

机械設計、制造專業系

俄文文选

华东紡織工学院外語教研組編

1960. 9. 印

Первая часть

Полупроводники

Оглавление

1. Проводники, изоляторы и полупроводники.
2. Атомы
3. Электроны в металле и изоляторе
Термистор
4. Первое знакомство с полупроводниками
К тысячеградусной жары
5. Два тока
Температура издадека
6. Роль примесей в полупроводниках
Чудесный балометр
7. Роль примесей в полупроводниках
Очередь двигателей

Пёрвый урѳк

Проводники, изоляторы и полупроводники

В электрической лампочке сияет тоненькая спиралька из металла вольфрама. К ней идѳт медные провода — передатчики энергии. Медь и вольфрам отлично пропускают электрический ток. Этим свойством обладают и другие металлы. Поэтому они называются проводниками.

А вот стеклянная колба лампочки, резиновая трубка, охватывающая провод, ток почти совсем не пропускают. Их называют изоляторами.

Проводники и изоляторы — главные материалы электротехники. Но, кроме них, в природе есть как бы промежуточные вещества.

Возьмѳм к примеру графит. Ток он пропускает, но гораздо хуже металлов. Многие кристаллы, сплавы, всевозможные соли, окислы похожи в этом отношении на графит. Они-то и получили название полупроводников.

Окружающий нас мир богат подобными веществами. Ведь самый распространѳнный в земной коре элемент кремний и основа жизни углерод образуют полупроводниковые кристаллы.

С давних времѳн человек старался освѳтить всё, чем одарила его природа. Сырьѳ, содержащее полупроводники, он применял в металлургии, в химии, в строительном деле — всюду, кроме электротехники.

Здесь полупроводники считались непригодными. Думали

так: от проводников они ушли, а к изоляторам не пришли. Ими не заменишь ни медного провода, ни резиновой трубки. Казалось, никакой пользы из их половинчатых свойств не извлечёшь.

И на протяжении многих десятилетий никто не желал разобратъся поглубже в электрических особенностях полупроводников.

Но время показало, что такое пренебрежение было большой ошибкой. В наши дни исследователи поняли огромное практическое значение этих веществ. Множество учёных занято теперь теорией и техникой полупроводников.

Второй урок

Атомы

Земля и воздух, проводник и изолятор — всё построено из неисчислимых мириадов атомов.

Каждый из них невообразимо мал. Атом построен из частичек, еще в сотни тысяч раз меньших, чем он сам.

В центре его массивное ядро. Ядро несёт положительный электрический заряд. Вокруг ядра движутся лёгкие, отрицательно заряженные электроны. Они удерживаются возле ядра, послушные всеобщему физическому закону: тела, которые имеют разноимённые электрические заряды, притягиваются друг к другу.

Отличаются атомы разных видов неодинаковым зарядом ядер.

У ядра простейшего водородного атома самый маленький заряд. И электрон в таком атоме один-единственный. Ядра атомов меди гораздо богаче зарядом — в двадцать девять раз. Стало быть, и электронов там по двадцать девять у каждого атома.

Располагаются электроны атома в строгом порядке. Они движутся по замкнутым путям-орбитам, которые образуют несколько оболочек, охватывающих ядро.

Чем ближе электронная оболочка к ядру, тем крепче связаны с ним её электроны. Электроны самой верхней, внешней, оболочки играют важнейшую роль. Они связывают атомы в кристаллическую структуру, соединяют их в молекулы.

Химические процессы, электрическое состояние тел и многое другое определяются поведением электронов внешних атомных оболочек.

Трѣтій уро́к

Электрoны в метáлле и изоля́торе

Внѣшние электрoны не удѣрживаются в а́томах мѣдной прoволочки: слѣшком сла́бо они связа́ны с я́драми “свои́х”-а́томов. Атомы всѣ вре́мя беспоря́дочно переме́щаются и как бы стрѣхивают с себѣ внѣшние электрoны. Эти “оторва́вшиеся” электрoны блужда́ют по кусо́чку метáлла, уча́ствуя в о́бщем беспоря́дочном тепловóм дви́жении, кото́рое тем актѣвнее, чем вы́ше температу́ра прoволочки.

В ми́ре электрoнов незамѣтно тяготѣние Земли. Объясня́ется это прoсто: слѣшком легки́ такие части́цы и слѣшком бы́стро они дви́жутся. Зато электрoны послу́шны друго́й силе — электрѣческой. Электрoны, наделѣнные дово́льно значѣ́тельным для тако́й лёгкой части́чки зарядом, меня́ют дви́жение под дѣйстви́ем электрѣческого по́ля, кото́рое создаѣтся в прoстранстве любы́м заря́женным тѣлом.

Прижмѣм концы́ прoволочки к по́люсам электрѣческой бата́рейки—метáлл то́гчас пронѣзывается электрѣческим по́лем. Свобо́дные электрoны тепѣрь не то́лько уча́ствуют в тепловóм беспоря́дочном дви́жении, но и переме́щаются по прoволочке к положи́тельному по́люсу бата́рейки, подхва́ченные по́лем. На мѣсто, освобо́ждённое уше́дшими электрoнами, по́ле вы́талкивает друго́е из отрица́тельного по́люса бата́рейки. Они то́же уходят, уступа́я мѣсто но́вым и но́вым отря́дам электрoнов: по прoволочке побежа́л электрѣческий ток.

Пото́к электрoнов в метáлле неспоко́йный. Ведь на их

пути то и дело попадают атомы, которые к тому же сами перемещаются, участвуя в тепловом движении. Поэтому при нагревании проволочки электрическому потоку труднее становится пробиваться вперёд. По мере повышения температуры сила тока уменьшается. В этом свойстве — важный признак электропроводности металла.

Заметим кстати: электрический ток и сам разогревает проволочку. Чем обильнее поток электронов, тем сильнее он расталкивает атомы, увеличивая энергию их теплового движения.

В изоляторе всё обстоит проще. Резина, стекло тоже, конечно, построены из атомов. Как и в металле атомы там подвержены беспорядочному тепловому движению. Но электроны внешних оболочек надёжно связаны с ядрами атомов изолятора. Там нет свободных электронов, а значит, нечему создать электрический ток.

Впрочем, если мы раскалим изолятор, он может потерять изолирующие свойства. Связи между атомами станут иными. Поэтому при сильном нагревании некоторые изоляторы превращаются в полупроводники.

Термистор

(Внеклассное чтение)

Многое из привычного, знакомого нам с детства, развитием техники осуждено на уничтожение. Прославленный в веках шёлк сменяется чудесными тканями из древесины и угля. Паровозы заменяются тепловозами, электровозами, газотрубовозами.

А вот на стене ртутный термометр, казалось бы, неумиряющая вещь. На самом же деле и термометр понемногу собирается на покой, в музей, оставляя наследника — маленький полупроводниковый прибор.

Мы подметили интересную особенность полупроводника: при нагревании резко увеличивается его электропроводность. Это свойство очень удобно применить для измерения температуры.

На стеклянной пластинке — слой полупроводника. С двух сторон к нему примыкают металлические проволочки. Через гальванометр — прибор, регистрирующий перемены тока, — они подключены к электрической батарее. Это простейший полупроводниковый электротермометр — термосопротивление, или термистор.

На холоде ток через него невелик, но чем теплее, тем ток сильнее. Стрелка прибора отмечает увеличение температуры, показывая её прямо в градусах Цельсия.

Четвёртый урок

Первое знакомство с полупроводниками

Бросим медную проволочку в жаркую печь — с температурой в тысячу градусов. Проволочка только-только не расплавится, а на её поверхности начнётся активная реакция химического соединения металла с кислородом воздуха. Каждая пара атомов меди свяжется с одним атомом кислорода. Пройдёт несколько минут, и проволочка покроется чёрным веществом, называющимся закисью меди. Соскоблим её и отдадим в химическую лабораторию — попробим тщательнейшим образом очистить закись от примесей. И если химики аккуратно выполнят наше задание, мы получим от них кусочек идеально чистого, классического полупроводника.

Проведём с ним несколько опытов.

Проверим сначала, как он будет проводить электрический ток.

Выяснится, что гораздо хуже меди. Это для нас не будет неожиданностью: поэтому он и носит название полупроводника.

Зато нам покажется странный результат другого эксперимента. Чем сильнее мы станем нагревать кристаллик закиси, тем лучше он будет проводить ток. В медной проволочке, как мы помним, наблюдалось прямо противоположное явление.

В чём же тут дело?

В полупроводнике внешние электроны принадлежат обы-

чно сразу паре соседних атомов, осуществляя их связь в кристалле. Но связаны они с ядрами не слишком сильно. Поднимается температура — и увеличивается энергия беспорядочного теплового движения. В результате при нагревании нарушаются связи между атомами, всё больше электронов обретает свободу, а заодно и способность переносить электрический ток.

К тысячеградусной жарё

(Внеклассное чтение)

Как ни хороші термосопротивления, но есть у них один недостаток: слишком сильного нагревания они не выносят. Существуют приборы, которые выдерживают $+250$, $+300$ градусов Цельсия. Но это пока предел. Нагрейте полупроводник сильнее, и вы его безнадежно испортите.

