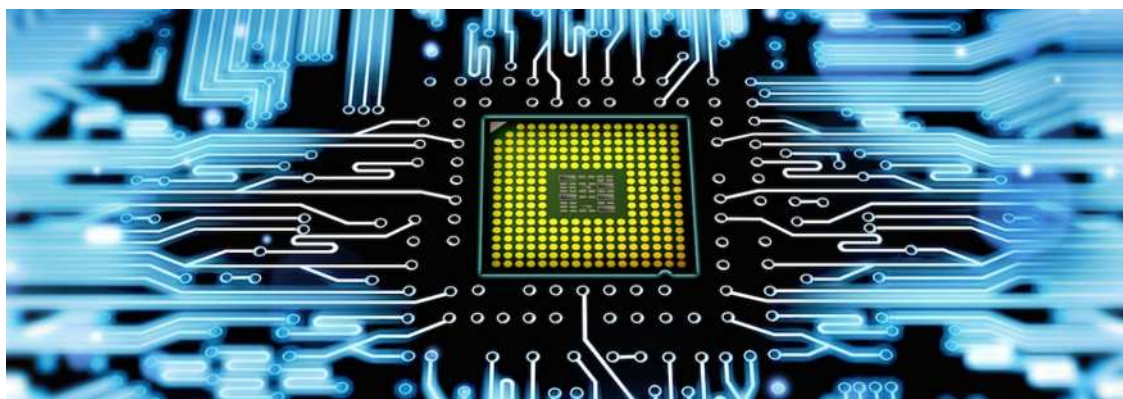


С.Д. Третьяков
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ



Санкт-Петербург
2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

С.Д. Третьяков
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ

Учебное пособие

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2016

Третьяков С.Д. Современные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры. Учебное пособие – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 102 с.

В учебном пособии рассмотрены современные технологии производства радиоэлектронных компонентов, применяемы при производстве изделий приборостроения. Подробно изложены физические принципы, на которых основаны современные технологии получения тонкопленочных компонентов, интегральных схем, печатных плат. Особое внимание уделено системам контроля технологических параметров при производстве радиоэлектронных элементов.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 12.03.01 «Приборостроение»

Рекомендовано к печати Учёным советом факультета Систем управления и робототехники, протокол №5 от 21.04.2016.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2016

© С.Д. Третьяков, 2016

Оглавление

Введение.....	5
1. Электронные и микроэлектронные компоненты.....	6
2. Дискретные электронные компоненты.....	12
2.1 Резисторы	12
2.2. Конденсаторы	15
2.3. Катушки индуктивности.....	18
2.4. Трансформаторы	20
2.5 Диоды	23
2.6. Транзисторы	27
2.7. Транзисторы из полимерных материалов.....	28
3. Технология изготовления тонкопленочных интегральных микросхем ...	30
3.1 Классификация и назначение интегральных микросхем.....	30
3.2 Назначение интегральных микросхем	34
3.3 Материалы для изготовления тонкопленочных и толстопленочных интегральных схем.....	34
4. Технология изготовления полупроводниковых интегральных микросхем	42
5. Электрический монтаж кристаллов интегральных микросхем на коммутационных платах.....	49
5.1. Проволочный монтаж	49
5.2. Ленточный монтаж.....	50
5.3. Монтаж с помощью жестких объемных выводов	51
5.4. Микросварка	52
5.5. Изготовление системы объемных выводов	54
6. Печатные платы.....	55
6.1. Основные характеристики печатных плат	56
6.2. Материалы, используемые для изготовления печатных плат	57
6.3. Типы печатных плат	61
6.3.1. Односторонние печатные платы.....	62
6.3.2. Двухсторонние печатные платы	63
6.3.3. Многослойные печатные платы	64

6.3.4. Гибкие печатные платы	67
6.3.5. Рельефные печатные платы.....	68
7. Технологические процессы изготовления печатных плат	72
7.1. Основные методы изготовления печатных плат.....	72
7.1.1. Аддитивная технология	75
7.1.2. Комбинированный позитивный метод.....	76
7.1.3. Тентинг-метод	76
7.2. Струйная печать как способ изготовления электронных плат	77
7.3. Технологии настоящего и будущего	80
8. Сборка и монтаж печатных плат.	82
9. Методы контроля печатных плат.	87
9.1. Система контроля качества печатных плат Aplite 3	87
9.2. Электрический контроль печатных плат	92
10. Современное оборудование для изготовления радиоэлектронной аппаратуры.....	95
Список литературы	100

Введение

Современный научно-технический прогресс невозможен без радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), которая широко используется как при планировании и управлении производством, так и в автоматизации производственных процессов и в научных исследованиях. Технологии изготовления РЭА постоянно совершенствуются. В развитии радиоэлектронной аппаратуры можно выделить несколько этапов, характеризующих технологии и принципы изготовления РЭА.

Этапы развития РЭА (радио электронной аппаратуры).

1. Навесной монтаж (основные элементы: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, электровакуумные (полупроводниковые) приборы).

2. Печатный монтаж (особенности: уменьшение габаритов РЭА и повышение ее надежности).

3. Интегральные микросхемы (особенности: непрерывное возрастание сложности, числа элементов, степени интеграции).

Каждый новый этап развития технологии изготовления РЭА не отрицал и не исключал ранее разработанную технологию и ранее применявшиеся элементы РЭА, а дополнял и обогащал ее, обеспечивал качественно новый уровень разработки, изготовления и эксплуатации аппаратуры. Поэтому при решении каждой конкретной задачи при выборе элементной базы и соответствующей ей технологии изготовления радиоэлектронного устройства необходимо учитывать достоинства и недостатки каждого поколения РЭА. На первом этапе основными элементами РЭА были резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, электровакуумные и позже полупроводниковые приборы. Все эти элементы изготавливали в виде конструктивно законченных деталей, укрепляемых на шасси с помощью опорных поверхностей, а их выводы соединяли соответствующим образом проводниками с помощью пайки. В дальнейшем этот вид монтажа получил название навесного монтажа. На втором этапе удалось уменьшить габариты РЭА и повысить ее надежность. В ходе развития печатного монтажа: в печатных платах сначала заменили резисторы токоведущими дорожками из материала с большим удельным электрическим сопротивлением, затем конденсаторы - разрывами в токоведущих дорожках, заполненными соответствующим диэлектриком. Такие платы получили название интегральных микросхем.

В данном учебном пособии рассматриваются как традиционные, так и современные технологии производства РЭА.

1. Электронные и микроэлектронные компоненты

Под конструктивным элементом понимают конструктивно самостоятельное образование, которое может выполнить одну элементарную функцию. Так, например, винт или заклепка служат для закрепления двух частей, вкладыш подшипника воспринимает нагрузку вала, передняя панель служит для установки органов управления и индикации. Электронные элементы характеризуются тем, что в них может иметь место поток электрической энергии или поток энергии управляется непрерывно или дискретно с помощью другого, имеющего, по крайней мере, электрическую природу. В обоих случаях функционирование или управление осуществляется в твердой, жидкой или газообразной среде.

Согласно этому определению к первой категории относят пассивные электрорадиоэлементы (ЭРЭ), такие как резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности, а ко второй категории – управляющие или активные электронные элементы, такие как диоды и усилительные элементы.

Электрический конструктивный элемент выполняет всегда только одну элементарную функцию. Поэтому говорят о дискретном элементе. На основе многих различных или одинаковых дискретных элементов можно реализовать сложную электрическую схему.

В микроэлектронике наименьшей конструктивной единицей является не дискретный элемент, а интегральная микросхема. Создание схем в интегральном исполнении в основном определяется физическими процессами и технологическими возможностями и в меньшей степени чисто электронными концепциями. При этом элементы сливаются в единое конструктивное целое – интегральную микросхему.

Основными разновидностями технологии микроэлектроники являются технология изготовления тонкопленочных интегральных микросхем и технология изготовления полупроводниковых интегральных микросхем.

Полупроводниковые структуры представляют собой весьма многочисленный класс материалов. В него входят сотни самых разнообразных веществ – как элементов, так и химических соединений. Полупроводниковыми свойствами могут обладать как неорганические, так и органические вещества, кристаллические и аморфные, твердые и жидкие, немагнитные и магнитные. Несмотря на существенные различия в строении и химическом составе, материалы этого класса роднит одно замечательное качество – способность сильно изменять свои электрические свойства под влиянием небольших внешних энергетических воздействий. Одна из возможных схем классификации полупроводниковых структур приведена на рис. 1.1.

Интерес к органическим полупроводникам вызван тем, что в некоторых из них полупроводниковые свойства сочетаются с эластичностью, которая позволяет изготавливать рабочие элементы в виде гибких лент и волокон. В механизме электропроводности аморфных неорганических и кристаллических органических полупроводниковых структур выявлен ряд особенностей.

Неорганические полупроводники подразделяются на аморфные и кристаллические. В свою очередь кристаллические полупроводники делятся на магнитные и немагнитные.

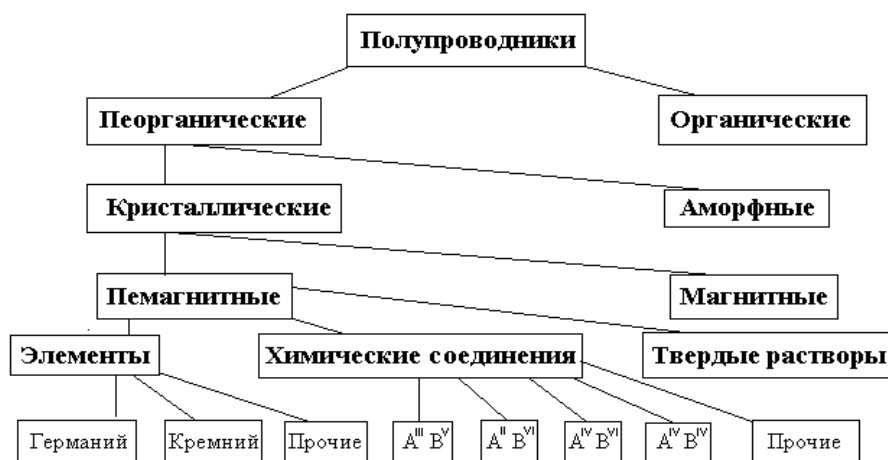


Рис. 1.1. Схема классификации полупроводниковых структур

Магнитные полупроводниковые структуры Магнитными полупроводниками называются соединения, которые обладают одновременно магнитным атомным порядком и полупроводниковыми свойствами.

Можно выделить следующие типы магнитных полупроводников:

- соединения редкоземельных элементов Eu, Gd с элементами 5-й и 6-й групп таблицы Менделеева: пниктиды (соединения с N, P, As) и халькогениды (соединения с O, S, Se, Te); большинство этих материалов обладает широкой зоной проводимости ($\gg 1,5$ эВ, относительно высокой подвижностью (до $100 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$) в области низких температур) и малым числом свободных носителей заряда;

- хромо-халькогенидные шпинели с высокой подвижностью носителей, малой их концентрацией и несколько более узкой зоной проводимости; типичными представителями этого класса являются: CdCr_2 , CdCr_2Se_4 , CuCrSe_3Br ;

- ферриты-шпинели и ферриты-гранаты с избытком двухвалентных ионов железа, обладающие узкой зоной проводимости и низкими значениями подвижности носителей, например, $\text{R}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, где R – Y^{3+} , Sm^{3+} .

Немагнитные полупроводниковые структуры в свою очередь делятся на элементы, химические соединения, твердые растворы.

Элементы Германий. Этот элемент не так прочен, как титан или вольфрам. Он не может служить почти неисчерпаемым источником энергии, как уран или плутоний. Не свойственна ему и высокая электропроводность, сделавшая медь главным металлом электротехники. И не германий, а железо – главный элемент нынешней техники в целом. Тем не менее, этот элемент – один из самых важных для технического прогресса, потому что наряду с кремнием и даже раньше кремния германий стал важнейшим

полупроводниковым материалом. Формально, полупроводник – это вещество с удельным сопротивлением от тысячных долей до миллионов Ом на 1 см. Рамки «от» и «до» очень широкие, но место германия в этом диапазоне совершенно определенное. Сопротивление сантиметрового кубика из чистого германия при 18°C равно 72 Ом. При 19°C сопротивление того же кубика уменьшается до 68 Ом. Это вообще характерно для полупроводников – значительное изменение электрического сопротивления при незначительном изменении температуры. С ростом температуры сопротивление обычно падает. Оно существенно изменяется и под влиянием облучения, и при механических деформациях. На свойства германия сильно влияют даже ничтожные количества примесей. Добавка элемента V группы позволяет получить полупроводник с электронным типом проводимости. Так готовят ГЭС (германий электронный, легированный сурьмой). Добавив же элемент III группы, мы создадим в нем дырочный тип проводимости (чаще всего это ГДГ – германий дырочный, легированный галлием).

Химические соединения: весьма обширна группа полупроводниковых неорганических соединений, которые могут состоять из двух, трех и большего числа элементов. Кристаллическая структура многих соединений характеризуется тетраэдрической координацией атомов, как это имеет место в решетке алмаза. Такие полупроводниковые соединения получили название алмазоподобных полупроводников. Среди них наибольший научный и практический интерес представляют бинарные соединения типа AIII BV, которые в настоящее время являются важнейшими материалами полупроводниковой оптоэлектроники. Эти соединения являются ближайшими электронными аналогами кремния и германия. Они образуют в результате взаимодействия элементов III-б подгруппы Периодической таблицы (бора, алюминия, галлия, индия) с элементами V-б подгруппы (азотом, фосфором, мышьяком и сурьмой). Многообразие свойств полупроводников типа A и обуславливает их широкое применение в приборах и устройствах различного технического назначения. Особый интерес к этой группе материалов был вызван потребностями оптоэлектроники в быстродействующих источниках и приемниках излучения. Существенными преимуществами таких приборов являются малые габаритные размеры, простота конструкции, возможность внутренней модуляции излучения путем изменения управляющего напряжения, совместимость с элементами интегральных микросхем по рабочим параметрам и технологическим операциям.

Твердые растворы: большинство алмазоподобных полупроводников с родственными свойствами образуют между собой изовалентные твердые растворы. В твердых растворах путем изменения состава можно плавно и в достаточно широких пределах управлять важнейшими свойствами полупроводников, в частности, шириной запрещенной зоны и подвижностью носителей заряда. Это открывает дополнительные возможности для оптимизации параметров полупроводниковых приборов, позволяет добиться

лучшего согласования физических характеристик различных компонентов электронной аппаратуры.

Кремний – темно-серое, блестящее кристаллическое вещество, хрупкое и очень твердое, кристаллизуется в решетке алмаза (рис. 1.2). Это типичный полупроводник (проводит электричество лучше, чем изолятор типа каучука, и хуже проводника – меди). При высокой температуре кремний весьма реакционноспособен и взаимодействует с большинством элементов, образуя силициды, например, силицид магния Mg_2Si , и другие соединения. Кремний хрупок, только при нагревании выше $800^{\circ}C$ он становится пластичным веществом. Интересно, что кремний прозрачен к инфракрасному (ИК) излучению. Элементарный кремний — типичный полупроводник. Ширина запрещенной зоны при комнатной температуре 1,09 эВ. Концентрация носителей тока в кремнии с собственной проводимостью при комнатной температуре $1,5 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$. На электрофизические свойства кристаллического кремния большое влияние оказывают содержащиеся в нем микропримеси. Для получения монокристаллов кремния с дырочной проводимостью в кремний вводят добавки элементов III-й группы — бора, алюминия, галлия и индия, с электронной проводимостью — добавки элементов V-й группы — фосфора, мышьяка или сурьмы (рис. 1.2). Электрические свойства кремния можно варьировать, изменяя условия обработки монокристаллов, в частности, обрабатывая поверхность кремния различными химическими агентами.

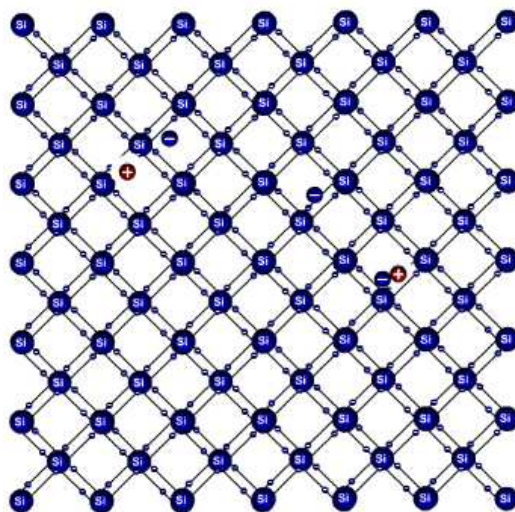


Рис. 1.2. Собственная проводимость кремния

Диоксид кремния SiO_2 — кислотный оксид, не реагирующий с водой. Существует в виде нескольких полиморфных модификаций (кварц, тридимит, кристобалит, стеклообразный SiO_2). Из этих модификаций наибольшее практическое значение имеет кварц. Кварц обладает свойствами пьезоэлектрика, он прозрачен для ультрафиолетового (УФ) излучения. Характеризуется очень низким коэффициентом теплового расширения, поэтому изготовленная из кварца посуда не растрескивается при перепадах температуры до 1000 градусов.

В промышленности кремний получают, восстанавливая расплав SiO_2 коксом при температуре около 1800°C в дуговых печах. Чистота полученного таким образом кремния составляет около 99,9%. Так как для практического использования нужен кремний более высокой чистоты, полученный кремний хлорируют. Образуются соединения состава SiCl_4 и SiCl_3H . Эти хлориды далее очищают различными способами от примесей и на заключительном этапе восстанавливают чистым водородом. На рис.1.3 представлены кристаллы кремния.

В настоящее время кремний — основной материал для электронной промышленности. Монокристаллический кремний — материал для зеркал газовых лазеров. Кристаллы кремния применяют в солнечных батареях и полупроводниковых устройствах — транзисторах и диодах. Кремний служит также сырьем для производства кремнийорганических соединений, или силиконов, получаемых в виде масел, смазок, пластмасс и синтетических каучуков. Неорганические соединения кремния используют в технологии керамики и стекла, как изоляционный материал и пьезокристаллы.



Рис. 1.3. Кремний в свободном виде

Карбид кремния. Первым искусственным абразивом, полученным в электрической печи, был карбид кремния. При нагреве кремнистого песка и кокса в электрической печи кремний восстанавливается и соединяется с углеродом, образуя карбид кремния в виде массы сросшихся кристаллов (цветом от зеленого до черного) пластинчатой гексагональной структуры. Такие кристаллы называют карборундом. Карбид кремния — один из самых твердых искусственных абразивов — относительно хрупок, и поэтому его обычно не применяют для шлифовки стали. Он широко используется для шлифовки цементированных карбидов, чугуна, металлов, не содержащих железа, и неметаллических материалов, например, керамики, кожи и резины.

В кристаллической решетке такого полупроводникового материала, как кремний, при комнатной температуре имеется слишком мало свободных электронов, чтобы обеспечить значительную проводимость. Поэтому чистые полупроводники обладают низкой проводимостью. Однако введение в кремний соответствующей примеси увеличивает его электрическую проводимость.

Легирующие примеси вводят в кремний двумя методами. Для сильного легирования или в тех случаях, когда точное регулирование количества вводимой примеси необязательно, обычно пользуются методом диффузии. Диффузию фосфора или бора выполняют, как правило, в атмосфере легирующей примеси при температурах между 1000 и 1150°C в течение от получаса до нескольких часов. При ионной имплантации кремний бомбардируют высокоскоростными ионами легирующей примеси.

Изготовление интегральной схемы может занимать до двух месяцев, поскольку некоторые области полупроводника нужно легировать с высокой точностью. В ходе процесса, называемого выращиванием, или вытягиванием, кристалла, сначала получают цилиндрическую заготовку кремния высокой чистоты. Из этого цилиндра нарезают пластины толщиной, например, 0,5 мм. Пластины в конечном счете режут на сотни маленьких кусочков, называемых чипами, каждый из которых в результате проведения описываемого ниже технологического процесса превращается в интегральную схему (рис. 1.4).

Процесс обработки чипов начинается с изготовления масок каждого слоя ИС. Выполняется крупномасштабный трафарет, имеющий форму квадрата площадью около 0,1 м². На комплекте таких масок содержатся все составляющие части ИС: уровни диффузии, уровни межсоединений. Вся полученная структура фотографически уменьшается до размера кристаллика и воспроизводится послойно на стеклянной пластине. На поверхности кремниевой пластины выращивается тонкий слой двуоксида кремния. Каждая пластина покрывается светочувствительным материалом (фоторезистом) и экспонируется светом, пропускаемым через маски. Неэкспонированные участки светочувствительного покрытия удаляют растворителем, а с помощью другого химического реагента, растворяющего двуокись кремния, последний вытравливается с тех участков, где он теперь не защищен светочувствительным покрытием. Варианты этого базового технологического процесса используются в изготовлении двух основных типов транзисторных структур: биполярных и полевых (МОП).

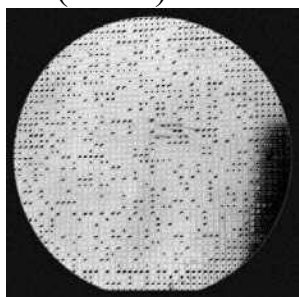


Рис. 1.4. Кремниевая пластина.

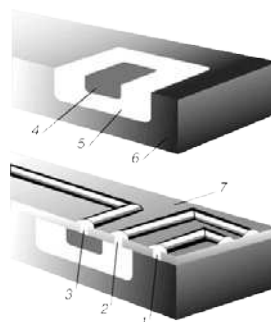


Рис. 1.5. Введение примесей.

Введение примесей в кремний методом диффузии представлено на рисунке 1.5. Для получения области коллектора с проводимостью *n*-типа добавляют фосфор, затем для создания области базы с проводимостью *p*-типа – бор и, наконец, снова фосфор для создания области эмиттера с проводимостью

n-типа. 1 – контакт коллектора; 2 – контакт базы; 3 – контакт эмиттера; 4 – эмиттер (-); 5 – база (+); 6 – коллектор (-); 7 – защитный слой двуокиси кремния.

Кристалл показан в увеличенном виде с отдельной методом диффузии структурой; его размеры 1,2×1,2 мм.

2. Дискретные электронные компоненты

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) содержит огромное количество электрорадиокомпонентов, т.е. самостоятельных (комплектующих) изделий, выполняющих определенные функции. В качестве компонентов могут выступать транзисторы, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и т.д., а также интегральные микросхемы (ИМС), которые в свою очередь состоят из большого числа элементов, реализующих функции транзистора, резистора и т.д. Понятия "элемент" и "компонент" во многом тождественны. Во всяком случае функции, выполняемые ими, одинаковы. Дискретный транзистор, выступающий как компонент, выполняет те же функции, что и транзистор в ИМС, с той лишь разницей, что дискретный транзистор, как компонент при необходимости можно заменить другим, а транзистор, входящий в состав ИМС, принципиально не может быть заменен другим. Электрорадиоэлементы делятся на активные и пассивные. К активным относятся транзисторы, электронные лампы, микросхемы и т.д., т. е. элементы, способные усиливать или преобразовывать электрические сигналы. К пассивным относятся резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы, коммутационные элементы, т. е. такие элементы, которые предназначены для перераспределения электрической энергии. Пассивные элементы могут выступать как дискретные компоненты и как элементы ИМС. Несмотря на то, что ИМС имеют большой удельный вес в РЭА, пассивные компоненты являются самыми распространенными изделиями электронной промышленности. Объясняется это в первую очередь тем, что ряд элементов трудно выполнить в микросхемном исполнении. Практически невозможно в ИМС изготовить конденсаторы большой емкости, резисторы с большим сопротивлением, практически нет интегральных катушек индуктивности и трансформаторов. Да и технические характеристики дискретных элементов лучше, чем интегральных. В современной РЭА доля дискретных резисторов составляет от 15 до 50% всех элементов принципиальной схемы, доля дискретных конденсаторов составляет около 25%, практически все катушки индуктивности и трансформаторы являются дискретными компонентами.

2.1 Резисторы

Резисторы являются элементами РЭА и могут применяться как дискретные компоненты или как составные части интегральных микросхем. Они предназначены для перераспределения и регулирования электрической энергии между элементами схемы. Принцип действия резисторов основан на

использовании свойства материалов оказывать сопротивление протекающему через них электрическому току. Особенностью резисторов является то, что электрическая энергия в них превращается в тепло, которое рассеивается в окружающую среду. По назначению дискретные резисторы делятся на резисторы общего назначения, прецизионные, высокочастотные, высоковольтные и высокоомные. По постоянству значения сопротивления резисторы подразделяются на постоянные, переменные и специальные. Постоянные резисторы имеют фиксированную величину сопротивления, у переменных резисторов предусмотрена возможность изменения сопротивления в процессе эксплуатации, сопротивление специальных резисторов изменяется под действием внешних факторов: протекающего тока или приложенного напряжения (варисторы), температуры (терморезисторы), освещения (фоторезисторы) и т.д.

По виду токопроводящего элемента резисторы делятся на проволочные и непроволочные. По эксплуатационным характеристикам дискретные резисторы делятся на термостойкие, влагостойкие, вибро- и ударопрочные, высоконадежные и т.д.

На рис. 2.1 представлено устройство пленочного резистора. На диэлектрическое цилиндрическое основание 1 нанесена резистивная пленка 2. На торцы цилиндра надеты контактные колпачки 3 из проводящего материала с припаянными к ним выводами 4. Для защиты резистивной пленки от воздействия внешних факторов резистор покрывают защитной пленкой 5.

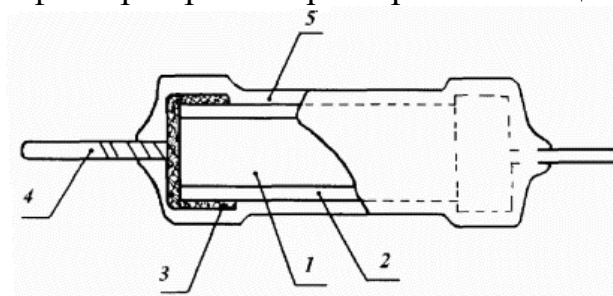


Рис. 2.1. Пленочный резистор

Такая конструкция резистора обеспечивает получение сравнительно небольших сопротивлений (сотни Ом). Для увеличения сопротивления резистора резистивную пленку 2 наносят на поверхность керамического цилиндра 1 в виде спирали (рис.2.2).

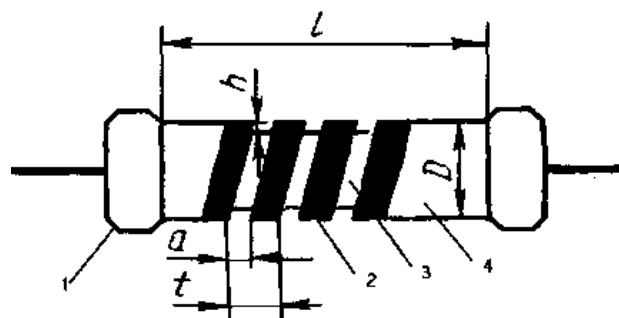


Рис. 2.2. Пленочный резистор с резистивной пленкой в виде спирали

На рис. 2.3 показана конструкция объемного резистора, представляющего собой стержень 1 из токопроводящей композиции круглого или прямоугольного сечения с запрессованными проволочными выводами 2. Снаружи стержень защищен стеклоэмалевой или стеклокерамической оболочкой 3.

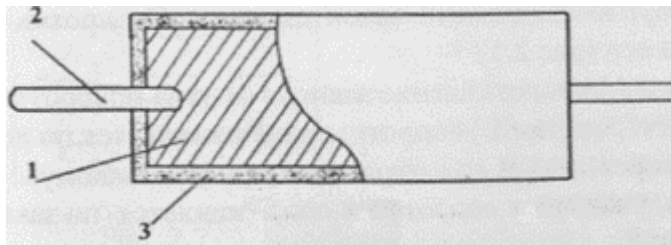


Рис. 2.3. Объемный резистор

Постоянный проволочный резистор представляет собой изоляционный каркас, на который намотана проволока с высоким удельным электрическим сопротивлением. Снаружи резистор покрывают термостойкой эмалью, спрессовывают пластмассой либо герметизируют металлическим корпусом, закрываемым с торцов керамическими шайбами. Конструкции *переменных резисторов* гораздо сложнее, чем постоянных. На рис. 2.4 представлена конструкция переменного непроволочного резистора круглой формы.

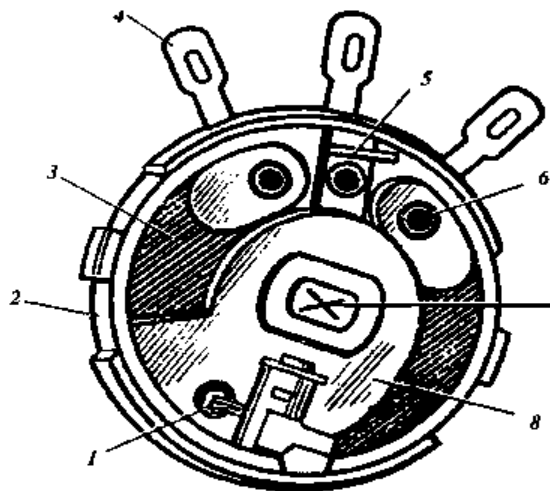


Рис. 2.4. Конструкция переменного резистора

Он состоит из подвижной и неподвижной частей. Неподвижная часть представляет собой пластмассовый корпус 2, в котором смонтирован токопроводящий элемент 3, имеющий подковообразную форму. Посредством заклепок 6 он крепится к круглому корпусу. Эти заклепки соединены с внешними выводами 4. Подвижная часть представляет собой вращающуюся ось, с торцом которой 7 посредством чеканки соединена изоляционная планка 8.

8, на которой смонтирован подвижный контакт 1 (токосъемник), соединенный с внешним выводом. Угол поворота оси составляет 270° и ограничивается стопором 5.

На принципиальных схемах резисторы изображаются в виде прямоугольника с указанием величины сопротивления, мощности и порядкового номера

Величина мощности указывается наклонными, продольными или поперечными линиями внутри прямоугольника: а) 0,125 Вт; б) 0,25 Вт; в) 0,5 Вт; г) 11 Вт; д) 2 Вт. Изображение переменных резисторов показано на рис.8.11-е, а подстроечных - на рис.8.11-ж.

