколько процентов. Это было первое существенное достижение. Если эти устройства примитивного вида, сделанные вручную из относительно больших и толстых пластинок, уже демонстрируют некоторое влияние внешнего поля, то, если использовать самые тонкие кристаллы и применить весь арсенал технологического оборудования результаты будут еще лучшими [7].

В работе 2004 г. [6] впервые был показан амбиполярный эффект электрического поля, при котором сопротивление графенового образца меняется приблизительно в 100 раз. Свойства графена можно изменить простым изменением напряжения на затворе. Графен можно перестраивать из состояния, близкого к нормальному металлу с концентрацией электронов $\sim 10^{21}$ см⁻³, до металла с такой же концентрацией дырок, т.е. можно проделать весь путь, минуя «полупроводниковое» состояние с невысокой концентрацией носителей заряда [7].

За период с 2005 по 2010 год в лаборатории Гейма выполнен цикл приблизительно десятка научных работ [7], из которых установлены важные свойства графена, как материала, пригодного для современной полупроводниковой электроники. В физике полупроводников качество электронных свойств определяется подвижностью носителей заряда μ . В работе [6] для графена при комнатной температуре приводится значение $\mu = 10000$ см²/В·с. Такая большая подвижность носителей заряда (а для электронов это самая большая подвижность среди всех известных материалов) делает его перспективным материалом для самых разнообразных применений, как основу нанoeлектроники [8], например, или замену кремния в микросхемах в будущем.

Элементарная частица вещества в общем случае называется фермион. Примеры фермионов – кварки, лептоны и дырки в полупроводнике. Из интересных для электроники фермионов можно выделить электроны, которые относятся к лептонам.

Выяснилось, что электроны в графене ведут себя как релятивистские частицы без массы, так называемые безмассовые фермионы Дирака, передвигаясь с максимально возможной для среды скоростью, что для графена приблизительно 10^6 м/с., поэтому их движение нужно описывать не стандартным уравнением Шрёдингера, а уравнением типа уравнения Дирака. Электрическое напряжение, приложенное к подложке, на которой находится графен, создаёт носители заряда – электроны либо дырки, что зависит лишь от знака напряжения.

У графена отсутствует запрещенная зона – энергетический зазор запрещенных энергий между валентной зоной и зоной проводимости. Установлено, что графен остаётся металлическим в пределе отсутствия носителей заряда, даже тогда, когда в устройстве микронных размеров остаётся всего лишь несколько электронов. Предложено использовать графеновые устройства для регистрации туннелирования Клейна – эффекта, известного в квантовой электродинамике на протяжении многих десятилетий, но считавшегося ненаблюдаемым, пока несколько групп не продемонстрировали эффект экспериментально.

В двухслойном графене электроны приобретают новый облик, становясь теперь *массивными* дираковскими фермионами, то есть имеет конечную массу. Эти свойства раскрылись при обнаружении двух новых типов целочисленного квантового эффекта

Холла, соответствующих двум типам дираковских фермионов. Установлено, что двухслойный графен это полупроводник, причем с управляемой запрещённой зоной и что из графена можно точно вырезать нанометровые устройства [7].

5. Технологии графеновых пластин. Особенности однослойного и двухслойного графена и их применение в электронных приборах

Используйте для подготовки материал

. В направлении к графеновой электронике

Известно, что современная микросхема изготавливается на пластинке кремния, причем, чем больше таких пластинок умещается на одной пластине, вырезанной из выращенного слитка кремния, тем лучше для массовости производства микросхем, снижения их себестоимости. Поэтому требовалось и требуется получение кремниевых слитков и, соответственно, пластин из них, большого диаметра, чем больше, тем лучше. Это же относится и к другим перспективным материалам полупроводниковой электроники, например, к арсениду галлия, и само собой, к графену.

Изготовление графеновых пластин, на базе которых становится возможным массовое производство графеновых полупроводниковых изделий, связано с определёнными сложностями, прежде всего, с его уникальной одноатомной толщиной. Методы создания пластинок небольшой площади, достаточные для лабораторных опытов, совсем не подходят для промышленных масштабов: одно дело, фигурально выражаясь, послойно отдирать скотчем крохотные пластинки хаотично напластованного графена от графита, и совсем другое дело – получать пластины диаметром в десятки и сотни миллиметров с чётко ориентированными слоями графена.

