



МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И РАДИОТЕХНИКЕ.

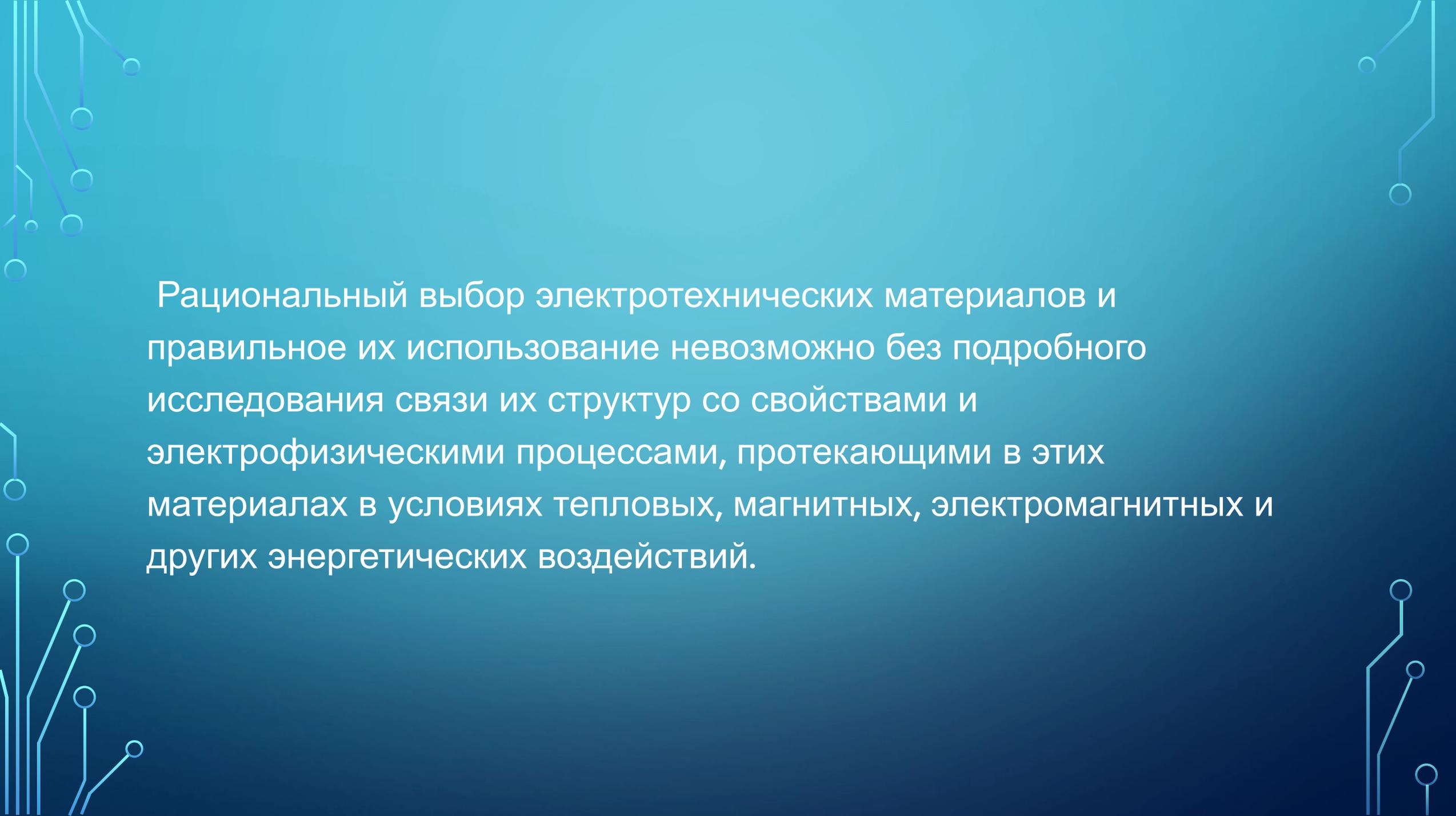
Кузнецов Сергей
Сергеевич

3342202/01201

Совершенствование производства, оснащение современных предприятий электрооборудованием и различной аппаратурой невозможно без дальнейшего развития производства и освоения новых материалов.

Материаловедение является одной из первых инженерных дисциплин, основы которой широко используются при курсовом и дипломном проектировании, а также в практической деятельности инженера.

Прогресс в энергетической отрасли тесно связан с созданием и освоением новых материалов, обладающих самыми разнообразными механическими и электрофизическими свойствами. Свойства материала определяются его внутренним строением, которое, в свою очередь, зависит от состава и характера предварительной обработки.



Рациональный выбор электротехнических материалов и правильное их использование невозможно без подробного исследования связи их структур со свойствами и электрофизическими процессами, протекающими в этих материалах в условиях тепловых, магнитных, электромагнитных и других энергетических воздействий.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Конструкционные материалы прежде всего должны обладать определёнными механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами, а также характерными значениями некоторых физических параметров, отражающих их свойства.

К таким параметрам относятся:

- удельное электросопротивление — низкое для материалов металлического типа и высокое для диэлектрических материалов
- относительная магнитная проницаемость — близкая к единице для диа- и парамагнетиков или превышающая тысячи или десятки тысяч единиц для ферромагнетиков
- относительная диэлектрическая проницаемость и некоторые другие свойства.

К конструкционным материалам, как правило, относятся чистые металлы и сплавы, а также керамические и стеклообразные материалы.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

