

1.24. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ДОСТИЖЕНИЙ МИКРО-НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Цель лекции: *анализ дорожной карты развития микро- и нанотехнологий, перспектив развития электронной техники.*

1.24.1. ДОРОЖНАЯ КАРТА ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Электроника является одной из важнейших отраслей экономики страны, и ее развитие определяется технологией производства, материальной базой и подготовкой новых кадров для отрасли. В условиях мирового рынка, анализ тенденций развития электроники следует проводить с оглядкой на зарубежные рынки.

Технологическая дорожная карта – это направленный в будущее взгляд на выбранный круг проблем, представляющий собой продукт коллективного знания и предвидения наиболее авторитетных специалистов. Она дает комплексное, взаимосвязанное представление о перспективах развития технологий в конкретных сферах деятельности, позволяя взаимно увязать программы научных исследований, создания промежуточных и конечных продуктов, а также показать их связь с намеченными целями развития [62].

Для выработки эффективных стратегий необходима экспертная оценка перспектив развития экономики в России и мире, приоритетных направлений использования технологий, окон возможностей для России, рисков и ограничений, возможных траекторий достижения поставленных целей, динамики развития отдельных секторов экономики в России и зарубежных странах, анализ эффективности принимаемых решений [63].

1.24.2. ДОРОЖНЫЕ КАРТЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНДУСТРИИ В РОССИИ

В России растущее внимание к дорожным картам как методу прогнозирования связано с увеличением вклада инноваций в экономический рост, повышением сложности и наукоемкости конечных продуктов, развитием конкуренции. Увеличивается количество факторов, которые нужно учесть при построении прогнозов. В их числе – состояние внешней среды организации, развитие научных исследований и коммерциализация их результатов, наличие взаимодополняющих и конкурирующих производств, существование альтернативных стратегий достижения целей (в т.ч. связанных с использованием различных технологических решений) и др. Благодаря использованию метода дорожных карт можно предложить комплексный подход к решению поставленных задач [64].

Стратегия развития электронной индустрии в России базируется на основных положениях Президентской инициативы «Стратегия развития nanoиндустрии» (от 24.04.2007 № Пр-688), Федеральном законе «О российской корпорации нанотехнологий» от 19 июля 2007 г. № 139-ФЗ, поручении Правительства Российской Федерации по обеспечению реализации программы развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года от 04.05.2008 № ВЗ-П7-2702 и распоряжении Правительства РФ от 17 января 2020 г. № 20-р О Стратегии развития электронной промышленности РФ на период до 2030 г. и плане мероприятий по ее реализации.

Стратегия развития электронной промышленности на период до 2030 года (далее - Стратегия) определяет основные направления государственной политики в сфере развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года.

Стратегия направлена на создание нового конкурентоспособного облика электронной промышленности Российской Федерации на основе развития научно-технического и кадрового потенциала, оптимизации производственных мощностей, их модернизации и технического перевооружения, создания новых технологических направлений и технологий, освоения прорывных промышленных электронных технологий, а также совершенствования нормативно-правовой базы для удовлетворения потребностей государства и иных заказчиков в современной продукции отрасли электронной промышленности.

Дорожная карта для электроники как инструмент стратегического планирования позволяет организациям подготовиться к новым вызовам рынка и извлечь преимущества из вновь открывающихся возможностей. Для производителей электроники, например, это означает выявление рыночных тенденций и спроса на новые, перспективные продукты с последующим выбором технологии, необходимой для их производства на приемлемом ценовом уровне.

Составление дорожных карт позволяет обеспечить два основных преимущества. Во-первых, процесс их подготовки позволяет предприятию оценить угрозы и возможности, определить приоритеты и, во-вторых, построить важнейшие факторы (рыночный спрос, требования потребителей, уровень конкуренции, технологию производства, разработки новых продуктов, финансовый менеджмент и др.) в последовательный стратегический план.

