

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ И ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Содержание

1. Металлы и полупроводники
2. Полупроводники
3. Металлы
4. Электропроводность полупроводников
5. Дрейфовая и диффузная электропроводности
6. Проводимость и подвижность носителей
7. Влияние внешнего поля на проводимость
8. Электропроводность невырожденного и вырожденного электронного газа
9. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры
10. Механизмы рассеяния носителей в полупроводниках
11. Рассеяние на ионизированной примеси

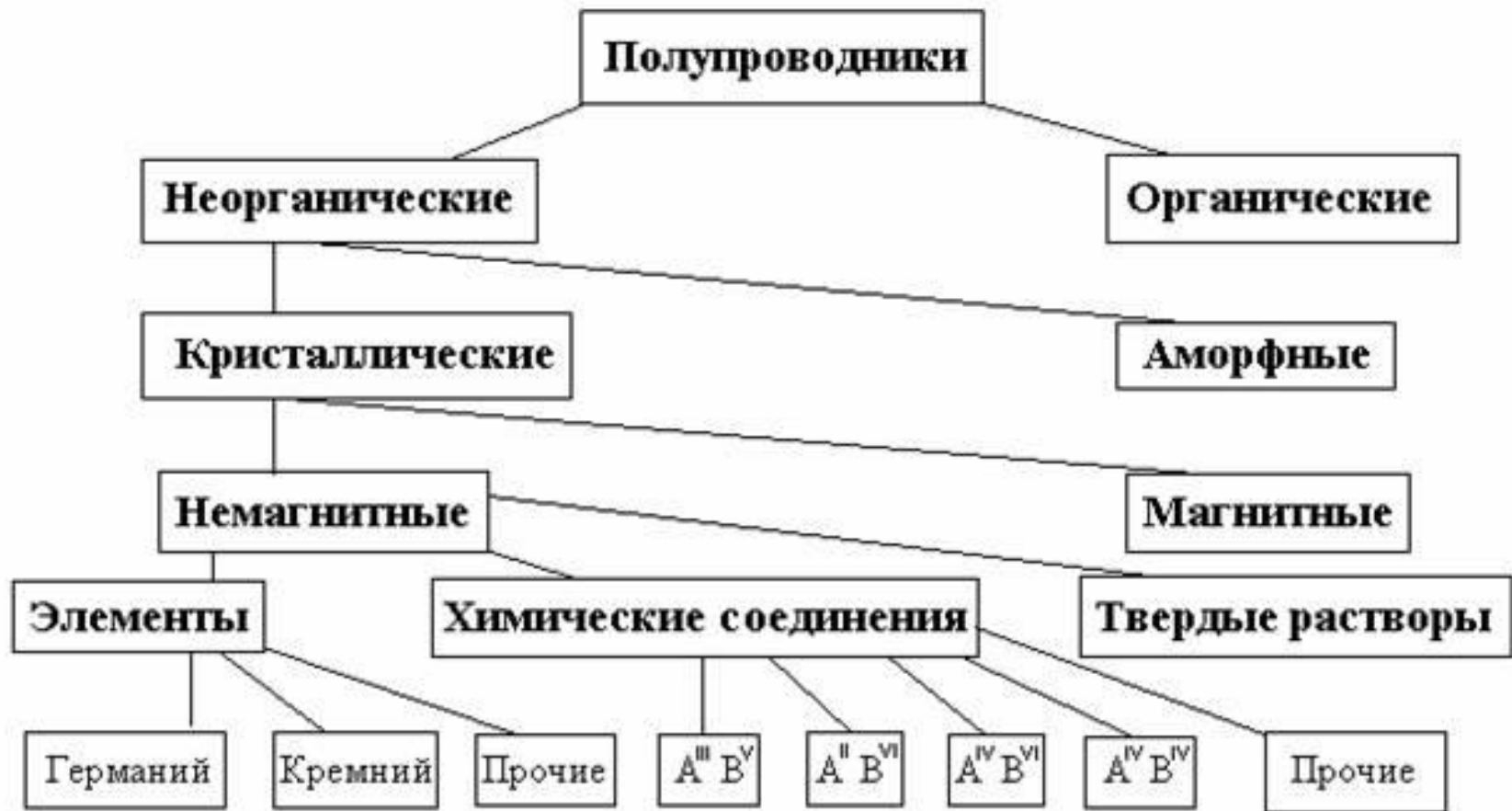
Металлы и полупроводники

- Металлы – группа элементов, в виде простых веществ обладающих характерными металлическими свойствами, такими как высокие тепло- и электропроводность, положительный температурный коэффициент сопротивления, высокая пластичность и металлический блеск.
- Полупроводник – материал, который по своей удельной проводимости занимает промежуточное место между проводниками и диэлектриками и отличается от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения. Основным свойством полупроводника является увеличение электрической проводимости с ростом температуры.

