

Тема: Электропроводность полупроводников и ее зависимость от различных факторов

Изучаемые вопросы: Зависимость полупроводников от температуры, механической нагрузки, напряженности электрического поля и создание на основе этих зависимостей полупроводниковых датчиков. Фотопроводимость полупроводников. Термоэлектрические эффекты в полупроводниках.

Выполнил

Группа

Зависимость полупроводников от температуры, механической нагрузки, напряженности электрического поля и создание на основе этих зависимостей полупроводниковых датчиков.

- **Увеличение температуры.** Рассмотрим полупроводник с примесями. Для примесного полупроводника электропроводность равна (рис.1):

$$\gamma = \gamma_1 \left(-\frac{\Delta W}{kT} \right) + \gamma_2 \cdot \exp\left(-\frac{\Delta W_1}{kT}\right)$$

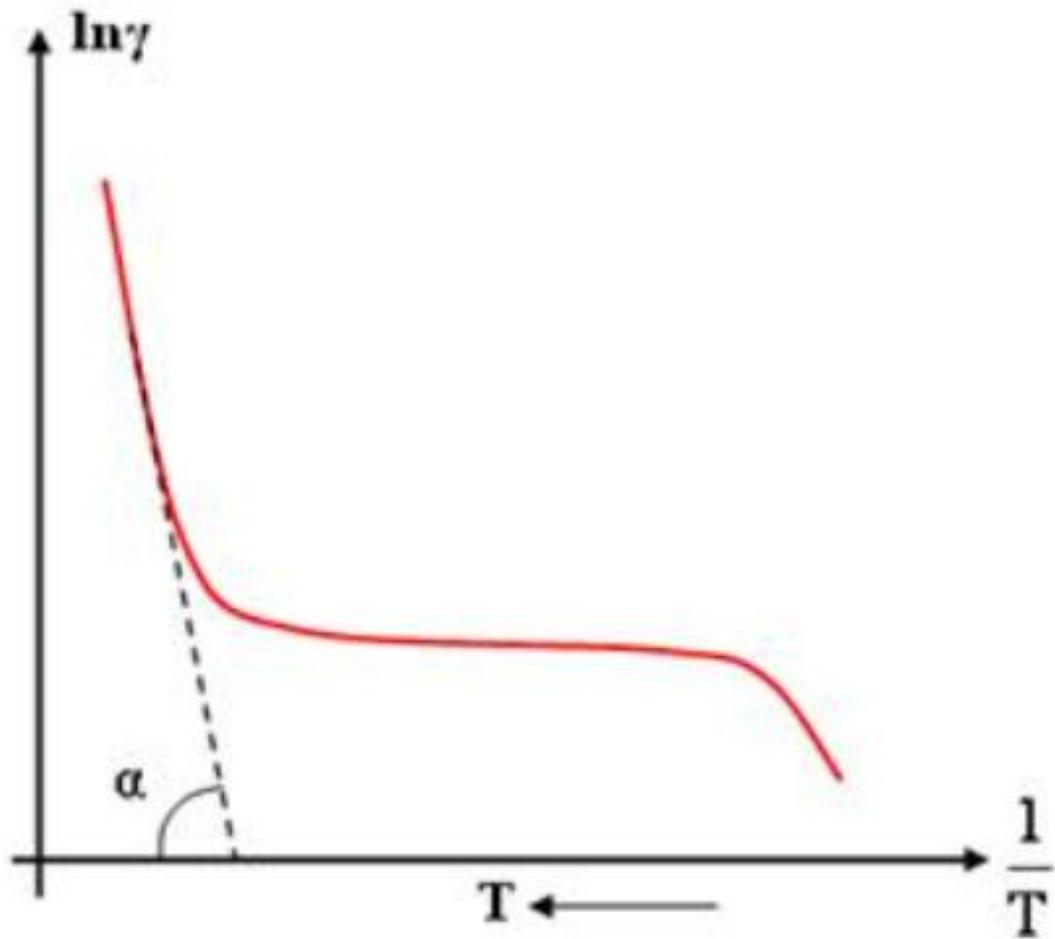
где γ – удельная электрическая проводимость, См/м;

ΔW – ширина запрещенной зоны собственного полупроводника, эВ;

ΔW_1 – энергия ионизации примесей; T – абсолютная температура, К;

k – постоянная Больцмана;

γ_1 и γ_2 – множители, не зависящие от температуры, они равны проводимости γ при $T = \infty$, т. е. когда все валентные электроны перешли в зону проводимости.