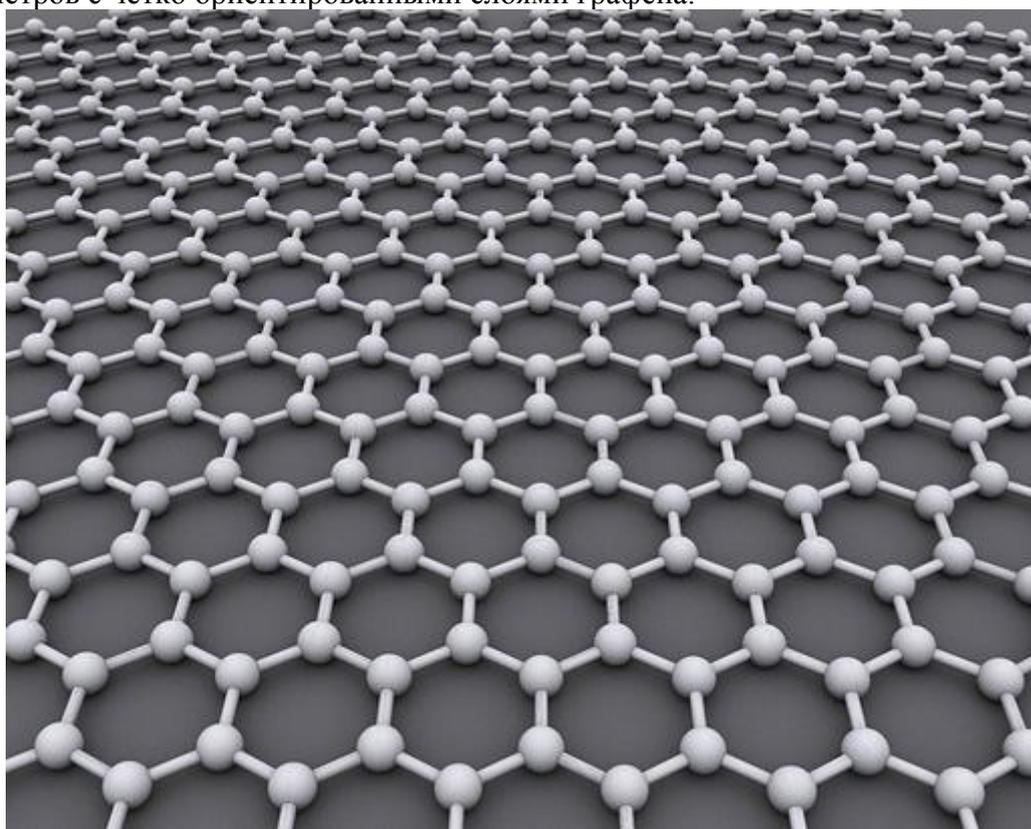


Рис.1.7. Графен представляет собой гексагональную решетку из атомов углерода толщиной в один атом.

Источник фото:

[http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2010/graphen_photo.jpg].

Массовое производство интересует поточный и, по возможности, недорогой метод получения исходного материала высокой чистоты. К настоящему времени известно

несколько методов получения графеновых пластин, в определенной мере удовлетворяющих потребностям электронной промышленности.

- 1) Классический метод химического осаждения углерода из расплывленного газообразного состояния. Разработан в Массачусетском технологическом институте (Massachusetts Institute of Technology) под руководством профессора Джинг Конга (Jing Kong). Ипользуется оборудование, схожее с применяемым в обычном полупроводниковом производстве [9]. Метод недорог и вполне пригоден для коммерческого внедрения, возможно, что для специфических приложений – например, для производства чипов, установку придётся доработать для повышения качества и однородности получаемых на выходе листов графена. Тем не менее, уже в нынешнем виде установка вполне годится для получения графена для таких приложений как электроды солнечных батарей [10].
- 2) Химическое осаждение из газовой фазы в парах метана и водорода на медную фольгу. Разработан коллективом ученых из Техасского университета в Остине (The University of Texas at Austin) и из компании Texas Instruments [12].