ПОЛУПРОВОДНИКИ



Полупроводники



Металлы

Общая характеристика металлов

Металлы – химические элементы

Металлы – простые вещества



Металлы



Электропроводность полупроводников

В тех случаях, когда на полупроводники действуют некоторые внешние факторы, возникает ненулевая упорядоченная скорость носителей заряда. Как следствие, состояние термодинамического равновесия в полупроводнике нарушается. Связанные с этим явления называются *явлениями или процессами переноса зарядов*.

Движение носителей заряда в образце полупроводника может возникать, прежде всего, под действием электрического поля или разности потенциалов. Образующийся электрический ток принято называть *дрейфовым*. Кроме того, движение носителей может обуславливаться пространственной неоднородностью их концентрации (говорят, под действием градиента концентрации носителей). При этом возникает так называемый *диффузионный ток*.

Дрейфовая и диффузионная электропроводности

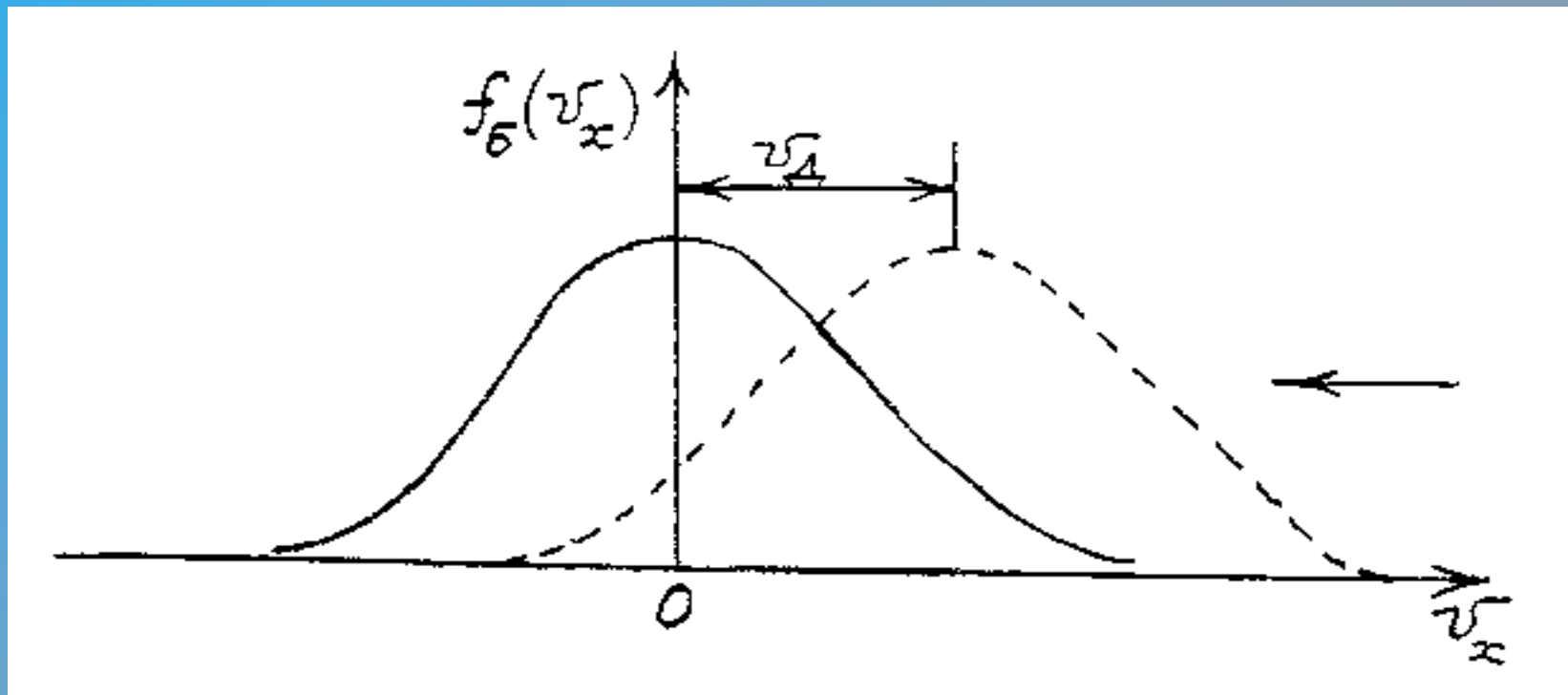
В однородном полупроводнике свободные электроны, появившиеся за счет теплового возбуждения, совершают хаотические движения. Траектория отдельно взятого электрона прямолинейна до тех пор, пока не произойдет столкновения. Столкновения могут возникать по ряду причин:

- из-за нарушения периодичности потенциала под действием тепловых колебаний решетки (фононов);
- из-за дефектов решетки;
- различных примесей;
- взаимодействий с другими носителями заряда и т.д.

Проводимость и подвижность носителей заряда

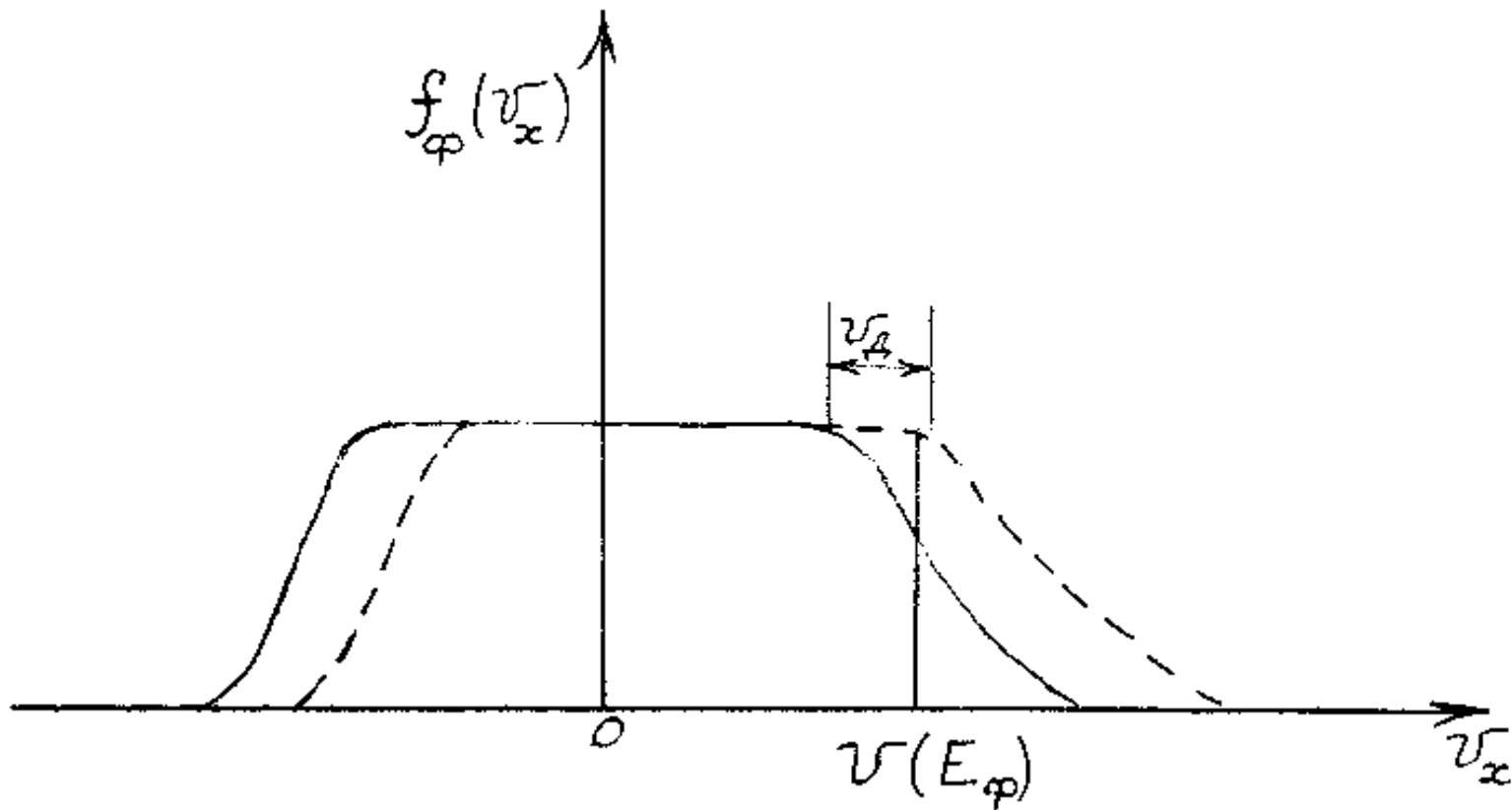
В общем случае вырожденным газом в физике называется газ, свойства которого отличаются от свойств классического идеального газа вследствие квантово-механических свойств частиц газа. Вырожденный газ подчиняется квантово-механическим статистикам Ферми-Дирака или Бозе-Эйнштейна, невырожденный газ - статистике Максвелла-Больцмана. Условием перехода газа в невырожденное состояние является выполнение неравенства $f(E) \ll 1$.

*Проводимость и подвижность
носителей заряда
Распределение Максвелла —
Больцмана:*



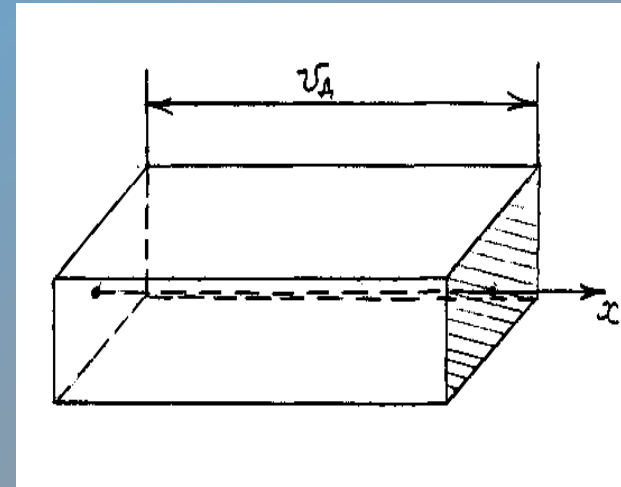
Проводимость и подвижность носителей заряда

Распределение Ферми — Дирака:



Проводимость и подвижность носителей заряда

При наличии в решетке примесных центров электроны могут локализоваться («прилипнуть») на них, а затем делокализоваться («отлипнуть»), обладая в общем случае уже иной энергией и импульсом. На корпускулярном языке это означает столкновение электронов с примесными центрами и рассеяние, которое в отсутствии внешнего поля также будет приводить к установлению равновесного распределения.



Проводимость и подвижность носителей заряда

Если к кристаллу приложить внешнее поле , то в нем возникает электрический ток, плотность которого i , согласно закону Ома, пропорциональна :

$$i = \sigma \vec{\mathcal{E}}$$

Коэффициент пропорциональности называется удельной электропроводностью проводника, а величина , обратная , называется удельным сопротивлением проводника:

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Появление тока в проводнике свидетельствует о возникновении в нем под действием поля направленного движения электронов, которое называют дрейфом.

Влияние внешнего поля на проводимость

Возникновение электрического тока в проводнике под действием внешнего поля свидетельствует о том, что это поле изменяет функцию распределения электронов по состояниям, так как равновесная функция распределения не приводит к появлению тока. Для однородного проводника в отсутствии градиента температуры скорость изменения функции распределения с течением времени под действием поля, направленного вдоль оси x , можно выразить так:

$$\left(\frac{df}{dt}\right) = \frac{df}{dt} + \frac{df}{dp_x} \frac{dp_x}{dt}, \quad \frac{dp_x}{dt} = F_x = -e\varepsilon$$

$$\left(\frac{df}{dt}\right)_\varepsilon = \frac{df}{dt} - e\varepsilon \frac{df}{dp_x}, \quad \text{где } \left(\frac{df}{dt}\right) - \text{функция распределения}$$

Влияние внешнего поля на проводимость

Кинетические уравнения Больцмана:

$$f = f_0 + e\varepsilon\tau \frac{df_0}{dp_x} = f_0 + \frac{e\varepsilon\tau}{m} \frac{df_0}{dv_x}$$

Переходя от дифференцирования по импульсу к дифференцированию по энергии, получим:

$$f = f_0 + e\varepsilon\tau v_x (df_0 / dE)$$

Известно, что: $f = f_0 + \Delta f$

$(\Delta f_0) = f - f_0$ - при $t=0$ (в момент выключения поля)