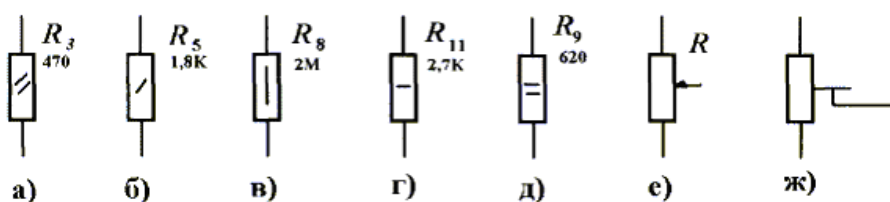


Рис. 2.5. Условные обозначения резисторов на электрических схемах

2.2. Конденсаторы

Принцип действия конденсаторов основан на способности накапливать на обкладках электрические заряды при приложении между ними напряжения. Количественной мерой способности накапливать электрические заряды является емкость конденсатора. В простейшем случае конденсатор представляет собой две металлические пластины, разделенные слоем диэлектрика.

По назначению конденсаторы делятся на конденсаторы общего назначения и специального назначения. Конденсаторы общего назначения делятся на низкочастотные и высокочастотные. К конденсаторам специального назначения относятся высоковольтные, помехоподавляющие, импульсные, дозиметрические, конденсаторы с электрически управляемой емкостью (варикапы, вариконды) и др.

По назначению конденсаторы подразделяются на контурные, разделительные, блокировочные, фильтровые и т.д., а по характеру изменения емкости на постоянные, переменные и полупеременные (подстроечные).

По материалу диэлектрика различают три вида конденсаторов: с твердым, газообразным и жидким диэлектриком. Конденсаторы с твердым диэлектриком делятся на керамические, стеклянные, стеклокерамические, стеклоэмалевые, слюдяные, бумажные, электролитические, полистирольные, фторопластовые и др.

По способу крепления различают конденсаторы для навесного и печатного монтажа, для микромодулей и микросхем.

Пакетная конструкция. Она применяется в слюдяных, стеклоэмалевых, стеклокерамических и некоторых типах керамических конденсаторов и представляет собой пакет диэлектрических пластин (слюды) I толщиной около

0,04 мм, на которые напылены металлизированные обкладки 2, соединяемые в общий контакт полосками фольги 3 (рис. 2.6). Собранный пакет спрессовывается обжимками 4, к которым присоединяются гибкие выводы 5, и покрывается влагозащитной эмалью. Количество пластин в пакете достигает 100.

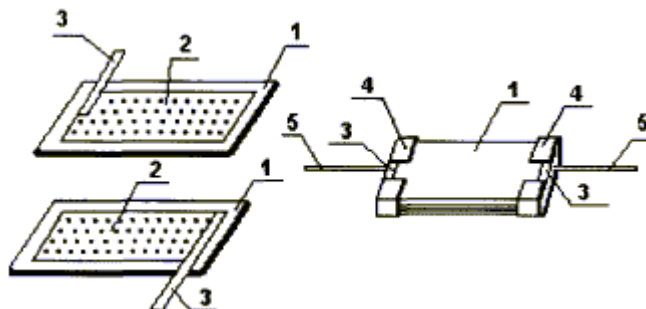


Рис. 2.6. Пакетная конструкция конденсатора

Трубчатая конструкция. Она характерна для высокочастотных трубчатых конденсаторов и представляет собой керамическую трубку I (рис. 2.7) с толщиной стенок около 0,25 мм, на внутреннюю и внешнюю поверхность которой методом вжигания нанесены серебряные обкладки 2 и 3. Для присоединения гибких проволочных выводов 4 внутреннюю обкладку выводят на внешнюю поверхность трубки и создают между ней и внешней обкладкой изолирующий поясок 5, снаружи на трубку наносится защитная пленка из изоляционного вещества.

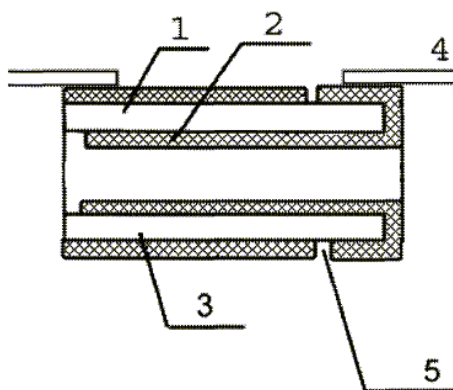


Рис. 2.7. Трубчатая конструкция конденсатора

Дисковая конструкция. Эта конструкция (рис. 2.8) характерна для высокочастотных керамических конденсаторов: на керамический диск I с двух сторон выжигаются серебряные обкладки 2 и 3, к которым присоединяются гибкие выводы 4.

Емкость такого конденсатора определяется площадью обкладок

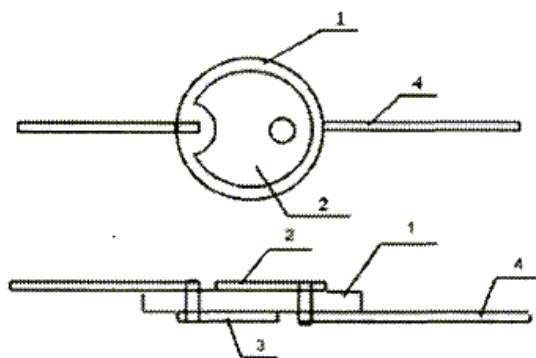


Рис. 2.8. Дисконная конструкция конденсатора

Литая секционированная конструкция. Эта конструкция характерна для монокристаллических многослойных керамических конденсаторов (рис. 2.9), получивших в последние годы широкое распространение, в том числе в аппаратуре с ИМС

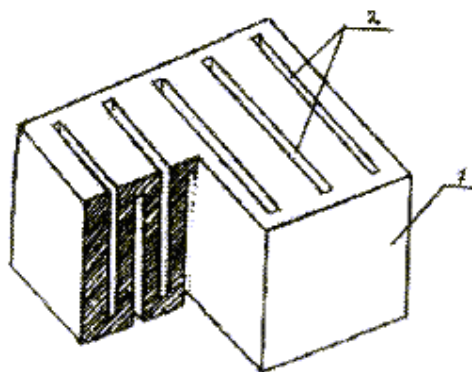


Рис. 2.9. Литая секционированная конструкция конденсатора

Такие конденсаторы изготовляют путем литья горячей керамики, в результате которого получают керамическую заготовку 1 с толщиной стенок около 100 мкм и прорезями (пазами) 2 между ними, толщина которых порядка 130-150 мкм. Затем эта заготовка окунается в серебряную пасту, которая заполняет пазы, после чего осуществляют выжигание серебра в керамику.

В результате образуются две группы серебряных пластин, расположенных в пазах керамической заготовки, к которым припаиваются гибкие выводы. Снаружи вся структура покрывается защитной пленкой. В конденсаторах, предназначенных для установки в гибридных ИМС, гибкие выводы отсутствуют, они содержат торцевые контактные поверхности, которые присоединяются к контактным площадкам ГИС.

Рулонная конструкция. Эта конструкция (рис. 2.10) характерна для бумажных пленочных низкочастотных конденсаторов, обладающих большой емкостью. Бумажный конденсатор образуется путем свертывания в рулон бумажной ленты 1 толщиной около 5-6 мкм и ленты из металлической фольги 2 толщиной около 10-20 мкм. В металлобумажных конденсаторах вместо фольги применяется тонкая металлическая пленка толщиной менее 1 мкм, нанесенная на бумажную ленту.

Рулон из чередующихся слоев металла и бумаги не обладает механической жесткостью и прочностью, поэтому он размещается в металлическом корпусе, являющемся механической основой конструкции.

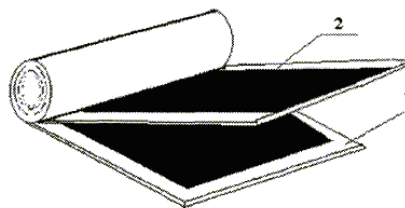


Рис. 2.10. Рулонная конструкция конденсатора

На принципиальных схемах конденсаторы обозначаются в виде двух параллельных черточек и дополнительных элементов. На рис. 2.11-а показан конденсатор постоянной емкости, на рис. 2.11-б - полярный (электролитический) конденсатор, на рис. 2.11-в - конденсатор переменной емкости, на рис. 2.11-г - подстроечный, на рис. 2.11-д - варикап, на рис. 2.11-е – вариконд.

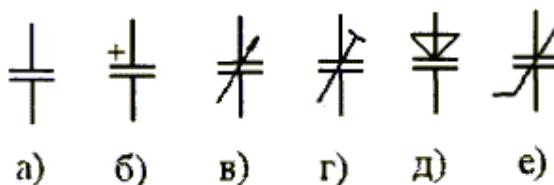


Рис. 2.11. Условные обозначения конденсаторов на электрических схемах

2.3. Катушки индуктивности

Катушки индуктивности обладают свойством оказывать реактивное сопротивление переменному току при незначительном сопротивлении постоянному току. Совместно с конденсаторами они используются для создания фильтров, осуществляющих частотную селекцию электрических сигналов, а также для создания элементов задержки сигналов и запоминающих элементов, осуществления связи между цепями через магнитный поток и т.д. В отличие от резисторов и конденсаторов они не являются стандартизованными изделиями, а изготавливаются для конкретных целей и имеют такие параметры, которые необходимы для осуществления тех или иных преобразований электрических сигналов, токов и напряжений.

Функционирование катушек индуктивности основано на взаимодействии тока и магнитного потока. Известно, что при изменении магнитного потока Φ в проводнике, находящемся в магнитном поле, возникает электродвижущая сила (ЭДС), определяемая скоростью изменения магнитного потока

$$e_L = \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

Поэтому при подключении к проводнику источника постоянного напряжения ток в нем устанавливается не сразу, так как в момент включения изменяется магнитный поток и в проводе индуцируется ЭДС, препятствующая нарастанию тока, а спустя некоторое время, когда магнитный поток перестает изменяться. Если же к проводнику подключен источник переменного напряжения, то ток и магнитный поток будут изменяться непрерывно, и наводимая в проводнике ЭДС будет препятствовать протеканию переменного тока, что эквивалентно увеличению сопротивления проводника. Чем выше частота изменения напряжения, приложенного к проводнику, тем больше величина ЭДС, наводимая в нем, следовательно, тем больше сопротивление, оказываемое проводником протекающему току. Это сопротивление X_L не связано с потерями энергии, поэтому является реактивным.

Индуктивность характеризует способность проводника оказывать сопротивление переменному току. Индуктивность короткого проводника определяется его размерами. Если провод намотан на каркас, то образуется катушка индуктивности. В этом случае магнитный поток концентрируется, и величина индуктивности возрастает.

Конструктивной основой катушки индуктивности является диэлектрический каркас, на который наматывается провод в виде спирали. Обмотка может быть, как однослойной (рис. 2.12-а), так и многослойной (рис. 2.12-б). В некоторых случаях многослойная обмотка делается секционированной (рис. 2.12-в). В интегральных схемах применяются плоские спиральные катушки индуктивности (рис. 2.12-г).

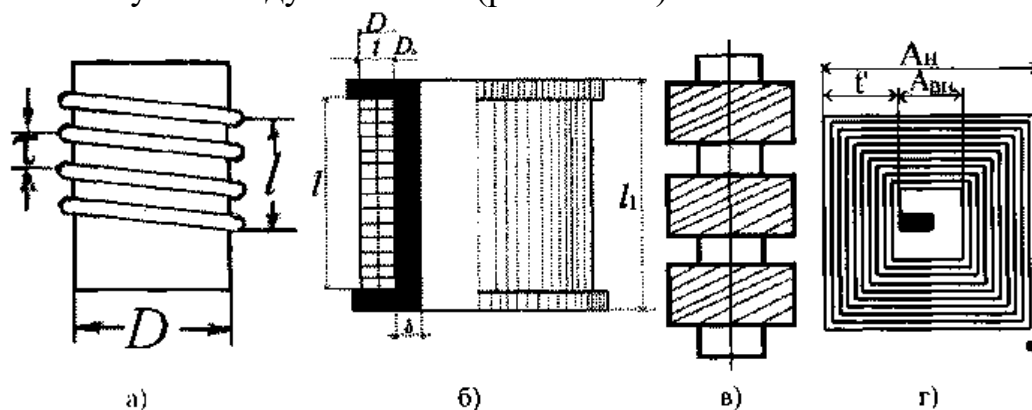


Рис. 2.12. Конструкции катушек индуктивности

Для увеличения индуктивности применяют магнитные сердечники. Помещенный внутрь катушки сердечник концентрирует магнитное поле и тем самым увеличивает ее индуктивность. Перемещением сердечника внутри каркаса можно изменять индуктивность. На рис. 2.13 представлены три разновидности цилиндрических сердечников: С - стержневой, Т - трубчатый и ПР - подстроечный резьбовой и две разновидности броневого. Броневые сердечники состоят из двух чашек 2, изготовленных из карбонильного железа или ферритов.

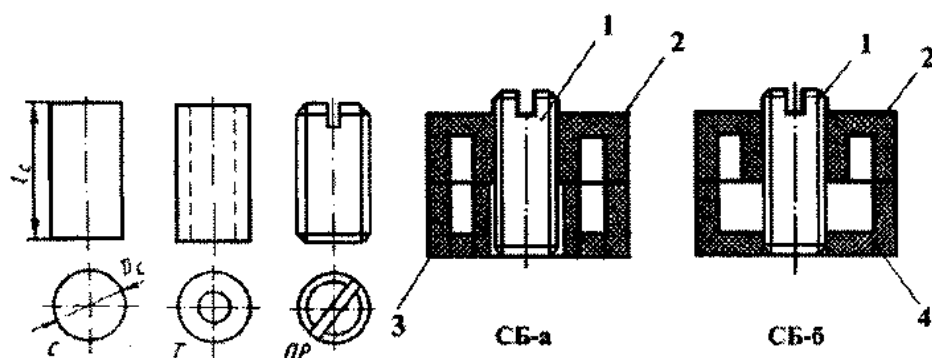


Рис. 2.13. Виды сердечников

Они могут иметь либо замкнутый магнитопровод (тип СБ-а), либо разомкнутый (тип СБ-б). Для изменения индуктивности служит подстроечный цилиндрический сердечник 1. Помимо цилиндрических и броневого сердечников применяют тороидальные (кольцевые) сердечники. На высоких частотах (десятки-сотни МГц) применяют подстроечные цилиндрические сердечники из диамагнетиков (латунь, медь). При введении этих сердечников внутрь катушки индуктивность уменьшается.

В катушках индуктивности, работающих на низких частотах, в качестве сердечников используют пермаллой. Для уменьшения влияния электромагнитного поля катушки на другие элементы схемы, а также для уменьшения влияния внешних полей на катушку индуктивности, ее располагают внутри металлического экрана.

2.4. Трансформаторы

Трансформаторами называются электромагнитные устройства, имеющие две или большее число индуктивно-связанных обмоток и предназначенные для изменения величины переменного напряжения (тока). Трансформатор состоит из ферромагнитного магнитопровода (сердечника) и расположенных на нем обмоток. Обмотка, подключаемая к источнику преобразуемого напряжения, называется первичной, а обмотки, к которым подключены потребители электрической энергии, - вторичными. В зависимости от назначения трансформаторы подразделяются на трансформаторы питания, согласующие и импульсные.

Трансформаторы питания применяются в блоках питания радиоустройств и служат для получения переменных напряжений, необходимых для нормального функционирования аппаратуры. Условно они подразделяются на маломощные (выходная мощность до 1 кВт) и мощные (выходная мощность более 1 кВт), низковольтные (напряжение на обмотках не превышает 1000 В) и высоковольтные. Кроме того, трансформаторы питания дополнительно классифицируются по частоте преобразуемого напряжения. По конструкции к трансформаторам питания близки дроссели. По существу, это однообмоточные трансформаторы, предназначенные для последовательного включения в цепи пульсирующего тока в целях устранения пульсаций этого тока.

Согласующие трансформаторы предназначены для изменения уровня напряжений (токов) электрических сигналов, несущих полезную информацию. Они позволяют согласовать источник сигналов с нагрузкой при минимальном искажении сигнала. Вместе с активными элементами (транзисторами, лампами) они входят в состав устройств, усиливающих электрические колебания, занимающие широкую полосу частот. Различают входные, межкаскадные и выходные трансформаторы. Входные трансформаторы включаются на входе усилительного устройства и согласуют выходное сопротивление источника сигналов, например, микрофона, с входным сопротивлением усилителя. Так как уровень входных сигналов сравнительно невелик, то эти трансформаторы должны быть хорошо защищены от воздействия внешних магнитных полей. Межкаскадные трансформаторы согласуют выходное сопротивление предыдущего каскада с входным сопротивлением последующего. Выходные трансформаторы согласуют выходное сопротивление усилителя с внешней нагрузкой. Эти трансформаторы должны обеспечивать передачу большой мощности от усилителя в нагрузку.

Импульсные трансформаторы предназначены для формирования и трансформации импульсов малой длительности. Основным требованием, предъявляемым к импульсным трансформаторам, является требование малых искажений формы трансформируемого импульса.

Несмотря на различие функций трансформаторов, основные физические процессы, протекающие в них, одни и те же. Поэтому трансформаторы различного схемного назначения имеют однотипную конструкцию.

Магнитопроводы служат для обеспечения возможно более полной связи между первичной и вторичной цепями и увеличения магнитного потока.

Для трансформаторов применяют три типа магнитопроводов: стержневой, броневой и кольцевой. По конструкции броневого сердечника подразделяют на собранные из штампованных пластин и ленточные.

Трансформаторы со **стержневым магнитопроводом** (рис.2.14 -а и -б) имеют неразветвленную магнитную цепь, на двух его стержнях располагают две катушки с обмотками. Такую конструкцию используют обычно для трансформаторов большой и средней мощности, так как наличие двух катушек увеличивает площадь теплоотдачи и улучшает тепловой режим обмоток. Трансформаторы с **броневым сердечником** (рис. 2.14 -в и -г) имеют разветвленную магнитную цепь, обмотки в этом случае размещаются на одной катушке, располагаемой на центральном стержне магнитопровода. Такие магнитопроводы используют в маломощных трансформаторах.

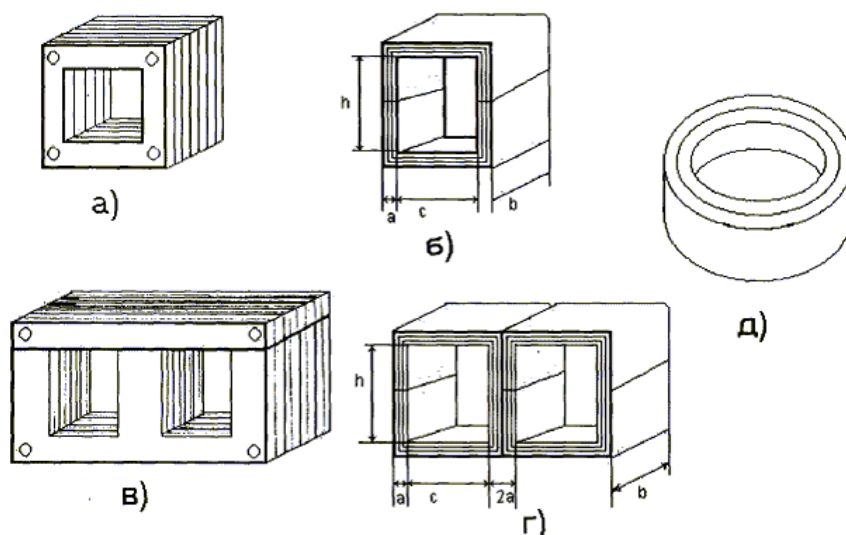


Рис. 2.14. Виды магнитопроводов

Пластинчатые магнитопроводы (рис 2.14 -а и -в) собирают из отдельных штампованных Ш - образных или П - образных пластин толщиной 0,35-0,5 мм и перемычек. При сборке встык все пластины составляются вместе и соединяются перемычками. Магнитопровод в этом случае состоит из двух частей, что позволяет получить воздушные зазоры в магнитной цепи, необходимые для нормальной работы трансформаторов, у которых через обмотки помимо переменного тока протекает постоянный ток. При сборке внахлест пластины чередуются так, чтобы у соседних пластин разрезы были с разных сторон, что обеспечивает отсутствие воздушного зазора в магнитопроводе. При этом уменьшается его магнитное сопротивление, однако при этом возрастает трудоемкость сборки. Для уменьшения потерь на вихревые токи пластины изолируют друг от друга слоем оксидной пленки (отжигом пластин), лаковым покрытием или склеивающей суспензией.

Ленточные магнитопроводы (рис. 2.14, б и г) получают путем навивки ленты трансформаторной стали толщиной 0,1-0,3 мм, после чего “витой сердечник” разрезают и получают два С-образных сердечника, на один из С-образных сердечников устанавливают катушки с обмотками, а затем вставляют второй С-сердечник. Для получения минимального немагнитного зазора в магнитопроводе торцы сердечников склеивают пастой, содержащей ферромагнитный материал. Если необходим зазор, то в месте стыка двух сердечников устанавливают прокладки из бумаги или картона требуемой толщины. В случае броневых ленточных сердечников применяют одну катушку с обмотками и четыре С-образных сердечника. Ленточная конструкция сердечников позволяет механизировать процесс изготовления трансформаторов. При этом трудоемкость процесса установки сердечника в катушку уменьшается, а отходы материалов сокращаются. Достоинством ленточных сердечников является также то, что потери в таких сердечниках меньше, чем в пластинчатых, благодаря чему удастся сократить размеры и массу трансформатора. Это происходит потому, что в пластинчатых сердечниках часть магнитных силовых линий проходит перпендикулярно

направлению проката, а в ленточных линии поля расположены вдоль направления проката по всей длине магнитопровода.

Трансформаторы на **торроидальных сердечниках** (рис. 2.14 -д) наиболее сложные и дорогие. Основными преимуществами их являются очень незначительная чувствительность к внешним магнитным полям и малая величина потока рассеяния. Обмотки в трансформаторе наматывают равномерно по всему тороиду, что позволяет еще более уменьшить магнитные потоки рассеяния.

2.5 Диоды

Полупроводниковым диодом называется двухэлектродный прибор основу которого составляет р-п структура, состоящая из областей р-типа и п-типа, разделенных электронно-дырочным переходом. Одна из областей р-п структуры, называемая эмиттером имеет большую концентрацию основных носителей заряда, чем другая область, называемая базой. База и эмиттер с помощью электродов Э (рис.2.15), образующих омические переходы, соединяются металлическими выводами В, посредством которых диод включается в электрическую цепь.

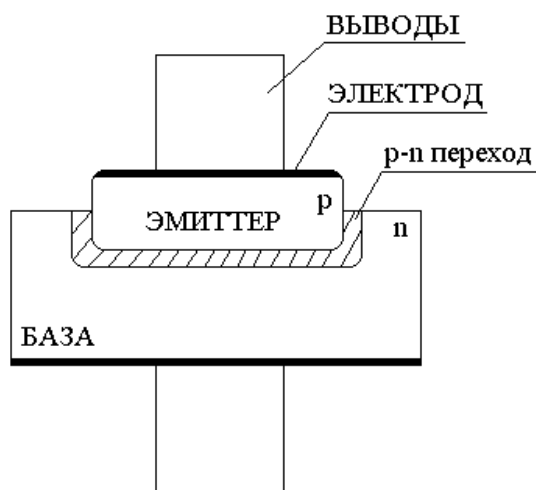


Рис. 2.15. Конструкция полупроводникового диода

Светодиод – это полупроводниковый прибор, преобразующий электрический ток непосредственно в световое излучение (рис. 2.16).

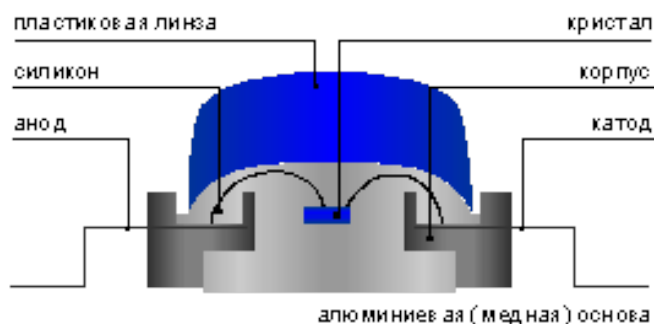


Рис. 2.16. Светодиод

Светодиод состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Современные светодиоды мало похожи на первые корпусные светодиоды, применявшиеся для индикации. Конструкция мощного современного светодиода схематически изображена на рисунке 2.16.

В светодиоде, в отличие от лампы накаливания или люминесцентной лампы, электрический ток преобразуется непосредственно в световое излучение, и теоретически это можно сделать почти без потерь. Действительно, светодиод (при достаточном теплоотводе) мало нагревается, что делает его незаменимым для некоторых приложений. Далее, светодиод излучает в узкой части спектра, его цвет чист, что особенно ценят дизайнеры, а УФ- и ИК-излучения, как правило, отсутствуют. Светодиод механически прочен и исключительно надежен, его срок службы может достигать 100 тысяч часов, что почти в 100 раз больше, чем у лампочки накаливания, и в 10 раз больше, чем у люминесцентной лампы. Наконец, светодиод – низковольтный электроприбор, и, следовательно, безопасный.

Яркость светодиодов очень хорошо поддается регулированию за счет метода широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Для этого необходим специальный управляющий блок. Метод ШИМ заключается в том, что на светодиод подается не постоянный, а импульсно-модулированный ток, причем частота сигнала должна составлять сотни или тысячи герц, а ширина импульсов и пауз между ними может изменяться. Средняя яркость светодиода становится управляемой, в то же время светодиод не гаснет.

Возможности светодиодов и их применение Светодиоды находят применение практически во всех областях светотехники, за исключением освещения производственных площадей, в которых они могут использоваться в аварийном освещении. Светодиоды оказываются незаменимы в дизайнерском освещении благодаря их чистому цвету, а также в светодинамических системах. Выгодно же их применять там, где дорого обходится частое обслуживание, где необходимо жестко экономить электроэнергию, и где высоки требования по электробезопасности.

Можно выделить следующие области применения:

- все виды световой рекламы (вывески, щиты, световые короба и др.);
- замена неона;
- дизайн помещений;
- дизайн мебели;
- архитектурная и ландшафтная подсветка;
- одноцветные дисплеи с бегущей строкой;
- магистральные информационные табло;
- полноцветные дисплеи для больших видео экранов;
- внутреннее и внешнее освещение в автомобилях;
- дорожные знаки и светофоры.

Изобретение первых светодиодов - полупроводниковых диодов в эпоксидной оболочке, выделяющих монохроматический свет при подключении к электротоку - относится к 1960-м годам. Однако до 1980-х низкая яркость, отсутствие светодиодов синего и белого цветов, а также высокие затраты на их производство ограничивали их массовое применение в качестве источников света. Поэтому светодиоды в основном использовали в наружных электронных табло, ими оборудовали системы регулирования дорожного движения, применяли в оптоволоконных системах передачи данных и медицинском оборудовании.

Появление сверх ярких, а также синих (в середине 1990-х годов) и белых диодов (в начале XXI века) и постоянное снижение их рыночной стоимости привлекли внимание многих производителей к данным источникам света. Светодиоды стали использовать в качестве индикаторов режимов работы электронных устройств, в подсветке жидкокристаллических экранов различных приборов, в том числе - мобильных телефонов и пр. Впоследствии применение светодиодов основных цветов (красного, синего и зеленого) позволило получать цвета вывесок фактически любых оттенков, а также конструировать из них дисплеи с выводом полноцветной графики и анимации.

Изготовление светодиодов с яркостью свечения, удовлетворяющей требованиям к источникам света для наружной рекламы, и привело к их применению в качестве подсветки объемных букв и световых коробов.

Необходимость в светодиодах также часто возникает при изготовлении нестандартных изделий: например, если толщина штриха объемной буквы для установки неоновой трубки или же расстояние между стеной и вывеской слишком малы. Используют светодиоды и для повышения эффектности внешнего вида изделий в комбинации с более традиционными источниками света.

Светодиоды, за счет их малой потребности в электроэнергии, - оптимальный выбор для производства наружной рекламы в городах, где существуют проблемы с энергетикой.

Срок службы светодиодов, превышающий в 6-8 раз долговечность неоновых трубок, относительная простота в работе с ними на этапе сборки изделий, отсутствие необходимости в регулярном обслуживании и их антивандальные качества делают эти источники света конкурентоспособными с более традиционными - газоразрядными, люминесцентными лампами и лампами накаливания (рис. 2.17).

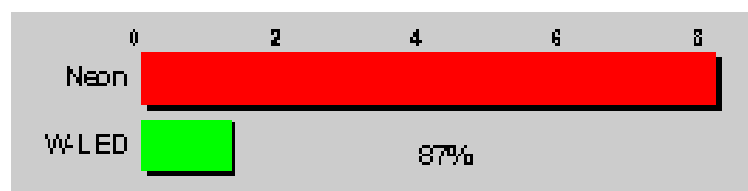


Рис. 2.17. Сравнение затрат на электроэнергию при использовании светодиодов (красный цвет на рисунке) и неоновых трубок (зеленый цвет на рисунке)

Достоинства светодиодов:

1. Экономичность. Одним из достоинств светодиодов является их долговечность. Данные источники света обладают ресурсом использования 100 000 часов, а ведь это 10 – 12 лет непрерывной работы. Для сравнения – максимальный срок работы неоновых и люминесцентных ламп составляет 10 тыс. часов. Использование светодиодных модулей позволяет снизить затраты на электроэнергию до 87%.

2. Надежность. Светодиоды более надежны, чем другие виды ламп. Световой поток красных диодов различим на большем расстоянии, чем свет аналогичной по мощности красной неоновой трубки или лампы накаливания, оснащенной красным светофильтром. Применение светодиодов в устройствах отображения информации (дорожные знаки, светофоры, информационные табло и т.д.) ведет к значительному увеличению расстояния их восприятия человеческим глазом. Неслучайно во многих крупных городах развитых стран уже нет обычных светофоров, а светодиодные схемы используются в воздушных и надводных навигационных системах.

3. Прочность. В отличие от стеклянных трубок данные источники света изготовлены из пластика. За счет этого их трудно вывести из строя посредством механических повреждений.

4. Одним из важных преимуществ светодиодов является устойчивость к воздействию низких температур. Известно, что на морозе внутри газоразрядных источников света происходит вымерзание ртути, и это приводит к снижению яркости свечения. При отрицательных температурах также возникают проблемы с включением неона. Светодиоды лишены этих минусов.

5. Компактность. Светодиодные модули необычайно компактны. Различные сувениры, миниатюрные стенды и компактные табло, украшаются светодиодной символикой.