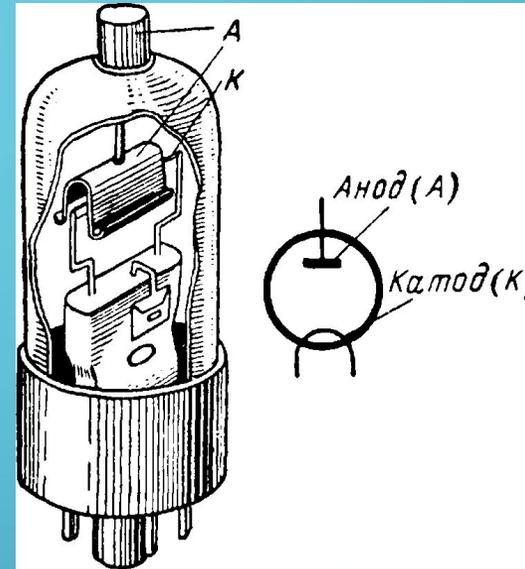
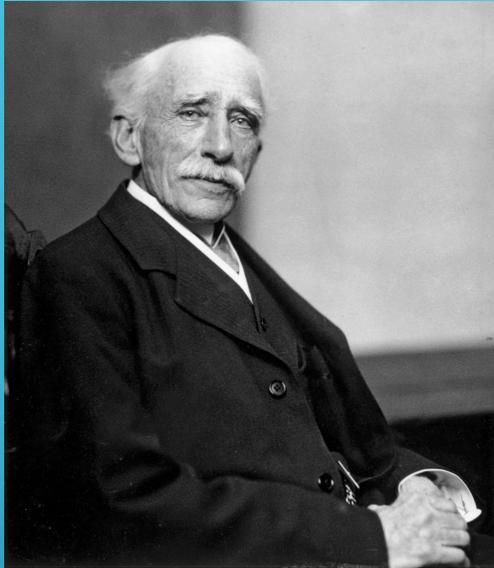
Функциональные материалы прежде всего должны обладать определённым сочетанием физических свойств, отражаемых соответствующими параметрами:

- удельное электросопротивление
- тип и концентрация носителей заряда и их подвижность
- магнитная проницаемость и форма петли гистерезиса
- диэлектрическая проницаемость и ее температурная и частотная зависимость

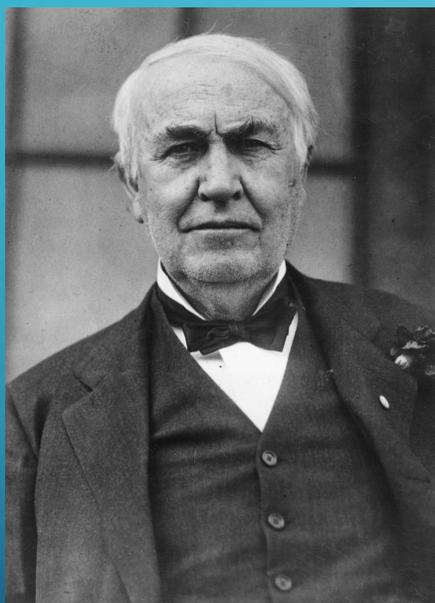
Кроме того, они должны иметь определённые характерные значения механических, технологических и эксплуатационных свойств.

К функциональным материалам прежде всего относят полупроводниковые материалы, а также некоторые типы металлических, магнитных и диэлектрических материалов, применяемых в твердотельной и вакуумной электронике, оптоэлектронике и некоторых других областях.

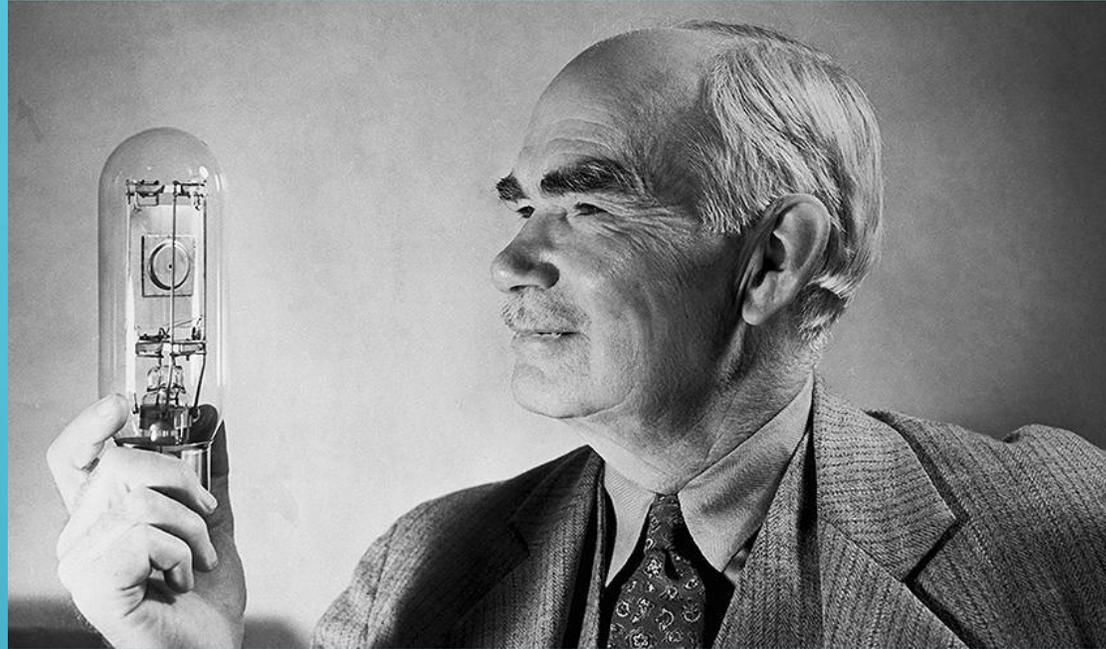
ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА



Использование электронных приборов в радиотехнике началось с того, что в 1904 г. британский учёный **Джон Амброс Флеминг** изобрёл двухэлектродную лампу (диод) с накаливаемым катодом.