Результирующая дорожная карта способствует выявлению проблемных ситуаций (нехватка финансирования, низкий технологический потенциал, разрывы в цепочке поставок), которые необходимо будет разрешить, и конкретизации приоритетов в области инвестиций, подбора кадров, исследований и разработок. Дорожная карта для электроники охватывает три ключевых аспекта, которые носят динамический характер:

1) **Рыночный спрос**, который изменяется во времени под влиянием повышения доходов потребителей, технологического развития и изменяющихся ожиданий. Дорожная карта выявляет целевые рынки, основные производ-

ственные технологии и их возможные альтернативы, временной график проведения исследований и инвестирования.

2) **Предприятие**, которое функционирует в непрерывно меняющейся конкурентной среде, характеризующейся появлением новых игроков, запуском новых продуктов, падением неэффективных бизнесов и захватом их рыночных долей другими компаниями.

3) **Технологии**, используемые предприятием для производства пользующихся спросом продуктов и услуг.

Они также меняются со временем. Это особенно заметно в таких областях, как информатика и электронные технологии, где и фундаментальная наука, и инженерные приложения эволюционируют одновременно, меняя как базовые концепции, так и представления о практических возможностях.

Российская госкорпорация «Ростех» разработала дорожную карту под названием «Новые поколения микроэлектроники и создание электронной компонентной базы». Согласно данному плану, в частности, предполагается разработка чипов с топологическими нормами 65 (55) нм, 28 нм, 14 нм и твердотельных накопителей данных с топологической нормой 25-30 нм.

Государство вложит в мероприятия по развитию микроэлектроники около 615 млрд руб., остальные инвестиции составят 102,6 млрд руб., в их числе 30 млрд руб. придется на долю «Ростеха». Согласно плану, к 2024 г. объем экспорта российской микроэлектроники нового поколения достигнет 20,4 млрд руб., а к 2030 г. — 48,8 млрд руб. Внутренний рынок к 2024 г. может составить 466 млрд руб.

Согласно Стратегии, в частности, предусматривается:

разработать и промышленно освоить технологии создания и производства цифровой электроники (процессор, контроллер, память) и системного программного обеспечения, силовой электроники, радиоэлектроники, включая СВЧ-электронику и аналоговую электронику, оптоэлектронику, фотонику и радиофотонику, в том числе:

- кремниевые технологии производства электронной компонентной базы с топологическими нормами 65 - 45 нм, 28 нм, 14 - 12 нм, 7 - 5 нм и последующий выпуск изделий на их основе;

- разработку изделий по кремниевой технологии с топологической нормой 5 нм с последующим выпуском изделий на их основе на зарубежных фабриках и переносом производств в Российскую Федерацию;

- кремниевые технологии производства твердотельных средств хранения данных с топологической нормой 25 - 30 нм и количеством слоев не менее 96;

- технологии производства приборов отображения информации, в частности дисплеев на основе OLED не ниже 6-го поколения с разрешениями до 2048x2048 пикселей, микродисплеев на пластинах диаметром 200 мм;

- технологии производства электронной компонентной базы СВЧ-диапазона, в том числе технологии BiCMOS HBT, HEMT, pHEMT с топологической нормой 65 - 45 нм, гетерогенную интеграцию на уровне пластины GaN

on Si, SiGe, GaAs;

- изделия электронной компонентной базы для терагерцового диапазона частот на основе InP и других материалов для радаров, видеосистем, медицинское оборудование и иных применений;

- технологии фотоники, в том числе гетерогенную интеграцию InP с кремниевой технологией для изготовления фотонных интегральных схем, а также технологии для активных и пассивных сенсоров тепловизионных и других оптических систем;

- технологии изготовления полупроводниковых лазеров, в том числе на основе GaAs, GaN, InP и соединений на их основе, для всех сфер применения, включая телекоммуникационное оборудование, лазерные сканеры, лидары;

- технологии для производства силовой электроники на основе GaN, SiC, высоковольтной (до 6500В и 1200А) и высокотемпературной (до 4500С);

- технологию изготовления MEMS сенсоров с топологическими нормами до 0,5 мкм;

- технологии источников питания с коэффициентом полезного действия до 99 процентов;

- технологии шифрования и криптозащиты, включая аппаратную реализацию технологий блокчейна;

- технологии изготовления многослойных жестких, гибких и гибко-жестких печатных плат (до 32 слоев), в том числе с использованием органических материалов; и т.д.