6. Эстетичность Светодиоды, в отличие от ламп с неоном, имеют практически неограниченные возможности при изменении спектрами. Плавные и незаметные для глаза световые переходы от пика к пику отличаются выразительностью, и превосходят другие источники света. Цветодинамика, характерная для светодиодных модулей, способна удовлетворить требования самого требовательного дизайнера.

Изменение спектра имеет и экологическое значение. Чувствительность растений и человеческого глаза не совпадают: те спектры, которые комфортны для нашего глаза, часто дискомфортны для растений, и наоборот. Зональное использование различных светодиодных «цепочек» в тех интерьерах, где одновременно пребывают и растения, и человек, «снимают» эту проблему.

Недостатки светодиодов:

1.Высокая стоимость – главный недостаток по сравнению с лампами накаливания и неоновыми трубками различных типов. На изготовление объемной буквы со светодиодной подсветкой в полтора - два раза выше стоимости неоновой изделия аналогичной яркости. Однако производители по всему миру продолжают наращивать мощности по изготовлению светодиодов, и цены на данные источники света неуклонно понижаются.

2.Также недостатком при использовании светодиодов в конструировании объемных букв средних и крупных размеров можно считать их малые габариты, из-за которых требуется объединять многочисленные отдельные светодиоды в группы. Чтобы обеспечить яркий и красочный свет, мгновенно привлекающий внимание потребителя, требуется большое количество светодиодов.

Специалисты подчеркивают, что в ближайшие несколько лет цены на светодиоды упадут до уровня, при котором готовые изделия из них будут стоить дешевле неоновых. Уже сейчас доступны светодиодные комплекты для внутренней подсветки элементов оформления зданий и наружной рекламы, что значительно упрощает технологию и снижает трудоемкость производства объемных букв. В этом случае необходимости в квалифицированной работе с неоном, электропроводкой высоковольтных проводов для подключения газоразрядных трубок и мерах для предотвращения ошибок, ведущих к перегоранию источников света, нет.

2.6. Транзисторы

Транзистор (от англ. transfer - переносить и resistor - сопротивление) — трёхэлектродный полупроводниковый электронный прибор, в котором ток в цепи двух электродов управляется третьим электродом. Управление тока в выходной цепи осуществляется за счет изменения входного тока в биполярном транзисторе, либо входного напряжения в МОП (металл-окисел-полупроводник) транзисторе. Это усилительное свойство транзисторов используется в аналоговой технике (аналоговые ТВ, радио, связь и т.п.). Другим важнейшим применением транзисторов является цифровая техника (логика, память, процессоры, компьютеры, цифровая связь и т.п.) (рис. 8.28). Вся современная цифровая техника основана на МОП (металл-окисел-полупроводник) транзисторах (МОПТ). Иногда их называют МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) транзисторы. Транзисторы изготавливаются в рамках интегральной технологии на одном кремниевом кристалле (чипе) и составляют элементарный "кирпичик" для построения памяти, процессора, логики и т.п.

Размеры современных МОПТ (рис.2.18) составляют от 130 до 60 нанометров. Это одна десятитысячная часть миллиметра. На одном чипе (обычно размером 1-2 квадратных сантиметра) размещаются десятки миллионов МОПТ. На протяжении десятков лет происходит уменьшение размеров (миниатюризация) МОПТ и увеличение их количества на одном чипе (степень интеграции), в ближайшие годы ожидается увеличение степени интеграции до сотен миллионов транзисторов на чипе. Уменьшение размеров

МОПТ приводит также к повышению быстродействия процессоров (тактовой частоты). Каждую секунду сегодня в мире изготавливается полмиллиарда МОП транзисторов.

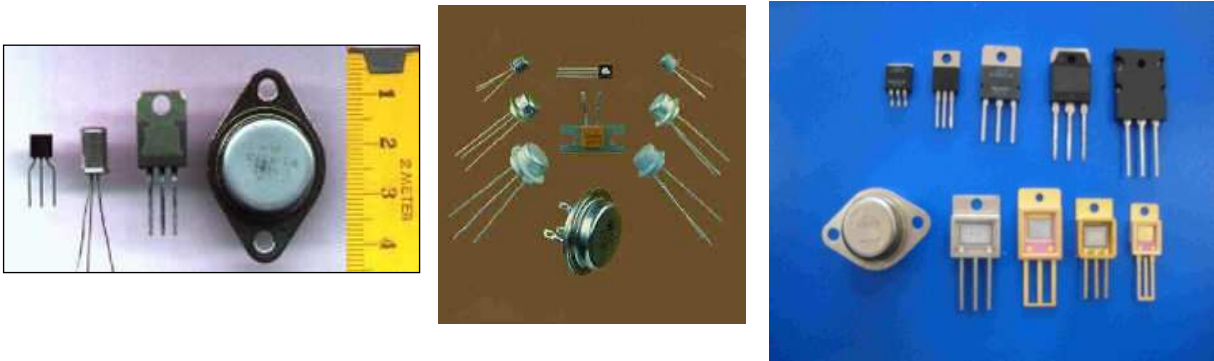


Рис. 2.18. современные МОПТ

Обозначения транзисторов разных типов приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

	Биполярные		Полевые
р-п-р		Канал р-типа	
п-р-п		Канал п-типа	

На рис.2.19. представлены стадии изготовления транзисторов.

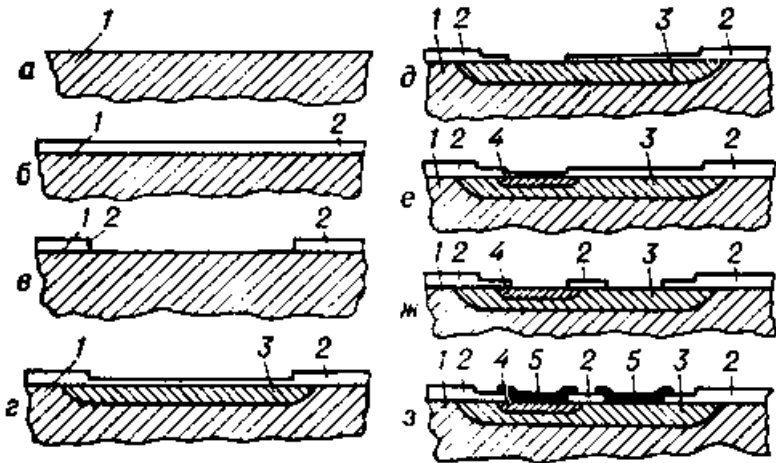


Рис.2.19. Стадии изготовления транзисторов

Где: а — исходная пластина; б — после первого окисления; в — после первой фотолитографической обработки; г — после создания базовой области и второго окисления; д — после второй фотолитографической обработки; е — после создания эмиттерной области и третьего окисления; ж — после третьей фотолитографической обработки; з — после металлизации; 1 — исходный кремний с электропроводностью n-типа; 2 — маскирующая плёнка двуокиси кремния; 3 — базовая область; 4 — эмиттерная область; 5 — металлическая плёнка (контакты).

2.7. Транзисторы из полимерных материалов

Разработанный в исследовательском центре Херох материал представляет собой полимер на основе тиофена. Важнейшей его особенностью является то, что он устойчив к воздействию кислорода воздуха, тогда как большинство других органических полимерных полупроводников теряют под его действием свои свойства. Добиться большей стабильности своего полимера удалось за счет подробного анализа функций различных структурных элементов полимера. В результате был получен материал с замечательным набором свойств. Подвижность электрона в нем составляет $0,12 \text{ см}^2$ на вольт в секунду. Еще одно преимущество новой разработки Херох заключается в том, что сборка транзисторов из нового материала возможна при помощи достаточно простой технологии в обычных условиях (рис. 2.20). Не требуется никаких повышенных температур, сверхчистых помещений и т.д. На практике новый материал можно использовать в самых различных областях: от электронных меток для товаров в магазинах до гибких компьютерных дисплеев. Но к практическому применению новых разработок Херох пока не приступал.



Рис. 2.20. Пластиковый транзистор

Пластиковые транзисторы будут прежде всего использоваться для создания легких и гибких дисплеев компьютеров и экранов телевизоров.

Транзисторы могут накладываться друг на друга, образуя вертикальные стопки. Возможно также производство светодиодов, слои которых могут налагаться на слой полимерных транзисторов.

3. Технология изготовления тонкопленочных интегральных микросхем

Из физики тонких пленок известно, что их свойства существенно отличаются от свойств массивных материалов. Разница обусловлена тем, что поверхностные молекулы или внешние атомы слоя вследствие их потенциального положения на граничной поверхности тела при действии окружающей среды обнаруживают особые свойства, которые не проявляются внутри массивного тела. В тонких слоях приобретают большое значение поверхностные эффекты. На практике используются слои, в которых одиночные кристаллы намного меньше толщины слоя, их размеры повторяются от слоя к слою, а на границе зерен не встречаются дополнительные дефекты

3.1 Классификация и назначение интегральных микросхем

Интегральная (микро) схема (ИС, ИМС, МС) — микроэлектронное устройство — электронная схема произвольной сложности, изготовленная на полупроводниковом кристалле (или плёнке) и помещенная в неразборный корпус (рис. 8.33). Часто под интегральной схемой (ИС) понимают собственно кристалл или плёнку с электронной схемой, а под микросхемой (МС) — ИС, заключённую в корпус.

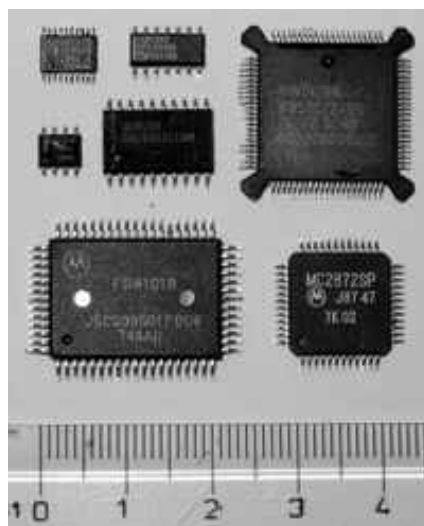


Рис. 3.1. Современная интегральная микросхема

Интегральные микросхемы (ИМС) можно разбить на два больших класса. К первому классу относятся монокристаллические ИМС, все элементы которых выполняются на одной общей подложке (обычно кремниевой). Ко второму классу относятся гибридные ИМС, в которых на общей подложке (обычно диэлектрической) групповым способом изготавливают пассивные элементы, а в качестве активных элементов используют навесные бескорпусные транзисторы, выполненные на отдельных полупроводниковых кристаллах.

По степени интеграции: названия микросхем в зависимости от степени интеграции (в скобках указано количество элементов для цифровых схем):

- МИС — малая интегральная схема (до 100 элементов в кристалле);
- СИС — средняя интегральная схема (до 1 000);
- БИС — большая интегральная схема (до 10 000);
- СБИС — сверхбольшая интегральная схема (до 1 миллиона);
- УБИС — ультрабольшая интегральная схема (до 1 миллиарда);
- ГБИС — гигабольшие (более 1 миллиарда).

В настоящее время название ГБИС практически не используется (например, последние версии настольных процессоров содержат пока несколько сотен миллионов транзисторов), и все схемы с числом элементов, превышающим 10 000, относят к классу СБИС, считая УБИС его подклассом.

По технологии изготовления: полупроводниковые микросхемы — монокристаллические ИМС, все элементы и межэлементные соединения которых выполнены в объеме и на поверхности полупроводника (например, кремния, германия, арсенида галлия). Изготавливают из особо чистых полупроводниковых материалов (обычно кремний, германий), в которых перестраивают саму решётку кристаллов так, что отдельные области кристалла становятся элементами сложной схемы. Маленькая пластинка из кристаллического материала размерами $\sim 1 \text{ мм}^2$ превращается в самый сложный электронный прибор, эквивалентный радиотехническому блоку из 50-100 и

более обычных деталей. Он способен усиливать или генерировать сигналы и выполнять многие другие радиотехнические функции.

Пленочная микросхема — все элементы и межэлементные соединения выполнены в виде пленок:

- толстоплёночная интегральная схема;
- тонкоплёночная интегральная схема.

Создаются путём осаждения при низком давлении различных материалов в виде тонких (толщиной $< 1 \text{ мкм}$) или толстых (толщиной $> 1 \text{ мкм}$) плёнок на нагретую до определённой температуры полированную подложку (обычно из керамики). В качестве материалов применяют алюминий, золото, титан, никром, окись тантала, моноокись кремния, титанат бария, окись олова и др. Для получения ИС с определёнными функциями создаются тонкоплёночные многослойные структуры осаждением на подложку через различные маски (трафареты) материалов с необходимыми свойствами. В таких структурах один из слоев содержит микрорезисторы, другой - микроконденсаторы, несколько следующих - соединительные проводники тока и другие элементы. Все элементы в слоях имеют между собой связи, характерные для конкретных радиотехнических устройств.

Совмещенная микросхема - монолитные ИМС, при изготовлении которых наряду с полупроводниковыми элементами используют и пленочные. Монолитные ИМС в наибольшей степени удовлетворяют требованиям массового производства ИМС с высокой степенью интеграции, характеристики которых не критичны к разбросу параметров пассивных элементов, их температурной нестабильности и влиянию паразитных связей. По этой технологии изготавливают большинство цифровых ИМС, которые применяются в ЭВМ, и многофункциональные аналоговые ИМС. Широкому распространению монолитных ИМС способствует их невысокая стоимость. Однако это имеет место при выпуске ИМС в большом количестве. Производство монолитных ИМС связано с существенными затратами на дорогостоящее оборудование, разработку и проектирование самих ИМС, изготовление набора масок, наладку технологической линии, подготовку контрольно-измерительной аппаратуры. Но так как большинство операций по выпуску монолитных ИМС автоматизировано, то само производство оказывается недорогим и при большом объеме выпуска продукции легко окупаются все затраты. Монолитные ИМС обладают высокой надежностью из-за пассивации элементов в процессе производства и сравнительно малого числа сварных соединений, представляющих собой одну из основных причин отказов ИМС. Особенностью полупроводниковых ИМС является то, что все элементы изготавливают одновременно в едином технологическом цикле, отдельные операции которого (окисление и травление, диффузия, эпитаксия) выполняются в одной и той же среде. Однако использование диффузионных резисторов и конденсаторов в виде р-п-переходов ограничивает области применения полупроводниковых ИМС: во-первых, такие резисторы и конденсаторы нельзя

изготовить с большими номинальными значениями сопротивлений и емкостей и, во-вторых, они уступают по стабильности пленочным резисторам и конденсаторам (сопротивление диффузионных резисторов существенно меняется при изменении температуры, а емкость р-п-переходов - при изменении напряжения смещения на переходе).

Указанные недостатки полупроводниковых ИМС устранены в монокристаллических ИМС, изготовленных по совмещенной технологии. Технология изготовления пленочных резисторов и конденсаторов позволяет получить пассивные элементы с большим диапазоном номинальных значений, более высокой температурной стабильностью и меньшими допусками. Поэтому ИМС, изготовленные по совмещенной технологии, сочетают высокую степень интеграции монокристаллических ИМС с хорошими электрическими параметрами. Однако эти достоинства совмещенных ИМС достигаются за счет увеличения числа технологических операций. Причем при нанесении тонких пленок для формирования резисторов и конденсаторов нарушается единство технологического цикла, поскольку эта операция выполняется обычно в вакууме, тогда как транзисторы формируются в окислительной среде. Кроме того, для пассивации совмещенной ИМС приходится ввести дополнительную операцию — нанесение защитного слоя на участки подложки, на которых напылены пленочные элементы (эти элементы размещаются поверх пассивирующего слоя на полупроводниковой подложке). Увеличение числа технологических операций и их усложнение непременно связаны с удорожанием изделий, а также с уменьшением процента выхода годных ИМС. По этим причинам технология изготовления совмещенных ИМС в основном используется для изготовления цифровых ИМС микроваттного диапазона, где требуются большие номиналы сопротивлений в сочетании с малыми размерами и малыми температурными коэффициентами элементов.

Гибридная микросхема — кроме полупроводникового кристалла содержит несколько бескорпусных диодов, транзисторов и(или) других электронных компонентов, помещенных в один корпус. Достоинства гибридной технологии проявляются при изготовлении прецизионных ИМС. Это — высокое качество пассивных элементов, более широкий частотный диапазон элементов, малые допуски, температурная стабильность. В ряде случаев путем соответствующего выбора температурных коэффициентов пассивных элементов можно осуществить компенсацию температурной нестабильности характеристик ИМС, вызываемой изменением параметров активных элементов. Отсутствие общей подложки, являющейся базовой пластиной для формирования всех элементов, способствует ослаблению паразитных связей, что также важно при разработке прецизионных ИМС. Прецизионные ИМС, а также микросхемы частного назначения обычно требуются в небольшом количестве (малая серия), поэтому для их производства прежде всего подходит гибридная технология, так как она не связана с большими затратами на оборудование подготовительных работ. Кроме того, при гибридной технологии существенно сокращается срок между разработкой ИМС и их производством. Недостатком

гибридных ИМС является меньшая плотность компоновки элементов, что приводит к увеличению размеров и массы ИМС. Определенные трудности возникают при пассивации гибридных ИМС. Из-за большого числа сварных соединений гибридные ИМС менее надежны, чем монолитные. Они превосходят монолитные ИМС и по стоимости.

По виду обрабатываемого сигнала Аналоговые (входные и выходные сигналы изменяются по закону непрерывной функции в диапазоне от положительного до отрицательного напряжения питания)

Цифровые (входные и выходные сигналы могут иметь два значения: логический ноль или логическая единица, каждому из которых соответствует определенный диапазон напряжения)

Аналого-цифровые (совмещают в себе формы цифровой и аналоговой обработки сигналов, по мере развития технологий получают все большее распространение)

3.2 Назначение интегральных микросхем

Интегральная микросхема может обладать законченным, сколь угодно сложным, функционалом — вплоть до целого микрокомпьютера (однокристальный микрокомпьютер).

Аналоговые схемы:

- операционные усилители;
- генераторы сигналов;
- фильтры (в том числе на пьезоэффекте);
- аналоговые умножители;
- стабилизаторы источников питания;
- микросхемы управления импульсных блоков питания;
- преобразователи сигналов.

Цифровые схемы:

- логические элементы;
- триггеры;
- регистры;
- буферные преобразователи;
- модули памяти;
- микроконтроллеры;
- микропроцессоры (в том числе ЦПУ в компьютере);
- однокристальные микрокомпьютеры.

Аналогово-цифровые схемы-ЦАП и АЦП

3.3 Материалы для изготовления тонкопленочных и толстопленочных интегральных схем

В зависимости от способа формирования пленочных элементов гибридные интегральные схемы (ИС) подразделяются на тонкопленочные и толстопленочные. Различные типовые технологические процессы тонкопленочной технологии (масочный, фотолитографический,

комбинированный и другие) обеспечивают формирование пленочных элементов в широком диапазоне значений их параметров с достаточно высокой точностью и воспроизводимостью.

Технология (тонкопленочная или толстопленочная) предопределяет не только возможность реализации пленочных элементов с требуемыми номинальными значениями их параметров, но и воспроизводимость этих параметров. Степень интеграции гибридных ИС, изготавливаемых по тонкопленочной технологии, выше по сравнению с толстопленочными. В то же время стоимость гибридных ИС, изготавливаемых по толстопленочной технологии, низкая. Толстопленочную технологию целесообразно применять при разработке ИС, работа которых сопровождается большим выделением теплоты. Для организации их производства требуются меньшие капитальные затраты (проще оборудование, менее жесткие требования к производственным помещениям). Толстопленочная технология также позволяет формировать элементы с различным значением параметров. Однако точность и воспроизводимость значений параметров низкие. Вид технологии определяет материал и размер платы. Кроме того, толстопленочные ИС обладают большей механической прочностью, имеют лучшую коррозионную и теплоустойчивость, повышенную перегрузочную способность элементов. Тонкопленочные ИС отличаются тем, что без подгонки можно получать более узкие допуски на номиналы элементов (резисторов и конденсаторов), достигается более высокая плотность размещения элементов на подложке. Они обладают меньшими высокочастотными потерями и имеют более высокую радиационную стойкость (за счет использования меньшей номенклатуры химических элементов с большей атомной массой). В аналоговых системах повышенной сложности, где требуется высокая стабильность резисторов, предпочтительнее использовать тонкопленочные гибридные ИС, которое требует значительного производства, также определяют выбор типа пленок. Если требуется небольшое количество изделий, то нецелесообразно создавать производство тонкопленочных ИС, которое требует значительно больших затрат, и предпочтение следует отдать толстопленочной технологии. Пленочные материалы для электронной техники можно классифицировать с различных точек зрения. Например, могут быть, исходя из их толщины: тонкие (до 1 мкм), толстые пленки или покрытия (10 мкм и более), а также образования промежуточные или средней толщины. Тонкие пленки в пределе приближаются к двумерным объектам и их свойства во многом определяются свойствами поверхности и явлениями, на ней происходящими. Толстопленочные покрытия в значительной мере характеризуются объемными процессами и схожи, поэтому с керамическими или монокристаллическими материалами. С точки зрения пространственной кристаллографической ориентации в технике используются как неориентированные пленки (Рис. 3.2, а.), в частности, на керамических или стеклообразных подложках, так и покрытия, обладающие ориентацией (Рис. 3.2., б.), практически соответствующей кристаллографической оси носителя, т.е. близкие по свойствам к монокристаллам. Промежуточное положение

занимают текстурированные пленки, имеющие преимущественную ориентацию кристаллитов (Рис. 3.2, в.), что сходно со строением текстурированных керамических материалов.

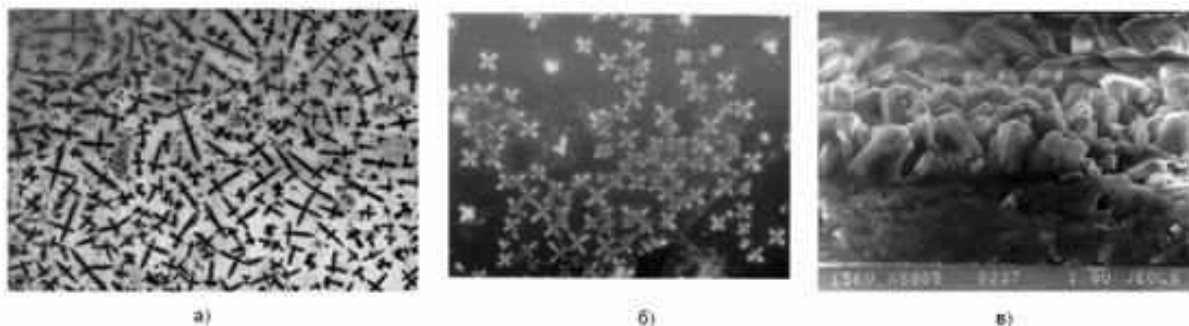


Рис. 3.2. Примеры ориентации кристаллитов в пленках: а) - неориентированные кристаллиты; б) - ориентированные кристаллиты в пленке на монокристаллической подложке; в) - текстурированная пленка сложного оксида на монокристаллической подложке

Пленки могут быть, кроме того, компактными высокоплотными (Рис. 3.3, а.), что имеет значение для таких изделий, как пленочные волноводные устройства для СВЧ техники, катодные материалы газовых лазеров и пр. Другой вариант пленочных материалов – это пленки с высокоразвитой поверхностью (Рис. 3.3, б.), мелкодисперсными кристаллитами или аморфизированные, их применение связано с хорошими каталитическими, сорбционными характеристиками, например, для регенерации газовых сред разрядных приборов типа газовых лазеров, поддержания определенных допустимых концентраций летучих веществ во внутренних объемах и полостях различных приборов и устройств электронной техники.

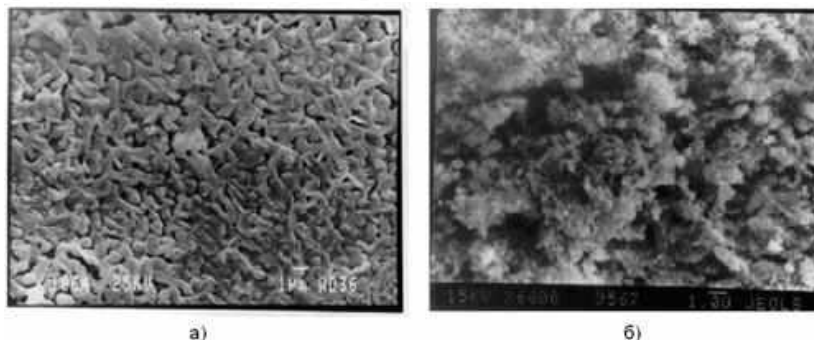


Рис. 3.3. Примеры: а) - компактная пленка сложного оксида; б) - пленка сложного оксида с развитой поверхностью

В зависимости от назначения пленок их заданные функциональные параметры могут быть различными, однако, есть ряд общих характеристик и требований, присущих всем пленочным материалам. К ним относятся:

- равнотолщинность;
- адгезионная и когезионная прочность (хорошее сцепление с подложкой и устойчивость к разрушению по границам кристаллических блоков);
- заданный химический и фазовый состав (вспомним, что это разные вещи);
- размер зерен или блоков, состояние их границ;
- ориентация кристаллитов.

Методы получения пленок подразделяются на физические (PVD – Physical Vapour Deposition) и химические (CVD), где реализация процесса напыления связана с переводом вещества и его выделением на подложке в ходе химической реакции. Среди химических методов получения пленок последнее время довольно широко развивается метод спрей-пиролиза аэрозолей, включающих термически разлагающиеся соли соответствующих компонентов сложных или простых оксидов.

Напыление нейтральными частицами.

Частицы, выбиваемые из распыляемой мишени ускоренным потоком заряженных ионов, например, Ar^+ ; диодные и триодные (с дополнительным ускоряющим и управляющим электродом) системы; магнетроны (устройства, где на скрещенные электрическое и магнитное поле накладываются сверхвысокочастотные (СВЧ) колебания, что приводит к образованию сложных спиралевидных траекторий заряженных частиц, которые имеют возможность разогнаться до высоких энергий); ионно-лучевое распыление.

Напыление заряженными частицами, которые разряжаются на подложках в процессе нанесения:

- тлеющий разряд;
- магнетронный разряд;
- дуговой разряд.

Термическое напыление:

- собственно термическое распыление материалов;
- пламенное;
- взрывное;
- световая дуга.

Схемы "катодного" и "триодного" напыления пленок нейтральными частицами показаны на рисунке 3.4.

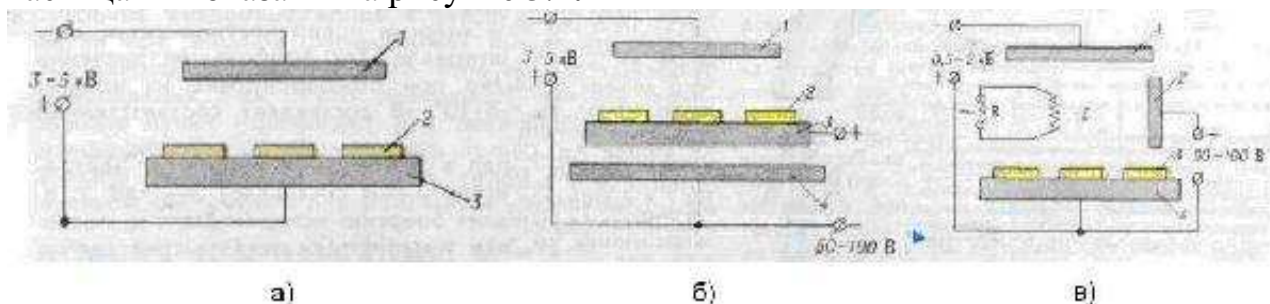


Рис. 3.4. Схемы "катодного" и "триодного" напыления пленок нейтральными частицами. а) - "диодное" распыление. 1 - катод-мишень, 2 - подложка, 3 - подложкодержатель, 4 – анод; в) - "триодное" распыление, 1 - катод-мишень, 2 - вспомогательный анод, 3 - подложка, 4 - анод-подложкодержатель, 5 - вспомогательный катод (термоэммитер электронов)

К подложкам для получения пленок предъявляются требования, которые можно классифицировать как требования по механической шероховатости; различные виды механической прочности; твердость; коэффициент термического расширения и др.), по процессам их чистки перед нанесением пленок; индифферентность по отношению к материалу пленки в ходе её нанесения и эксплуатации или наоборот способность к необходимому для получения заданных свойств композиции химическому взаимодействию с пленкой, т.е. образованию твердых растворов, поверхностных фаз и пр.), по свойствам (температура плавления, рекристаллизации, которые не должны, как правило, происходить в ходе термообработки пленок), получения качественных ориентированных покрытий чаще всего необходимо достаточно близкое совпадение параметров кристаллической решетки подложки и пленки).

Подложки при нанесении пленок оказывают не только кристаллографическое ориентирующее действие, но и топологическое, связанное с кривизной поверхностных неровностей подложек. Т.к. над выпуклой поверхностью микровыступов давление паров выше, а кристаллиты новой фазы могут иметь ось быстрого роста, то при конденсации вещества кристаллиты могут быть ориентированы одной из своих кристаллографических осей по нормали к этим локальным выступам рельефа (Рис. 3.5, а.) кристаллитов при наличии жидкой фазы. Данное явление используют практически для синтеза текстурированных или даже близких к эпитаксиальным пленкам. Получение кристаллографической ориентации на искусственно созданных микрошероховатостях заданного профиля на подложках получило название графоэпитаксии (Рис. 3.5, б.)

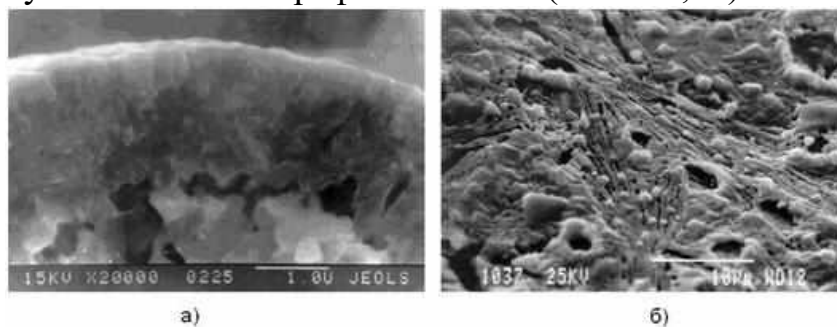


Рис. 3.5. Примеры ориентации кристаллитов и графоэпитаксии сложнооксидной пленки: а) - кристаллиты ориентированы; б) - пример графоэпитаксии

Физико-химические способы получения пленочных покрытий.