Электропроводность невырожденного и вырожденного электронного газа

Невырожденный газ

$$\langle v_D \rangle = -\frac{e \langle \tau \rangle}{m_n} \vec{\varepsilon} \quad \text{и} \quad u = \frac{e}{m_n} \langle \tau \rangle$$

В случае невырожденного газа плотность заполнения зоны проводимости электронами настолько небольшая, что они практически никогда не встречаются так близко, чтобы их поведение могло ограничиваться принципом Паули. Электроны являются полностью свободными в том смысле, что на движение любого из них другие не оказывают заметного влияния. Поэтому все электроны проводимости невырожденного газа принимают независимое друг от друга участие в создании электрического тока и в формировании электропроводности проводника.

Электропроводность невырожденного и вырожденного электронного газа

Вырожденный газ

Для вырожденного газа все квантовые состояния, расположенные левее, заняты электронами. Поэтому внешнее поле может воздействовать лишь на электроны, расположенные у уровня Ферми, переводя их на более высокие свободные уровни путем переброски из левой области распределения в правую. Это означает,

что в вырожденном газе

в формировании электропроводности могут участвовать не все свободные электроны, а лишь те из них,

которые располагаются непосредственно

у уровня Ферми. Поэтому в качестве

времени релаксации следует брать

время релаксации электронов, обладающих

энергией, практически равной энергии Ферми.

$$\left. \begin{aligned} v_D &= -\frac{e\tau_F}{m_n} \vec{\varepsilon} \\ u &= \frac{e\tau_F}{m_n} \end{aligned} \right\}$$

Зависимость подвижности носителей заряда от температуры

Более точный расчет показывает, что подвижность носителей, определяемая рассеянием их на фононах, существенно зависит от эффективной массы, именно:

$$\mu_F \sim \frac{1}{m_{\text{эф}}^{5/2} T^{3/2}}$$

Механизмы рассеяния носителей в полупроводниках

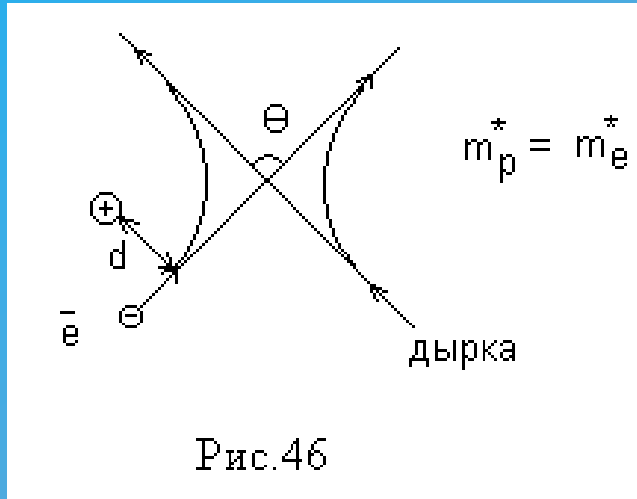
- Под процессом рассеяния носителей мы будем понимать искривления его траектории движения под действием какой-либо силы.
- Вероятность рассеяния называют эффективным сечением рассеяния.

Формула Эрджинсо:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{20 \cdot \xi \cdot \hbar^3}{m^2 \cdot q^2} \cdot N_0$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость,
 m - эффективная масса электрона,
 b - некоторая постоянная, которая определяется характеристиками среды и электрона: m_e , e и т.д.,
 N_0 - концентрация нейтральных примесей.

Рассеяние на ионизированной примеси



Между e и примесью действуют кулоновские силы притяжения.

d - прицельный диаметр

φ - угол рассеяния, это угол между направлением первоначального движения и последующим.

Угол φ зависит от d и $\mathcal{E}$. Чем больше энергия частицы и чем дальше находится она, тем угол φ меньше.

Впервые механизм этого рассеяния рассмотрел Резерфорд и получил:

$$\tau_I = T^{\frac{3}{2}}$$

$$\tau_{\text{ион.прим.}} = a \cdot T^{\frac{3}{2}}$$

$$\tau_I = \mathcal{E}^{\frac{3}{2}}$$

$$\tau_{\text{ион.прим.}} \approx b_0 \cdot \mathcal{E}^{\frac{3}{2}}$$