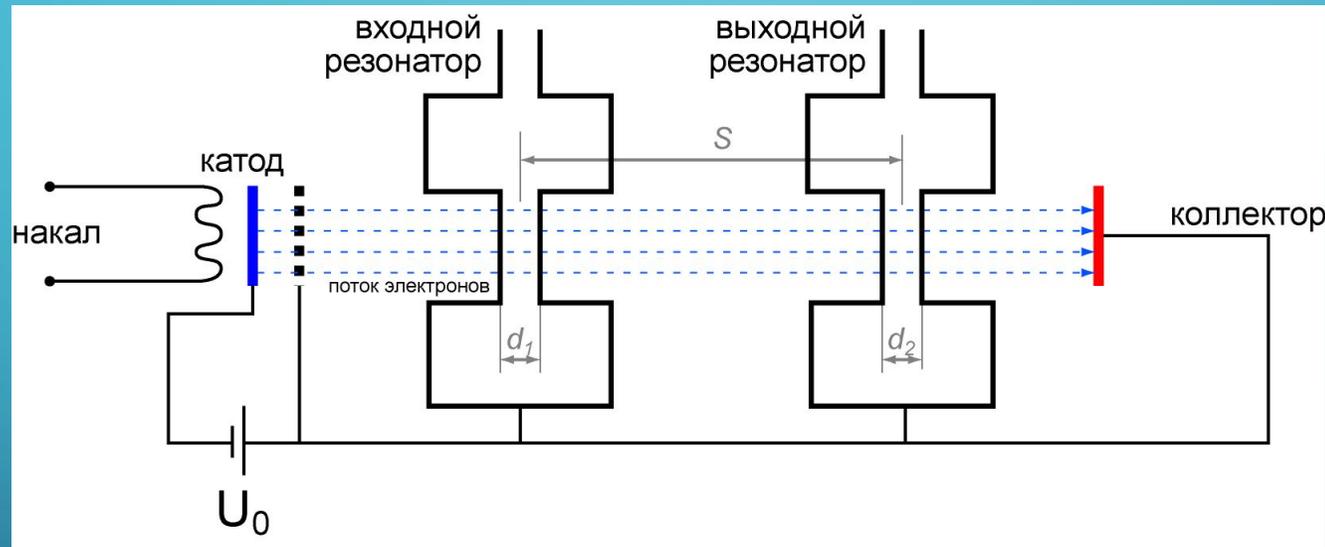
Термоэлектронная эмиссия (эффе́кт Ричардсо́на, эффект Эдисо́на) — явление выхода электронов из твёрдого тела, металла и полупроводников в свободное пространство, обычно в вакуум или разрежённый газ при нагреве его до высокой температуры. Эмиссия электронов наблюдается при нагреве твёрдых тел для температур свыше 900 К.



В 1907 г. американский изобретатель **Ли де Форест** ввёл в лампу управляющую сетку, лампа стала трехэлектродной, появилась возможность управлять током, протекающим в лампе между катодом и анодом, что позволило решить проблему усиления электрических сигналов.

Другим направлением в развитии электроники в 1930-е г. было создание специальных электронных приборов для сверхвысоких частот (СВЧ).

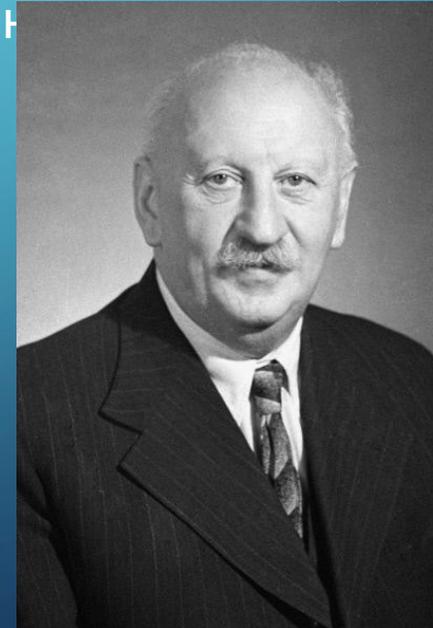
В 1939 г. построены первые приборы для усиления и генерирования колебаний СВЧ, названные пролётными клистроном. В 1940 г. изобретён более простой отражательный клистрон.



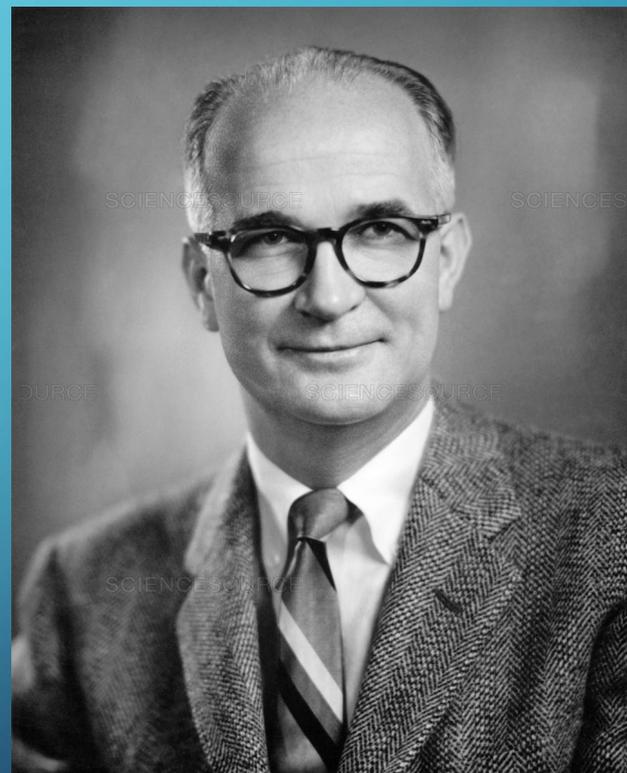
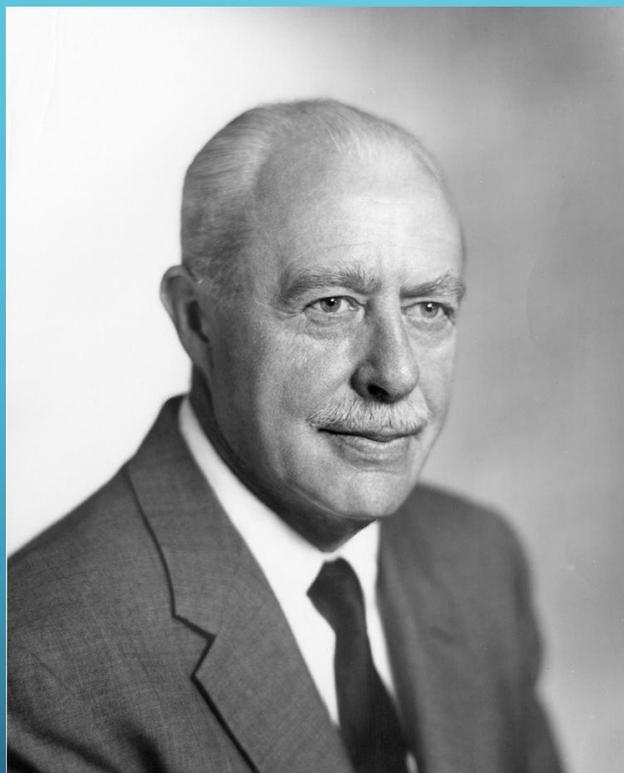
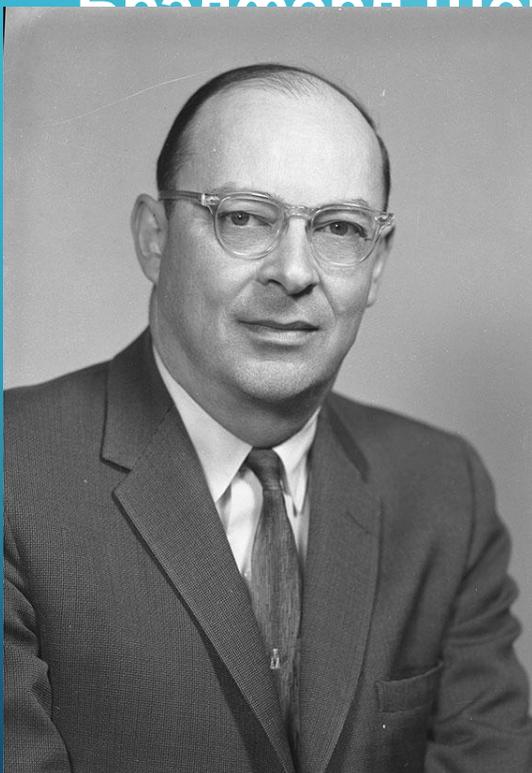
В 1938–1940-е г. сконструированы вакуумные триоды с плоскими дисковыми электродами, нашедшие применение в СВЧ-диапазоне. В эти же годы для генерирования мощных СВЧ-колебаний разрабатываются магнетроны.