Получение пленочных покрытий сопровождается рядом специфических явлений, из них следует выделить последовательность процессов формирования пленок.

Процесс получения пленок начинается с осаждения (адсорбции) т.н. адатомов. В условиях равновесия с газовой средой количество сорбируемых в единицу времени атомов, молекул или ионов равно количеству десорбируемых. Местами на поверхности подложки, где в первую очередь происходит сорбция, являются участки локальных энергетических максимумов, например, узлы

кристаллической решетки, что приводит к наиболее существенному выигрышу уменьшения свободной энергии поверхности. Силами, удерживающими частицы, могут быть в зависимости от их природы и характера поверхности дисперсионные взаимодействия Ван-дер-Ваальса, химические – ковалентные или ионные. Адаомы могут быть как фиксированными (при высоких энергиях связи с подложкой), так и подвижными, т.е. перемещаться от одного локального энергетического максимума к другому за счет градиента, например, химического потенциала. Последнее явление облегчает протекание последующих стадий образования пленки.

Далее возникают за счет ассоциации нескольких адаомов двумерные островковые неструктурные образования, которые также в принципе могут обладать подвижностью. В условиях равновесия могут иметься докритические и сверхкритические островки, первые из которых растворяются и переходят в отдельные атомы или десорбируются, вторые способны к дальнейшему росту.

Происходит коалесценция островков с образованием структурных зародышей, например, 4x4, 5x5 и т.д. узлов кристаллической решетки новой фазы. По различным теоретическим представлениям размер структурных зародышей довольно значительно различается.

Образуются каналы свободной поверхности подложки за счет смыкания между собой структурных зародышей с дальнейшим формированием кристаллической структуры покрытия (Рис. 3.6).

Возникают отдельные поверхностные поры без покрытия, которые перекрываются в последнюю очередь с образованием сплошной пленки.

Происходит конденсация последующих слоев пленки, которая в конечном итоге при продолжении процесса переходит в трехмерное образование. На этом этапе последующие слои осаждаются, в принципе подчиняясь тем же закономерностям, что и первичные.

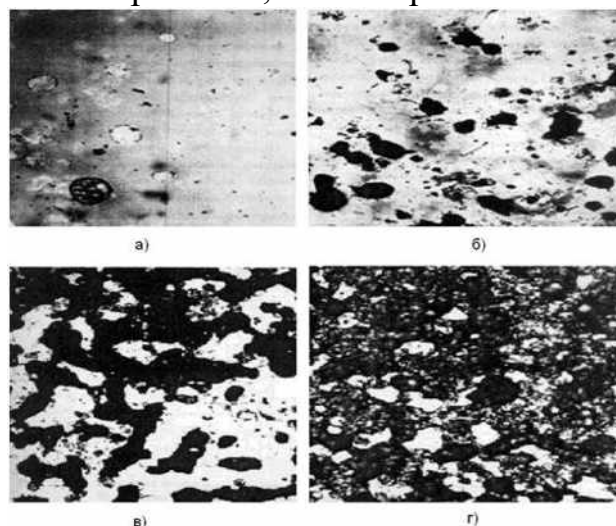


Рис. 3.6. Стадии заполнения поверхности подложки оксидом меди при пиролизе раствора нитрат меди - поливиниловый спирт

Пленочные технологии лежат в основе создания элементов интегральной оптики, устройств в которых в оптических средах создаются зоны и участки, выполняющие различные функции, что позволяет существенно

миниатюризировать изготавливаемые приборы (Рис. 3.7). Интегральные схемы, широко используемые в электронной технике, также базируются на пленочной технологии (Рис. 3.8) с использованием для нанесения на подложки схем заданной конфигурации фоторезистора. Например, на кремниевую монокристаллическую подложку с р-типом проводимости наносят состав на основе полимеров с добавками светочувствительных веществ. Под действием локального облучения с использованием масок или тонкого лазерного пучка фоторезистор теряет растворимость, необлученная его часть удаляется. Затем за счет специальной обработки, например, ионной бомбардировки, открытые участки поверхности приобретают n-тип проводимости и на их границе с основным объёмом подложки создается р-п переход, служащий основой функциональной единицы, например, микродиода. Элементы микросхемы соединяются между собой напыляемыми металлическими проводниками. Микро-резисторы, конденсаторы могут быть сформированы, например, путем напыления слоев соответствующих материалов заданной конфигурации. Возможно получение функциональных элементов в нескольких уровнях по глубине. Таким образом создаются микросхемы, (ГБИС – гигабольшие интегральные микросхемы), содержащие миллиарды единичных функциональных элементов на 1 см² поверхности носителя, тогда как первые из созданных малые микросхемы (МИС) содержали лишь порядка 10²/см² элементов. Кроме того, применялись и гибридные микросхемы (ГИС) и сборки, включающие навесные радиоэлементы.

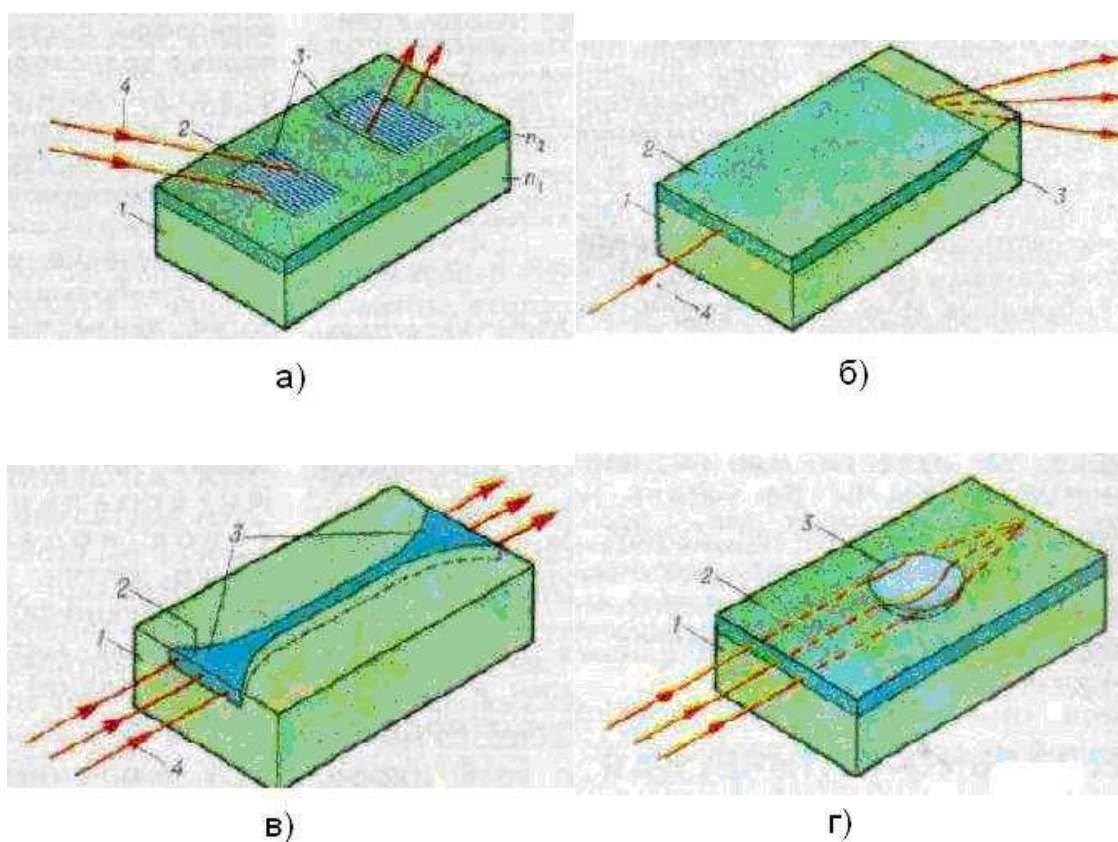


Рис. 3.7. Примеры интегрально-оптических элементов

На рис.3.7а - схема интегрально-оптического элемента связи на основе дифракционных решеток: 1 - диэлектрическая или полупроводниковая подложка (из LiNbO_3 , GaAlAs и др.), 2 - планарный интегрально-оптический волновод, 3 - фазовые дифракционные решетки созданные на поверхности волновода методами фото- и электронно-лучевой литографии, 4 - световые потоки, n_1 и n_2 - показатели преломления подложки и световедущего слоя, соответственно;. б) - схема интегрально-оптического волновода с суживающимся краем: 1 - диэлектрическая или полупроводниковая подложка (из LiNbO_3), 2 - интегрально-оптический волновод, 3 - суживающийся край световедущего слоя, 4 - световые потоки в) - схема интегрально-оптического элемента связи с использованием рупорных переходов: 1 - подложка, 2 - интегрально-оптический волновод с плавно меняющейся шириной поперечного сечения (рупорный волновод), 3 - рупорные переходы, 4 - световые потоки. г) - схематическое изображение геодезической линзы: 1 - подложка, 2 - планарный интегрально-оптический волновод, 3 - углубление на поверхности волновода, 4 - световые потоки

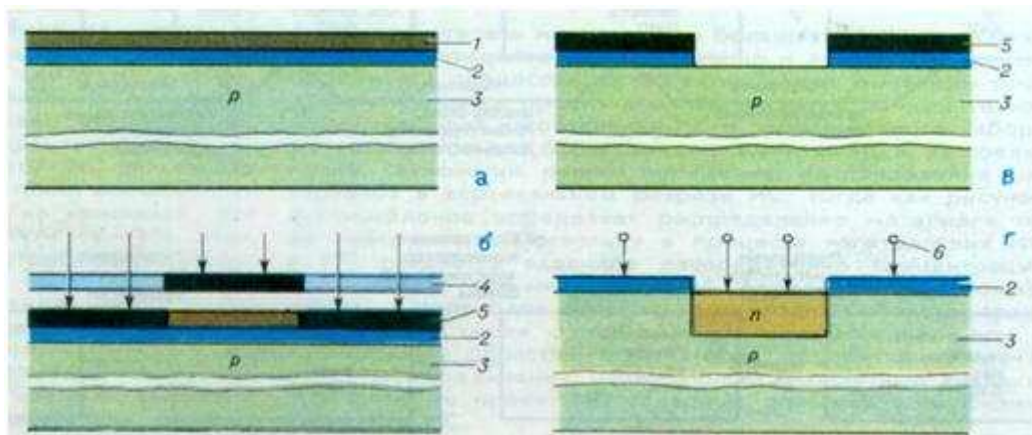


Рис. 3.8. Последовательные стадии изготовления монолитной интегральной схемы: а) - исходная полупроводниковая пластина с проводимостью р-типа, покрытая слоями SiO_2 и фоторезистора; б) - облучение фоторезистора через фотошаблон; в) - полупроводниковая пластина с "окном" в слое SiO_2 , образовавшемся в результате облучения и последующего травления; г) - диффузия донорных примесей и создание области с проводимостью n-типа. (1 - слой фоторезистора, 2 - слой SiO_2 3 - полупроводниковая пластина, 4 - фотошаблон, 5 - засвеченный участок фоторезистора, 6 - донорные атомы.)

4. Технология изготовления полупроводниковых интегральных микросхем

Процессы легирования, а также наращивания слоёв различных материалов призваны сформировать вертикальную физическую структуру ИМС. Необходимые форма и размеры элементов и областей в каждом слое структуры обеспечиваются процессом фотолитографии. Фотолитография - процесс избирательного травления поверхностного слоя с использованием защитной фотомаски.

На рис. 4.1. приведена укрупнённая структурная схема процесса фотолитографии. Отдельные этапы на схеме включают в себя несколько операций. Ниже в качестве примера приведено описание основных операций при избирательном травлении оксида кремния (SiO_2), которое используется многократно и имеет целью создание окон под избирательное легирование, а также контактных окон.

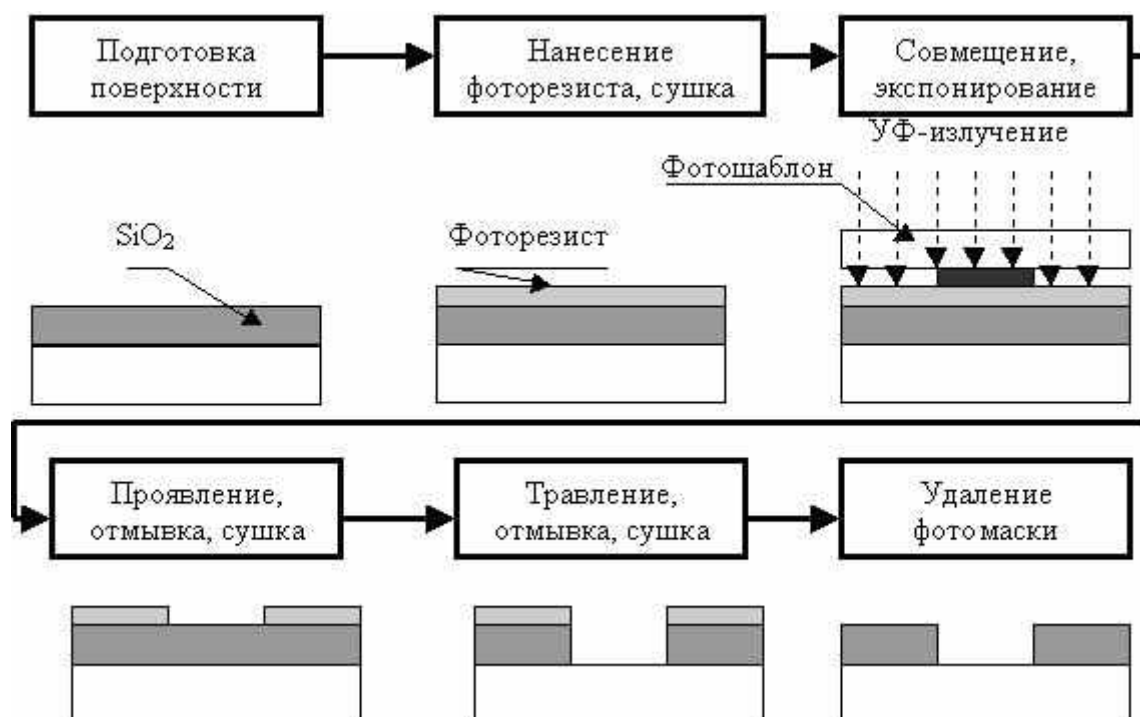


Рис. 4.1. Укрупненная схема процесса фотолитографии

Подготовка поверхности

Сырьем для изготовления полупроводниковых пластин служит химически чистый кремний. Его получают из кварца, т.е. двуокиси кремния, путем восстановления с использованием углерода.

Подготовка поверхности к нанесению фотослоя заключается в её обработке парами органического растворителя для растворения жировых плёнок, которые препятствуют последующему сцеплению фоторезиста с поверхностью. Отмывка сверхчистой (деионизированной) водой удаляет следы растворителя; а также микрочастицы, способные впоследствии образовать "проколы" в тонком (≈ 1 мкм) слое фоторезиста.

Нанесение фотослоя

При нанесении фотослоя используется раствор светочувствительного полимера в органическом растворителе (фоторезист). Для получения тонких слоёв фоторезиста на поверхности пластины его вязкость должна быть очень мала, что достигается высоким содержанием растворителя (80-95 % по массе). В свою очередь, с уменьшением толщины фотослоя повышается разрешающая способность фотолитографического процесса. Однако, при толщинах менее 0,5 мкм плотность дефектов ("проколов") в фотослое резко возрастает, и защитные свойства фотомаски снижаются.

Нанесение фотослоя может быть выполнено одним из двух способов: центрифугированием или распылением аэрозоля. В случае использования центрифуги дозированное количество фоторезиста подаётся в центр пластины, прижатой вакуумом к вращающейся платформе (центрифуге). Жидкий фоторезист растекается от центра к периферии, а центробежные силы равномерно распределяют его по поверхности пластины, сбрасывая излишки в

специальный кожух. Толщина h нанесённой плёнки зависит от скорости вращения платформы w , от вязкости фоторезиста v и определяется соотношением:

$$h = k \sqrt{\frac{v}{\omega}} \quad (4.1)$$

где k - коэффициент, устанавливаемый экспериментально.

Скорость вращения центрифуги около 6000 об/мин, толщина фотослоя регулируются подбором соответствующей вязкости, т.е. содержанием растворителя.

Для центрифугирования характерны следующие недостатки:

- трудность получения относительно толстых (в несколько микрометров) и равномерных плёнок из-за плохой растекаемости вязкого фоторезиста;
- напряжённое состояние нанесённой плёнки, что приводит на этапе проявления к релаксации участков фотомаски и изменению их размеров;
- наличие краевого утолщения как следствие повышения вязкости в процессе выравнивания, что ухудшает контакт фотошаблона с фотослоем;
- трудность организации одновременной обработки нескольких пластин.

При распылении аэрозоли фоторезист подаётся из форсунки на пластины, лежащие на столе, совершающем возвратно-поступательное движение. Необходимая толщина формируется постепенно. Отдельные мельчайшие частицы растекаются и, сливаясь, образуют сплошной слой. При следующем проходе частицы приходят на частично просохший слой, несколько растворяя его. Поэтому время обработки, которое зависит от вязкости, расхода и "факела" фоторезиста, от скорости движения стола и расстояния от форсунки до подложки, устанавливается экспериментально. При реверсировании стола крайние пластины получают большую дозу фоторезиста, чем центральные. Во избежание утолщения слоя на крайних пластинах форсунке также сообщается возвратно-поступательное вертикальное движение (синхронно с движением стола). При торможении стола в конце хода форсунка поднимается вверх и плотность потока частиц в плоскости пластин снижается.

Фотолитография

Распыление аэрозоли лишено недостатков центрифугирования, допускает групповую обработку пластин, но предъявляет более жёсткие требования к чистоте (отсутствие пыли) окружающей атмосферы. Нанесение фоторезиста и последующая сушка фотослоя являются весьма ответственными операциями, в значительной степени определяющими процент выхода годных микросхем.

Пылевидные частицы из окружающего воздуха могут проникать в наносимый слой и создавать микродефекты. Нанесение фотослоя должно выполняться в условиях отсутствия пыли в рабочих объёмах (боксах, скафандрах) 1 класса с соблюдением следующей нормы: в 1 литре воздуха должно содержаться не более четырёх частиц размером не более 0,5 мкм.

При сушке нанесённого слоя в слое могут сохраниться пузырьки растворителя, а при выходе на поверхность слоя они могут образовать микротрещины. Поэтому сушка выполняется с помощью источников инфракрасного излучения, для которого фоторезист является прозрачным, а, следовательно, поглощение излучения с выделением тепла происходит на границе " пластина - фоторезист ". Следовательно, сушка протекает от нижних слоёв фоторезиста к верхним, обеспечивая свободное испарение растворителя. Во избежание преждевременной полимеризации фоторезиста и потери им чувствительности температура сушки должна быть умеренной ($\approx 100\div 120^\circ\text{C}$).

Совмещение и экспонирование

Под совмещением перед экспонированием понимается точная ориентация фотошаблона относительно пластины, при которой элементы очередного топологического слоя (на фотошаблоне) занимают положение относительно элементов предыдущего слоя (в пластине), предписанное разработчиком топологии. Например, фотошаблон, несущий рисунок эмиттерных областей должен быть точно ориентирован относительно пластины, в которой уже сформированы базовые области.

Схема совмещения фотошаблона с пластиной представлена на рисунке 4.2.

Процесс совмещения включает три этапа:

- предварительная ориентация по базовому срезу, обеспечивающую на границах модулей групповой пластины выгодную кристаллографическую плоскость с точки зрения качества разделения пластины на отдельные кристаллы;

- предварительное грубое совмещение по границам крайних модулей, имеющее целью исключить разворот пластины и фотошаблона относительно вертикальной оси Z;

- точное совмещение, исключающее смещение рисунков фотошаблона и пластины по осям X и Y.

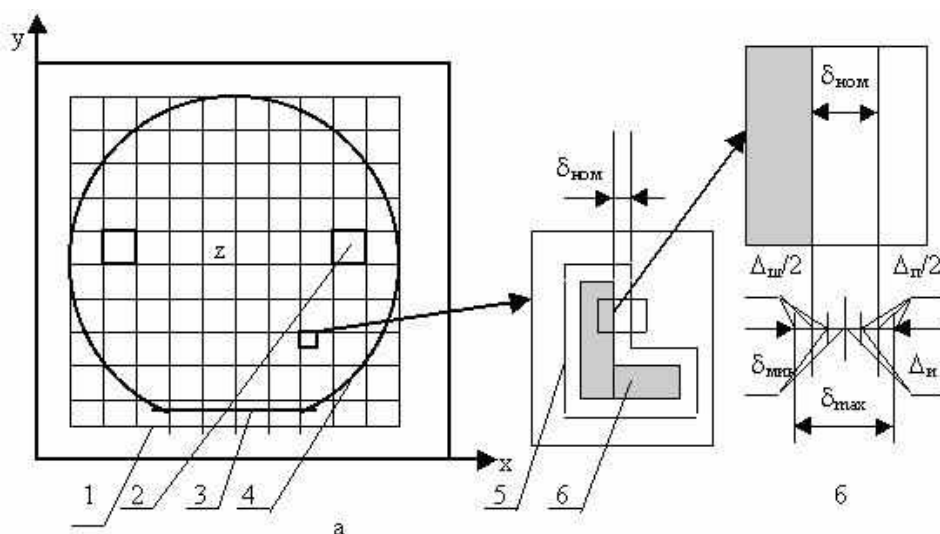


Рис. 4.2. Совмещение фотошаблона с пластиной: а - общая схема совмещения: 1 - групповой фотошаблон; 2 - модули для грубого совмещения; 3 - базовый срез на пластине для предварительной ориентации; 4 - групповая пластина; 5 - знак совмещения в модуле пластины; 6 - знак совмещения в модуле шаблона; б- схема для расчета номинального зазора между знаками совмещения.

Для точного совмещения используют специальные знаки совмещения с контролируемым зазором, которые входят в состав топологических рисунков соответствующих слоёв. Совмещение считается выполненным, если при введении одного знака внутрь другого по всему контуру просматривается зазор.

Погрешность совмещения учитывается при расчёте размеров областей каждого слоя. Обычно фотошаблон очередного слоя совмещается с предыдущим (по ходу технологического процесса) слоем, уже сформированном на пластине. В частности, слой контактных окон совмещается с эмиттерным слоем, а слой металлизации - со слоем контактных окон. Поскольку контактные окна и металлические контакты формируются одновременно для всех областей структуры, погрешность совмещения накапливается и для эмиттерных областей входит в размер величиной $4 D_c$, для базовых областей - $6 D_c$, для коллекторных - $8 D_c$. Поэтому совершенствование процессов литографии (уменьшение $D_{ш}$ и $D_{п}$) и применяемого оборудования ($D_{и}$ и D_t) является важной и постоянной задачей конструкторов и технологов. Влияние погрешности совмещения на размеры областей рассмотрено ниже на примере расчёта размеров эмиттерной области транзистора.

После выполнения совмещения микроскоп отводится, а на его место подводится осветитель, жёстко связанный с микроскопом на каретке (или поворотной турели). Оператор включает осветитель одновременно с реле времени, которое контролирует время экспонирования.

Проявление

Проявление скрытого изображения для негативных фоторезистов заключается в обработке фотослоя органическим растворителем. При этом участки, не подвергшиеся облучению, растворяются, а облучённые участки, где при поглощении ультрафиолетового излучения происходит разрыв межатомных связей и перестройка структуры (фотополимеризация), сохраняются.

В позитивных фоторезистах на участках, подвергшихся облучению, происходит разрушение структуры (деструкция) с образованием кислоты. Для перевода её в растворимые слои применяют раствор неорганического соединения со щелочными свойствами (KOH, NaOH и др).

После отмывки от следов проявителя и сушки полученную фотомаску подвергают тепловому задубливанию ($120 \div 180^\circ\text{C}$ в зависимости от марки фоторезиста), в результате чего окончательно формируются её защитные свойства (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Удаление засвеченного фоторезиста и находящегося под ним оксидного слоя.

Травление

При травлении в жидких травителях используются водные растворы неорганических соединений (обычно кислот). Химический состав и концентрация травителя в растворе подбирается так, чтобы поверхностный слой растворялся активно, а нижележащий не растворялся. С травлением в жидких травителях связано не только явление подтравливания под фотомаску, но и разброс величины подтравливания в совокупности элементов одного слоя.

К моменту окончания растворения слоя в "окне" фотомаски боковое травление оказывается примерно равным толщине слоя (рис. 4.4), однако момент окончания травления зависит от размеров вытравливаемого элемента (окна в маске). В процессе травления имеют место отвод продуктов химической реакции от поверхности в раствор и подвод из раствора свежего травителя. Оба процесса протекают благодаря взаимной диффузии, скорость которой и определяет скорость травления. В мелких элементах массообмен затруднён и скорость травления ниже, чем в крупных элементах. Поскольку технологическое время травления устанавливают по самому мелкому элементу, более крупные элементы получают "перетрав", т.е. большие погрешности размера.

Для повышения точности травления, т.е. уменьшения разброса размеров элементов из-за растрова, необходимо динамическое воздействие травителя на обрабатываемую поверхность. На рис. 8.45 приведена схема установки на основе центрифуги, снабжённой тремя форсунками для последовательного травления, отмывки (деионизированной водой) и сушки (подогретым воздухом). Форсунка для травителя обеспечивает ускоренную подачу свежего травителя к поверхности, вытесняя продукты реакции, а центробежные силы ускоряют отвод отработанного травителя.

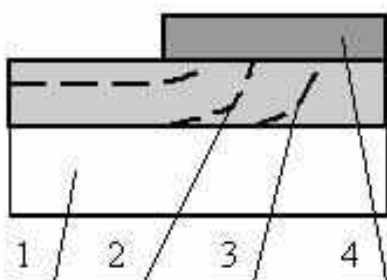


Рис. 4.4. Боковое подтравливание под фотомаску: 1 - пластина; 2 - фронт травления при нормальном режиме; 3 - фронт травления при «перетравливании»; 4 – фотомаска.

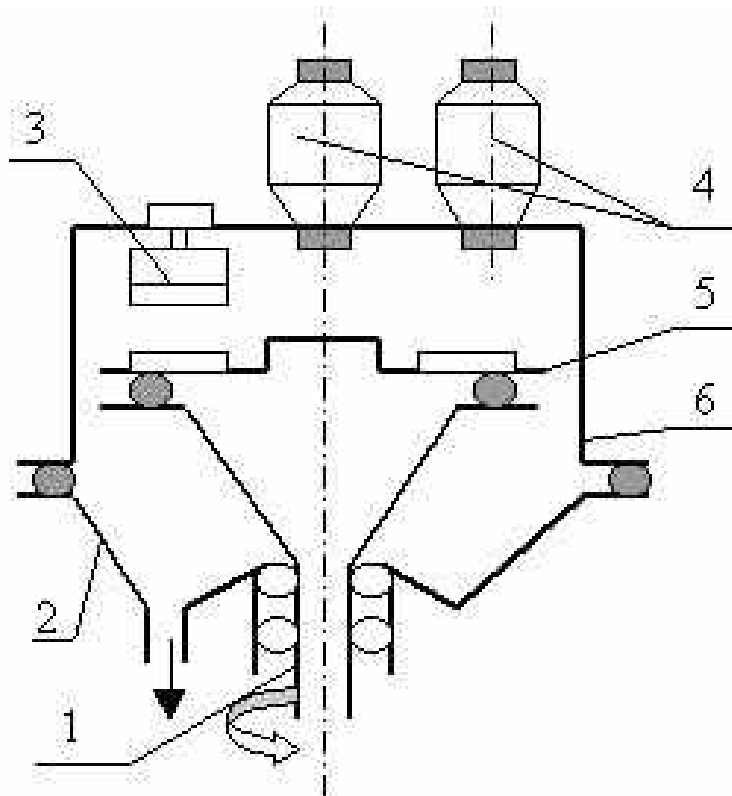


Рис. 8.45. Схема установки травления, отмывки и сушки: 1 – полный ротор; 2 – днище камеры с отверстием; 3 – форсунка сушки; 4 – форсунки травления и отмывки; 5 – платформа с пластинами; 6 – съемная крышка.

В таблице 8.2 приведены применяемых при производстве интегральных микросхем типы травителей.

Существенное повышение точности травления достигается при использовании вакуум-плазменных ("сухих") методов травления, при которых разрушение слоя происходит механически за счёт бомбардировки потоком заряженных частиц (ионов инертного газа).

Таблица 8.2.

Ag— г.к. H_2SO_4 , HNO_3	Pt— "царская водка"
Al— рз. щелочи, г. H_3PO_4	Si— HNO_3+HF
Au— "царская водка" (к $HCl:HNO_3=3:1$)	SiO_2 — рз. HF
Cr— HCl , H_2SO_4 , г. HNO_3	Si_3N_4 — г. H_3PO_4 , к. HF
Cu— г.к. H_2SO_4 , HNO_3	Ta— HF
Mo— г.к. H_2SO_4 , г. HNO_3 , "царская водка"	Ti— щелочи, HF, рз. кислоты
Ni— рз. Кислоты	V— HF, HNO_3 , "царская водка", г.к. H_2SO_4
Pd— HNO_3 , г.к. H_2SO_4 , "царская водка"	W— "царская водка", HNO_3+HF

Примечание к таблице 8.2.: к- концентрированная; рз- разбавленная; г- горячая.

С этой целью в вакуумной камере при давлении газа $1 \div 10$ Па зажигается разряд, и обрабатываемая пластина в качестве катода подвергается обработке ионами с энергией до 1 кэВ. Структура полимерной фотомаски и её толщина сохраняют её защитные свойства до окончания обработки слоя. Поскольку движение ионов инертного газа (обычно аргона) происходит по нормали к поверхности пластины, вытравленные участки точно соответствуют размерам окон фотомаски, т.е. эффект подтравливания отсутствует.

5. Электрический монтаж кристаллов интегральных микросхем на коммутационных платах.

Электромонтаж бескорпусных кристаллов ИМС заключается в электрическом соединении контактных монтажных площадок на поверхности кристалла с контактными монтажными площадками на поверхности коммутационной платы. Обычно кристалл предварительно фиксируется на плате с помощью клея или припоя. Во втором случае групповая пластина до разделения ее на отдельные кристаллы должна быть металлизирована со стороны, противоположной структурам, металлом, который хорошо смачивается припоем. Облуженными должны быть также площадки на плате, на которые устанавливаются кристаллы.

В производстве нашли применение три способа электромонтажа: с помощью гибких проволочных перемычек круглого сечения (проволочный монтаж), с помощью гибких ленточных перемычек прямоугольного сечения (ленточный монтаж) и с помощью жестких объемных выводов, предварительно выращенных на кристалле.