Успешно получены графеновые плёнки, перенесённые на обычную кремниевую пластину с верхним слоем диоксида кремния. Именно синтез графена на кремниевых подложках методами, совместимыми с традиционными технологическими процессами полупроводниковой индустрии считается основой будущего нанoeлектроники. Выращены графеновые пластины площадью 10 x 10 мм на медной фольге, однако, размер графеновых пластин теоретически ограничен лишь возможностями использовавшегося оборудования, а именно обжиговой печи.

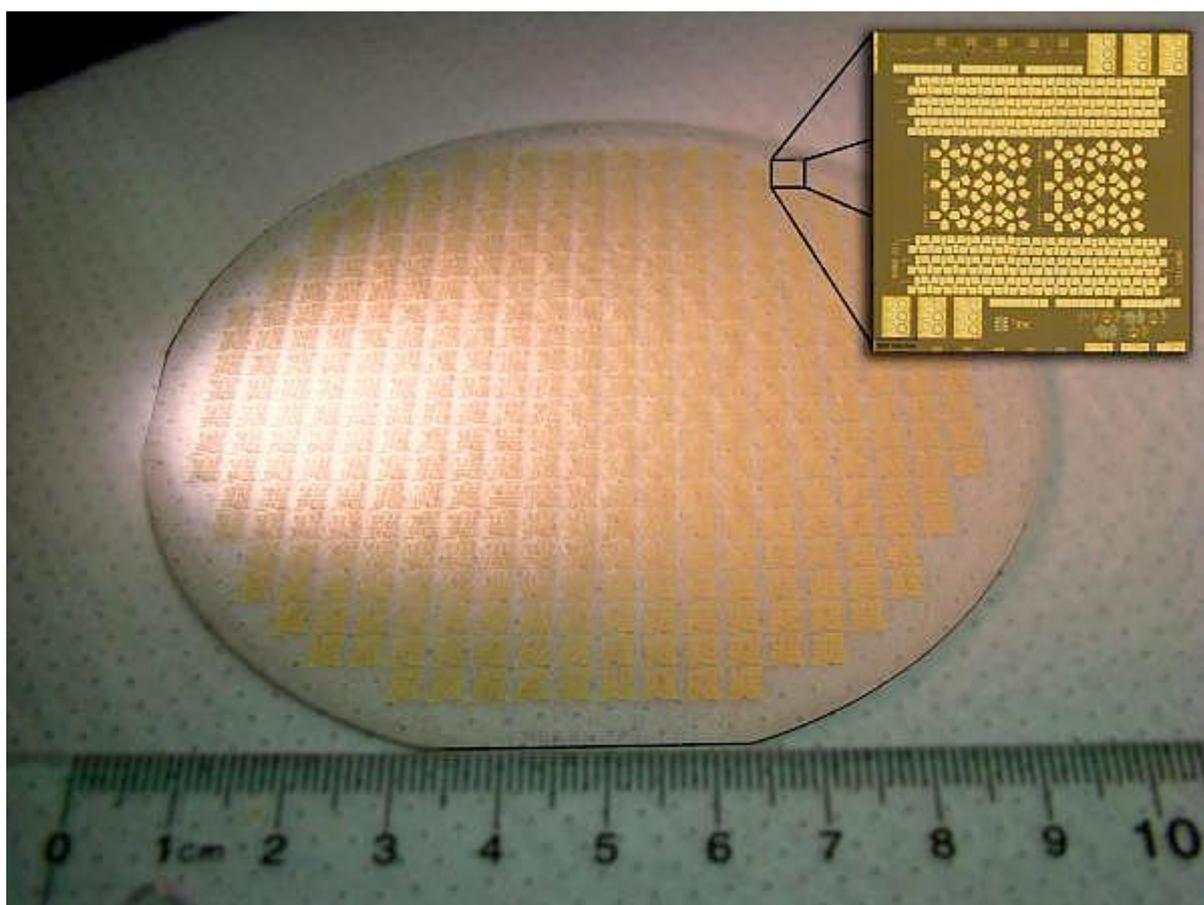


Рис.1.8. 100 мм пластина графена, содержащая приблизительно 75 000 устройств и тестовых структур. На вставке – оптическое изображение одного чипа. Каждый маленький квадрат на чипе составляет всего 100 мкм - толщина человеческого волоса. Устройства были изготовлены на Penn State Nanofab, учреждение Научно-исследовательского института материалов. (Фото: Джошуа Робинсон) [12].

