

Сравнительная
характеристика
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
материалов

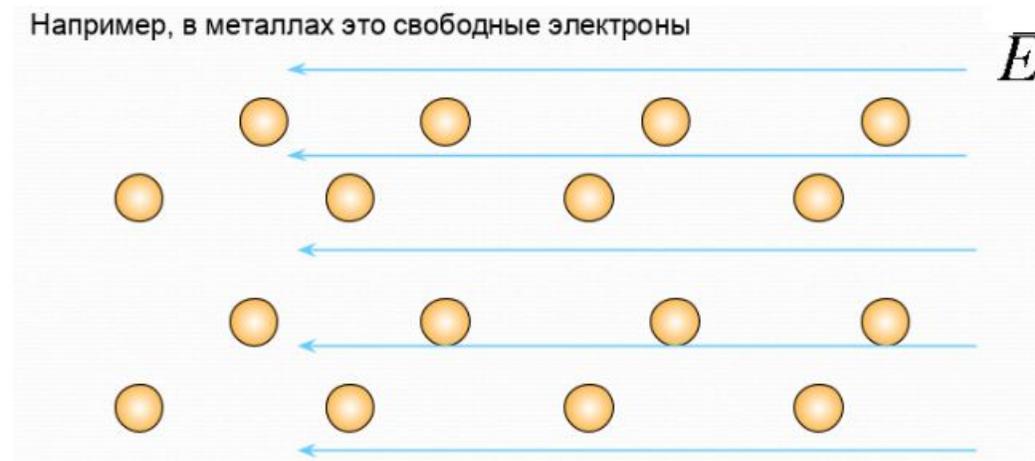
Свойства	Ge (германий)	Si (Кремний)	GaAs (Арсенид галлия)
Плотность			
Температура плавления			
Диэлектрическая проницаемость			
Подвижность электронов м ² /Вс			
Теплопроводнос ть			
Удельное сопротивление Ом м			
Достоинства			
Недостатки			
Область применения			
Кристаллическая структура			

Общая характеристика полупроводников

Полупроводники – вещества, электропроводность которых при комнатной температуре имеет промежуточное значение между электропроводностью металлов ($10^6—10^4 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^1$) и диэлектриков ($10^8—10^{-12} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$).

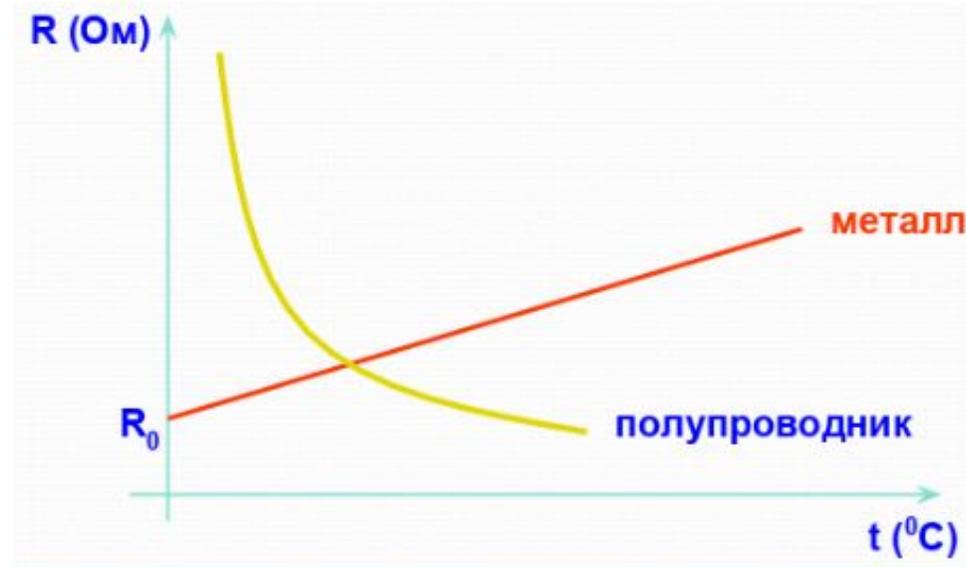
Электропроводность – свойство вещества проводить электрический ток под действием электрического поля. У каждого вещества она разная.

Вспомним что проводимость обусловлена наличием в них свободных заряженных частиц.



При увеличении температуры энергия электронов увеличивается и некоторые из них покидают связи, становясь свободными электронами. На их месте остаются некомпенсированные электрические заряды (виртуальные заряженные частицы), называемые дырками.

При увеличении температуры растет число свободных носителей заряда, проводимость полупроводников растет, сопротивление уменьшается



Общим свойством полупроводников является их высокая хрупкость, низкая пластичность и средняя прочность, что приводит к значительным потерям на бой при производстве приборов. А низкая теплопроводность этих материалов создает проблемы с отводом тепла при эксплуатации электронных устройств, особенно при больших токовых нагрузках.

Германий

Германий - элемент четвертой группы периодической системы элементов Менделеева. Германий имеет ярко-серебристый цвет. Температура плавления германия $937,2^{\circ}\text{C}$, а плотность 5326 кг/м^3 . В природе он встречается часто, но в весьма малых количествах. Присутствие германия обнаружено в цинковых рудах и в золах разных углей. Основным источником получения германия является зола углей и отходы металлургических заводов.

Основные свойства (при $t = 25^{\circ}\text{C}$):

- t кипения 2690°C
- удельная теплоёмкость (при $0-300^{\circ}\text{C}$) $322,14\text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$
- теплопроводность $58,8\text{ Дж/м}\cdot\text{с}\cdot\text{K}$
- подвижность электронов $m_n 0,39\text{ м}^2/\text{с}$
- удельное $5,6-6,0\text{ кОм/м}$,
- диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 16,0$



Германий

Германий обладает большой твердостью, но чрезвычайно хрупок и раскалывается на мелкие куски при ударах. Однако при помощи алмазной пилы или других устройств его можно распилить на тонкие пластинки. Отечественной промышленностью изготавливается легированный германий с электронной электропроводностью различных марок с удельным сопротивлением от $0,003$ до $45\text{ ом}\cdot\text{см}$ и германий легированный с дырочной электропроводностью с удельным сопротивлением от $0,4$ до $5,5\text{ ом}\cdot\text{см}$ и выше. Удельное же сопротивление чистого германия при комнатной температуре $\rho = 60\text{ ом}\cdot\text{см}$.

Применение

Германий применяют в радиоэлектронике и электротехнике как полупроводниковый материал для изготовления диодов и транзисторов. Из германия изготавливают линзы для ИК оптики, фотодиоды, фоторезисторы, дозиметры ядерных излучений, анализаторы рентгеновской спектроскопии, преобразователи энергии радиоактивного распада в электрическую и т.д. Сплавы германия с некоторыми металлами, отличающиеся повышенной стойкостью к кислым агрессивным средам, используют в приборостроении, машиностроении и металлургии. Некоторые сплавы германия с другими химическими элементами — сверхпроводники.

Германий как полупроводниковый материал широко используется не только для диодов и триодов, из него изготавливаются мощные выпрямители на большие токи, различные датчики, применяемые для измерения напряженности магнитного поля, термометры сопротивления для низких температур и др.

Для медицинских нужд германий наиболее широко стали использовать в Японии. Результаты испытаний германийорганических соединений на животных и человека показали, что они способны благотворно влиять на организм. В 1967 году японец доктор К. Асаи обнаружил, что органический германий обладает широким биологическим действием.

Среди всех его биологических свойств следует отметить:

- обеспечение переноса кислорода в ткани организма;
- повышение иммунного статуса организма;
- проявление противоопухолевой активности.

Элемент не обладает такой прочностью как вольфрам или титан, он не служит неисчерпаемым источником энергии как плутоний или уран, электропроводность материала также далеко не самая высокая, да и в промышленной технике главным металлом является железо. Несмотря на это, германий является одной из важнейших составляющих технического прогресса нашего общества, т.к. он еще раньше, даже чем кремний стал использоваться как полупроводниковый материал.

Кремний

Кремний — очень редкий минеральный вид из класса самородных элементов. На самом деле это удивительно, как редко химический элемент кремний, составляющий в связанном виде не менее 27,6% массы земной коры, встречается в природе в чистом виде. Но кремний прочно связывается с кислородом и почти всегда находится в виде кремнезёма — диоксида кремния, SiO_2

Кремний хрупок, только при нагревании выше $800\text{ }^\circ\text{C}$ он становится пластичным веществом. Он прозрачен для инфракрасного излучения начиная с длины волны $1,1\text{ }\mu\text{м}$.

- Собственная концентрация носителей заряда — $5,81 \cdot 10^{15}\text{ м}^{-3}$ (для температуры 300 К).
- Температура плавления $1415\text{ }^\circ\text{C}$
- температура кипения $2680\text{ }^\circ\text{C}$
- плотность $2,33\text{ г/см}^3$
- теплопроводность $800\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$



Кремний

Обладает полупроводниковыми свойствами, его сопротивление понижается при повышении температуры. диэлектрическая проницаемость – 1,17; удельное сопротивление в интервале примерно от 0,001 до $150\text{ Ом}\cdot\text{см}$, Подвижность электронов: $1200\text{—}1450\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$

Как и всякое другое вещество с точки зрения применения в народном хозяйстве, кремний обладает определенными полезными или не слишком качествами. Важны они именно для определения области использования.

Немалым достоинством вещества является его доступность. В природе он, правда, находится не в свободном виде, но все же, технология получения кремния не так уж и сложна, хотя и энергозатратна.

Второе важнейшее достоинство – образование множества соединений с необыкновенно полезными свойствами. Это и силаны, и силициды, и диоксид, и, конечно, разнообразнейшие силикаты. Способность кремния и его соединений образовывать сложные твердые растворы практически бесконечна, что позволяет бесконечно же получать самые разные вариации стекла, камня и керамики.

Полупроводниковые свойства неметалла обеспечивает ему место базового материала в электро- и радиотехнике. Неметалл является нетоксичным, что допускает применение в любой отрасли промышленности, и при этом не превращает технологический процесс в потенциально опасный.

К недостаткам материала можно отнести лишь относительную хрупкость при хорошей твердости. Кремний не используется для несущих конструкций, но зато это сочетание позволяет обрабатывать должным образом поверхность кристаллов, что важно для приборостроения.

Кремний в буквальном смысле слова служит основой современной электротехники. Из него изготавливают транзисторы, фотоэлементы, интегральные схемы, диоды и так далее. Причем функциональность прибора определяет практически всегда только приповерхностный слой кристалла, что обуславливает весьма специфические требования именно к обработке поверхности.

В металлургии технический кремний применяют и как модификатор сплавов – придает большую прочность, и как компонент – в бронзах, например, и как раскислитель – при производстве чугуна.

Сверхчистый и очищенный металлургический составляют основу солнечной энергетики.

Диоксид неметалла встречается в природе в очень разных формах. Его кристаллические разновидности – опал, агат, сердолик, аметист, горный хрусталь, нашли свое место в ювелирном деле. Не столь привлекательные внешне модификации – кремний, песок, кварц, используются и в металлургии, и в строительстве, и в радиоэлектротехнике. Соединение неметалла с углеродом – карбид, применяется и в металлургии, и в приборостроении, и в химической промышленности. Он является широкозонным полупроводником, отличается высокой твердостью – 7 по шкале Мооса, и прочностью, что и позволяет применять его в качестве абразивного материала.

Арсенид галлия

- плотность GaAs в твердом состоянии — $5,32 \text{ г/см}^3$, в жидком состоянии — $5,71 \text{ г/см}^3$
- температура плавления $t_{\text{пл}} = 1238^\circ\text{C}$
- температурный коэффициент линейного расширения $\alpha = 6,410 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- диэлектрическая проницаемость — 12,9
- Подвижность электронов при 300 К — $8500 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$

Электрофизические свойства нелегированного арсенида галлия в сильной степени зависят от состава и концентрации собственных точечных дефектов, концентрации фоновых примесей и режимов термообработки слитков. Для получения монокристаллов *n*- и *p*-типа проводимости с заданной концентрацией носителей заряда используют легирование электрически активными примесями. Основными легирующими примесями при получении монокристаллов *n*-типа являются S, Se, Te, Si, Sn, а при получении монокристаллов *p*-типа — Zn.

Арсенид галлия не взаимодействует с водой, но активно разлагается под действием кислот с выделением токсичного арсина. Удельная скорость растворения арсенида галлия существенно возрастает в смесях кислот. При нагреве на воздухе до 300°C арсенид галлия не окисляется. Арсенид галлия относится к числу разлагающихся соединений. Начиная с 600°C , разлагается с выделением мышьяка. Расплавленный арсенид галлия очень активен и взаимодействует практически со всеми известными материалами, используемыми для изготовления контейнеров. Наибольшее распространение в технологии арсенида галлия нашел синтетический кварц. Для получения высокочистого полуизолирующего арсенида галлия применяют пиролитический нитрид бора.

Основное применение имеет:

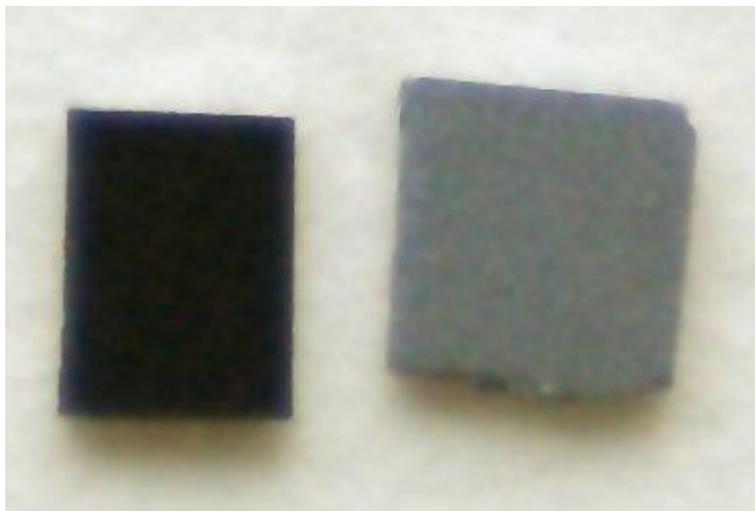
- 1) нелегированный полуизолирующий (ПИ) GaAs с высоким удельным сопротивлением (10^7 Ом·см). Используется при изготовлении высокочастотных интегральных схем (ИС) и дискретных микроэлектронных приборов. Помимо высокого удельного сопротивления монокристаллы нелегированного GaAs, применяемые в производстве высокочастотных приборов (особенно с использованием технологий ионной имплантации), должны иметь высокие значения подвижности носителей заряда и высокую макро- и микроскопическую однородность распределения свойств как в поперечном сечении, так и по длине выращенных слитков.
- 2) Сильнолегированный кремнием GaAs *n*-типа проводимости с низкой плотностью дислокаций. Применяется при изготовлении светодиодов и лазеров. Монокристаллы сильно легированного кремнием (10^{17} - 10^{18} см⁻³) GaAs, помимо высокой проводимости, должны обладать достаточно совершенной кристаллической структурой. Они широко используются в оптоэлектронике для изготовления инжекционных лазеров, свето- и фотодиодов, фотокатодов, являются прекрасным материалом для генераторов СВЧ-колебаний (так называемых генераторов или Дiodов Ганна). Применяются для изготовления туннельных диодов, способных работать при более высоких температурах, чем кремниевые, и на более высоких частотах, чем германиевые.
- 3) Монокристаллы полуизолирующего арсенида галлия, легированные хромом, используют в инфракрасной оптике.
- 4) Монокристаллы GaAs, легированные цинком или теллуром, применяют в производстве оптоэлектронных приборов
- 5) Входит в состав многих тройных и четверных твердых растворов.

Некоторые электронные свойства GaAs превосходят свойства кремния. Арсенид галлия обладает более высокой подвижностью электронов, которая позволяет приборам работать на частотах до 250 ГГц.

Полупроводниковые приборы на основе GaAs генерируют меньше шума, чем кремниевые приборы на той же частоте. Из-за более высокой напряженности электрического поля пробоя в GaAs по сравнению с Si приборы из арсенида галлия могут работать при большей мощности. Эти свойства делают GaAs широко используемым в полупроводниковых лазерах, некоторых радарных системах. Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия имеют более высокую радиационную стойкость, чем кремниевые, что обуславливает их использование в условиях радиационного излучения (например, в солнечных батареях, работающих в космосе).

GaAs — прямозонный полупроводник, что также является его преимуществом. GaAs может быть использован в приборах оптоэлектроники: светодиодах, полупроводниковых лазерах.

Сложные слоистые структуры арсенида галлия в комбинации с арсенидом алюминия (AlAs) или тройными растворами $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ (гетероструктуры) можно вырастить с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) или МОС-гидридной эпитаксии. Из-за практически идеального согласования постоянных решёток слои имеют малые механические напряжения и могут выращиваться произвольной толщины.



Арсенид галлия