В области низких температур проводимость возникает только за счет примесей. Однако при дальнейшем нагревании происходит истощение примесей, и рост проводимости прекращается. И лишь при высоких температурах начинается дальнейший рост проводимости вследствие перехода электронов основного полупроводника через запрещенную зону.

Рис. 1 - Влияние температуры на проводимость полупроводника

- **Воздействие света.** Электропроводность полупроводника увеличивается под воздействием потока фотонов. Энергия фотона (в электрон-вольтах) равна

$$W_{\phi} = \frac{1,23}{\lambda}$$

где λ – длина волны, мкм.

Поэтому существует граничная длина волны, для которой выполняется условие $W_{\phi} < \Delta W$. Например, ширина запрещенной зоны германия.

$\Delta W = 0,72$ эВ, пороговая длина волны $\lambda = 1,8$ мкм, она лежит в инфракрасной области спектра.

- **Влияние сильных электрических полей.** Электропроводность полупроводников зависит от напряжённости электрического поля. При низких значениях напряжённости (до E_k) соблюдается закон Ома и удельная проводимость не зависит от напряжённости поля, а при более высоких напряжённостях поля начинается рост удельной проводимости по экспоненциальному закону:

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \exp(\beta\sqrt{E}),$$

где γ_0 – удельная проводимость полупроводника при $E < E_k$;

β – коэффициент, характеризующий полупроводник.

Возрастание проводимости обусловлено ростом числа носителей заряда, так как под влиянием поля они получают дополнительную энергию и более легко освобождаются тепловым воздействием. Однако при дальнейшем увеличении напряжённости начинается ударная ионизация, приводящая к разрушению структуры полупроводника (при $W = mv^2/2 > \Delta W$).

Влияние механических усилий. Электропроводность полупроводников изменяется вследствие увеличения или уменьшения межуатомных расстояний. Ширина запрещенной зоны может как увеличиваться, так и уменьшаться при сближении атомов, и у разных полупроводников одна и та же деформация может вызывать как увеличение, так и уменьшение удельной проводимости. На данном принципе основаны тензодатчики, они фиксируют деформацию.

Фотопроводимость полупроводников.

Зависимость показателя поглощения a от длины волны или энергии фотонов называется **спектром поглощения вещества**. В полупроводниках различают несколько механизмов оптического поглощения. Каждому из них соответствует определенная область спектра (рис. 2).

Собственное поглощение обусловлено переходом электронов из валентной зоны в зону проводимости. Переходы могут быть прямыми (электроны и дырки имеют одинаковые квазиимпульсы) и непрямыми (в каждом акте поглощения участвуют электроны, дырки и фотон, который компенсирует разность импульсов электрона и дырки).

- По краю собственного поглощения может быть определена оптическая ширина запрещенной зоны $E_g^{\text{опт}}$.

$$E_g^{\text{опт}} = h \left(\frac{c}{\lambda_{\text{гр}}} \right) = \frac{1,2398 [\text{мкм} \cdot \text{эВ}]}{\lambda_{\text{гр}} [\text{мкм}]}$$

где $\lambda_{\text{гр}}$ – граничная длина волны поглощения фотонов, мкм; c – скорость света в вакууме; h – постоянная Планка.

$E_g^{\text{опт}}$ зависит от температуры:

$$E_g^{\text{опт}}(T) = E_g^{\text{опт}}(T) - bT$$

где b – температурный коэффициент, равный $(2 - 6) \cdot 10^{-4}$ эВ/К.

Экситонное поглощение сопровождается образованием особого возбужденного состояния электронов – экситонов (n + p).

Поглощение света носителями заряда сопровождается переходами электронов и дырок на более высокие уровни.

Примесное поглощение света сопровождается ионизацией или возбуждением примесных атомов.