Полученные в результате экспериментов образцы площадью 1 квадратный сантиметр почти полностью покрыты слоем мономолекулярного графена; лишь малая площадь – менее 5%, покрыта двухслойными и трёхслойными «напластованиями». На основе полученных графеновых пластин были созданы 2-затворные полевые транзисторы с находящимся сверху затвором, электрически изолированным от графена тончайшим слоем окиси алюминия. Определение подвижности носителей полученных таким образом транзисторов показало результаты, значительно более высокие нежели у традиционных кремниевых полупроводников – более $4050 \text{ см}^2/\text{Вс}$.

3) Процесс кремниевой сублимации карбида кремния. Разработан в Электрооптического Центре (Electro-Optics Center, EOC) при кафедре материаловедения Пенсильванского университета (Pennsylvania State University).

Впервые изготовлена графеновая пластина диаметром 100 мм (4 дюйма). При термической обработке пластины карбида кремния в высокотемпературной печи, после полного удаления кремния, на поверхности остаётся слой плёнки из углерода толщиной в один-два атома, что, по сути, и является пластиной самого настоящего графена [12].

Достижения учёных из EOC можно назвать серьёзной вехой на пути развития графеновой электроники в направлении массового производства. Даже 4-дюймовые графеновые пластины могут со временем стать основой для производства различных электронных компонентов. Так, исследователи из EOC уже в самое ближайшее время планируют начать исследования высокочастотных полевых транзисторов, производимых на 100-мм графеновых пластинах таким "полупромышленным" способом.

Благодаря тому, что электроны могут двигаться в графене с очень высокой скоростью (значительно большей чем в кремнии), графеновая электроника изначально сулит появление терагерцовых процессоров, скорость которых теоретически сможет превышать современные кремниевые полупроводники на пару порядков. Однако технологам придется еще поработать над чистотой и однородностью получаемых графеновых пластин, поскольку именно от этого в первую очередь зависит возможность достижения предельных тактовых частот получаемых полупроводников.

4) Метод синтеза графена на кремнии. Находится в разработке в Электрооптического Центре (Electro-Optics Center, EOC) при кафедре материаловедения Пенсильванского университета (Pennsylvania State University).

В случае успеха это позволит производить пластины диаметром 200 мм и более, а, значит, плавно интегрировать процессы производства графеновых полупроводников в уже существующую инфраструктуру полупроводниковой индустрии.

Методические указания по самостоятельной работе:

Студентам необходимо проработать лекционный материал и материалы учебных пособий из Основной литературы. Дополнительно по каждой теме провести поиск информации в интернет и дополнить новым материалом. Составить описание поставленных проблем исследования. Подготовиться к презентации изученного материала, продемонстрировав самостоятельно выявленные материалы, дополняющие сведения из учебных пособий

Вопросы для самоконтроля

Экзаменационные вопросы

- 1 Что такое наука и какова ее цель?
- 2 Когда возникла наука, в частности, естествознание?
- 3 Каковы основные особенности научного познания?
- 4 Когда наука стала профессией?
- 5 Каковы критерии научного знания?
- 6 Расскажите о структуре научного знания и методах научного познания.