5.1. Проволочный монтаж

При проволочном монтаже перемычка формируется в процессе монтажа (рис. 5.1): после совмещения свободного конца проволоки с площадкой на кристалле производится сварка, далее изделие (коммутационная плата) перемещается так, чтобы под сварочный инструмент пришла соответствующая площадка коммутационной платы; после совмещения инструмента с площадкой производится сварка и обрезка проволоки. Далее формируется перемычка для следующей пары контактов.

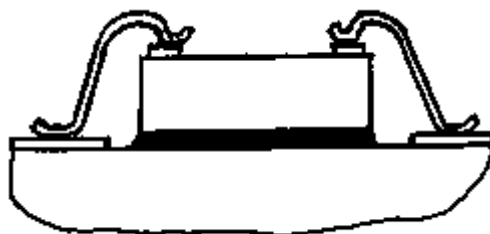


Рис.5.1. Проволочный монтаж кристалла на коммутационную плату

При перемещении платы с приваренным концом проволоки последняя сматывается с катушки неподвижной сварочной головки так, чтобы образовался небольшой избыток по длине. В результате упругости проволоки перемычка получает плавный изгиб вверх, который при температурных изменениях длины перемычки предотвращает замыкание ее на кристалл.

В современных установках для микросварки рабочий цикл сварки (контролируемые давление инструмента, нагрев, время выдержки) автоматизирован. Что касается вспомогательных приемов (перемещения, совмещения), то существуют установки с ручным перемещением изделия и визуальным совмещением с помощью микроскопа, а также установки с автоматическими программируемыми перемещениями в сочетании с системой "машинного зрения", освобождающей оператора от зрительного напряжения.

Достоинством проволочного монтажа является возможность размещения перемычек при произвольном расположении любого количества монтажных площадок на коммутационной плате, т.е. гибкость в процессе ее конструирования. Недостаток заключается в высокой трудоемкости монтажа, т.к. сварные соединения можно получать только последовательно, индивидуально.

5.2. Ленточный монтаж

Отказ от проволоки и переход к плоским ленточным перемычкам позволяет изготовить их заранее и одновременно вне кристалла методом

избирательного травления (фотолитографии) ленты, однако взаимное расположение перемычек должно быть жестко predetermined расположением монтажных площадок на кристалле и плате. Ленточные перемычки толщиной 70мкм остаются гибкими, поэтому для сохранения их взаимной ориентации они удерживаются в заданном положении изолирующими перемычками из полиимида (рис. 5.2). Таким образом, исходная лента для изготовления системы перемычек должна быть двухслойной: алюминий (70мкм) и полиимид (40мкм). Для исключения замыкания перемычек на кристалл их специально формуют перед монтажом.



Рис.5.2. Ленточный монтаж кристалла на коммутационную плату

Использование ориентированных ленточных перемычек позволяет существенно снизить трудоемкость монтажа. Во-первых, для совмещения всей системы перемычек с кристаллом достаточно совместить две пары "перемычка-площадка", расположенных по диагонали. После приварки всех перемычек на кристалле последний с системой перемычек переносится на плату и аналогично производится совмещение свободных концов с площадками платы и их приварка. Во-вторых, появляется возможность одновременной (групповой) приварки всех перемычек, расположенных в одном ряду. Из рассмотренных ниже способов сварки для групповой сварки могут быть использованы термокомпрессионный и ультразвуковой способы.

К недостатку следует отнести ограничения, накладываемые на конструкцию коммутационной платы и самого кристалла по числу и характеру расположения монтажных площадок. Для смягчения этого недостатка приходится разрабатывать и изготавливать стандартный ряд систем перемычек, отличающихся числом и шагом расположения.

5.3. Монтаж с помощью жестких объемных выводов

Жесткие объемные выводы формируются на кристаллах заранее и одновременно до разделения групповой пластины. В первом приближении они представляют собой выступы полусферической формы высотой порядка 60мкм и покрыты припоем. Облуженными должны быть и ответные монтажные площадки на коммутационной плате. В отличие от проволочного и ленточного монтажа объемные выводы соединяют с площадками платы пайкой, а кристалл при этом оказывается в перевернутом положении, т.е. структурами вниз (рис. 5.3).

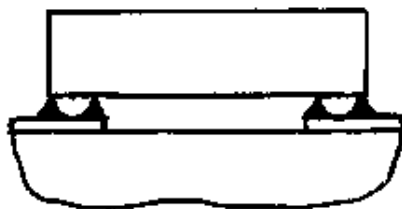


Рис.5.3. Монтаж кристалла на коммутационной плате с помощью объемных выводов

Последовательность монтажа следующая. Кристалл, находящийся в кассете в ориентированном положении, забирается вакуумным присосом ("пинцетом") и переносится в позицию монтажа с определенным зазором. В зазор вводится полупрозрачное зеркало, позволяющее оператору через микроскоп наблюдать одновременно площадки на плате и выводы на кристалле. После совмещения зеркало выводится из зазора, а присос опускает кристалл на плату и прижимает его. Далее из миниатюрного сопла подается горячий инертный газ, выполняющий одновременно функции нагревательной и защитной среды, затем холодный инертный газ, чем и заканчивается цикл монтажа. К достоинствам монтажа с помощью жестких объемных выводов относится: сокращение числа соединений вдвое, что повышает надежность изделия при эксплуатации; сокращение трудоемкости за счет одновременного присоединения всех выводов; уменьшение монтажной площади до площади, занимаемой кристаллом; отсутствие необходимости предварительного механического крепления кристалла. Ограничением для использования данного метода является необходимость применения коммутационных плат на основе тонких пленок с использованием фотолитографии, т.е. высокого разрешения, т.к. размеры площадок и шаг их расположения на плате и кристалле должны совпадать.

5.4. Микросварка

К микросварке прибегают при проволочном и ленточном монтаже. Ввиду малых толщин соединяемых элементов (порядка 1,5 мкм для площадки и несколько десятков мкм для перемычки) сварка должна выполняться без расплавления соединяемых элементов. Таким образом, все разновидности микросварки представляют собой сварку давлением. В этом случае прочность соединения обеспечивается электронным взаимодействием соединяемых поверхностей и взаимодиффузией материалов в твердой фазе, что, в свою очередь, требует применения пластичных материалов и обеспечения плотного контакта на достаточно большой площади. Так как необходимую площадь контакта можно получить лишь за счет пластической деформации перемычки, к материалу последней предъявляются требования пластичности. Для облегчения пластического течения материала, а также для ускорения взаимодиффузии, во всех видах микросварки предусматривается нагрев зоны соединения до температуры ниже эвтектической (во избежание расплавления).

Таким образом, все виды микросварки характеризуются температурой в зоне соединения 300,800°С и удельным давлением инструмента 100,200 Н/мм².

Конкретные значения режимов определяются материалом перемычки и видом микросварки.

В производстве нашли применение следующие разновидности микросварки: термокомпрессионная сварка (ТКС); сварка косвенным импульсным нагревом (СКИН); электроконтактная односторонняя сварка (ЭКОС); ультразвуковая сварка (УЗС) (рис. 5.4).

Основная тенденция развития методов микросварки - локализация тепла в зоне соединения и уменьшение теплового воздействия на изделие в целом, что позволяет повысить температуру сварки и применять для перемычек менее пластичные материалы (например, медь). Способ нагрева зоны соединения находит свое отражение в конструкции сварочного инструмента, схематически представленного на рис. 5.4. Независимо от вида микросварки в случае проволочного монтажа инструмент должен быть снабжен "капилляром" для направления проволоки под рабочую часть инструмента (на рис. 5.5 показан только для ТКС).

К достоинствам монтажа с помощью жестких объемных выводов относится: сокращение числа соединений вдвое, что повышает надежность изделия при эксплуатации; сокращение трудоемкости за счет одновременного присоединения всех выводов; уменьшение монтажной площади до площади, занимаемой кристаллом; отсутствие необходимости предварительного механического крепления кристалла.

Ограничением для использования данного метода является необходимость применения коммутационных плат на основе тонких пленок с использованием фотолитографии, т.е. высокого разрешения, т.к. размеры площадок и шаг их расположения на плате и кристалле должны совпадать.

При ТКС (рис. 5.4,а) нагреву подвергают все изделие или инструмент (или то и другое), обеспечивая температуру порядка 400°С .

В случае СКИН (рис. 5.4,б) разогрев зоны соединения осуществляется только в момент сварки. Это достигается V-образной конструкцией инструмента, через который пропускается амплитудно-модулированный импульс тока с несущей частотой 0,5,1,5кГц. В результате температуру в зоне сварки можно повысить до 650°С. Инструмент является частью электрической цепи и благодаря малому сечению рабочего конца инструмента выделяемое тепло концентрируется именно в этой части.

Инструмент для ЭКОС (рис. 5.4,в) часто называют расщепленным: он состоит из двух частей, разделенных изолирующей термостойкой прокладкой, которые являются составной частью электрической цепи.

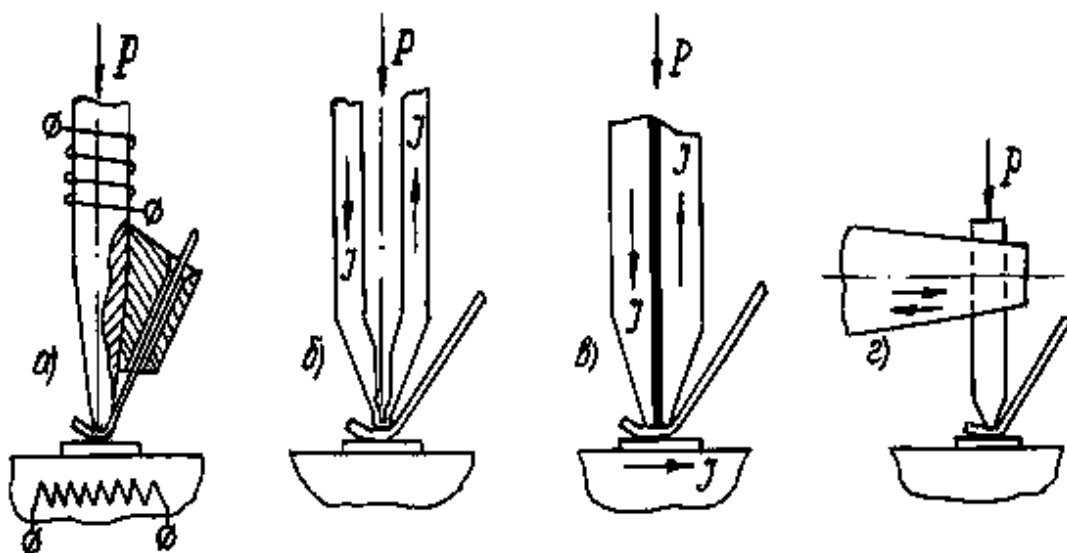


Рис.5.5. Виды микросварки. Разновидности сварочного инструмента а) – ТКС; б) – СКИН; в) – ЭКОС; г) – УЗС

Последняя замыкается лишь при контакте с перемычкой. Таким образом, импульс тока проходит через свариваемый участок перемычки, причем тепло выделяется в зоне контакта. В установках для ЭКОС предусмотрено автоматическое измерение контактного сопротивления, регулирование по сопротивлению усилия и формирование параметров импульса тока, что повышает воспроизводимость характеристик соединения. Температура в зоне сварки может быть повышена до 800°C, что дает возможность применять медные перемычки. Ультразвуковая сварка может выполняться без специально организованного нагрева, т.к. тепло, необходимое для повышения пластичности, выделяется в результате трения перемычки о площадку. Сварочный инструмент жестко закрепляется в концентраторе магнитоstrictionной головки (рис. 5.4,г) и вместе с ним совершает продольные колебательные движения, "втирая" перемычку в площадку. Частота ультразвуковых колебаний выбирается в пределах 20,60кГц, а амплитуда - 0,5,2мкм.

В таблице 5.1 приведены сведения по свариваемости материалов при различных методах микросварки.

Таблица 5.1.

Материал монтажной площадки	Метод микросварки, материал перемычек											
	ТКС			СКИН			ЭКОС			УЗС		
	Au	Al	Cu	Au	Al	Cu	Au	Al	Cu	Au	Al	Cu
Au	++	+	-	++	++	+	++	-	++	++	++	+
Cu или Ni	++	+	-	++	+	+	++	-	+	++	+	+
Al	++	+	-	+	+	-	+	-	+	+	++	-
Примечание: ++ - свариваются хорошо; + - свариваются удовлетворительно; - не свариваются.												

5.5. Изготовление системы объемных выводов

Для формирования объемных выводов стандартный процесс, который заканчивается осаждением защитной пленки SiO₂ и образованием в ней окон

над монтажными площадками, дополняется рядом операций, выполняемых в групповой пластине, т.е. до разделения ее на отдельные кристаллы. Для будущих круглых выводов окна в защитном окисле выполняют также круглыми диаметром 70мкм. Методом осаждения в вакууме на всю поверхность пластины наносят слой ванадия (для восстановления алюминия из поверхностного окисла и уменьшения контактного сопротивления) и меди (для замыкания всех выводов и возможности последующего гальванического наращивания). Толщина каждого из слоев - несколько десятых долей мкм (рис. 5.5,а). После формирования фотомаски, открывающей лишь участки будущих выводов, гальваническим методом выращивают слой меди толщиной порядка 50-60мкм. Используя ту же фотомаску, гальванически наносят слой серебра толщиной в несколько мкм. Серебро служит для защиты меди от окисления, а впоследствии - в качестве маски для травли тонкой меди и ванадия. Далее (рис. 5.5,б) фотомаска удаляется, и последовательно травятся слои меди и ванадия (выводы электрически разобщаются). Наконец, горячим лужением (контакт пластины с расплавленным припоем) получают на выводах слой припоя. Во избежание растворения серебра оловом припоя в состав припоя ПОС-61 вводится за счет олова 3% серебра (припой ПСрОС-3-58).

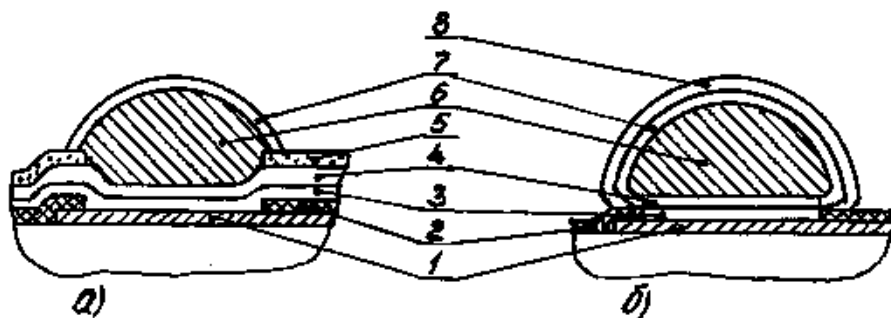


Рис. 5.5. Структура жестких объемных выводов на кристалле ИМС: 1 - алюминий; 2 – двуокись кремния; 3 – ванадий; 4 – тонкая медь; 5 – фотомаска; 6 – гальваническая медь; 7 – серебро; 8 – припой.

6. Печатные платы

Под печатной платой (ПП) понимают изделие, состоящее из плоского изоляционного основания, с отверстиями, пазами, вырезами и системой

токопроводящих полосок металла (проводников), которые используют для установки и коммутации изделий электронной техники (ИЭТ) и функциональных узлов в соответствии с электрической принципиальной схемой.

Печатная плата с установкой на ней электрорадиоэлементов (ЭРЭ) представляет собой особую форму узлов и называется печатным узлом. Система электрических соединений в виде участков покрытия, используемая вместо обычных проводников, называется печатным монтажом

ПП состоят из одного или нескольких слоев, каждый из которых представляет собой изоляционный материал с односторонним или двухсторонним расположением печатных проводников.

6.1. Основные характеристики печатных плат

Печатные платы выполняют функции:

- несущей конструкции;
- коммутационного устройства.

Современное производство печатных плат основано на гальванических процессах в сочетании с механической обработкой и рядом других дополнительных приемов и технологий. Основными достоинствами ПП являются:

- увеличение плотности монтажа, миниатюризация изделий;
- гарантированная стабильность электрических характеристик;
- повышенная стойкость к климатическим и механическим воздействиям;
- унификация и стандартизация конструктивных изделий;
- возможность комплексной автоматизации монтажно-сборочных работ;
- снижение трудоемкости, материалоемкости и себестоимости.

К недостаткам следует отнести сложность внесения изменений в конструкцию и ограниченную ремонтпригодность. Основными тенденциями развития схемотехнических и конструктивных решений в ЭА (электронной аппаратуре) и в частности в ПП являются:

- использование более высоких тактовых частот;
- увеличение степени интеграции ИЭТ, числа выводов;
- уменьшение шага расположения выводов ИЭТ до 0,3...0,5 мм;
- уменьшение ширины проводников до 40...70 мкм;
- увеличение производства МПП и числа слоев;
- размещение проводников, ИЭТ на внутренних слоях МПП, наружные для контактных площадок, поверхностного монтажа и т.п.;
- рост применения ЭРЭ в корпусах ВОА и МВОА (матрица шариковых, микрошариковых выводов), С8Р (корпус в размер кристалла), РС (перевернутый кристалл);

-увеличение тепловыделения ЭРЭ в связи с повышением их функциональной сложности.

Показателями уровня разработки ПП являются:

- ширина проводников;
- расстояние между проводниками (зазоры);
- диаметр переходных отверстий (межслойных переходов);
- количество межслойных переходов на ПП;
- число проводников между двумя контактными площадками;
- диаметр контактных площадок;
- шаг расположения контактных площадок.

Главным направлением при разработке и создании печатных плат является:

-широкое применение автоматизированных методов проектирования с использованием ЭВМ, подготовки производства и производственного процесса, что значительно облегчает этап разработки и сокращает продолжительность всего технологического цикла, удешевление производства ПП;

-уменьшение затрат на экологические проблемы, доля которых в себестоимости продукции может достигать 30%. На рисунке 6.1 показаны отрасли применения печатных плат.

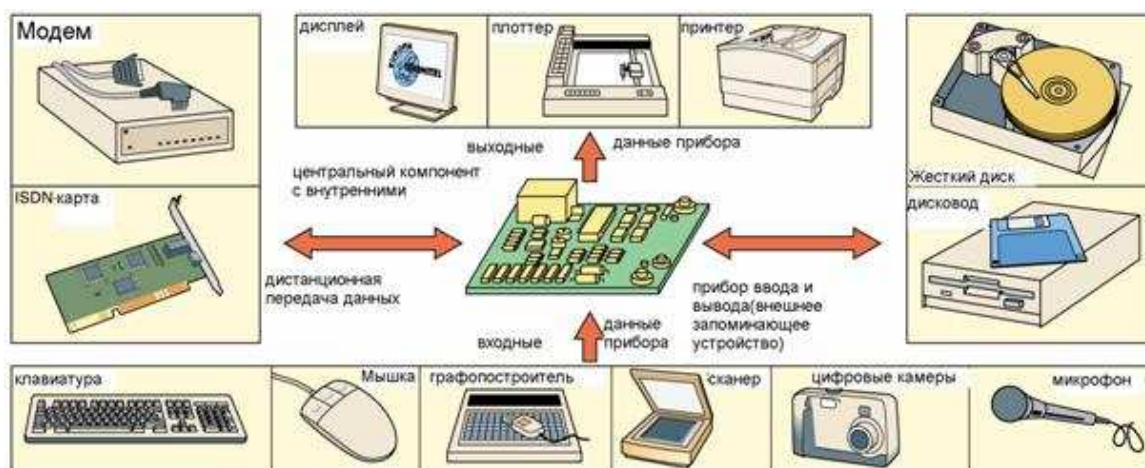


Рис. 6.1. Области применения печатных плат

6.2. Материалы, используемые для изготовления печатных плат

Для изготовления основания ПП и в качестве расходных используют:

- фольгированные или не фольгированные диэлектрики;
- керамические материалы;

- металлические основания (с поверхностным диэлектрическим слоем);
- для склеивания слоев МПП используют изоляционный прокладочный материал (склеивающие прокладки - препреги);
- защитные покрытия - для защиты поверхности ПП от внешних воздействий используют полимерные защитные лаки и пленки;
- другие (фотоматериалы, проводниковые материалы, травящие растворы, адгезивы).

Материалы выбирают исходя из условий эксплуатации, электрических, механических, экономических требований, типа ПП и конструкции ПП, метода изготовления.

Основными требованиями к базовым материалам для изготовления ПП являются:

- хорошие электроизоляционные свойства - поверхностное ($R_{\text{поверх}} = \frac{U}{I}$) и удельное объемное сопротивление ($R_{\text{уд}} = \frac{U}{I \cdot V}$), низкие значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь (для передачи высокочастотных сигналов и снижения нагрева от диэлектрических потерь); прочность изоляции;
- высокая механическая прочность;
- высокая термостойкость, стабильность размеров, теплоустойчивость;
- устойчивость к агрессивным технологическим средам;
- хорошая обрабатываемость при штамповке и сверлении;
- стабильность электрических и механических параметров ПП при климатических воздействиях;
- низкая стоимость и др.

Фольгированные и не фольгированные диэлектрики состоят из наполнителя и связующего (фенольной эпоксифенольной, эпоксидной и др. смолы). В качестве наполнителя используют бумагу, стеклоткань, стекловолокно и пр.

Фольгированные диэлектрики на основе стеклоткани состоят из стеклоткани, смолы, фольги (медной, алюминиевой, резистивной, в частности, нихромовой др., толщиной 5, 9, 12, 18, 35, 50, 70, 105 мкм).

Не фольгированные диэлектрики выпускают двух типов: с адгезионным (клеевым) слоем, например, эпоксикаучуковой композиции толщиной 50...100 мкм на поверхности диэлектрика, который наносят для повышения прочности сцепления осаждаемой в процессе изготовления ПП меди химическим способом; с введенным в объем диэлектрика катализатором, способствующим осаждению химической меди.

Керамические материалы характеризуются:

- стабильностью электрических и геометрических параметров;

-стабильной высокой механической прочностью в широком диапазоне температур;

-высокой теплопроводностью;

-низким влагопоглощением и пр.

Металлические основания изготавливают из алюминия, титана, стали или меди. Их применяют в теплонагруженных ПП для улучшения отвода теплоты от ИЭТ, в ЭА с большой токовой нагрузкой, для повышения жесткости.

При выборе материала основания ПП необходимо обратить внимание на предполагаемые механические воздействия (вибрации, удары, линейное ускорение и т. п.); класс точности ГШ (ширину проводников, расстояние между ними); реализуемые электрические функции требования к электрическим параметрам; объект, на который устанавливается ЭА и условия эксплуатации; быстроедействие; стоимость и пр.

В наименовании марки материала буквы означают: С — стеклотекстолит; Т — теплостойкий; Н — негорючий; Ф — фольгированный; 1—2 — облицованный фольгой с одной или двух сторон; цифры 5...105 — толщину фольги в мкм.

Для изготовления ПП, эксплуатируемых в условиях повышенной опасности возгорания, применяют огнестойкие гетинаксы и стеклотекстолиты марок ГОВ, ГОФВ, СОНФ, СТНФ. Фольгированные стеклотекстолиты марок СТФ, СТФТ, СТПА-5 обладают повышенной теплостойкостью, а СТАП и СТПА-5 применяют для изготовления ПП с повышенной плотностью печатного монтажа по полуаддитивной технологии. Фольгированные стеклотекстолиты марок СТНФ, СОНФ по классу горючести относятся к типу FR-4 по стандарту V-0 UL94. Фольгированный стеклотекстолит СФВН обладает очень высокой теплостойкостью (рабочая температура- 280°С), низким ТКЛР, стабильностью размеров, высоким сопротивлением и применяется для ПП с повышенной плотностью печатного монтажа и многослойной ПП с числом слоев до 25. Материалы, имеющие фольгу толщиной 5 мкм, позволяют изготовить ПП 4 и 5 классов точности.

В качестве материала для печатных проводников используют медь с содержанием примесей не выше 0,05 %. Этот материал обладает высокой электрической проводимостью, относительно стоек по отношению к коррозии, хотя и требует защитного покрытия. При печатном монтаже допустимую токовую нагрузку на элементы проводящего рисунка в зависимости от допустимого превышения температуры проводника относительно температуры окружающей среды выбирают: для фольги - от 100 до 250 $\cdot 10^6$ А/м², а для гальванической меди - 60..100 $\cdot 10^6$ А/м² (ГОСТ 23751-86).

Благодаря малой массе и развитой поверхности печатного проводника сила сцепления его с основанием оказывается достаточной, чтобы выдержать воздействующие на проводник знакопеременные механические перегрузки до 40g в диапазоне частот от 4 до 200 Гц.

ГОСТ 23751—86 ПП устанавливает пять классов точности выполнения элементов конструкции (проводников, контактных площадок, отверстий) и предельных отклонений

Выбор класса точности осуществляется в зависимости от конструктивной сложности, элементной базы, быстродействия, массогабаритных ограничений, условий эксплуатации, стоимости.

Класс точности ПП указывают в конструкторской документации на ПП. Выбор класса точности всегда связан с конкретным производством, так как он обусловлен уровнем технологического оснащения производства. Изготовление печатных плат 5-го класса требует применения уникального высокоточного оборудования, специальных (как правило, дорогих) материалов, безусадочной фотопленки, создания в производственных помещениях «чистой зоны» с термостатированием.

Ширину проводника рассчитывают и выбирают в зависимости от допустимой токовой нагрузки, свойств токопроводящего материала.

Расстояние между элементами проводящего рисунка зависит от допустимого рабочего напряжения, свойств диэлектрика, условий эксплуатации и связано с помехоустойчивостью, искажением сигналов и короткими замыканиями.

Шаг координатной сетки — расстояние между двумя соседними параллельными линиями координатной сетки. Координатная сетка — ортогональная сетка, определяющая места расположения соединений ИЭТ с ПП.

Шаг координатной сетки гарантирует совместимость ПП, ИЭТ, электротехнических изделий, т.е. всех составных элементов, которые монтируют в узлах координатной сетки на ПП.

Диаметры монтажных и переходных отверстий, металлизированных и не металлизированных, должны соответствовать ГОСТ 10317—79. Монтажные отверстия — отверстия для установки ЭРИ. Переходные отверстия — отверстия для электрической связи между слоями или сторонами ПП. Для МПП различают:

- сквозные металлизированные отверстия, обеспечивающие электрическую связь между сторонами ПП и внутренними слоями МПП;

- сквозные металлизированные (скрытые или межслойные переходы) отверстия, обеспечивающие контакт между внутренними слоями;

- несквозные («слепые» или «глухие») отверстия, создающие контакт между наружным и одним из внутренних слоев;

- несквозные (скрытые) микропереходные отверстия, в том числе многоуровневые микропереходы.

Металлизированные отверстия обычно снабжены контактными площадками на наружных слоях, а многослойные платы - еще и на тех слоях, на которых к этим отверстиям подводятся печатные проводники.

Контактные площадки и металлизация отверстий выполняются исключительно из меди. Все металлизированные поверхности могут иметь дополнительное гальваническое покрытие, часто выполняющее в технологическом процессе функцию маски, защищающей участки медной фольги при травлении, что обеспечивает формирование элементов проводящего рисунка. При конструировании печатных плат, в частности при расчете размеров металлизированных отверстий, необходимо учитывать дополнительную толщину гальванического покрытия.

Толщина одно- и двухслойных печатных плат напрямую зависит от используемого материала, который выбирается конструктором по соображениям механической прочности и жесткости. Если исходным материалом является фольгированный диэлектрик (стеклотекстолит и т.д.), то толщина печатной платы определяется именно им.

При производстве печатных плат применяются отечественные и импортные материалы различных производителей, среди которых наиболее известны фирмы Izola (Германия), MC Electronic (Австрия), Молдовизолит (Молдова) и Московский завод изоляционных материалов (Мосизолит).

Толщина многослойных плат зависит от разных факторов, в частности от количества слоев, числа прокладок, толщины используемых материалов и структуры платы.

6.3. Типы печатных плат

Появление печатных плат (ПП) в их современном виде совпадает с началом использования полупроводниковых приборов в качестве элементной базы электроники. Переход на печатный монтаж даже на уровне одно- и двухсторонних плат стал в свое время важнейшим этапом в развитии конструирования и технологии электронной аппаратуры.

Разработка очередных поколений элементной базы (интегральная, затем функциональная микроэлектроника), ужесточение требований к электронным устройствам, потребовали развития техники печатного монтажа и привели к созданию многослойных печатных плат (МПП), появлению гибких, рельефных печатных плат.

Многообразие сфер применения электроники обусловило совместное существование различных типов печатных плат.

1. ОПП - односторонняя печатная плата. Элементы располагаются с одной стороны платы. Характеризуется высокой точностью выполняемого рисунка;
2. ДПП - двухсторонняя печатная плата. Рисунок располагается с двух сторон, элементы с одной стороны. ДПП на металлическом основании используются в мощных устройствах;

3. МПП - многослойная печатная плата. Плата состоит из чередующихся изоляционных слоев с проводящим рисунком. Между слоями могут быть или отсутствовать межслойные соединения;
4. ГПП - гибкая печатная плата. Имеет гибкое основание;
5. РПП - рельефная печатная плата.

6.3.1. Односторонние печатные платы

ОПП представляет собой основание, на одной стороне которого выполнен проводящий рисунок, а на другой стороне размещаются ЭРЭ и интегральные микросхемы. Для соединения выводов навесных элементов с печатными проводниками служат монтажные отверстия.

Односторонние платы по-прежнему составляют значительную долю выпускаемых в мире печатных плат. В предыдущем десятилетии в США они составляли около 70% объема выпуска плат в количественном исчислении, однако, лишь около 10 % в стоимостном исчислении. В Великобритании такие платы составляют около четверти от объема всего производства.

Маршрут изготовления односторонних плат традиционно включает сверление, фотолитографию, травление медной фольги, защиту поверхности и подготовку к пайке, разделение заготовок. Стоимость односторонних плат составляет 0,1 - 0,2 от стоимости двухсторонних плат, это делает их вполне конкурентными, особенно в сфере бытовой электроники.

Отметим, однако, что для современных электронных устройств, даже бытового назначения, односторонние платы часто требуют контурного фрезерования, нанесения защитных маскирующих покрытий, их сборка ведется с посадкой кристаллов непосредственно на плату или поверхностным монтажом.

Пример такой платы в сборе, используемой в цифровом спидометре - альтиметре горного велосипеда, показан на рис. 6.1, б.