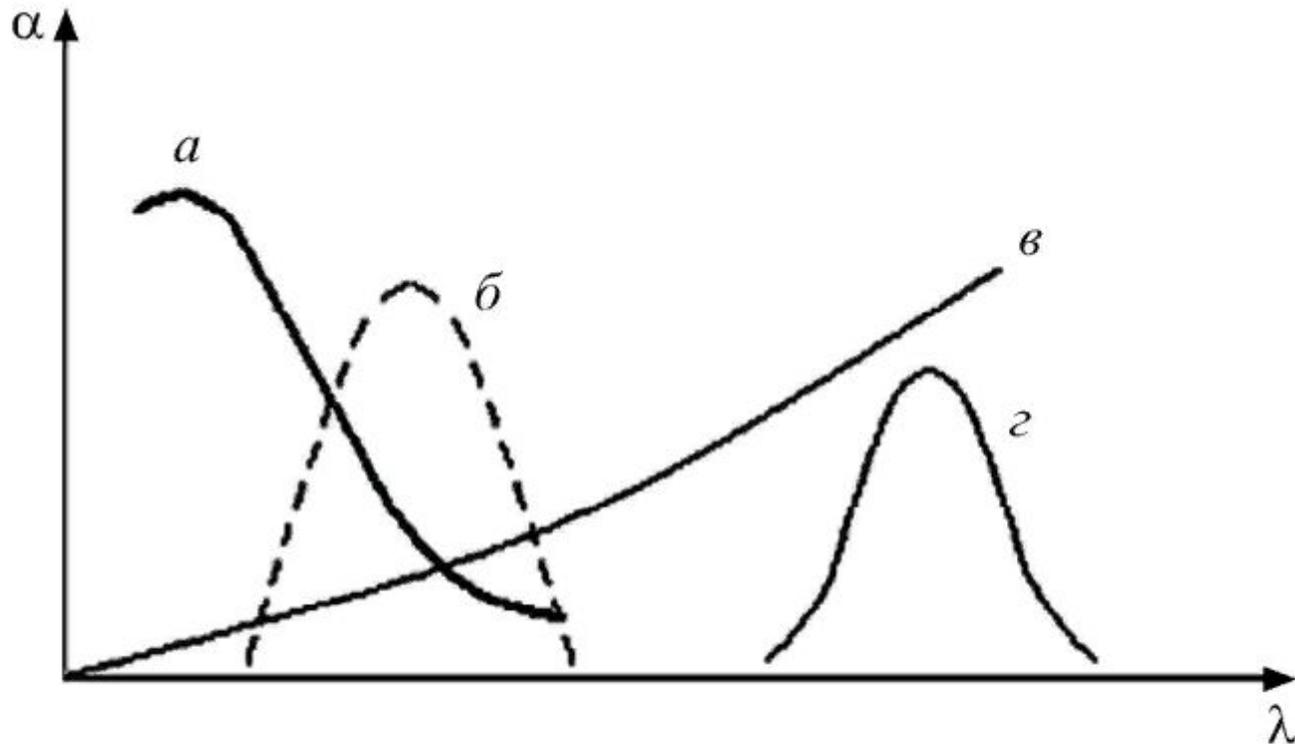


Рис. 2 – Полный спектр оптического поглощения полупроводника:

а – собственное поглощение;
б – экситонное поглощение;
в – поглощение света носителями заряда;
г – примесное поглощение

- Лишь собственное и примесное поглощения генерируют носители заряда и изменяют электрические свойства полупроводника. Поэтому эти механизмы называют **фотоактивными**. Изменение электрической проводимости полупроводника под воздействием излучения называется **фотопроводимостью** (**фоторезистивный эффект**).

Фотопроводимость количественно равна разности проводимости полупроводника на свету и в темноте:

$$\Delta\gamma = \gamma_{\text{св}} - \gamma_{\text{тем}} = e\Delta n\mu_n - e\Delta p\mu_p$$

Количество пар носителей заряда, генерированных одним поглощенным фотоном, называют квантовым выходом внутреннего фотоэффекта. В фотоэлектрически активной области квантовый выход равен 1.

С возрастанием потока излучения фотопроводимость стремится к насыщению. Спектру оптического поглощения полупроводника соответствует спектральная зависимость фотопроводимости (рис. 3).

Фотопроводимость имеет большое практическое значение. Ее используют в различных сферах человеческой деятельности: в приборах и устройствах применяемых в медицине, экологии, военном деле.