С 1930-х г. интенсивно развивалась полупроводниковая электроника. Учёные исследовали физические процессы в полупроводниках, влияние примесей на эти процессы, термоэлектрические и фотоэлектрические свойства полупроводников, выпрямление переменного тока полупроводниковыми приборами.

Была разработана квантовая теория полупроводников, введено понятие подвижности свободных мест кристаллической решётки полупроводника, получивших впоследствии название дырок, создана теория пар «электрон – дырка». Была экспериментально подтверждена теория полупроводников, созданная школой советского академика **Иоффе Абрама Фёдоровича**.

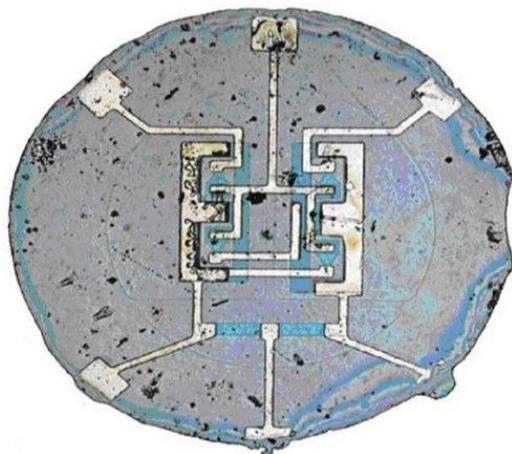


Изобретателями транзистора являются американские физики,
**Джон Бардин, Уолтер Хаузер Браттейн и Уильям
Брадфорд Шокли.**



Микроэлектроника – подраздел электроники, связанный с изучением и производством электронных компонентов с геометрическими размерами характерных элементов порядка нескольких микрон и меньше.

Первая интегральная схема на кремнии
Роберта Нойса (1959 г)



Параллельно с интегральной микроэлектроникой в 1980-е г. развивалась функциональная электроника, позволяющая реализовать определённую функцию аппаратуры без применения стандартных базовых элементов (диодов, резисторов, транзисторов и т. п.), базируясь непосредственно на физических явлениях в твёрдом теле.

Вступление в третье тысячелетие электроника отмечает зарождением нового направления – наноэлектроники.

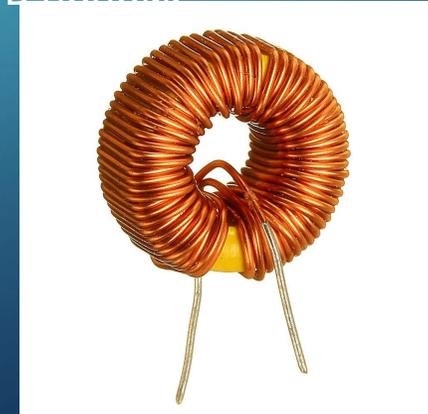
ГРУППЫ МАТЕРИАЛОВ

Материалы, используемые для изготовления любого по назначению и степени сложности электрооборудования, можно разделить на две большие группы: электротехнические и конструкционные.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ (ЭТМ)

Электротехнические материалы (ЭТМ) применяют для производства элементов (деталей), используемых для сборки электронных схем и обеспечивающих прохождение электрического тока, его электрическую изоляцию, генерацию, усиление, выпрямление, модуляцию и т.п.

Элементы, необходимые для осуществления этих операций (провода, кабели, волноводы, изоляторы, резисторы, катушки индуктивности, магниты, трансформаторы, генераторы, диоды, транзисторы, термисторы, фоторезисторы, электронные лампы, электромеханические преобразователи, вариконды, лазеры, запоминающие устройства электронных вычислительных машин (ЭВМ) и т.п.), могут быть изготовлены только из ЭТМ определённого класса, имеющих вполне определённые физико-химические свойства – электрофизические, механические, химические. От присущих данному материалу свойств будут зависеть качество, надёжность и безопасность работы данной детали и, следовательно, электроустановки в целом.



КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (КМ)

Конструкционные материалы (КМ) используют для изготовления несущих конструкций и вспомогательных деталей, и узлов, на пример: стальных рельсов, опор, консолей контактной сети электрифицированных железных дорог, которые несут не только механические нагрузки, но и электрические; корпусов для электрооборудования, предохраняющих от механических нагрузок; шасси, на которых монтируется электросхема; шкал, органов управления и т.д.



- Условно материалы электроники разделяют на три основных класса — **металлические, диэлектрические и полупроводниковые материалы.** Отдельно можно выделить так называемые вспомогательные материалы, которые обеспечивают реализацию технологических процессов производства изделий электронной техники. К ним относят флюсы, припои, пасты, материалы технологических покрытий и ряд других материалов.



МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

На рисунке приведена примерная классификация металлических материалов.

Большую группу металлических материалов составляют собственно конструкционные материалы. Особую роль в электронике, во многом определяющую технические характеристики приборов, играют функциональные материалы.



ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Магнитомягкие сплавы — ферромагнитные сплавы, обладают высокой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой в слабых полях. Хотя магнитомягкие материалы не ограничены конкретным значением коэрцитивной силы, принимается, что она не превышает 10 -12 Э.

При таком общем определении магнитомягких сплавов к ним нужно отнести трансформаторную сталь и другие электротехнические стали, в том числе железо, а также некоторые конструкционные и нержавеющие ферромагнитные стали. Однако в силу большой номенклатуры указанных сталей и сплавов, а также специфики их магнитных свойств и применения как правило, их выделяют в самостоятельные группы.

По основным магнитным, электрическим, механическим свойствам магнитомягкие сплавы можно разделить на 12 групп. ([Магнитомягкие сплавы \(azbukametalla.ru\)](http://azbukametalla.ru))

Группа	Марка сплава	Общая техническая характеристика	Назначение
Сплавы с наивысшей магнитной проницаемостью в слабых полях	79НМ, 79НМУ, 80НХС, 80НХС-ВИ, 76НХД, 76НХД-ВИ, 80НМ, 77НМД, 72НМДХ, 77НВ, 80НХ, 83НФ, 81НМА, 78Н	Наивысшие значения магнитной проницаемости ($\mu_a = 20000—300000$ Гс/Э, $\mu_m = 100000—1000000$ Гс/Э); наименьшие значения коэрцитивной силы - от 0,05 до 0,005 Э при средних значениях индукции насыщения 6000—8000 Гс.	Сердечники малогабаритных трансформаторов, дросселей, реле, дефектоскопов, головок аппаратуры магнитной записи, магнитные экраны
Сплавы с высокой магнитной проницаемостью и повышенным удельным электрическим сопротивлением	50НХС, 50НХС-ВИ, 38НС, 12Ю, 12ЮК	Высокая магнитная проницаемость ($\mu_a = 1500—6000$ Гс/Э, $\mu_m = 15000—100000$ Гс/Э); удельное электрическое сопротивление от 0,9 до 1 мкОм·м [(Ом·мм ²)/м] при значениях индукции насыщения 9000 Гс до 14000 Гс	Сердечники аппаратуры связи, дросселей, импульсных трансформаторов
Сплавы с высокой магнитной проницаемостью и повышенной индукцией насыщения	45Н, 50Н, 50НУ, 50Н-ПД, 33НКМС	Высокая магнитная проницаемость (μ_a от 2000 до 5000 Гс/Э, μ_m от 20000 до 100000 Гс/Э). Индукция насыщения не менее 15000 Гс	Витые и штампованные сердечники междуламповых и малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей, реле и деталей магнитных цепей
Сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса	50НП, 50НПУ, 50НП-ВИ, 50НПУ-ВИ, 50НП-ЭЛ, 50НП-ПД, 65НП, 68НМП, 37НКДП, 37НКДП-ВИ, 34НКМП, 35НКХСП, 35НКХСП-ВИ, 35НКХСП-ЭЛ, 40НКМПЛ, 79НМ, 80Н2М	Наивысшая максимальная магнитная проницаемость (μ_m от 40000 до 1200000 Гс/Э) и прямоугольность петли гистерезиса (B_r/B_s от 0,90 до 0,98) при индукции насыщения до 15000 Гс	Сердечники магнитных усилителей, бесконтактных реле, контактных выпрямителей, дросселей модуляторов, импульсных трансформаторов, магнитных элементов, счетно-решающих устройств
Сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса в микронных толщинах	79НМ, 77НМД, 81НМА, 80Н2М, 80НЮ	Высокая прямоугольность петли гистерезиса ($B_r/B_m = 0,9—0,96$); коэрцитивная сила от 0,04 до 0,6 Э, низкий коэффициент перемagnичивания	Температурностабильные сердечники элементов магнитной памяти, дешифраторов, регистров сдвига и т. д.
Сплавы с высокой индукцией насыщения	27КХ, 49КФ2, 49КФ, 50КФ, 05НС	Наивысшая индукция насыщения до 24000 Гс и повышенное значение температуры Кюри	Сердечники и полюсные наконечники обычных и сверхпроводящих магнитов, электромагнитов, малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей, магнитных усилителей, экранов, роторов и статоров электрических машин, телефонных мембран, магнитострикционных приборов

Сплавы с низкой остаточной индукцией	47НК, 47НКХ, 64Н, 68НМ, 79НМЗ, 40НКМПЛ	Низкая остаточная индукция (5% от B_s); малая зависимость проницаемости от величины намагничивающего поля; высокая стабильность свойств при изменении температуры и воздействии магнитных полей	Сердечники импульсных и широкополосных трансформаторов
Сплавы с повышенной деформационной стабильностью и износостойкостью	16ЮХ, 16ЮИХ, 10СЮ, 81НМА	Наивысшие значения твердости (HV от 250 до 500), прочности (σ_b до 75 кгс/мм ²), износостойкости в сочетании с высокой магнитной проницаемостью (μ_s от 10000 до 50000 Гс/Э) и удельным электрическим сопротивлением до 1,5 [(Ом·мм ²)/м]	Сердечники магнитных головок записи и воспроизведения информации и видеоизображения
Сплавы с заданным коэффициентом линейного теплового расширения	52Н, 47НД, 47Н5К	Коэффициент линейного теплового расширения близок к коэффициенту линейного теплового расширения мягких стекол; коэрцитивная сила менее 0,2 Э при индукции насыщения от 13000 до 16000 Гс	Магнитные элементы герметизированных магнитных контактов (герконы)
Сплавы с высокой коррозионной стойкостью	36КНМ, 16Х	Коррозионная стойкость в условиях высокой влажности, морской воде и во многих активных средах	Магнитопроводы различных систем управления, якорей и электромагнитов, магнитопроводов пневматических и гидравлических клапанов, работающих без защитных покрытий во влажной и агрессивных средах
Сплавы с высокой магнитострикцией	8Ю, 12Ю, 14Ю, 65К, 50КФ	Наивысшие значения магнитострикции $35—80 \cdot 10^{-6}$ и низкая коэрцитивная сила 0,3—3,0 Э	Сердечники магнитострикционных преобразователей ультразвуковой, гидроакустической аппаратуры, электромеханических фильтров, линий задержки
Термомагнитные сплавы и материалы	31НХГ, 31НХ, 32НХ, 33НХ, 38НХ, 33НЮ, 30НГ, 32НХЮ, ТКМ-08-1, ТКМ-09-1, ТКМ-012-1, ТКМ-015-1, ТКМ-015-1, ТКМ-015-2, ТКМ-017-1	Линейная температурная зависимость магнитной индукции при крутизне от 30 до 60 Гс/град в области полей от ~30 до 1500 Э	Компенсационные магнитные шунты измерительных приборов и электровакуумных приборов

Магнитные свойства магнитомягких сплавов в постоянном поле определяются химическим составом, структурой и текстурой сплава после окончательной термической обработки. В свою очередь структура и текстура сплава зависят от способа изготовления.

Технологический процесс изготовления магнитомягких сплавов, как правило, строго регламентирован начиная с подбора шихтовых материалов и кончая окончательной термической обработкой.

В настоящее время выплавку магнитомягких сплавов в промышленных условиях проводят в индукционных открытых и вакуумных печах, а также индукционных печах с контролируемой атмосферой. В некоторых случаях для получения экстремальных свойств используют различные виды переплава: электрошлаковый (ЭШ), электроннолучевой (ЭЛ), плазменно-дуговой (ПД).

МАГНИТОТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

Магнитотвердые сплавы обладают высокой магнитной энергией и используются как элементы памяти — носители информации, а также как постоянные магниты в радиоаппаратуре.

К таким материалам относятся закаливаемые на мартенсит углеродистые, хромистые, кобальтовые, вольфрамовые стали, а также ряд литых и металлокерамических сплавов.

В качестве магнитотвердых материалов используются, например, сплавы типа магнико, ални, викаллой, некоторые ферриты, соединения редкоземельных элементов с кобальтом.

Рассматриваемые материалы строятся на базе химических систем:

- Fe-Ni-Al, Fe-Co-Ni-Al, Fe-Cr-Co, Fe-Co-V, Fe-Cr-Ni, легированных сталей (Cr, Co, Mo, W) - сплавы для постоянных магнитов;
- Fe-Co-V, Fe-Co-Ni-V, Fe-Co-Cr-V, Fe-Cr-W, Fe-Co-W-Mo - сплавы для гистерезисных двигателей;
- Fe-Co-Cr, Fe-Ni, Fe-Co-Ni - сплавы для элементов памяти. Fe - железо, Ni - никель, Al - алюминий, Co - кобальт, Cr - хром, V - ванадий, W - вольфрам, Mo - молибден.

Магнито-твердые сплавы можно разделить на три группы в соответствии с их основным назначением

Группа	Марка	Общая техническая характеристика	Назначение
Для постоянных магнитов	52K11Ф (52KФВ) 52K12Ф (52KФБ) 52K13Ф (52KФА)	Козрцитивная сила по индукции составляет $H_{сБ}=15\div 40$ кА/м, магнитная энергия $(BH)_{\max}=12\div 28$ Тл·кА/м	Малогабаритные магниты толщиной или диаметром 0,2-3 мм
	ЕХЗ ЕВ6(Е7В6) ЕХ5К5 ЕХ9К15М2 (ЕХ9К15М)	Значение козрцитивной силы по индукции находится в диапазоне $H_{сБ}=5\div 12$ кА/м, магнитной энергии - $(BH)_{\max}=1\div 2$ Тл·кА/м	Недорогие магниты неответственного назначения
Для гистерезисных двигателей	52K10Ф (52KФ10) 52K11Ф (52KФВ) 52K12Ф (52KФБ) 52K13Ф (52KФА) 35KФ10Н	Напряженность поля при максимальной проницаемости составляет $H_{\mu\max}=12\div 33$ кА/м, коэффициент выпуклости петли гистерезиса - $\gamma_{\mu\max}=0,5\div 0,6$	Шихтованные роторы машин средней и большой мощности
	35KХ4Ф 35KХ6Ф 35KХ8Ф	$H_{\mu\max}=3,2\div 8,6$ кА/м, $\gamma_{\mu\max}=0,55\div 0,68$. Повышенное удельное электросопротивление $\rho\approx 0,8$ мКОм·м. Пониженная чувствительность к температуре отпуска (по сравнению со сплавами типа 52KФ)	Шихтованные роторы машин небольшой мощности, работающие на частоте выше 1000 Гц
Для элементов памяти	35KХ12 35KХ15 37KХ12	Значения характеристик при измерении в поле составляют: максимальная напряженность магнитного поля для данного цикла намагничивания $H_{\max}=16$ кА/м; козрцитивная сила $H_c=2,0\div 5,6$; максимальная индукция для данного цикла намагничивания $B_{\max}=1,6\div 1,9$ Тл; коэффициент прямоугольности $B_T/B_{\max}>0,85$	Элементы с внешней памятью типа феррит

Промышленность производит магнитотвердые материалы в виде плоского (лента, лист) и круглого (проволока, прутки) проката. Тот или иной вид заготовок выбирается в зависимости от конкретной области применения.

СПЛАВЫ С ЗАДАНЫМ ТЕРМИЧЕСКИМ РАСШИРЕНИЕМ

Прецизионные сплавы с заданными температурными коэффициентами линейного расширения (ТКЛР) представлены большой группой сплавов, поставляемой металлургической промышленностью по ГОСТ 14080—68, 14081—68, 14082—68 и по техническим условиям.

Основными параметрами, характеризующими эти сплавы, являются значения ТКЛР, регламентированные в определенных интервалах температур в зависимости от условий применения сплавов. Используют для спаев с керамикой, стеклом и другими диэлектриками.

Развитие новой техники, в том числе квантовой электроники, радиотехники, криогенной промышленности, связано, в частности, с разработкой и применением новых прецизионных сплавов, имеющих особые тепловые свойства в комплексе с другими характеристиками.

Принятая классификация сплавов с заданными ТКЛР проведена исходя из характеристик их магнитных свойств и значений ТКЛР (минимальные, низкие, средние и высокие).

ТАБЛИЦА 173. КЛАССИФИКАЦИЯ СПЛАВОВ С ЗАДАНЫМИ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ

Группа сплавов	Подгруппа сплавов с $\bar{\alpha} \cdot 10^6$ град ⁻¹			
	минимальным ($\bar{\alpha} < 3,5$)	низким ($3,5 \leq \bar{\alpha} < 6,5$)	средним ($6,5 \leq \bar{\alpha} < 12,0$)	высоким ($\bar{\alpha} \geq 12,0$)
Ферромагнитные сплавы	36Н, 36Н-ВИ, 32НҚ-ВИ, 32НҚД, 36НХ, 36НГТ, 36НГ6, 39Н, 35НҚТ, 36НД, 30НПд	29НК 30НҚД, 34НК, 42Н, 38НҚ	38НҚД, 33НК, 46Н, 48НХ, 47НХР, 47НД, 18ХТФ, 47НЗХ, 58Н	
Немагнитные сплавы	—	93ЦТ	75НМ, 80НМВ, 80НМХЗ, 70НВД	56ДГНХ, 73ГНПд

Примечание. Для группы ферромагнитных сплавов значения $\bar{\alpha}$ ограничены интервалом температур от 20° С до температуры перегиба дилатометрической кривой (T_D). Выше T_D , соответствующей температуре Кюри, тепловое расширение резко возрастает.

Основной тенденцией развития сплавов с заданными ТКЛР является снижение ТКЛР при расширении температурного интервала в котором сохраняются их низкие значения. Путем легирования Fe—Ni и Fe—Ni—Co основ не удалось получить ферромагнитных сплавов с низким и средним ТКЛР, постоянным выше 500°C, что определяет порог применения сплавов на ферромагнитной основе. Поиски аномалий теплового расширения сплавов на других основах также не дали результатов. Поэтому пришлось использовать тугоплавкие металлы, имеющие низкий ТКЛР. Вольфрам, молибден, цирконий имеют ТКЛР соответственно 4,5; 5,8; $6,7 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, причём при повышении до температур 800—1000°C ТКЛР растёт монотонно. На основе циркония удалось найти технологичные сплавы с низким ТКЛР — до 900°C.

Немагнитные сплавы со средним ТКЛР были разработаны на основе систем Ni—W и Ni—Mo при концентрациях вольфрама и молибдена, необходимых для перевода сплава в парамагнитное состояние (20—25%) и получения заданного комплекса свойств.

Сплавы с высокими значениями ТКЛР представляют собой немагнитные легированные стали и сплавы на Fe—Ni—Cr; Mn—Ni—Cu; Mn—Pd основах. В аустенитных железоникельхромистых сталях ТКЛР для интервала температур 20—100°C достигает значения $\sim 17 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Более высокие значения ТКЛР получают на сплавах Mn—Ni—Cu и Mn—Pd. Сплавы с высокими значениями ТКЛР применяют в качестве активной составляющей термобиметаллов и для работы в различного рода соединениях, в которых их большое тепловое расширение находится в соответствии с расширением других материалов.

СПЛАВЫ С ВЫСОКИМИ УПРУГИМИ СВОЙСТВАМИ

Сплавы с высокими упругими свойствами применяют в качестве пружин и упруго-чувствительных элементов в расходомерах, акселерометрах, резонансных фильтрах и т.д.

Сплавы с высокими свойствами упругости (их часто называют пружинными) наряду с высоким сопротивлением малым пластическим деформациям и релаксационной стойкостью в условиях статического и циклического нагружения должны обладать еще каким-либо одним или несколькими специфическими свойствами:

- высоким или, наоборот, очень малым модулем упругости
- низким температурным коэффициентом модуля упругости
- малым упругим гистерезисом и упругим последствием
- высокой усталостной прочностью
- коррозионной стойкостью
- немагнитностью
- электропроводностью
- износостойкостью

По способу упрочнения и физико-механическим свойствам пружинные сплавы можно разделить на три основные группы:

- 1. Аустенитные дисперсионно-твердеющие коррозионностойкие сплавы.
- 2. Аустенитные деформационно-твердеющие коррозионностойкие немагнитные сплавы.
- 3. Сплавы с низким и постоянным коэффициентом модуля упругости (элинвары).
- К первой группе относятся сплавы на основе систем Fe—Ni—Cr, Ni—Cr, Ni—Cr—Nb, Ni—Co—Cr, Nb—Ti, упрочняемые в результате закалки и старения или после закалки, холодной пластической деформации и старения.
- Сплавы второй группы на основе системы Co—Ni—Cr упрочняются только после закалки с последующей холодной деформацией с высокими обжатиями и старения.
- Третью группу сплавов составляют элинварные сплавы на основе Fe—Ni—Co и Fe—Ni—Cr. В эту группу включен также камертонный биметалл.

СПЛАВЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Сплавы сопротивления используют для изготовления нагревателей, термодатчиков, эталонных сопротивлений и т.д.

К сплавам с **повышенным** ($\rho > 0,3 \text{ мкОм*м}$) и **высоким** ($\rho > 1 \text{ мкОм*м}$) **удельным сопротивлением** относятся медно-никелевые сплавы: манганин, мельхиор, нейзильбер, константан.

Сплавы с особыми свойствами – никелевые, никель-хромовые, идущие для изготовления различных резисторов (их называют ещё резистивные материалы). К материалам с высоким удельным сопротивлением можно отнести и материалы для термопар.

Выпускаются различные марки материалов с повышенным и высоким ρ , а также сортамент в виде полос, прутков, лент, проволоки, трубок.

Основными требованиями к материалам для резисторов являются низкий ТКр, низкая термоЭДС в паре с медью, высокая стабильность электрического сопротивления во времени. Их применяют для изготовления технических (регулирующих, пусковых реостатов, нагрузочных элементов) и прецизионных (образцовые резисторы, элементы электроизмерительных приборов, катушки сопротивления, шунты, обмотки потенциометров) компонентов схем и приборов. Выпускаемая для изготовления резисторов из различных материалов с высоким удельным сопротивлением проволока имеет диаметр от 0,009...0,012мм и более. Сплавы на основе благородных металлов кроме высокой коррозионной стойкости имеют малую термоЭДС в паре с медью.

Манганины - сплавы на медной основе, содержащие около 85% Cu, 12% Mn, 3% Ni.

Применяются для изготовления образцовых резисторов, шунтов приборов и т. д., имеет малую термоЭДС в паре с медью (1-2 мкВ/К), удельное сопротивление 0,42 - 0,48 мкОм · м, $\sigma_p = 450 - 600$ МПа, $\Delta l/l = 15 - 30$ %, максимальная длительная рабочая температура не более 200°C. Можно изготавливать в виде проволоки толщиной до 0,02 мм с эмалевой и др. изоляцией.

Константан - медно-никелевый сплав (средний состав 60% Cu, 40% Ni) имеет $\rho = 0,48 - 0,52$ мкОм · м, $\alpha_p = (5 - 25) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $\sigma_p = 400 - 500$ МПа, $\Delta l/l = 20 - 40$ %. ТермоЭДС в паре с медью 45 - 55 мкВ/К, поэтому константан можно использовать для термопар. Реостаты и нагревательные элементы из константана могут длительно работать при температуре 450°C.

Жаростойкие сплавы - это сплавы на основе никеля, хрома и других компонентов. Устойчивость этих сплавов к высоким температурам объясняется наличием на их поверхности оксидов хрома Cr_2O_3 и закиси никеля NiO. Сплавы системы Fe-Ni-Cr называются **нихромами**, на основе никеля, хрома и алюминия **фехралями** и **хромальями**. В марках сплавов буквы обозначают: Х-хром, Н-никель, Ю-алюминий, Т-титан. Цифра, следующая за буквой, означает среднее процентное содержание этого металла. Некоторые свойства жаростойких сплавов приведены в таблице.

Марка сплава	Тип сплава	ρ , мкОм · м	$T_{кр} \cdot 10^5$, 1/°C	Максимальная допустимая температура, °C
X20H80	Нихром	1,04-1,17	9	1100
X13Ю4	Фехраль	1,2-1,34	15	950
X23Ю5Т	Хромаль	1,3 -1,5	5	1150

Основная область применения этих сплавов - электронагревательные приборы, реостаты, резисторы. Для электротермической техники и электрических печей большой мощности используют обычно более дешёвые, чем нихром, фехраль и хромаль сплавы.

КРИОГЕННЫЕ СПЛАВЫ

Криогенные сплавы обладают заданными тепловыми, магнитными и электрическими свойствами при температурах $-195,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, и их используют в криогенной электронике.

- **Глубокое охлаждение способствует значительному улучшению технических и экономических параметров радиоэлектронных устройств** — преимущества компактных сверхпроводящих запоминающих устройств большой ёмкости и быстродействия для ЭВМ, сверхпроводящих магнитов и другой аппаратуры неоспоримы.
- Возникающие в условиях глубокого охлаждения явления, которые присущи только такому состоянию вещества, позволяют создавать принципиально новые приборы. Именно так, например, был сконструирован прибор, используемый в спутниковых системах связи, радиолокационных станциях, радиотелескопах.



ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Функциональные материалы специального назначения обычно используют в конкретных областях радиоэлектроники. Данные материалы должны обладать рядом специфических свойств, на пример высокими эмиссионными свойствами, высокой устойчивостью к электронной и ионной бомбардировке, высокими механическими свойствами при повышенных температурах, сверхвысокими рабочими температурами и т.д.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ.

- Диэлектрические материалы обладают способностью поляризоваться под действием приложенного электрического поля и подразделяются на два подкласса: диэлектрики пассивные и активные.

Пассивные диэлектрики (или просто диэлектрики) используют:

- для создания электрической изоляции токопроводящих частей – они препятствуют прохождению электрического тока другими, нежелательными путями и являются материалами электроизоляции **ОННЫМИ**;
- в электрических конденсаторах – служат для создания определённой электрической ёмкости; в данном случае важную роль играет их диэлектрическая проницаемость: чем выше эта величина, тем меньше габариты



Активные диэлектрики в отличие от обычных применяют для изготовления активных элементов (деталей) электрических схем. Детали, изготовленные из них, служат для генерации, усиления, модуляции, преобразования электрического сигнала.

К ним относятся: сегнето- и пьезоэлектрики, электреты, люминофоры, жидкие кристаллы, электрооптические материалы.

Диэлектрические материалы на основе керамик, стекла, компаундов и полимеров, которые широко применяют в электронике.

Керамические материалы используют в качестве элементов конструкций вакуумных электронных приборов, установочных элементов в радиоаппаратуре, подложек микросхем, пьезоэлементов, элементов конденсаторов и т.д. Кроме того, широко используют ферритную керамику на основе сложных оксидных систем, сегнетоэлектрическую, пьезоэлектрическую, пироэлектрическую, конденсаторную керамику и т.д.

Стеклообразные материалы применяют для изготовления оболочек электронных устройств, элементов лазерных систем — активных элементов и световодов, защитных плёнок, в качестве оптически- и магнитоактивных элементов микроэлектронных устройств, в качестве аморфных материалов микроэлектроники, подложек микросхем и т.д.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Полупроводниковые материалы по величине удельной электропроводности занимают промежуточное положение между диэлектриками и проводниками. Характерной их особенностью является существенная зависимость электропроводности от интенсивности внешнего энергетического воздействия: напряжённости электрического поля, температуры, освещённости, длины волны падающего света, давления и т.п. Эта их особенность положена в основу работы полупроводниковых приборов: диодов, транзисторов, термисторов, фоторезисторов, тензодатчиков и др.



Реально указанные материалы являются лишь основой полупроводниковых структур, при этом свойства самих структур определяются характером и уровнем легирования материала-основы различными примесными элементами, режимами термообработки полупроводниковых структуры, определяющими распределение примесей, и т.д.

ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Проводниковые материалы подразделяются на четыре подкласса:

- материалы высокой проводимости;
- сверхпроводники и криопроводники;
- материалы высокого (заданного) сопротивления;
- контактные материалы.

Материалы высокой проводимости используют там, где необходимо, чтобы электрический ток проходил с минимальными потерями. К таким материалам относятся металлы: Cu, Al, Fe, Ag, Au, Pt и сплавы на их основе. Из них изготавливают провода, кабели и другие токопроводящие части электроустановок



Сверхпроводниками являются материалы, у которых при температурах ниже некоторой критической ($T_{кр}$) сопротивление электрическому току становится равным нулю



- **Криопроводники** – это материалы высокой проводимости, работающие при криогенных температурах (температуре кипения жидкого азота $-195,6$ °C).
- **Проводниковыми материалами высокого (заданного) сопротивления** являются металлические сплавы, образующие твердые растворы. Из них изготавливают резисторы, термопары и электронагревательные элементы.
- Из **контактных материалов** изготавливают скользящие и разрывные контакты. В зависимости от предъявляемых требований эти материалы очень разнообразны по своему составу и строению. К ним относятся, с одной стороны, металлы высокой проводимости (Cu, Ag, Au, Pt и т.п.) и сплавы на их основе, с другой – тугоплавкие металлы (W, Ta, Mo и др.) и композиционные материалы. Последние хоть и имеют относительно высокое электрическое сопротивление, обладают повышенной стойкостью к действию электрической дуги, образующейся при разрыве контактов.