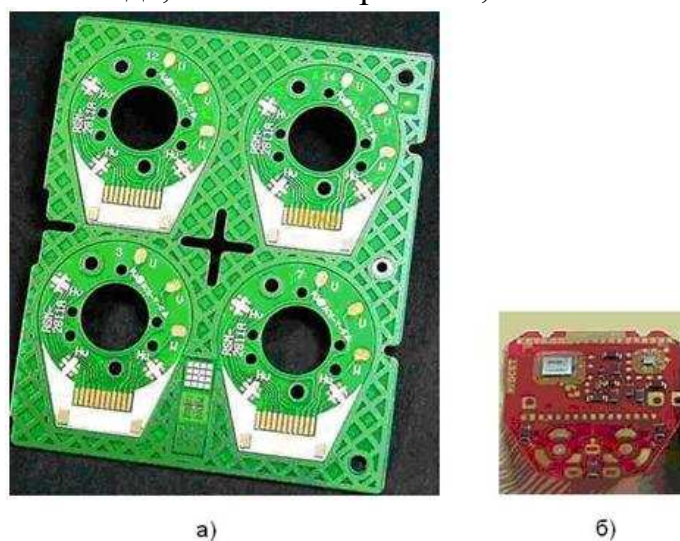


Рис. 6.1. Односторонние печатные платы

Типовые параметры плат:

- макс. размеры заготовки - 400 мм х 330 мм;
- минимальный диаметр отверстия - 0,6 мм;
- минимальная ширина проводника - 0,15 мм;
- минимальный зазор - 0,15 мм;
- толщина фольги - 36 мкм;
- толщина платы - 0,4 - 1,6 мм.

Альтернативой фотохимическому способу изготовления односторонних плат является фрезерование проводящего слоя в медной фольге на двухкоординатных фрезерных станках с ЧПУ. Этот метод наиболее эффективен при изготовлении прототипов плат, он позволяет разработчику получить опытный образец за 1,5 - 2 часа в условиях конструкторского бюро.

6.3.2. Двухсторонние печатные платы

ДПП – ПП на обеих сторонах которых выполнены проводящие рисунки и все требуемые соединения. Размещать ИЭТ можно как на одной, так и на двух сторонах ПП. Переход токопроводящих линий с одной стороны платы на другую осуществляется металлизированными монтажными отверстиями. С помощью такой платы можно выполнять сложные схемы.

Двухсторонние платы составляют в настоящее время значительную долю объема выпуска плат, например, в Великобритании до 47 %. Не претендуя на однозначность оценок, а, опираясь лишь на собственную статистику последних трех лет, можно оценить долю двухсторонних плат в российском производстве в 65 - 75%.

Столь значительное внимание разработчиков к этому виду плат объясняется своеобразным компромиссом между их относительно малой стоимостью и достаточно высокими возможностями. Технологический процесс изготовления двухсторонних плат, также как односторонних, является частью более общего процесса изготовления многослойных ПП. Однако для двухсторонних плат не требуется применять прессования слоев, значительно проще выполняется очистка отверстий после сверления.

Вместе с тем, для большинства двухсторонних плат за рубежом проектные нормы "проводник / зазор" составляют 0,25 / 0,25 мм (40% от объема выпуска), 0,2 / 0,2 мм (18%) и 0,15 / 0,15 мм (18%). Это позволяет использовать такие платы для изготовления широкого круга современных изделий, они вполне пригодны как для монтажа в отверстия, так и для поверхностного монтажа. Нередко на проводники двухсторонних плат наносится золотое покрытие (рис. 6.2а), а для металлизации отверстий используется серебро (рис. 6.2 б).

Опираясь на собственный опыт изготовления прототипов отечественных двухсторонних плат, можно констатировать, что запросы отечественных разработчиков удовлетворяются пока диапазоном проектных норм 0,2 / 0,2 - 0,3 / 0,3 мм, норма 0,15 / 0,15 мм встречается не более, чем в 10% случаев.

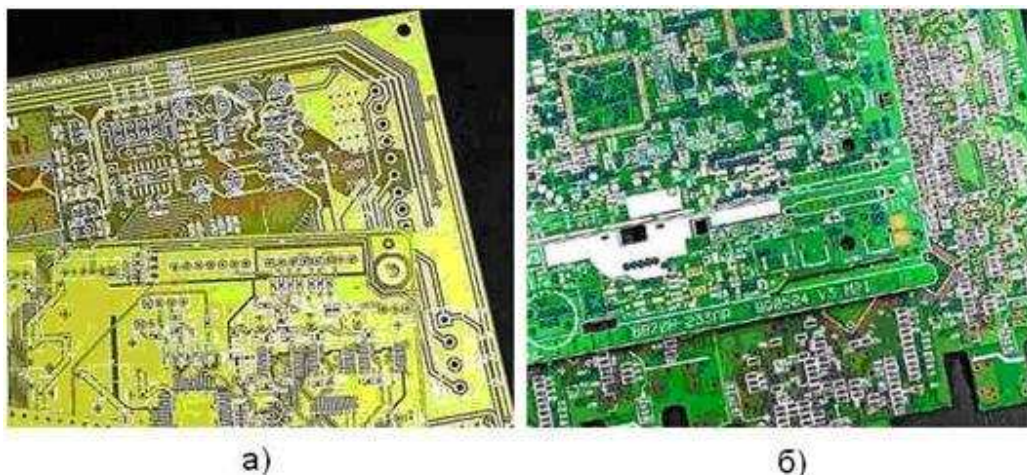


Рис. 6.2. Двухсторонние печатные платы

Типовые параметры двухсторонних плат:

- максимальные размеры заготовки - 300x250...500x500 мм;
- минимальный диаметр отверстия - 0,4...0,6 мм;
- минимальная ширина проводника - 0,15 мм;
- минимальный зазор - 0,15 мм;
- толщина фольги - 18..36 мкм;
- толщина платы - 0,4 - 2,0 мм.

Отметим, что отечественные разработчики, точно также как и их зарубежные коллеги, закладывают в технические задания на изготовление двухсторонних плат нанесение паяльной маски, маркировку, весьма часто - фрезерование плат по сложному контуру. Как правило, сборка таких плат предусматривает поверхностный монтаж компонентов.

6.3.3. Многослойные печатные платы

Многослойная ПП — коммутационный узел, состоящий из чередующихся проводниковых и изоляционных слоев, в котором проводниковые слои соединены между собой при помощи металлизированных отверстий в соответствии с электрической принципиальной схемой. Изоляционные слои пропитаны полимерной смолой в недополимеризованном состоянии, полимеризация которой и склеивание слоев происходит при воздействии определенной температуры на операции прессования.

МПП состоит из нескольких сигнальных слоев, разделенных изоляционными прокладками и, при необходимости экранирующими слоями.

Многослойный печатный монтаж позволяет уменьшить габаритные размеры вследствие повышения плотности монтажа и трудоемкости выполнения монтажных соединений. При этом хорошо решается задача пересечения и распределения проводников. Однако технологический процесс изготовления МПП является трудоемким.

Многослойные ПП характеризуются высокой трассировочной способностью. Их применяют:

- для размещения ЭРЭ с высокой функциональной сложностью: микросборок, БИС, СБИС и пр.;

- для повышения быстродействия ЭА - за счет высокой плотности монтажа уменьшаются габариты и масса аппаратуры; за счет уменьшения ширины проводников, расстояний между ними, размеров контактных площадок, увеличивается число слоев и внутренних межслойных переходов, уменьшается длина электрических связей;

- в ЭА, где должна быть обеспечена электрическая стабильность по всему тракту прохождения сигнала, в частности, за счет сокращения количества контактов разъемов;

- в ЭА, где требуется экранирование значительного количества электрических цепей;

- в ЭА, где требуется устойчивость к внешним воздействиям.

Наличие экранирующих слоев между любыми внутренними слоями или на наружных слоях позволяет экранировать схему от внешних и внутренних воздействий, их также можно использовать в качестве эффективных теплоотводов и создания специальных структур.

Недостатки МПП:

- высокая стоимость;

- значительная трудоемкость изготовления и проектирования МПП;

- более высокий по сравнению с ДПП процент брака;

- возможность нарушения электрических связей в местах контакта торцов контактных площадок внутренних слоев и столбика меди в отверстиях в процессе эксплуатации;

- высокие требования к точности изготовления элементов печатного рисунка;

- значительная разница ТКЛР меди, диэлектрика и смолы и пр.

Многослойные печатные платы (МПП) составляют две трети мирового производства печатных плат в ценовом исчислении, хотя в количественном выражении уступают одно- и двухсторонним платам.

По своей структуре МПП значительно сложнее двухсторонних плат. Они включают дополнительные экранные слои (земля и питание), а также несколько сигнальных слоев. Структура МПП представлена на рисунке 6.3.

Для обеспечения коммутации между слоями МПП применяются межслойные переходы (vias) и микропереходы (microvias).

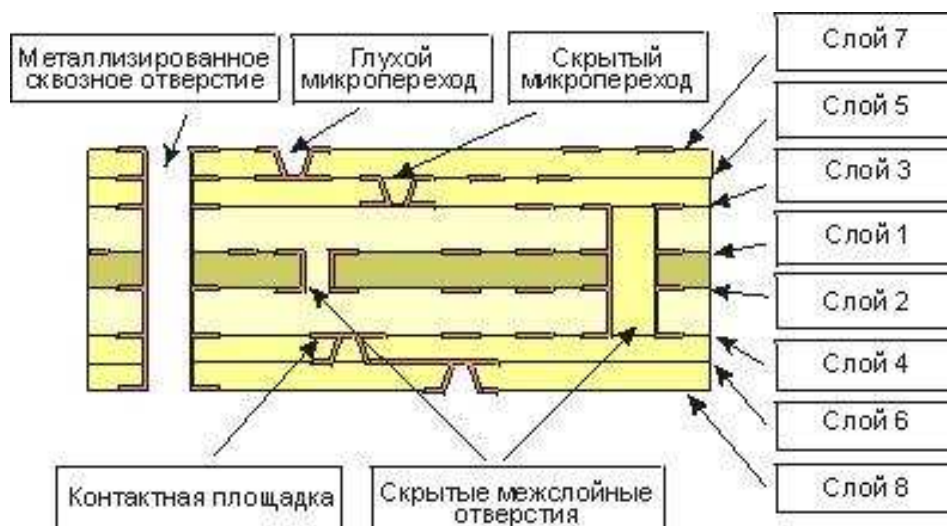


Рис. 6.3. Структура МПП

Межслойные переходы (рис. 6.4) могут выполняться в виде сквозных отверстий, соединяющих внешние слои между собой и с внутренними слоями, применяются также глухие и скрытые переходы.

Глухой переход - это соединительный металлизированный канал, видимый только с верхней или нижней стороны платы. Скрытые же переходы используются для соединения между собой внутренних слоев платы. Их применение позволяет значительно упростить разводку плат, например, 12-слойную конструкцию МПП можно свести к эквивалентной 8-слойной коммутации.

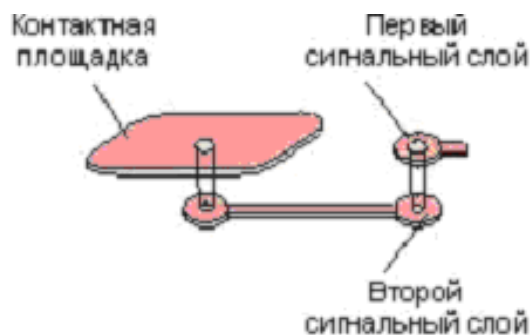


Рис. 6.4. Микропереходы в контактных площадках

Специально для поверхностного монтажа разработаны микропереходы, соединяющие между собой контактные площадки и сигнальные слои.

Для изготовления МПП производится соединение нескольких ламинированных фольгой диэлектриков между собой, для чего используются склеивающие прокладки – препреги (рис. 6.5). Поэтому толщина МПП растет непропорционально быстро с ростом числа сигнальных слоев.

8-слойная печатная плата 3,25 +/- 0,03

МАТЕРИАЛ	ТОЛЩИНА
Медная фольга	0,017
Препрег 2113(2)	0,19 +/- 0,02
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 7628(2)	0,36 +/- 0,03
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 7628(2)	0,36 +/- 0,03
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 2113(2)	0,19 +/- 0,02
Медная фольга	0,017

Рис. 6.5. 8-слойная ПП

В связи с этим необходимо учитывать большое соотношение толщины платы к диаметру сквозных отверстий. Например, для МПП с диаметром отверстий 0,4 мм и толщиной 4 мм это соотношение равно 10:1, что является весьма жестким параметром для процесса сквозной металлизации отверстий.

Тем не менее, даже учитывая трудности с металлизацией узких сквозных отверстий, изготовители МПП предпочитают достигать высокой плотности монтажа за счет большего числа относительно дешевых слоев, нежели меньшим числом высокоплотных, но, соответственно, более дорогих слоев. В современных МПП широко применяется поверхностный монтаж всех видов современных интегральных схем, включая, как это показано на рисунке, бескорпусных схем, заливаемых компаундом после разварки выводов.

На рисунках 6.6 и 6.7 приведены примеры МПП с поверхностным монтажом.

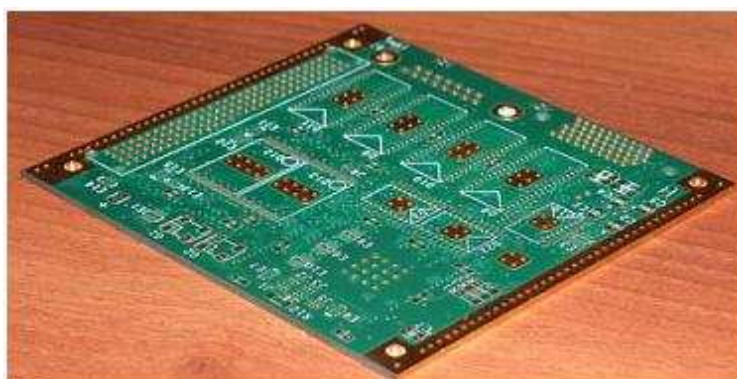


Рис. 6.6. МПП со слоями теплоотводов (термослой меди 200 мкм)

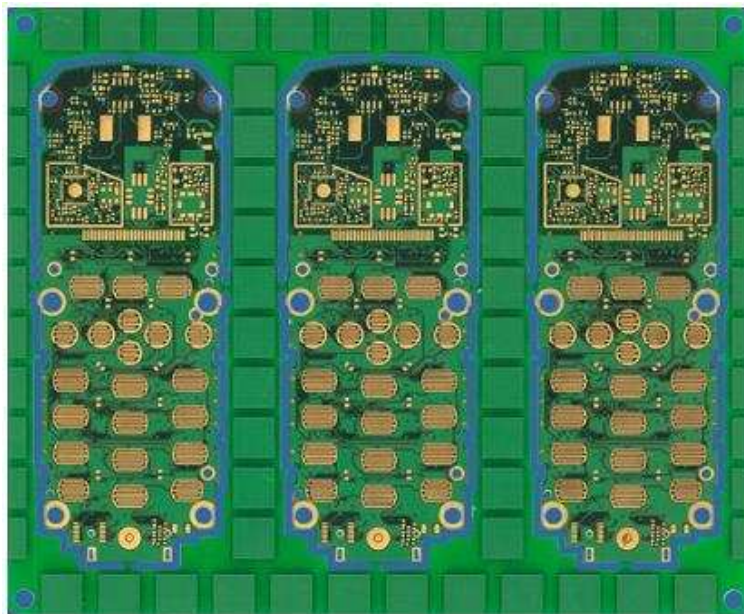


Рис. 6.7. Шестислойная печатная плата – мультиплата (три платы на одной заготовке) со сложными внутренними вырезами, покрытая Ni/Au

6.3.4. Гибкие печатные платы

Гибкая печатная плата имеет гибкое основание. По расположению проводников она аналогична обычной двусторонней печатной плате.

Использование гибких диэлектрических материалов для изготовления печатных плат дает как разработчику, так и пользователю электронных устройств ряд уникальных возможностей. Это, прежде всего - уменьшение размеров и веса конструкции, повышение эффективности сборки, повышение электрических характеристик, теплоотдачи и в целом надежности.

Если учесть основное свойство таких плат - динамическую гибкость - становится понятным все возрастающий объем применения таких плат в автомобилях, бытовой технике, медицине, в оборонной и аэрокосмической технике, компьютерах, в системах промышленного контроля и бортовых системах.

Гибкие печатные платы (ГПП) изготавливаются на полиамидной или лавсановой пленке и поэтому могут легко деформироваться даже после формирования проводящего рисунка. Большая часть конструкций гибких ПП аналогична конструкциям печатных плат на жесткой основе. Основной областью применения ГПП является использование их в качестве соединителей между различными частями электронных устройств выполненных на базе «обычных» (жестких ПП), в качестве замены кабельных соединений. Кроме того, на базе гибких печатных плат могут выполняться катушки индуктивности, антенны и т.д. Гибкие платы дают возможность создавать уникальные конструкции, которые позволяют решать вопросы межсхемных соединений и монтажа, обеспечивая при этом гибкость системы. Технологии гибких печатных плат предлагают много жизнеспособных решений, среди

которых особенно перспективны решения, связанные с созданием пространственных структур межсоединений.

В таблице 6.1 приведены виды ГПП.

Таблица 6.1.

Пример	Описание
	Односторонние ГПП наиболее распространены в этом классе плат, поскольку проявляют наилучшую динамическую гибкость. Контактные площадки таких плат расположены с одной стороны, в качестве материала проводящей фольги чаще всего используется медь.
	Односторонние ГПП с двухсторонним доступом имеют один проводящий слой, контактные площадки к которому выполнены с обеих сторон платы.
	Двухсторонние ГПП имеют два проводящих слоя, которые могут быть соединены сквозными металлизированными переходами (на рисунке проводники нижнего слоя идут перпендикулярно проводникам верхнего слоя). Платы этого типа обеспечивают высокую плотность монтажа, часто применяются в электронных устройствах с контролируемым полным сопротивлением (импедансом) плат.
	Многослойные ГПП содержат не менее трех проводящих слоев, соединенных металлизированными отверстиями, которые обеспечивают межслойное соединение. В таких платах проще реализовывать высокую плотность монтажа, поскольку не требуется обеспечивать большие значения соотношений "высота/диаметр отверстия". Прогнозируется применение таких ГПП для сборки на них многокристальных интегральных схем.
	Жестко-гибкие ПП являются гибридными конструкциями и содержат как жесткие, так и гибкие основания, скрепленные между собой в единую сборку и электрически соединенные металлизированными отверстиями. Наиболее распространены в изделиях оборонной техники, однако расширяется их применение и в промышленной электронике.
	ГПП с местным ужесточением (укреплением). В таких платах возможно размещение внутри гибкой основы жестких металлических деталей. Получаются многоступенчатым процессом фотолитографии и травления.

6.3.5. Рельефные печатные платы

Конструкция и технология изготовления РПП существенно отличаются от традиционных двухсторонних (ДПП) и многослойных (МПП) плат.

РПП представляет собой диэлектрическое основание, в которое углублены медные проводники, выполненные в виде металлизированных

канавок, и сквозные металлизированные отверстия, имеющие форму двух сходящихся конусов. Такие канавки и отверстия заполняются припоем (рис. 6.8). Обычно РПП имеют два проводящих и один изоляционный слой.

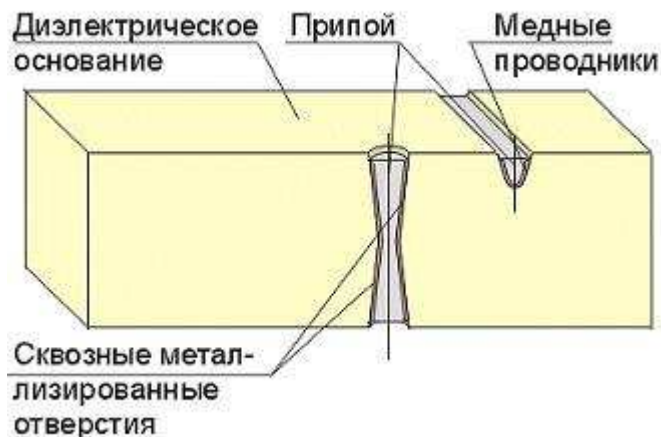


Рис. 6.8. Рельефная печатная плата

Технологии изготовления рельефной заготовки:

- фрезерование;
- прессование;
- лазерная гравировка.

Как видно на рисунке 6.9 элементы проводящего рисунка могут быть следующих видов:

- прямолинейные проводники на первом и втором слоях;
- переходные металлизированные отверстия (для электрического соединения элементов рисунка на проводящих слоях);
- сквозные монтажные металлизированные отверстия (для монтажа штыревых выводов электронных компонентов);
- металлизированные ламели (для монтажа планарных выводов электронных компонентов);
- глухие монтажные металлизированные отверстия (для монтажа планарных выводов электронных компонентов, формованных для пайки встык).

Проводники прямолинейны и параллельны осям X и Y, что связано с особенностью технологического оборудования изготовления канавок. Диаметр переходных металлизированных отверстий на поверхности диэлектрического основания не превышает ширины проводника. При этом контактные площадки вокруг переходных отверстий отсутствуют. Это обеспечивает возможность установки переходов в шаге трассировки (в соседних дискретах трассировки) без всяких ограничений. Обычно трассировка РПП проводится в строго

ортогональной системе, что означает проведение горизонтальных проводников на одном проводящем слое, а вертикальных проводников - на другом.

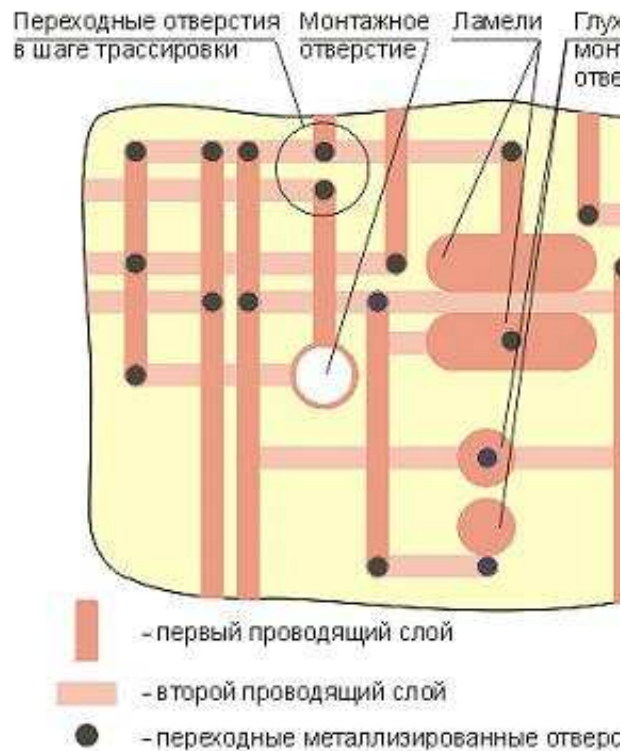


Рис. 6.9. Элементы проводящего рисунка РПП

На рисунке 6.10 приведен пример Изготовление рельефной заготовки методом фрезерования.

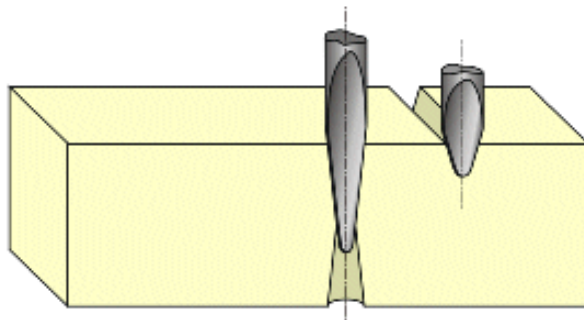


Рис. 6.10. Изготовление рельефной заготовки методом фрезерования

Технологии нанесения проводящего слоя:

- литье ;
- металлизация;
- порошковая технология.

Это обеспечивает большие трассировочные возможности, чем при других системах, но при этом появляется большое число переходов. Однако для РПП, в

отличие от любых других, переходы повышают, а не понижают надежность платы.

Основным параметром конструкции РПП, определяющим другие ее параметры, является минимальный шаг трассировки. Здесь существенно использование переменного шага трассировки. Первоначально это диктовалось применяемым технологическим оборудованием, обеспечивавшим перемещение с дискретностью 10 мкм. В дальнейшем обнаружилось, что это повышает трассировочные возможности за счет симметричного прохождения трасс через большинство монтажных точек. Кроме того, переменный шаг позволяет повысить технологичность путем смещения центров переходных отверстий от краев монтажных точек.

7. Технологические процессы изготовления печатных плат

7.1. Основные методы изготовления печатных плат

Методы изготовления ПП определяют возможности реализации технико-экономических показателей устройств.

Существует большое количество разнообразных методов изготовления ПП и

группируют их следующим образом:

-субтрактивный (subtratio, латин.) - с удалением (обычно травлением) фольги с фольгированного диэлектрика;

-аддитивный (additio) - с добавлением (нанесением) проводников на поверхность нефольгированного диэлектрика;

-полуаддитивный, сочетающий преимущества первых двух;

-комбинированный.

Краткая характеристика наиболее используемых методов дана в таблице 7.1.

Таблица 7.1.

	Метод изготовления	Достоинства	Недостатки
Субтрактивные	Химический (позитивный и негативный)	Высокая производительность, автоматизация, низкая себестоимость	Низкая плотность, исп. фольгированных материалов, экологические проблемы
	Механическое формирование зазоров (оконтуривание)	Не создает экологических проблем	Высокая себестоимость, низкая производительность
	Лазерное гравирование	Высокая производительность	Дорогое оборудование
	Фотоаддитивный - с толстослойным химическим меднением	Использование нефольгированных материалов, высокое разрешение.	Длительность толстослойного химического меднения, плохая электрическая изоляция.

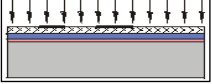
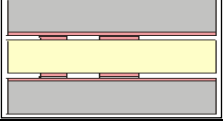
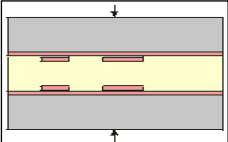
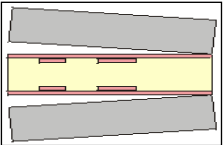
Аддитивные	Аддитивный с использованием фоторезиста	Изоляция платы защищена фоторезистом, использование нефольгированных материалов	Длительность толстослойного химического меднения, необходимость в фоторезисте
	Нанесение токопроводящих красок или металлонаполненных паст	Использование нефольгированных материалов, не создает экологических проблем	Низкая проводимость и разрешающая способность
	Штамповка (впрессовывание проводников в подложку)		
	Метод переноса-ПАФОС (полностью аддитивное формирование отдельных слоев).	Использование нефольгированных материалов, высокая разрешающая способность, точность, сопротивление изоляции, возможность формирования проводников требуемой толщины.	
Полуаддитивные	Классический полуаддитивный метод	Использование нефольгированных материалов, получение тонких проводников	Недостаточная адгезия металлизации к диэлектрической подложке
	Аддитивный с дифференциальным травлением	Высокое разрешение, меньшие расходы за счет отсутствия нанесения и удаления резиста	Стоимость электрохимических операций, сложность управления дифференциальным травлением
	Рельефные платы	В диэлектрическое основание углублены медные проводники и сквозные металлизированные отверстия	

Комбинированные	Комбинированный негативный	Сложности технологического характера при изготовлении, низкое качество изоляции и металлизированных отверстий	
	Комбинированный позитивный	Высокое разрешение, хорошая надежность изоляции, хорошая адгезия	Подтравливание проводников, высокая стоимость
	Тентинг - метод	Меньшая стоимость по сравнению с предыдущим, экологичность	Меньшая разрешающая и трассировочная способность

7.1.1. Аддитивная технология

В таблице 7.2 приведены основные технологические операции аддитивной технологии изготовления ПП.

Таблица 7.2.

Эскиз	Технологическая операция
	Осаждение меди на поверхность носителя
	Нанесение фоторезиста
	Экспонирование
	Проявление
	Осаждение никеля
	Осаждение меди в окна фоторезиста
	Снятие фоторезиста
	Набор пакета носителей
	Прессование пакета
	Механическое удаление носителей
	Травление тонкого медного слоя

7.1.2. Комбинированный позитивный метод

Комбинированный позитивный метод включает в себя следующие этапы.

1. Изготовление фотошаблонов и подготовка информации.

Подготовка информации:

- разработка принципиальной схемы;
- трассировка;
- доработка файлов.

Изготовление фотошаблонов:

- резка заготовок;
- изготовление базовых отверстий;
- ламинирование;
- экспонирование;
- размещение фотошаблона;
- экспонирование фоторезиста.
- химическая обработка;
- проявление;
- травление;
- удаление резиста;
- прессование;
- сверление отверстий;
- металлизация отверстий;
- химическая обработка;
- нанесение резиста;
- электролитическое нанесение меди;
- оловянно свинцовое покрытие;
- удаление резиста;
- травление меди;
- удаление припоя.
- нанесение защитного покрытия.

7.1.3. Тентинг-метод

В таблице 7.3 приведены основные технологические операции тентинг-метода изготовления ПП.

Таблица 7.3.

Эскиз	Технологическая операция
	Сверление отверстий в заготовке фольгированного диэлектрика
	Металлизация всей поверхности и стенок заготовки
	Нанесение пленочного фоторезиста
	Получение защитного рисунка в пленочном фоторезисте (экспонирование, проявление)
	Травление медной фольги в окнах фоторезиста
	Удаление защитного рисунка фоторезиста

7.2. Струйная печать как способ изготовления электронных плат

Одним из передовых подходов к изготовлению электронных устройств является разработка компании Seiko Epson.

В ноябре 2004 года во время специально организованной пресс-конференции в Токио специалисты Seiko Epson представили первую в мире, согласно их утверждению, сверхтонкую многослойную микроэлектронную плату (рис. 7.1), которая изготовлена с применением метода струйной печати.