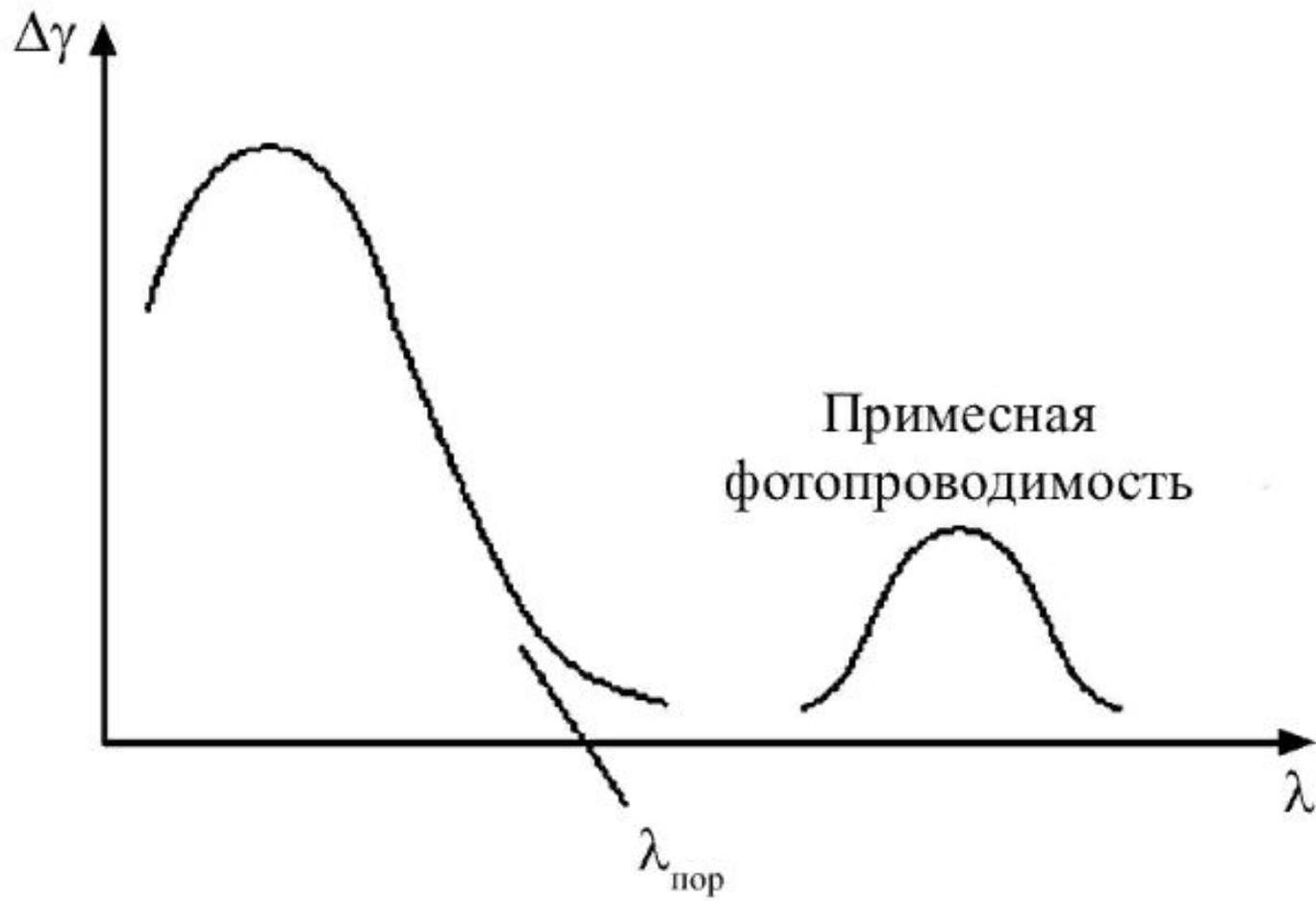


Рис. 3 – Спектральная зависимость фотопроводимости полупроводника

Термоэлектрические эффекты в полупроводниках.

- К важнейшим термоэлектрическим явлениям в полупроводниках относятся эффекты Зеебека, Пельтье и Томпсона.

Сущность явления Зеебека состоит в том, что в электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных разнородных полупроводников или полупроводника и металла, возникает ЭДС, если между концами этих материалов существует разность температур (рис. 4). Один конец спая нагрет до температуры T_2 , а другой — до T_1 , пусть $T_2 > T_1$. При этом в цепи обнаруживается электродвижущая сила — термоЭДС:

$$\varepsilon = a(T_2 - T_1)$$

где a — коэффициент термоЭДС, который определяется материалами двух ветвей.

