

1.1. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Цель лекции: введение в физические основы микро- и нанoeлектроники, ознакомление с содержанием курса и его структурой.

Приборостроение — это отрасль науки и техники, занимающаяся исследованиями, проектированием и совершенствованием методов разработки, производства и применения интегрированных приборных систем. К разделам приборостроения относятся также высокоточное приборостроение, высокоточное машиностроение и биотехнологии с разрешающей способностью допусков размерных цепей объектов, составляющей десятки единиц нанометров. Электроника, включая микро- и нанoeлектронику, в свою очередь, являются основой создания элементной базы приборостроения.

Началом развития электроники можно считать 1906 г., когда в США Ли де Форестом была изобретена трехэлектродная лампа. В 1950-х годах появились транзисторы, в 1960-х — интегральные микросхемы.

Микроэлектроника как область электроники, изучающая проблемы создания электронных устройств в миниатюрном исполнении, появилась в начале 1960-х годов. Развитие микроэлектроники показало, что она является одним из важнейших факторов, определяющих не только научно-технический прогресс, но и социальное развитие общества в целом. В частности, рынок электронного оборудования в последние годы динамично развивался со средней исторической скоростью 7 % в год. Это как минимум в 2 раза превышает среднюю скорость роста ВВП в развитых странах, поэтому высказываются прогнозы, что электронная промышленность станет самой большой отраслью в мире в XXI в. Так, мировой рынок электронного оборудования превысил 1,2 триллиона долл., обогнав рынок автомобилей.

Развитие микроэлектроники сопровождалось увеличением степени интеграции при одновременном уменьшении минимального размера элементов интегральных схем (рис. 1.1).

Основные особенности развития микроэлектроники во второй половине XX в.: резкое снижение себестоимости (применительно к элементу обработки единицы информации) при беспрецедентном снижении энергопотребления с одновременным улучшением характеристических параметров.

Гигантский рост производства изделий микроэлектроники основывался во многом на увеличении диаметра полупроводниковых пластин, что само по себе представляло чрезвычайно сложную материаловедческую задачу, требующую решения большого комплекса научно-технических задач на каждом

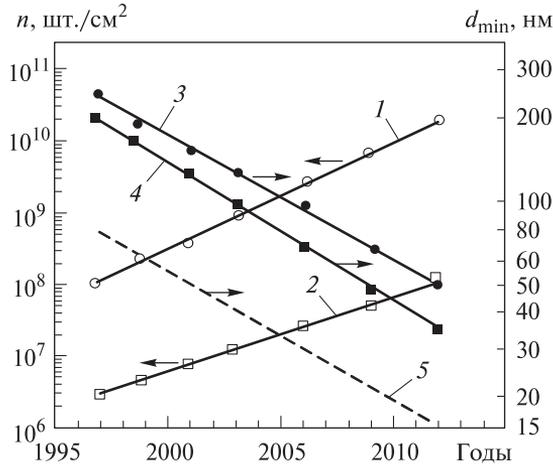


Рис. 1.1. Тенденции изменения плотности упаковки и минимального размера элементов интегральных схем:

1, 3 — динамическая память; 2, 4 — микропроцессоры; 5 — результаты прикладных исследований

этапе увеличения диаметра. В настоящее время широко применяемый диаметр кристаллографически совершенных монокристаллов кремния, обладающих высокой чистотой и однородностью (менее одного атома примеси на 10^7 атомов кремния), применяемых в производстве, составляет 300 мм. В ближайшее время планируется, а на отдельных предприятиях уже и осуществляется, переход на еще большие диаметры — 400 и 450 мм.

Магистральным направлением развития микроэлектроники является уменьшение топологических норм транзисторных структур, т. е. переход от микрометрового в нанометровый диапазон линейных размеров или создание малоразмерных структур. В этом случае говорят о нанoeлектронике. Иная физическая картина получается при рассмотрении нанoeлектронных устройств. Уменьшение размеров на несколько порядков практически изменяет физические основы работы нанoeлементов.

В нанoeлементах используются уже не электроны как частицы, переносящие электрический заряд, а их волновые функции. Процессы дрейфа и диффузии, характерные для микроэлектроники, в нанoeлектронных элементах отсутствуют.

В качестве материалов изделий микроэлектроники используются легированные полупроводники. В нанoeлектронике применяются гетероструктуры, наноструктурированные материалы, кластеры, органические материалы. Технология формирования наноструктур или инженерия волновых функций основана на процессах направленного роста, методах сканирующей туннельной микроскопии, атомной силовой микроскопии. Если плотность размещения активных элементов в интегральных схемах составляет порядка 10^8 см², то

в устройствах наноэлектроники она может достигать $10^9 \dots 10^{10}$ элементов на квадратный сантиметр. Под наноэлектроникой понимают направление электроники, в котором изучаются физические явления и процессы взаимодействия электронов с электромагнитными полями, а также разработка технологии (нано-технология) создания приборов и устройств, в которых это взаимодействие используется для передачи, обработки и хранения информации. Наноэлектроника представляет собой логическое развитие микроэлектроники.

Наноэлектроника является, с одной стороны, неким продолжением развития традиционных идей микроэлектроники, связанным со схемотехническими методами обработки информации, с другой стороны, новые идеи в квантовых явлениях и эффектах открывают новые возможности создания приборов нового поколения.

Ожидается создание к 2023 г. транзисторов с шириной затвора 20 \AA (21 нм) и менее. Традиционные полевые транзисторы, выполненные по субмикронной технологии, приобретают новые свойства. Уменьшение толщины слоя оксида, длины канала приводит к квантованию поперечного движения в канале. В результате образуется квазидвумерный газ носителей заряда, увеличивается их подвижность, увеличивается туннельный ток. При длинах затворов транзисторов до 20 нм они сравнимы с длиной когерентности и длиной волн де Бройля при комнатной температуре.

В квантовых структурах дискретность состояний системы определяется дискретностью безынерционного квантово-размерного энергетического спектра. Это фундаментальное свойство квантовых приборов. Как отмечалось ранее, в полупроводниковых квантовых приборах обработка, хранение и преобразование информации происходят путем контролируемой передислокации волновой функции в полупроводниковой наноструктуре. Один из способов перестройки волновой функции заключается в передислокации максимума вероятности нахождения электрона из одной части квантовой системы в другую. Эта передислокация осуществляется под действием внешнего напряжения, например, с помощью квантовых точек, разделенных туннельно-прозрачными барьерами.

Тесты к лекции 1.1

1. Что такое микроэлектроника?

- а) область электроники, изучающая проблему создания электронных устройств в миниатюрном исполнении;
- б) область электроники, изучающая проблему создания электронных устройств на радиолампах;
- в) область электроники, изучающая проблему создания макроволновых электронных устройств.

2. Что является магистральным направлением развития микроэлектроники?

- а) уменьшение топологических норм транзисторных структур;
- б) разработка современного программного обеспечения;
- в) уменьшение стоимости транзисторных структур.