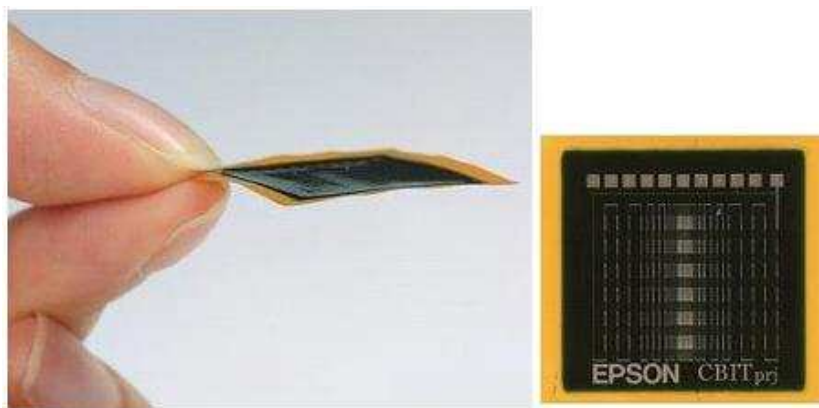


Рис. 7.1. Пример сверхтонкой многослойной платы

Продемонстрированная Seiko Epson печатная (во всех смыслах этого слова) плата обладает размерами всего 20x20 мм, а толщина ее равняется лишь 200 мкм. Данная разработка является частью исследовательского проекта, рассчитанного на три года (реализация его началась в июне 2003 г.). Участники проекта ставят перед собой две основные цели: во-первых, добиться

существенного снижения энергоемкости процесса изготовления печатных плат, во-вторых, создать миниатюрные, легкие, высокопроизводительные платы, пригодные для использования в конечных устройствах, в частности в вычислительном и коммуникационном оборудовании.

На протяжении уже многих лет для размещения медных соединений на многослойных платах применяется метод фотолитографии. Однако становится все труднее изготавливать подобным образом миниатюрные и быстрые, но в то же время дешевые платы, поскольку упомянутый метод требует постоянного уменьшения толщины медных слоев, создания отдельной фотомаски для каждого из них, формирования электрических соединений между слоями (что само по себе является весьма сложным процессом) и, наконец, большого количества различных химических компонентов и реактивов - фоторезиста, проявителя, вытравливателей, обесцвечивающих средств и т. п. В то же время технология струйной печати имеет множество преимуществ в сравнении с фотолитографией. Так, она предусматривает использование гораздо меньшего объема материалов, а сам процесс является "сухим", т. е. не происходит загрязнение воздуха вредными жидкостями. Помимо этого, процедура изготовления плат с помощью струйной печати состоит из меньшего числа шагов и легко адаптируется к различным типам устройств (поскольку не применяются фотомаски), что особенно важно, когда необходимо выпускать малые партии плат разной конструкции. Наконец, данная технология оптимально подходит для работы с многослойными структурами, так как межслойные соединения могут быть напрямую нанесены на плату. Одним словом, струйная печать позволяет производить многослойные платы высокой плотности, имеющие малую стоимость, причем - без какого-либо ущерба для окружающей среды.

Если говорить непосредственно о разработке, продемонстрированной Seiko Epson, то это 20- слойная плата размером 20x20 мм и толщиной 200 мкм (без учета твердой подложки). При формировании топологии соединений на ней применялось два типа чернил - изолирующие и проводящие. В последних содержатся микрочастицы серебра, диаметр которых составляет от нескольких до десятков нанометров. Следует отметить, что в будущем планируется использовать и другие проводящие материалы, в том числе алюминий, никель и магний - это должно способствовать еще большему снижению стоимости "отпечатанных" плат. Размеры поперечного сечения соединений в показанной плате равны 50x4 мкм (соответственно ширина и высота), а минимальное расстояние между ними - 110 мкм. В будущем инженеры компании рассчитывают довести толщину соединений до 15 мкм. Общая протяженность линий связи в представленной плате около 5 м.

В процессе изготовления плат методом струйной печати используется два вида чернил - проводящие и изолирующие, при этом в случае многослойных плат (рис. 7.2) формирование электрических соединений между слоями не представляет особой проблемы в отличие от применяемой в настоящее время

технологии фотолитографии. Плюс ко всему, новый метод позволяет легко переключиться с одной конструкции выпускаемых плат на другую.

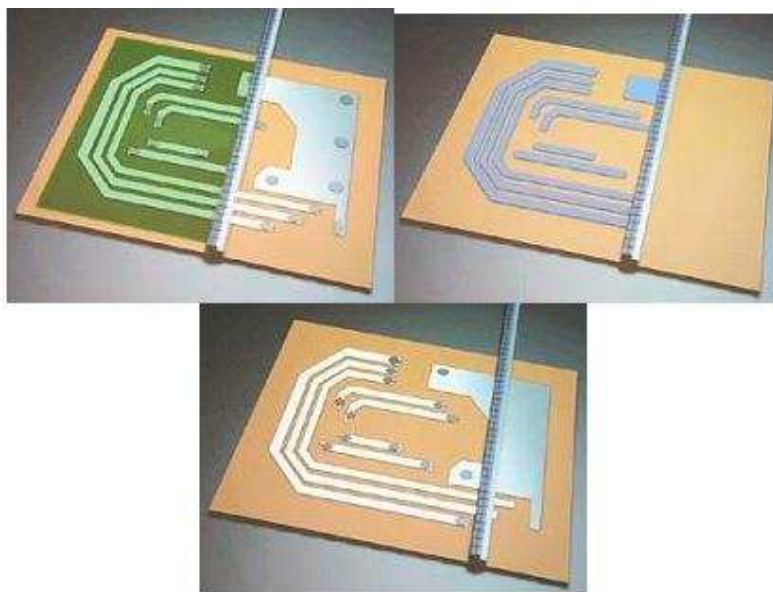


Рис. 7.2. Послойное нанесение слоев на плату

Аналогичные разработки ведутся фирмой E Ink, которая была основана в 1997 г. группой сотрудников лаборатории Media Lab Массачусетского технологического института во главе с Джозефом Джекобсоном (Joseph Jacobson).

Работы в данном направлении продвигаются весьма успешно. Около года назад E Ink удалось привлечь к разработкам компанию Lucent Technology, и вот ими представлен первый прототип гибкого дисплея. Данное устройство имеет видимую область площадью 25 кв. дюймов и содержит несколько сотен пикселей. Основой его служат две новейшие технологии - собственно электронные чернила от E Ink, а также "пластиковые транзисторы" от Bell Labs (последняя технология предполагает создание интегрированных схем на основе пластичных материалов). Технология E Ink предполагает использование двухцветных сферических микрочастиц, за счет изменения ориентации которых и формируется изображение (основой ее служат результаты исследований, проводившихся в центре Xerox PARC еще в 70-х годах).

Сфера потенциального применения подобных дисплеев очень широка - ноутбуки, электронные книги, карманные устройства и т. п. Ниже представлен термочувствительный элемент, напечатанный с помощью обычного струйного принтера (рис 7.3).

На этом ученые останавливаться не собираются. Их новая цель - создать технологию, которая позволила бы изготавливать микросхемы методом обычной печати.

Идея заключается в том, чтобы производить чипы путем напыления на подложку специальных "полупроводниковых" чернил. К настоящему времени в MIT Media Lab уже смогли найти способ получения жидкости с необходимыми

свойствами, состоящей из агрегатов размером приблизительно 100 атомов каждый. Как считают исследователи, этого вполне достаточно, чтобы "печатать" структуры с характерными размерами порядка 200 нм, что уже сравнимо с уровнем интеграции современных микросхем.

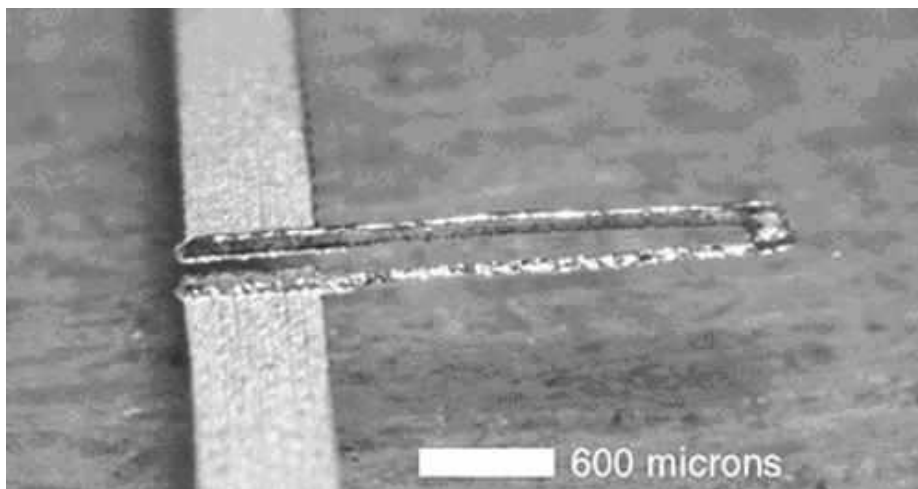


Рис. 7.3. Термочувствительный элемент, напечатанный с помощью обычного струйного принтера

Более того, специалисты Media Lab полагают, что задуманная ими технология позволит в конечном итоге получать не только отдельные микросхемы, но и устройства, если можно так выразиться, больших масштабов, вплоть до законченных вычислительных систем. Над проблемой исследования в области "печатных" микросхем работает и ряд других исследовательских лабораторий, но их разработки основаны на применении органических полимеров. Одним из главных преимуществ таких материалов является их дешевизна, но дело в том, что они изначально имеют ограничения в плане наращивания скорости чипа. В то же время группа Джекобсона предлагает использовать жидкие суспензии ("чернила") на основе неорганических полупроводников, подобных тем, из которых изготавливаются микропроцессоры, и позволяющих достичь значительной производительности. Кроме таких очевидных преимуществ как дешевизна, простота и быстрота изготовления описанный подход имеет еще и целый ряд других достоинств. В частности, напыление производится при температуре не выше 300 градусов Цельсия, что позволит использовать в качестве подложки легкоплавкие материалы, в первую очередь все тот же пластик. Благодаря простоте и дешевизне проводящих полимеров их использование в электронике способно повлечь за собой серьезные изменения в самой идеологии полупроводниковой отрасли, сделав возможным перенос в нее, ни больше ни меньше, модели открытого кода: практически каждый желающий сможет брать ту или иную микросхему, вносить в нее коррективы и печатать!

7.3. Технологии настоящего и будущего

Над созданием разнообразных "пластиковых" электронных устройств в настоящее время работают немало компаний и исследовательских лабораторий. Правда, предлагаемые на сегодняшний день решения в большинстве своем предполагают некий сплав новых и традиционных технологий. Например, одним из самых распространенных подходов является нанесение полупроводниковых материалов на пластиковую подложку. Однако на самом деле существует и другой вариант - использование пластичных материалов с проводящими свойствами, а точнее, - проводящих полимеров. Первые, самые важные результаты в данной области, по сути ставшие отправной точкой для всех дальнейших исследований, были получены Хидеки Ширакавой (Hideki Shirakawa) из Университета г. Цукуба (Япония), Аланом Хигером (Alan J. Heeger) из Калифорнийского университета и Аланом Макдармидом (Alan G. MacDiarmid) из Университета Пенсильвании. Первое сообщение о них появилось в 1977 г. в "Journal of Chemical Society". Сущность Основой для токопроводящих полимеров служат высокомолекулярные вещества с молекулами, в которых имеются чередующиеся двойные связи. В чистом виде они не являются проводниками заряда, поскольку электроны в них локализованы вследствие участия в образовании сильных химических связей. Для освобождения электронов применяются различные примеси. После их ввода появляется возможность перемещения зарядов (электронов и дырок) вдоль молекулярной цепи.

Электролюминесцентные полимеры.

Одним из важных шагов в развитии полупроводниковых полимеров стало получение в самом начале 90-х годов электролюминесцентных полимеров. Они также являются проводящими, а излучение в них происходит за счет рекомбинации зарядов и дырок. К настоящему времени такие полимеры уже находят широкое применение в электронной индустрии: именно на их основе строятся дисплеи на органических светодиодах (OLED - Organic Light-Emitting Display), рассматриваемые многими специалистами как очень серьезный конкурент ЖК-дисплеям на рынке карманных устройств. Полимерные проводники и полупроводники считаются сейчас основой органо-электроники 21-го века. Конечно, вещества на основе органических углеродных молекул хуже проводят электричество чем, скажем, медь, и несколько хуже кремния в качестве основы микрочипов. Но они легко принимают любую необходимую форму, более легки и дешевы. К тому же, изменяя химический состав, можно варьировать свойства этих веществ в гораздо более широких пределах, чем неорганических.

8. Сборка и монтаж печатных плат.

Операции сборки и монтажа являются наиболее важными операциями технологического процесса изготовления ПП с точки зрения влияния на технические характеристики устройства. Они весьма трудоемки. Так, трудоемкость сборки узлов во всем сборочно-монтажном производстве превышает 50%, при этом доля подготовки ИЭТ составляет около 10%, установки ИЭТ на ПП - более 20% и пайки —30%. Поэтому автоматизация и механизация именно этих групп операций дает наибольший эффект в снижении трудоемкости. Основные пути снижения трудоемкости — применение автоматизированного оборудования, использование групповой обработки, внедрение новой элементной базы и техники поверхностного монтажа. Последнее направление наиболее эффективно в плане повышения производительности труда и снижения трудоемкости монтажа. Рассмотрим основные операции и переходы автоматизированной сборки и монтажа ПП. Операции позиционирования ПП, нанесения клея и припойной пасты выполняются на сборочном автомате. Далее плата поступает на светомонтажный стол, где производятся установка на нее ИЭТ малой применяемости или отсутствующих в накопителях сборочного автомата, нанесение клея, фиксация. Полностью собранная ПП поступает на пайку. В условиях единичного и мелкосерийного производства, когда применение сборочных автоматов не оправдано по экономическим или иным соображениям, технологический процесс сразу может начинаться со сборки на светомонтажных столах. После исправления дефектов паяных соединений, отмытки от остатков флюса и влагозащиты полученный ПП поступает на слесарные операции для формирования законченного модуля (присоединение соединителей, установка в рамку, креплений направляющих и т.п.). Перед влагозащитой узел на ПП проходит внутрисхемный и функциональный контроль. Кроме того, проводится межоперационный визуальный контроль оптическими тестерами, автоматический лазерный тепловой контроль качества паяных соединений и др. на рисунке 8.1 показан монтаж ПП



Рис. 8.1. Монтаж печатных плат

Подготовительные монтажные операции. Фиксация ИЭТ.

Смонтированные на ПП ИЭТ необходимо зафиксировать, чтобы они не изменили своего положения из-за неосторожного обращения или не были сдвинуты во время пайки под действием гидравлического напора припоя или по другой причине.

Простейший способ фиксации — подгибка выводов после их введения в монтажные отверстия ПП. Многие сборочные автоматы снабжены для этого узлами подгибки и подрезки выводов. Другой распространенный способ фиксации — с помощью уступа или зига на выводе.

Усилие гибки определяется по формуле:

$$P = 1,25BS\sigma_B K + P_{np} \quad (8.1)$$

где B , S - ширина и толщина вывода ИЭТ, мм; σ_B - временное сопротивление материала вывода, Па; P_{np} - усилие прижима, составляющее обычно 25...30% от усилия изгиба.

Усилие формовки можно рассчитать по формуле двухугловой гибки с прижимом:

$$P = (2...4) BS\sigma_B K + P_{np} \quad (8.2)$$

Значение длины формовки обычно близко к 7 мм, а выступ вывода под нижней поверхностью ПП к 2 мм. Эти размеры можно определить по формуле:

$$L \geq 0,5D_k + t_{nn} + 2 \quad (8.3)$$

где L - длина формовки, мм; D_k - диаметр корпуса ИЭТ, мм, t_{nn} - толщина ПП. Известна технология автоматизированной подготовки к пайке с фиксацией выводов в отверстиях легкоплавкими жидкостями — припоем или органическим составом. В последнее время для поверхностного монтажа используются два способа фиксации ИЭТ — клеем и припойной пастой. В последнем случае используют составы, обладающие высокой вязкостью и хорошо удерживающие ИЭТ до момента пайки.

Групповая обрезка выводов.

Надежное предварительное крепление выводов ИЭТ легкоплавкими жидкостями позволяют осуществить механизированную групповую обрезку выводов с нижней стороны ПП на длине 0,7...1,5 мм непосредственно перед пайкой. Недостаточное заземление выводов прижимным элементом формовочного штампа при групповой формовке и обрезке (при разнотолщинности выводов) может привести к недопустимо высоким напряжениям, передающимся на корпус ИЭТ. Растягивающие усилия в местах заделки выводов в корпус не должны превышать значений, указанных в таблице 8.1.

Нанесение припоя.

Если припой не вводится в соединение непосредственно во время пайки из ванны, волны или с паяльника, его необходимо наносить предварительно.

Это можно делать путем напрессовки проволоки, установки формованных заготовок припоя (колец, полос и т. п.) либо дозированием припойной пасты.

Таблица 8.1.

Сечение вывода, мм ²	Растягивающее усилие на один вывод, Н	Сечение вывода, мм ²	Растягивающее усилие на один вывод, Н
До 0,1	2,5	0,2...0,5	10,0
0,1...0,2	5,0	0,5...2,0	20,0

Вклейка ЭРЭ в ленту.

В линиях для установки таких ИЭТ, как резисторы и конденсаторы в цилиндрических корпусах с осевыми выводами, предусматривается предварительная вклейка их в липкую ленту в последовательности, заданной программой сборки на ПП. Для этой цели разработано несколько моделей автоматов переклейки ИЭТ из первичной липкой ленты, называемых также секвенсорами (от английского слова sequence — последовательность). Некоторые из них предусматривают подачу ЭРЭ не только из первичных липких лент, но и из другого вида упаковки. Работает секвенсер следующим образом. Вдоль транспортера расположено несколько катушек с лентой и ИЭТ, вклеенных отдельно по номиналам. По заданной программе производится вырезка ИЭТ из лент.

Вырезанные ИЭТ доставляются транспортером к узлу вклейки в ленту, где производится вклейка во вторичную программированную ленту, необходимую для сборочного автомата. Перед узлом вклейки может располагаться устройство проверки номиналов и полярности ИЭТ, исключающее неверную подачу ИЭТ на установку.

Сборочные автоматы.

Эффективность использования сборочного автомата для монтажа ИЭТ зависит:

- от геометрии ПП;
- допусков ПП и компонентов;
- геометрии и многообразия компонентов;
- расположения компонентов на ПП;
- характеристик сборочного оборудования;
- величины партии и годовой программы.

Важной характеристикой сборочной машины является устройство совмещения или установки, которое называется сборочной головкой. Как правило, сборочная головка выполняет следующие функции:

- принимает компонент из подающего устройства;
- ориентирует компонент
- прихвывает и затем обрезает выводы;
- вводит вывод в отверстие или совмещает с контактной площадкой.

Основным требованием, предъявляемым к сборочным головкам, является надежность ее функционирования - точная установка или совмещение выводов, стабильность и повторяемость движений в течение срока службы.

Основными источниками погрешностей являются:

- сборочный автомат;
- печатная плата;
- ИЭТ.

Таким образом, точность установки ИЭТ учитывает влияние всех ошибок - ошибок позиционирования приводов, погрешности в изготовлении платы, погрешности размеров компонентов, погрешности алгоритмов распознавания реперных знаков и компонентов и т.д. На рисунке 8.2 показано оборудование для производства печатных плат.



Рис. 8.2. Оборудование для производства печатных плат

Рассмотрим причины и величину погрешностей установки или совмещения.

При установке компонентов со штыревыми выводами на эффективное отклонение конца вывода влияют следующие факторы:

$-\delta_A$ - допуски сборочного автомата (на ширину направляющей, на положение направляющих, на колебания узлов автомата, погрешности, возникающие в результате возвратно - поступательных движений при установке);

$-\delta_B$ - допуски на ширину вывода ИЭТ;

$-\delta_y$ - допуск пры установки на устройство позиционирования;

$-\delta_o$ - допуск положения монтажного отверстия.

Диаметр монтажного отверстия должен быть не менее, чем:

$$d = 2[\delta_A + \delta_B + \delta_y + \delta_o]^2]^{1/2} \quad (8.4)$$

При расчете можно использовать данные таблицы 8.2.

Таблица 8.2.

Вид допуска	Обозначение	Значение допуска,
Допуск на ширину вывода	δ_A	$\pm 0,05$
Допуски узлов сборочного автомата	δ_B	$\pm 0,1$
Допуск на положение монтажного	δ_y	$\pm 0,1$
Допуск при установке на устройство позиционирования	δ_o	$\pm 0,1$

9. Методы контроля печатных плат.

Важнейшими критериями для оценки возможности использования ПП являются наличие электрических соединений, обеспечивающих необходимую нагрузочную способность, электрическая прочность изоляции между проводящими слоями, легкость установки навесных элементов и хорошие свойства контактов, а также высокая надежность в условиях транспортировки и эксплуатации.

9.1. Система контроля качества печатных плат Aplite 3

Aplite 3 – это автоматизированная система визуального контроля качества печатных плат на любой стадии изготовления.

Важнейшей особенностью системы является то, что она использует стандартный планшетный сканер для ввода изображений контролируемых образцов. Никакого специального оборудования не требуется.

Контролируемые изделия:

- позитивные и негативные черно-белые и цветные фотошаблоны, изготовленные на стекле или пленке;
- заготовки печатных плат после сверления металлизированных отверстий;
- заготовки печатных плат с нанесенным топологическим рисунком на любой стадии изготовления;
- готовые печатные платы без элементов.

Обнаруживаемые дефекты:

- искажения масштаба (растяжение пленки фотошаблона);
- разрывы проводников;
- перемычки между проводниками;
- нарушение допусков на минимальную ширину печатного проводника и минимальное расстояние между проводниками;
- отсутствующие и смещенные отверстия;
- отверстия, имеющие неверный диаметр;
- отсутствующие и смещенные контактные площадки;
- контактные площадки, имеющие неверный размер или искаженную форму;
- нарушения кольца контактной площадки;
- все расхождения образца и эталона, размеры которых превышают пороговое значение.

Основной метод контроля – сравнение с эталоном. В качестве эталона используется информация из САПР разработчиков печатной платы.

Система осуществляет автоматическое совмещение шаблона и эталона. Результаты работы системы выдаются в наглядной форме. Удобные средства навигации по изображениям и дефектам позволяют оператору быстро принимать решения (рис. 9.1).

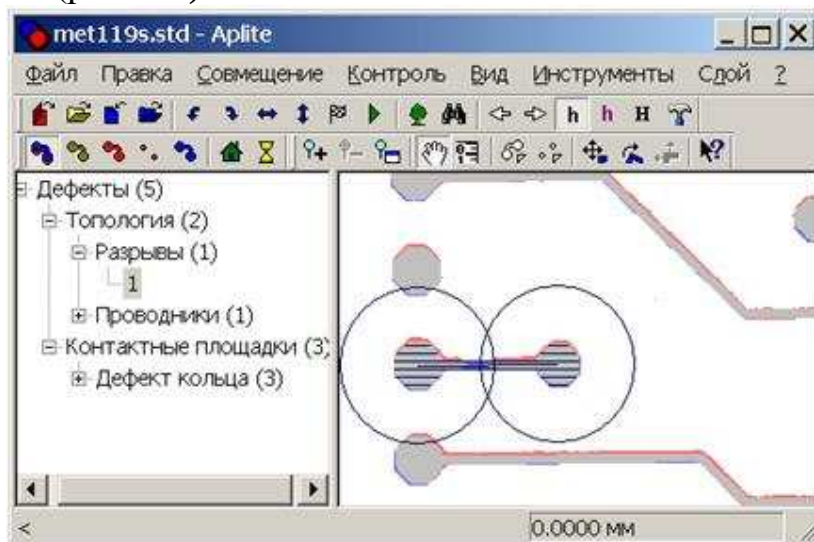


Рис. 9.1. Интерфейс Системы Aplite 3

Точность контроля определяется максимальным разрешением сканера, объемом оперативной памяти и быстродействием вычислительной системы. Имеется возможность контроля заготовок по частям.

После сканирования очередного образца Aplite автоматически преобразует его в бинарную форму, затем осуществляется автоматическое совмещение шаблона и эталона и автоматическая процедура обнаружения дефектов, включающая контроль топологии и контактных площадок. После завершения процесса пользователю выдается отчет (рис. 9.2).

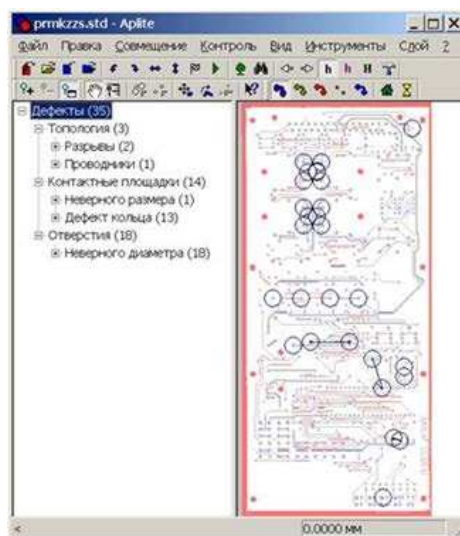


Рис. 9.2. Совмещение шаблона и эталона

Активным является слой совмещения, который формируется из двух изображений: синий цвет соответствует эталону, красный – шаблону. Нажимая клавишу Пробел, пользователь поочередно просматривает все дефекты, обнаруженные системой (рис. 9.3.)

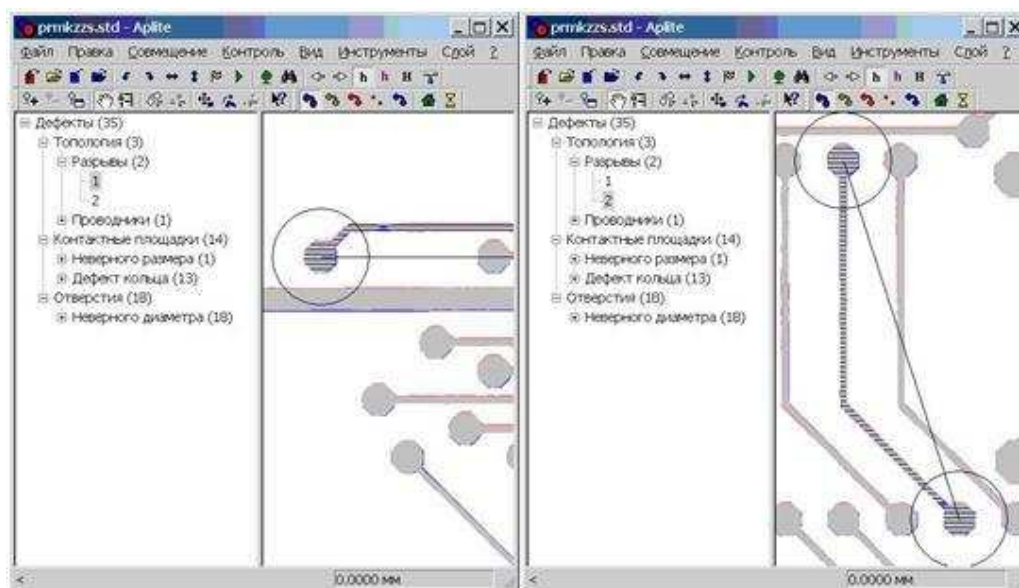


Рис. 9.3. Дефект разрыва

Далее обнаружено нарушение ширины проводника (рис. 9.4).

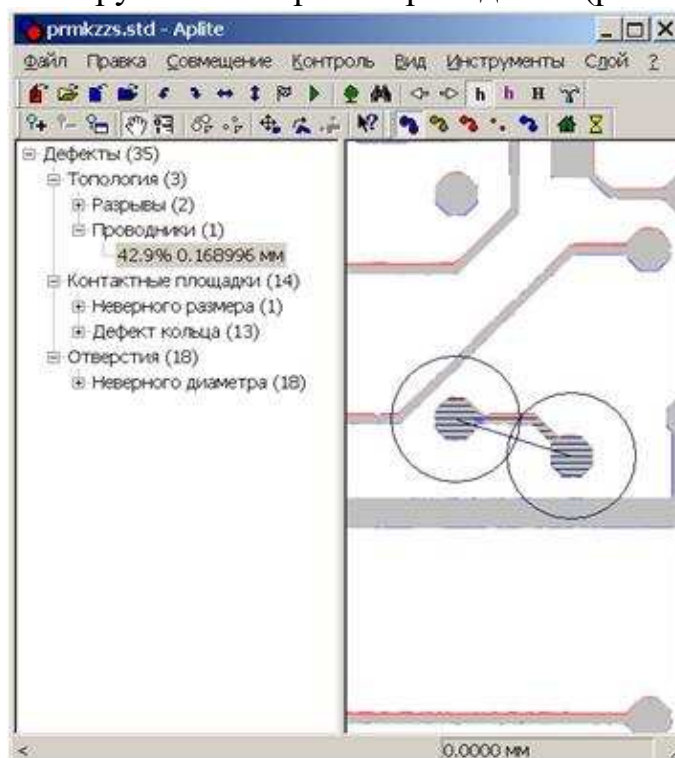


Рис. 9.4. Дефект проводника

Контактные площадки и отверстия этой платы также содержат дефекты (рис. 9.5).

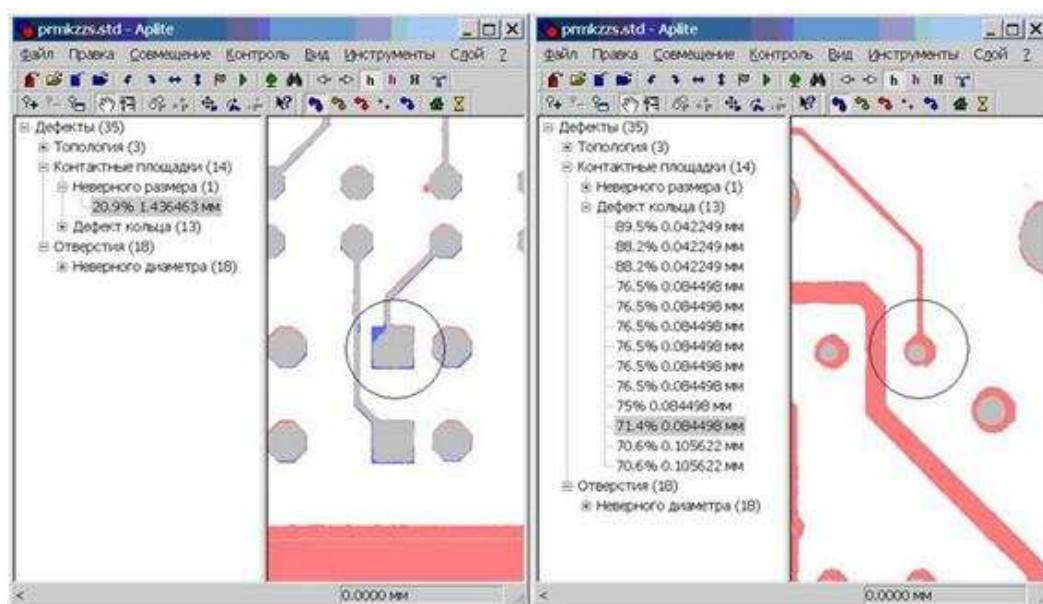


Рис. 9.5. Дефект контактных площадок и отверстия

Большинство дефектов имеют численную характеристику, выраженную в процентах. Благодаря этому наиболее грубые из них выдаются первыми (рис. 9.6).