Дорожная карта проекта «Новые поколения микроэлектроники и создание электронной компонентной базы» предусматривает целевые показатели технологического развития, включая объем производства и продаж на внутреннем и внешнем рынках продукции (товаров, работ, услуг), основывающейся в том числе на соответствующих отечественных технологиях; количественные характеристики созданных результатов интеллектуальной деятельности и научных исследований; обеспеченность кадрами с необходимым уровнем квалификации; обеспеченность и качество научно-технологической и производственной инфраструктуры; иные показатели. Кроме того, дорожная карта включает подробный план мероприятий, в том числе: назначение должностных лиц федеральных органов исполнительной власти, Компании и иных заинтересованных организаций, сроки реализации отдельных задач и мероприятий, контрольные точки и ожидаемые результаты, необходимое финансовое обеспечение, включая средства бюджетов бюджетной системы России и внебюджетных источников, принципы и подходы взаимодействия Сторон и иных привлекаемых заинтересованных лиц.

1.24.3. КОМПОНЕНТЫ ДОРОЖНЫХ КАРТ

Дорожная карта представляет собой план действий, в котором определены сроки реализации и приоритеты инвестирования в развитие технологий.

Предприятия, рынки, продукты и технологии постоянно развиваясь и изменяясь создают сложную, многокомпонентную динамичную среду, что приводит к необходимости взаимодействия и сотрудничества при составлении дорожных карт. В результате становится необходимой междисциплинарная кооперация, работа целой группы экспертов и руководителей.

В результате такой работы определяются приоритетные направления инвестиций, исследований и разработок, формируется база для бизнес-планирования, рекрутинга и программ подготовки кадров.

Составление дорожной карты служит катализатором развития компании, помогая ей конкретизировать свои цели, сфокусировать знания о рынке, сделать обоснованный стратегический выбор таких технологий и управленческих решений, которые будут отвечать потребностям рынка и самой организации в наиболее эффективной форме.

В зависимости от специфики конкретной организации дорожная карта учитывает различные группы факторов, например:

- технологические приложения, достижения и инновации;
- потенциальные точки разрыва, шоки и риски;
- конкурентоспособность;
- инвестиции, финансы и планирование;
- временной график реализации;
- разрушающие технологии.

В первой группе факторов анализируются основные технологии и возможные варианты, способные обеспечить наилучший результат при меньших затратах.

Во второй группе исследуются важнейшие направления изменения и развития в данном секторе рынка, оцениваются будущие позиции компании, прогнозируются изменения в основных технологиях, конкурентной среде и на основных рынках, выявляются узкие места в цепочках поставок и сетях распространения, источники возможных проблем.

В третьей группе определяются конкурентные преимущества данного предприятия, такие, как выпускаемые продукты, технология, технические компетенции, менеджмент, маркетинговая стратегия.

В четвертой группе проводится критический анализ имеющихся финансовых ресурсов, определяются приоритеты расходов.

В пятой группе определяется комплекс задач по созданию нового продукта, определяются этапы его разработки.

К шестой группе относятся разрушающие технологии. Разрушающей принято называть новую технологию, обладающую тремя важными характеристиками. Во-первых, она значительно отличается от устоявшейся, классической технологии. Во-вторых, заметно превосходит последнюю по ряду важнейших, конкурентных параметров. В-третьих, ее появление существенно изменяет рынок, меняя ожидания потребителей, их запросы, стиль потребле-

ния и ощущение того, что является возможным, желаемым и нормальным в отношении данного типа продукта.

Разрушающие технологии представляют определенную угрозу для компаний, занимающих существенную долю рынка, поскольку способны обесценить их текущие инвестиции и даже привести к краху компаний.

Новые игроки на рынке, внедряя разрушающие технологии, напротив, обеспечивают себе конкурентное преимущество.