- 7 В чем смысл дискуссии Н. Бора и А. Эйнштейна по проблемам квантовой механики?
- 8 Галилео Галилей и формирование физики как науки.
- 9 Что такое «этнос» науки?
- 10 Принципы экспериментального исследования. Проблема, гипотеза, достоверная истина.
- 11 Идеалы научного знания. Научные традиции, открытия, революции. Парадигмы научной деятельности.
- 12 Как совершаются открытия в научном мире?
- 13 Взаимосвязь науки и техники.
- 14 Характерные черты современного этапа научно-технического прогресса.
- 15 Методология науки как системы. Основные положения. Метод, методика и методология.
- 16 Методологические принципы конкретно-научного уровня в классической физике
- 17 В чем состоят методологические правила — принципы Ньютона?
- 18 Методологические принципы конкретно-научного уровня в неклассической физике.
- 19 Роль электродинамики, теории относительности и квантовой механики в становлении новой методологической системы.
- 20 В чем особенности поведения электропроводности «плохих проводников» – полупроводников. Какие полупроводники исследовал М.Фарадей?
- 21 Опишите явление происходящее при освещении полупроводника. Какие полупроводники исследовал А.Э.Беккерель, опишите опыты А.Э.Беккереля?
- 22 Опишите эффекты выпрямления и опыты К.Ф.Брауна, какие полупроводники им исследованы? Что такое «кошачий ус»?
- 23 Опишите опыты Холла и полупроводники в его экспериментах.
- 24 Какое изобретение сделал Бозе?
- 25 Концепция полупроводникового прибора, управляемого электрическим полем, изобретение Лиленфельда.
- 26 Устройство и принципы работы кристадина Лосева, из какого полупроводника был изготовлен кристадин?
- 27 Какую роль сыграла теория Вильсона в развитии полупроводниковой электроники?
- 28 Как экспериментально был обнаружен р–п–переход Ойлом и Лашкаревым?
- 29 Какую выдающуюся роль сыграла твердотельная электроника во второй мировой войне?
- 30 Опишите изобретение и устройство точечного германиевого транзистора? Структура типа «кошачий ус».
- 31 Какую роль сыграла Сусанна Гукасовна Мадоян в разработке транзисторов в СССР? Опишите ее работы.
- 32 Опишите концепцию плоскостного транзистора Шокли.
- 33 Создание полевого транзистора, принципы его работы.
- 34 Устройство и принципы работы туннельного диода.
- 35 Опишите методы Чохральского и зонной плавки.
- 36 Какие первые транзисторные устройства стала выпускать промышленность?
- 37 Опишите историю создания и устройство первых интегральных схем.
- 38 Каковы этапы производства в планарной технологии?
- 39 В каких сферах в первую очередь нашли применения первые интегральные схемы?
- 40 О чем говорит и каковы основания закона Мура?
- 41 Расскажите о развитии советской микроэлектроники и приведите примеры научных

цен- тров и производств.

42 Каковы технологические причины появления микропроцессоров и микроконтроллеров, приведите примеры изделий и фирм–производителей.

43 Что такое БИС и СБИС, технологические основания их появления.

44 Каковы принципиальные качественные изменения, связанные со значительными уменьшениями размеров элементов ИС, нанотехнологии.

45 Каковы минимально возможные размеры диодов и транзисторов?

46 Устройство нанотранзистора.

47 Что такое спинтроника?

48 Что такое графен?

49. Графеновые транзисторы: устройство, технологии, характеристики.

50 Технологии производства графена.

Тестовые задания

1. Точечный контакт металла и полупроводника и конструкция точечного детектора получили название ... [1) мдп – структура; 2) меза – структура; 3) "кошачий ус"; 4) косой шлиф]

2. Полупроводниковый детектор для радиоприема впервые изготовил, исследовал и запатентовал... [1) Лодж О.; 2) Бранли Э.; 3) Попов А.С.; 4) Бозе Д.]

3. Какой эффект, примененный в радиоприеме спустя много лет, обнаружил К.Ф. Браун [1) эффект светочувствительности; 2) эффект выпрямления 3) эффект индукции; 4) эффект электропроводности]

4. С каким полупроводником работал М. Фарадей в 1833 г. [1) молибденит; 2) цинкит; 3) хлорид серебра; 4) сульфид серебра]

5. Кем был разработан и испытан первый отечественный биполярный транзистор? [1) Иоффе А.Ф.; 2) Бонч-Бруевич В.Л.; 3) Мадоян С.Г.; 4) Лашкарев В.Е.]

6. Впервые р-п-переход в отечественной электронике обнаружил ... [1) Калашников С.Г.; 2) Красилов А.В.; 3) Лашкарев В.Е. ; 4) Лосев О.В.]

7. После окончания Второй мировой войны руководство американской компании Bell Laboratory поставило задачу по созданию телефонии, работающей в любое время в любой точке мира – это была программа.... [1) развития городских узлов связи; 2) создания автоматических коммутаторов; 3) глобальной связи; 4) телефонизации железных дорог]

8. Изобретение планарной технологии изготовления интегральных микросхем позволило размещать все электронные элементы на кремниевой пластине [1) двух плоскостях; 2) двух сторонах; 3) на одной стороне; 4) внутри]

9) До сих пор малоизвестен факт создания на европейском континенте, вскоре после американцев и независимо от них, такого же [1) телевизора; 2) радиоприемника; 3) биполярного транзистора; 4) полупроводникового диода]

10. Первый биполярный транзистор независимо от американцев был сделан другими авторами [1) в Бельгии; 2) в Великобритании; 3) во Франции; 4) в Голландии]

11. Разработчиками независимого от американского варианта первого биполярного транзистора стали ... [1) русские физики Капица и Левандовский; 2) французские ученые Кюри и Бранли; 3) немецкие ученые Велкер и Матаре; 4) английские физики Лодж и Стивенсон]

12. Из какого полупроводника был сделан первый биполярный транзистор ? [1) из нитрида галлия; 2) из фосфида галлия; 3) из кремния; 4) из германия]

13. Советский ученый Лосев изобрел уникальный полупроводниковый прибор [1) тиристор; 2) супергетеродин; 3) гетеродин; 4) кристадин]

14. Советский ученый Лосев впервые открыл и исследовал физический эффект в

полупроводнике, о котором заговорили во всем мире [1) дробный эффект; 2) магнитокинетический эффект; 3) выпрямительный эффект; 4) световое излучение в точечном контакте к полупроводнику]

15. В каком году был изобретен первый биполярный транзистор в США ? [1) в 1935; 2) в 1939; 3) в 1917; 4) в 1947]

16. Первый биполярный транзистор и представлял собойструктуру [1) нитевидную; 2) плоскостную; 3) планарную; 4) точечную]

17. Первая идея конструкции твердотельного усилителя представляла собой [1) керамическую трубку; 2) стеклянную пластинку с внедренными электродами; 3) сапфировую пластинку с напыленными контактами; 4) полупроводниковый аналог электронно-вакуумного триода]

18. К развитию в 30-40-е годы 20 века технологии получения высокочистых кристаллов контролируемого типа проводимости привели военные потребности в [1) генераторах; 2) солнечных батареях; 3) навигации; 4) радиолокации]

19. Прием радиосигналов на слух впервые стал возможен после открытия..... [1) тензочувствительности полупроводников; 2) магниточувствительности полупроводников; 3) светочувствительности полупроводников; 4) выпрямительных свойств когерера]

20. Какой текст содержала первая радиограмма изобретателя радио А.С. Попова при первой демонстрации радиопередачи? [1) Лодж и Бранли; 2) когерер; 3) Маркони – болван; 4) Генрих Герц]

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. История и философия нововведений в области электроники и электронной техники: Учебное пособие / Дробот П. Н. - 2015. 208 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/5402>, дата обращения: 06.06.2018.

2. История и методология науки и производства в области электронной техники: Учебное пособие / Дробот П. Н. - 2011. 77 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/664>, дата обращения: 06.06.2018.

3. События и даты в истории радиоэлектроники: Монография / Шарыгина Л. И. - 2011. 306 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/752>, дата обращения: 06.06.2018.

Дополнительная литература

1. История авиации и космонавтики: Учебное пособие для студентов специальности 162107.65 Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования / Чернышев А. А. - 2014. 33 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/3875>, дата обращения: 06.06.2018.

2. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебное пособие / Анищенко Е. В., Данилина Т. И., Кагадей В. А. - 2011. 263 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/552>, дата обращения: 06.06.2018.

3. Физико-химические основы технологии электронных средств: Учебное пособие / Иванов А. А., Ряполова Ю. В., Солдаткин В. С. - 2017. 307 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6922>, дата обращения: 06.06.2018.