Между тем потребность в простых и безотказных измерителях температуры в 900 , 1000 градусов и выше очень велика. Металлурги, машиностроители давно уже жалуются: трудно существующими методами достигнуть необходимой точности измерений температуры при плавке металла, закалке изделий.

Неужели физика полупроводников здесь пасует?

Нет, решение проблемы возможно.

Мы раньше упоминали об изоляторах, которые при сильном нагреве становятся полупроводниками. Теперь им можно найти применение. Сделаем из такого вещества стержень и внесём его в печь. По изменению электропроводности стержня можно судить о его температуре.

Правда, иметь стержень — это ещё не всё. Надо ведь включить его в электрическую цепь. Как это можно сделать? Просто присоединить стержень к металлическим проводам в печь нельзя. При высокой температуре немедленно начнутся химические реакции, на месте соединения образуется слой окиси, и контакт получится плохой.

Вывести концы стержня через стенку печи наружу тоже

невозможно. Выведенные концы ведь будут холодными, они потеряют свой полупроводниковые свойства, опять станут изоляторами и откажутся проводить электрический ток.

Чтобы найти выход, приходится искать обходные пути, усложнять установку.

Впрочем, есть ещё один замечательный способ определения температуры. Применяя его, не нужно помещать термометр непосредственно на раскалённое тело или вблизи него. Он позволяет проводить измерения температуры на расстоянии, причём иногда очень большом.

Пятый урок

Два тока

В полупроводнике электрический ток создаётся не только теми электронами, которые по каким-то причинам освобождаются из “плёна” атомов.

Электроны, не освободившиеся совсем, а только перескакивающие с атома на атом, перемещаются туда, куда их влечёт электрическое поле. А такое движение зарядов тоже представляет собой не что иное, как электрический ток.

Мы приходим к выводу: в полупроводнике существуют два электрических тока. Первый обусловлен вытолкнутыми из атомов свободными электронами. Он и называется электронным. Второй объясняется движением электронов, связанных с атомами. Ему дали имя дырочного.

Дырка кочует в направлении к отрицательному полюсу электрической батарейки. Значит, она ведёт себя как частица, имеющая положительный электрический заряд. Если продолжать такую чисто условную аналогию, то окажется, что заряд ее можно принять равным по величине заряду электрона.

Таким образом, для удобства описаний и расчётов физики условились говорить, что в полупроводнике, кроме отрицательно заряженных частиц — свободных электронов, — носителями тока служат и положительно заряженные дырки. Отсюда и название двух токов — электронный и дырочный.

Надо всегда помнить, что подлинными носителями тока —

электрoны, а дырка — это совсем не настоящая частица. На самом деле в ней нет ни массы, ни заряда.

В нашем полупроводниковом кристаллике освобождению электрoнов сопyтствует возникновение такого же количества дырок. Под действием электрического поля электрoны и дырки устремляются в противоположные стороны. Это значит, что в кристалле одновременно возникают электрoнный и дырочный токи. Они вместе определяют электропроводность полупроводника. Добавим, что свободные электрoны несколько подвижнее дырок. Поэтому электрoнный ток здесь преобладает — он немного сильнее дырочного.

Температура издаleká

(Внеклассное чтение)

Солнце находится от нас в 150 миллиардах километров. Никто к нему не подлетал, никто не касался его термометром. И тем не менее температура поверхности светила отлично известна науке. Эти сведения принёс сам солнечный свет.

Достигнув Земли, луч солнца попал в физическую лабораторию. Здесь на его пути поставили стеклянную призму, он тотчас растянулся в радужную полосу и словно сказал: вот я каков, все мои секреты на виду; теперь догадывайтесь, что за жара у меня на родине.

Учёные до этого провели опыты с обыкновенными земными лучами — теми, что испускает любой раскалённый предмет. Проходя сквозь призму, они тоже растягивались в полуспектр. И лучи, которые тело испускало при различных температурах, давали различные спектры. Накалили тело до 1000 градусов — больше всего лучистой энергии получалось в красной части спектра; нагревали до 2000 градусов — в красной части энергии становилось меньше, зато прибавлялось в жёлтой: доводили температуру до 3000 градусов — появлялся избыток энергии в голубой части спектра, и так далее. Много таких опытов провели физики и в конце концов открыли закон распределения энергии в спектре в зависимости от температуры.

Закон известен, и над солнечным спектром долго ломать голову не пришлось. Оказалось, на его родине — на поверхности

Солнца - температура + 6000 градусов Цельсия.

Вы спросите: а причём здесь герби книжки - полупроводники.

Вопрос резонный.

Оказывается, удобнее и точнее всего оценивать энергию разных частей спектра специальным полупроводниковым термистором.