Ключевое свойство разрушающей технологии состоит в том, что она представляет не только лучшее решение существующей проблемы, но и меняет саму проблему. Подобная инновация несет новые возможности, трансформируя ожидания потребителей и их запросы. Из истории развития техники известно, что некоторые привычные сегодня технологии и продукты (например, телефон, автомобиль и Интернет) при первом своем появлении носили разрушающий характер.

Следует особо отметить, что организация может понести существенные убытки от слишком больших инвестиций в разработку нового продукта, поскольку это почти всегда затягивает сроки выхода продукта на рынок, а конкуренты могут раньше выпустить на рынок более дешевый и «достаточно хороший» аналог.

Иногда при составлении дорожной карты необходимо сделать анализ критических траекторий, в результате чего может быть выявлена цепочка последовательных событий, предопределяющая либо успех, либо неудачу проекта.

1.24.4. ДОСТИЖЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Нанотехнологии – это новое направление науки и технологии, активно развивающееся в последние десятилетия. Нанотехнологии включают создание и использование материалов, устройств и технических систем, функционирование которых определяется наноструктурой, то есть ее упорядоченными фрагментами размером от 1 до 100 нанометров.

Нанотехнологии обычно делят на три направления:

- изготовление электронных схем, элементы которых состоят из нескольких атомов;
- создание наномашин, то есть механизмов и роботов размером с молекулу;
- непосредственная манипуляция атомами и молекулами.

Технологии манипулирования веществом на молекулярном уровне затронули все отрасли промышленности. Не избежала этого и электроника, в первую очередь технологии создания микропроцессоров и интегральных схем. Ведущие страны вкладывают значительные средства в развитие данной сферы. Дальнейшее развитие микроэлектроники в наши дни немыслимо без использования нанотехнологий.

Нанотехнологии в электронике получили мощный импульс за счет исполь-

зования углеродных нанотрубок (графен, – прим. редакции). Углеродные нанотрубки не только могут преодолеть барьер уменьшения транзисторов, но и придать электронным схемам революционные механические и оптические свойства, или, говоря простым языком, сделать электронику гибкой и прозрачной.

Другая область применения нанотехнологий в электронике – создание жестких дисков нового типа. В 2007 году нобелевская премия по физике была присуждена Питеру Грюнбергу и Альберту Ферту за открытие эффекта гигантского магнетосопротивления, или, как иногда пишут, GMR-эффекта. Это квантовомеханический эффект, который происходит в тонких металлических плёнках, состоящих из чередующихся ферромагнитных и проводящих немагнитных слоёв. При изменении взаимного направления намагниченности соседних магнитных слоёв происходит значительное изменение электрического сопротивления такой структуры. С помощью внешнего магнитного поля направлением намагниченности можно управлять. На базе этого эффекта можно создавать датчики магнитного поля такой точности считывания, что информацию можно будет записывать на жесткий диск буквально с атомарной плотностью.

Создание нанороботов, то есть молекулярной машины, способной складывать предметы и устройства из отдельных атомов является чрезвычайно перспективным направлением.

Нанороботы смогут:

- стыковать атомы друг с другом, передвигаясь при этом по различным поверхностям и в различных средах;
- образовывать локальные компьютерные сети и связываться с макрокомпьютерами, управляемыми человеком;
- строить всевозможные макрообъекты: пищу, различную технику, дома и орбитальные станции;
- фабрика, насчитывающая миллиарды нанороботов, сможет обеспечить товарами и продуктами питания все человечество.

Нанокomпьютер - это устройство нанометрических размеров, способное производить логические операции.

Симбиоз нанoeлектроники и достижений биотехнологии позволит делать имплантаты.

Формы жизни, созданные на биоэлектронной основе, будут, в принципе, универсальны - они смогут приспособиться как к вакууму, так и к агрессивным средам, и при этом размножаться.

Искусственный интеллект, скорее всего, будет реализован именно в нанозеру.

Плазмоны представляют собой коллективные колебания свободных электронов в металле. Длина волны плазмонного резонанса, например, для сферической частицы серебра диаметром 50 нм составляет примерно 400 нм. В начале 2000-го года, благодаря быстрому прогрессу в технологии изготовле-

ния частиц наноразмеров, был дан толчок к развитию новой области нанотехнологии – наноплазмонике. Выяснилось, что электромагнитное излучение можно передавать вдоль цепочки металлических наночастиц с помощью возбуждения плазмонных колебаний.

Эта технология может стать заменой традиционных технологий, используемых в современных компьютерах. Логические цепи, построенные на основе плазмоники, работают гораздо быстрее, имеют значительно большую информационную емкость, чем традиционные электронные цепи и, что гораздо более важно, имеют гораздо меньшие габариты, чем существующие оптические системы.

Наноматериалы - в будущем материя и софт станут почти неотделимы друг от друга. Любой материальный предмет сможет быть программой, а любая программа - реализоваться материально. С помощью квантовых кристаллов можно будет сделать материю, в которой каждый тип атома задается пользователем. Ученые работают над созданием умных полимерных материалов, которые могут собираться и разбираться. В недалеком будущем большинства современных материалов может и не быть совсем - их заменят самособирающиеся полимеры.

Все нанороботы, нанокomпьютеры и наносистемы тесно связаны с НЭМС, наноэлектромеханическими системами: подшипниками, моторчиками, передачами, редукторами и т.п. На их основе можно будет создать наноманипуляторы - устройства, способные выполнять управляемую сборку атомов или перемещать отдельные молекулы. Все просто: инженерные решения макромира переносятся в наномир с некоторыми исправлениями. На сегодня исследователи построили множество новых наносистем: молекулярные конвейеры, способные транспортировать отдельные молекулы вдоль нанотрубок, механические нанолифты, позволяющие наладить молекулярное производство, различные наножидкостные системы и ДНК-компьютеры, которые помогут в построении "настоящих" НЭМС. Проектов манипуляторов на бумаге уже много, но пока что ни один из них не был реализован.

На сегодняшний день ученые не обнаружили физических законов, опровергающих возможность манипулирования материей атом за атомом. Экспериментальные данные и прогресс в области нанотехнологий за последние годы полностью подтверждают это.

И последнее, нанотехнологии позволяют создавать встроенные конкурентные преимущества и ограждающие барьеры. Это может быть индустрия с очень низким порогом восприятия для потенциальных потребителей. Недалеко то время, когда развитая нанотехнология станет практически неотличима от волшебства.

ТЕСТЫ К ЛЕКЦИИ

Вопрос 1	Что из себя представляет дорожная карта электроники?
Ответы:	
1	Является инструментом стратегического планирования
2	Представляет собой технологическую карту изготовления прибора
3	Представляет собой топографический план предприятия электронной техники
Вопрос 2	Что предусматривает Дорожная карта проекта «Новые поколения микроэлектроники и создание электронной компонентной базы»?
Ответы:	
1	Предусматривает целевые показатели технологического развития
2	Предусматривает новую компонентную базу
3	Предусматривает новые нанотехнологии
Вопрос 3	Какую технологию принято называть разрушающей?
Ответы:	
1	Новую технологию, значительно отличающуюся от классической технологии, заметно превосходящую последнюю по ряду важнейших, конкурентных параметров и меняющую рынок
2	Экспериментальную технологию, которая привела к разрушению изделия
3	Устаревшую технологию
Вопрос 4	Объекты какого размера используют в нанотехнологии?
Ответы:	
1	Размером от 1 до 100 нанометров
2	Размером от 1 до 100 микрометра
3	Размером от 1 до 100 миллиметра

Вопрос 5	Что собой представляют плазмоны?
Ответы:	
1	Плазмоны представляют собой коллективные колебания свободных электронов в металле
2	Плазмоны представляют собой фрагменты высокотемпературной плазмы в сильном магнитном поле
3	Плазмоны представляют собой фрагменты сильно разреженной плазмы в магнитном поле
Вопрос 6	Что такое гигантское магнитное сопротивление?
Ответы:	
1	Это квантовомеханический эффект, который происходит в тонких металлических плёнках, состоящих из чередующихся ферромагнитных и проводящих немагнитных слоёв
2	Это эффект резкого усиления магнитного поля при облучении лазером
3	Это эффект, который происходит в прозрачных диэлектрических пленках при их облучении лазером

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