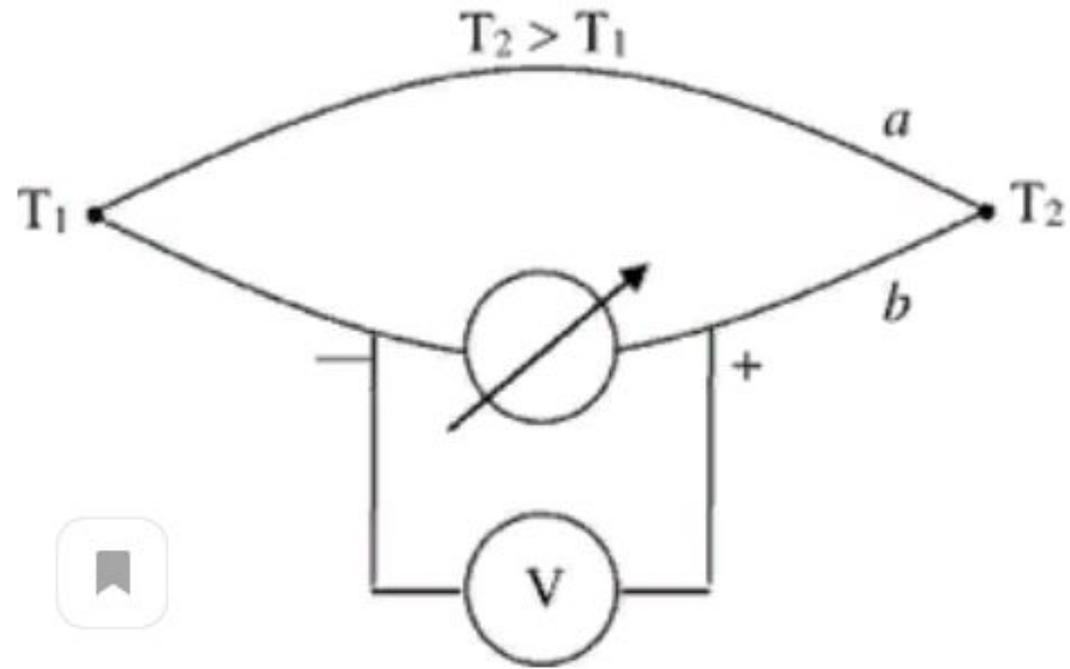


Рис. 4 – Схема возникновения термоЭДС в цепи из двух спаев

Рассмотрим процесс образования термоЭДС на примере однородного полупроводника, у которого один из концов нагрет больше, чем второй. Свободные носители заряда у горячего конца имеют более высокие энергии и скорости, чем у холодного. У горячего конца полупроводника свободных носителей больше, чем у холодного. Поэтому поток свободных носителей от горячего конца к холодному больше, чем от холодного к горячему. Если концентрация свободных электронов и дырок в полупроводнике или их подвижности не одинаковы, то концы полупроводников противоположно заряжены.

В электронном полупроводнике основными носителями заряда являются электроны, поток их от горячего конца к холодному больше, чем от холодного к горячему.

В результате этого на холодном конце накапливается отрицательный заряд, на горячем остается нескомпенсированный положительный. Возникшее электрическое поле вызывает поток электронов от холодного конца к горячему.

Стационарное состояние устанавливается при равенстве этих потоков электронов. У дырочного полупроводника на холодном конце возникает положительный заряд. Таким образом, по знаку термоЭДС можно судить о типе электропроводности полупроводника.

Эффект, обратный явлению Зеебека, называют **эффектом Пельтье**. Он состоит в том, что при прохождении тока через контакт двух разнородных полупроводников или полупроводника и металла происходит поглощение или выделение теплоты в зависимости от направления тока.

- Количество теплоты, выделяемой или поглощаемой в контакте, пропорционально значению протекающего тока I :

$$Q_{\text{п}} = \Pi I t,$$

где Q — теплота Пельтье;

t — время прохождения тока;

Π — коэффициент Пельтье, зависящий от природы контактирующих материалов, температуры и направления тока.

- Эффект Томпсона заключается в выделении или поглощении теплоты при прохождении тока в однородном материале, в котором существует градиент температур. Наличие градиента температур в полупроводнике приводит к образованию термоЭДС. Если направление внешнего электрического поля совпадает с электрическим полем, обусловленным термоЭДС, то не вся энергия, поддерживающая ток, обеспечивается внешним источником, часть работы совершается за счет тепловой энергии самого полупроводника, в результате чего он охлаждается.

При смене направления внешнего электрического поля оно совершает дополнительную работу, что приводит к выделению теплоты дополнительно к теплоте Джоуля. Теплота Томпсона:

$$Q_{\tau} = \tau(T_2 - T_1)tl$$

где τ — коэффициент Томпсона.