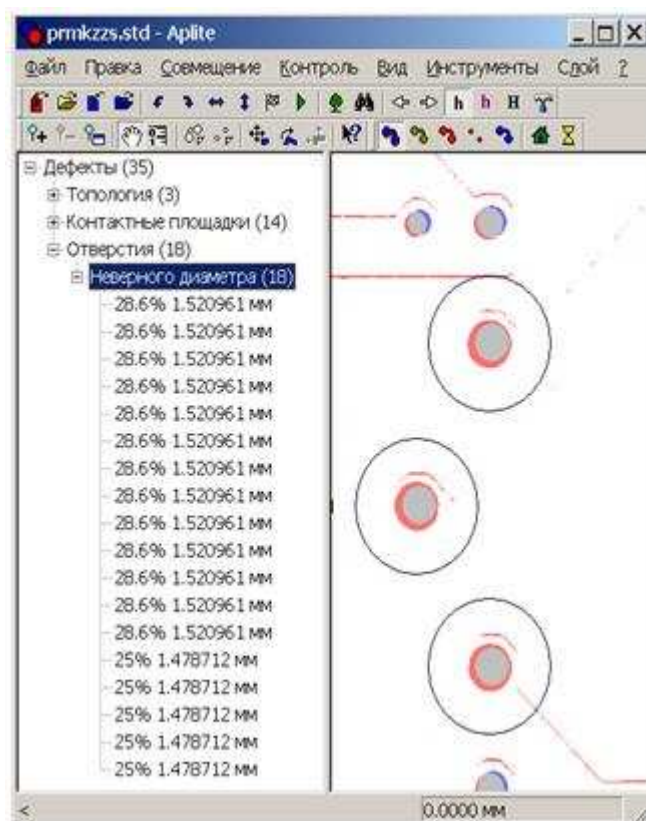


Рис. 9.6. Численная характеристика дефектов

Система способна показывать дефекты непосредственно на цветном изображении образца (рис. 9.7).

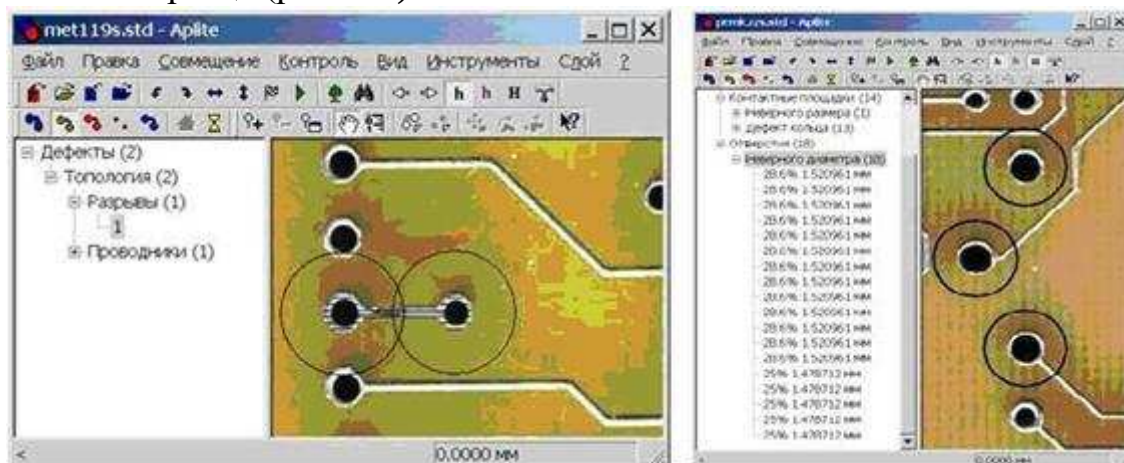


Рис. 9.7. Дефекты, показанные на цветном изображении образца

Система может настраиваться на любые цвета контролируемых изделий (рис. 9.8).

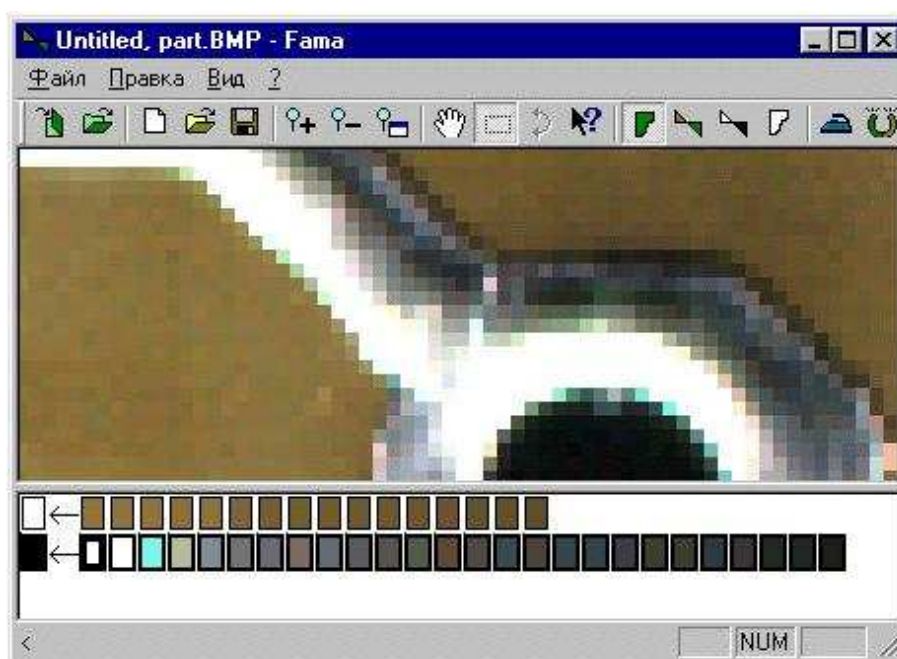


Рис. 9.8. Настройка на цвета контролируемых изделий

Пара цветовых наборов внизу окна - типичные представители цветов положики и металлизации. Руководствуясь этой информацией, система формирует черно-белое изображение для контроля (рис. 9.9).

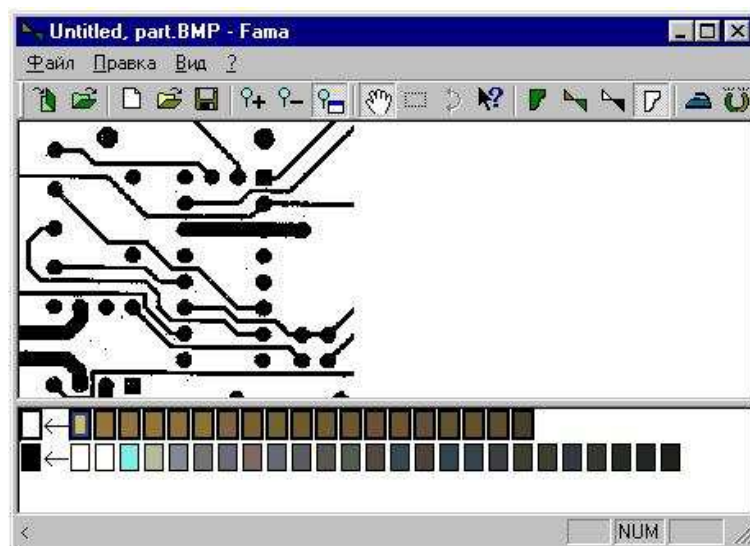


Рис. 9.9. Изображение для контроля

9.2. Электрический контроль печатных плат

Электрический контроль - важная часть производства печатных плат. Он предназначен для проверки целостности - разобщения печатных плат, что включает в себя проверку на обрыв цепи, короткое замыкание, правильность топологии (рис. 9.10).

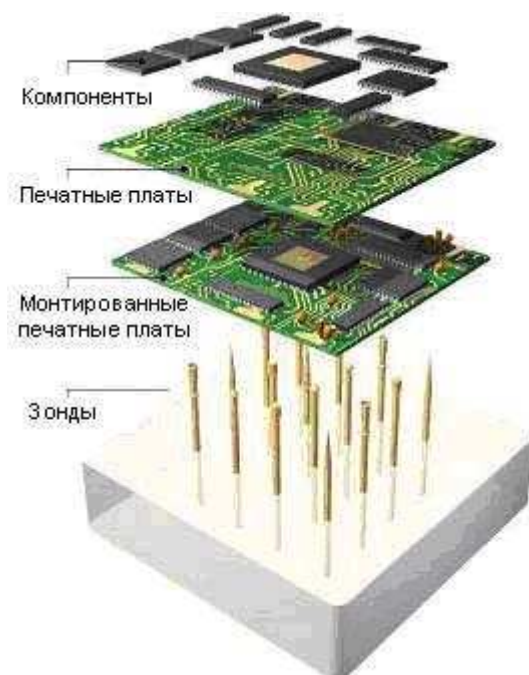


Рис. 9.10. Электрический контроль

В основе электрического контроля лежит наличие в системе "зонд-проводник платы-зонд" или "зонд-проводник платы-компонент-проводник платы-зонд" контакта. Наличие проводимости в платах обусловлено взаимным расположением цепей и их целостностью в топологии плат.

Электрическим контролем занимается целый ряд фирм: Everett Charles Technologies(ECT), ATG, Mania и так далее. Необходимым объектом для

контроля является печатная плата вместе со своей топологией: контактными площадками, зазорами между ними, цепями. Для контроля этих параметров на правильность и точность служат специальные тестовые системы (или системы контроля), в которых для непосредственной проверки используются специальные зонды. Чаще всего они размещаются на адаптере. С помощью программного обеспечения подготовки данных обеспечивается непрерывный и мало затратный по времени контроль.

Существуют две основные технологии электрического контроля:

- ложе гвоздей;
- подвижные зонды.

Считается, что технология «ложе гвоздей» предусматривает контроль печатных плат с адаптером, а технология «подвижные зонды» - безадаптерный контроль. Такое положение дел обусловлено только тем, что в технологии «ложе гвоздей» подпружиненные зонды размещаются неподвижно, а в технологии «подвижные зонды» они находятся в движении как сверху платы, так и снизу.

Контроль с адаптером более производительный, чем контроль подвижными зондами, однако недостатком "адаптерного" контроля является то, что для каждой платы требуется свой адаптер. Этот отрицательный аспект ликвидируется путём создания универсальных адаптеров, на котором регулярно просверлены отверстия с определённым шагом.

Сетчатые тестеры.

Также для контроля печатных плат применяются универсальные сетчатые тестеры. Они способны производить электрический контроль одиночной или двойной плотности контрольной точки. Сетчатые тестеры обладают высокими скоростью и производительностью вплоть до 1000 плат в час. Они подходят для контроля плат больших серий. Характерной отличительной чертой большинства сетчатых тестеров является их эксплуатационная гибкость и универсальность, достигаемые посредством варьирования зон контроля и свободой выбора адаптера. Наиболее интересной деталью, улучшающей их работу с высокой точностью,- это свободный доступ к верхней и нижней сторонам зоны контроля с вариантом поворота рабочей (верхней) стороны зоны контроля и автоматический самоконтроль.

Подвижные зонды.

Технология контроля печатных плат подвижными зондами облегчает проведение контроля и ликвидирует необходимость в контроле с адаптером. Помимо сохранения времени и стоимости в контроле печатных плат, она предусматривает единственный метод проведения контроля точности геометрической схемы платы с контактными площадками в 2 мил и шагом в 3 мил.

Фирмы, занимающиеся проведением электрического контроля, достигли заметных успехов в совершенствовании этой технологии. Фирма ЕСТ, которая занимается разработкой оборудования для подвижного контроля с 1981 года, выпускает в настоящее время целый ряд установок зондового контроля. В настоящее время широко распространено производство систем контроля линейными зондами, которые способны работать с промышленной производительностью.

Фирмой ЕСТ разработана полностью автоматическая установка проверки печатных плат. Эта система специально предназначена для поиска трудно находимых ошибок и опасных участков.

10. Современное оборудование для изготовления радиоэлектронной аппаратуры

В качестве примера рассмотрим Вакуумный Универсальный Пост (ВУП-4). Будут рассмотрены основные его узлы, назначение и принцип действия.

Вакуумный универсальный пост ВУП-4 предназначен для осуществления операций электронно-микроскопического препарирования, связанных с распылением в вакууме. Прибор может быть использован для металлизации материалов в вакууме, нагрева и охлаждения исследуемых образцов, очистки образцов и распыления материалов с помощью ионной бомбардировки. Установка за один прием позволяет напылять несколько слоев различных металлов (до пяти) различной толщины каждый. Внешний вид установки показан на рисунке 10.1.

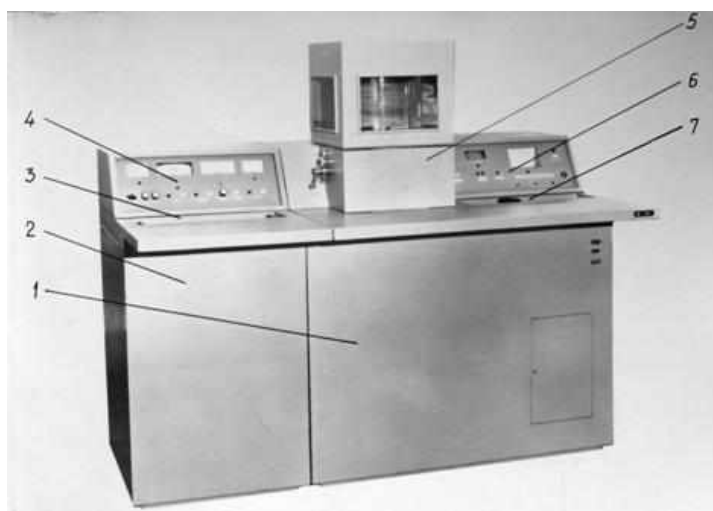


Рис. 10.1. Внешний вид установки

ВУП-4 состоит из правой вакуумной (1) и левой электрической (2) стоек. В вакуумной стойке в верхней части установлен столик 5 для вакуумного препарирования. Справа и слева от столика расположены наклонные 6,4 и горизонтальные 7,3 пульты управления.

На рисунке 10.2. показано основание установки.

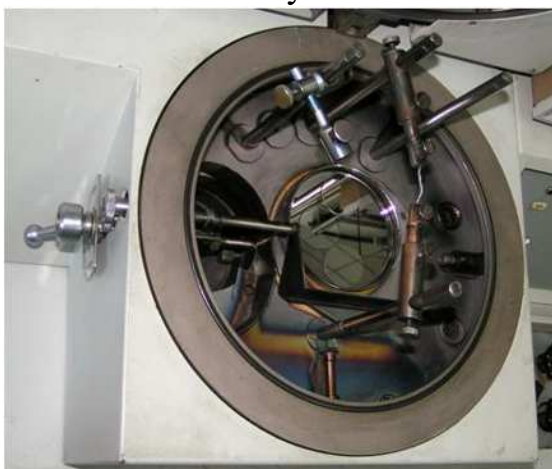


Рис. 10.2. Основание установки

Все операции по приготовлению образцов производятся в рабочем объеме, образуемом основанием и колпаком.

Основание с установленными на нее образцами, на которые необходимо напылить никель. Два кронштейна (анод и катод) удерживают вольфрамовую проволоку, на которую наматывают необходимое количество металла. При пропускании тока вольфрам нагревается и никель под действием внутреннего давления равномерно распыляется.

Маятниковое устройство (рис. 10.3) предназначено для получения во время напыления равномерного по толщине слоя по всей площади объекта. С этой целью столик с объектами совершает одновременно равномерное вращательное и поступательное движение.

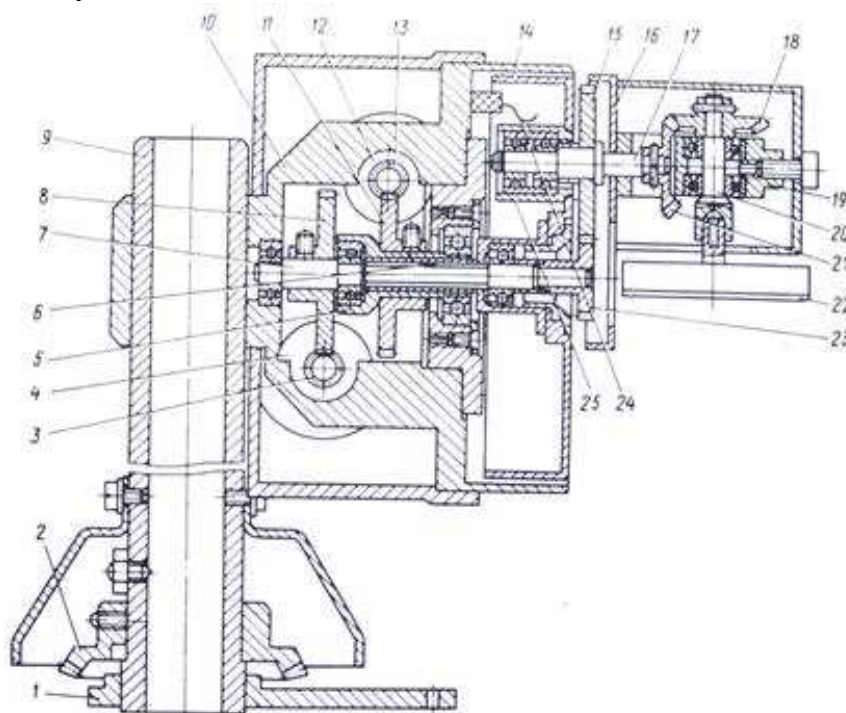


Рис. 10.3. Маятниковое устройство

Устройство для ионного травления (рис. 10.4) устанавливается в гнездо. Устройство представляет собой разрядную камеру, состоящую из основания 5, стеклянного цилиндра 4, с анодом 2 и штуцера 6. Столик 3, являющийся катодом, охлаждается с помощью жидкого азота. Температура охлаждения может регулироваться путем нагрева спирали 7 и измеряется термопарой 8. Термопара выполнена из пары медь - константан.

Напуск газа в разрядную камеру производится через систему напуска по трубке 12.

Сопрягаемые детали разрядной камеры притерты между собой и при работе давление в ней будет поддерживаться более высокое, чем в рабочем объеме. Поэтому газовый разряд происходит только в разрядной камере.

Для откачки газа из разрядной камеры перед ионным травлением предусмотрен клапан 9, с помощью которого производится тонкая регулировка давления в разрядной камере.

Анод соединен с высоковольтным вводом проводом 1.

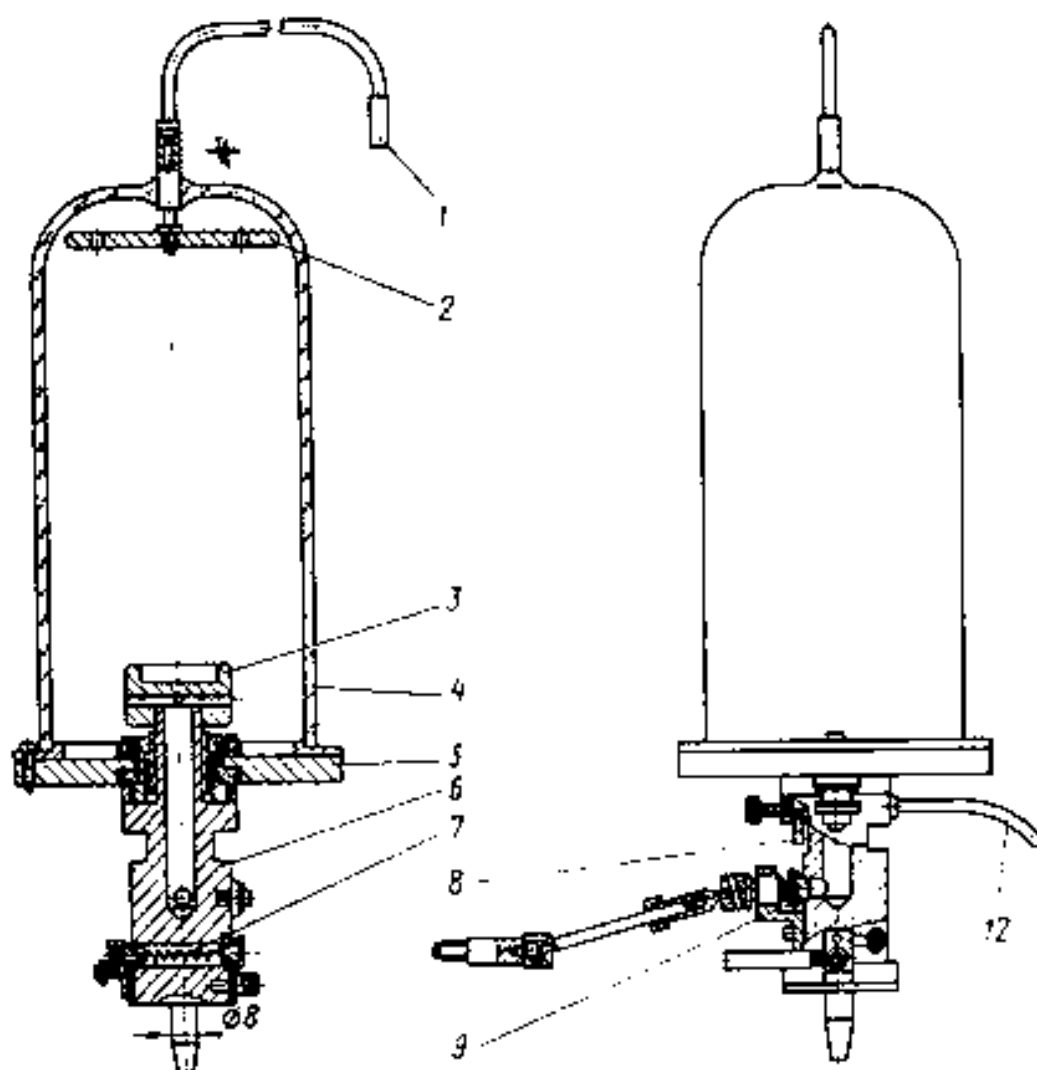


Рис. 10.4. Устройство для ионного травления

Датчик толщины (рис. 10.5) устанавливается в рабочем объеме и является индикатором толщины напыляемого слоя. Датчик состоит из корпуса 6, в котором расположены источник света 1, светопроницаемая пластина и фоторезистор 5. Диафрагмы 4 и полости 3 образуют световую ловушку, которая улавливает отраженные лучи от испарителя и таким образом уничтожает влияние засветки.

Вакуумная блокировка (рис. 8.82) предназначена для автоматического отключения напряжения высоковольтного выпрямителя при напуске газа в рабочий объем до давления, равного атмосферному.

Штуцер 1 блокировки вставляется в грибовое соединение столика. При атмосферном давлении в рабочем объеме сильфон 3 находится в нормальном (разжатом) состоянии и размыкает контакты микропереключателя 6. При откачке рабочего объема сильфон 3 сжимается и контакты микропереключателя 6 замыкаются.

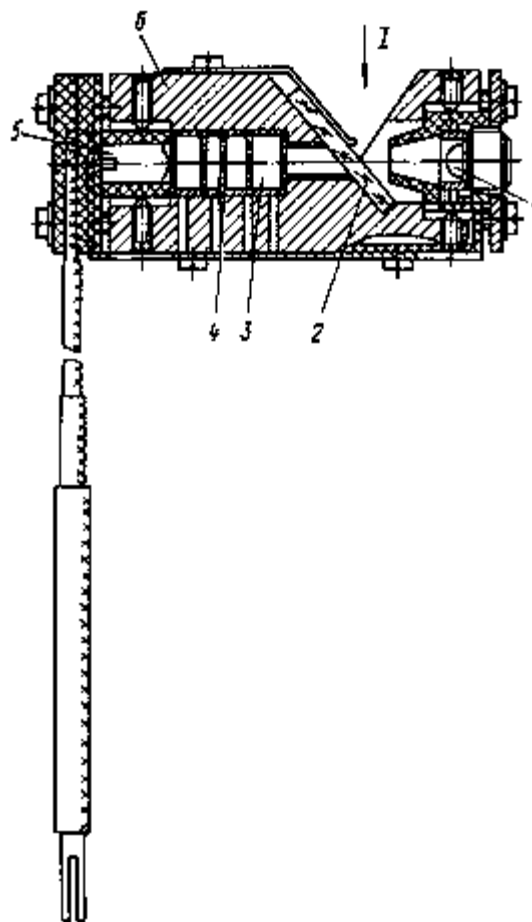


Рис. 10.5. Датчик толщины

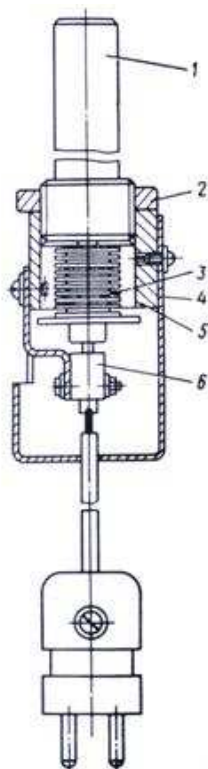


Рис. 10.6. Вакуумная блокировка

Вакуумная система состоит из следующих элементов: 1-рабочий объем; 2-манометрически термопарный преобразователь; 3-вентиль откачки рабочего объема на предварительный вакуум МВ2; 4-отсекающий вентиль МВ1; 5-вакуумный механический насос; 6-вентиль откачки баллона МВ3; 7-баллон; 8-высоковакуумный паромасляный насос; 9-манометрический ионизационный преобразователь; 10-высоковакуумный клапан; 11-винт напуска воздуха в рабочий объем.

Вакуумная система (рис. 10.7) предназначена для создания необходимого вакуума в рабочем объеме. Создание вакуума происходит в два этапа. Вначале создается предварительный вакуум при открытом вентиле 3 и закрытом вентиле 6. После создания предварительного вакуума закрывается вентиль 3 и открывается вентиль 6. В результате работы высоковакуумного паромасляного насоса достигается необходимое давление под колпаком.

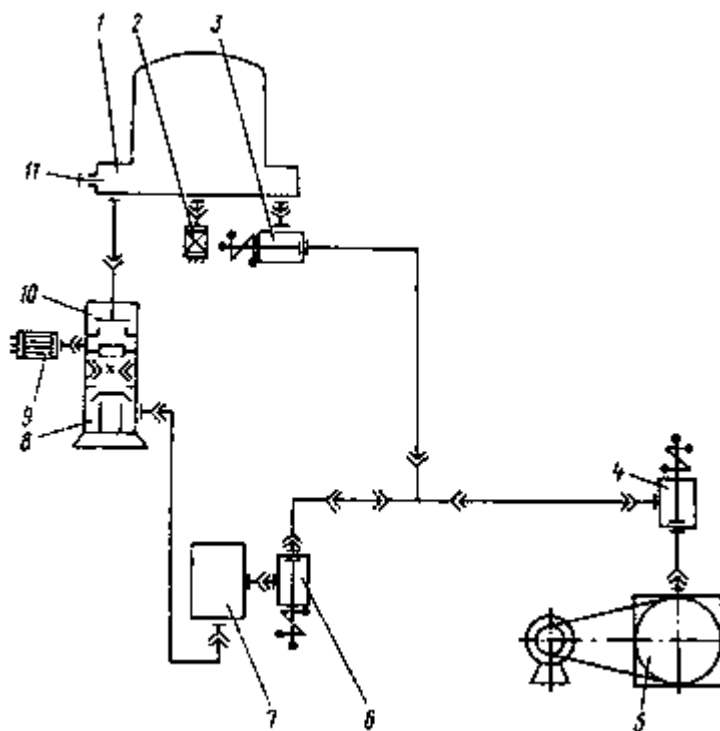


Рис. 10.7. Вакуумная система

Управление и контроль за работой прибора производится с пультов управления (рис. 10.7 а, б).

В правом пульте размещена схема блока измерения вакуума и схема блока управления вакуумной системой.

Блок измерения вакуума предназначен для измерения остаточного давления в рабочем объеме прибора.

При измерении остаточного давления выше 0,133 Па ($1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.) используется манометрический термопарный преобразователь ПМТ-4М, на основе которого строится термопарный манометр. Давление ниже 0,133 Па измеряется с помощью ионизационного манометра, построенного на основе преобразователя ПМИ-2.

В левом пульте управления размещена схема блока управления устройства для поворота и наклона объектов. Скорость и период вращения устройства устанавливаются с помощью резисторов.



а)



б)

Рис. 10.7. Пульты управления.

Данная установка обладает достаточно обширными возможностями, однако не лишена и минусов, например, таких как:

- невозможность напыления металлов на не термоустойчивые материалы;
- невозможность напыления металлов на пористые материалы (из-за высокого вакуума).

Список литературы

1. Ахаганян Т.М., Интегральные микросхемы. Учебное пособие для вузов. -М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. Билибин К.И., Власов А.И., Журавлева Л.В. и др. «Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры». Учебник для вузов, под ред. Шахнова В.А. -М.:Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.
3. Коваленко А.А., Петропавловский М.Д., Тонкоплёночные элементы в микроэлектронике. Основы проектирования и изготовления. - М.: Радиотехника, 2011.
4. Медведев А., «Печатные платы. Конструкции и материалы». - М.: Техносфера, 2005.
5. Медведев А., «Технология производства печатных плат». - М.: Техносфера, 2005.
6. Пирогова Е.В., «Проектирование и технология печатных плат». Учебник. - М.: ФОРУМ: ИНФА - М, 2005.
7. Ханке Х, Фабиан Х., «Технология производства радиоэлектронной аппаратуры». - М.: Энергия, 1980.
8. Ярочкина Г.В., Радиоэлектронная аппаратура и приборы. Монтаж и регулировка. - М.: Академия, 2011.

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр Университета ИТМО со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механической технологии и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором Александром Павловичем Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен института более тысячи квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги профессора Николай Павлович Соболев и Сергей Петрович Митрофанов.

Кафедра имеет выдающиеся научные достижения. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, профессором С.П. Митрофановым были разработаны научные основы группового производства, за что он был удостоен Ленинской премии СССР. Методы группового производства с успехом применяются в промышленности и постоянно развиваются его учениками. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, Заслуженным изобретателем СССР Юрием Григорьевичем Шнейдером разработаны метод и инструментальный нанесения регулярного микрорельефа на функциональной поверхности, которые развиваются и внедряются в производство его учениками.

С.Д. Третьяков
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ
Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе