

Физика. Занятие №3, 23.09.2024

Рудяк А.С., СГУ им. Чернышевского
2 курс, «Программная инженерия»

Саратов, 2024

Содержание

Проводники в электростатическом поле	2
Диэлектрики в электростатическом поле	3
Полупроводники в электростатическом поле	7
Основная задача электростатики	10
Постоянный электрический ток	11

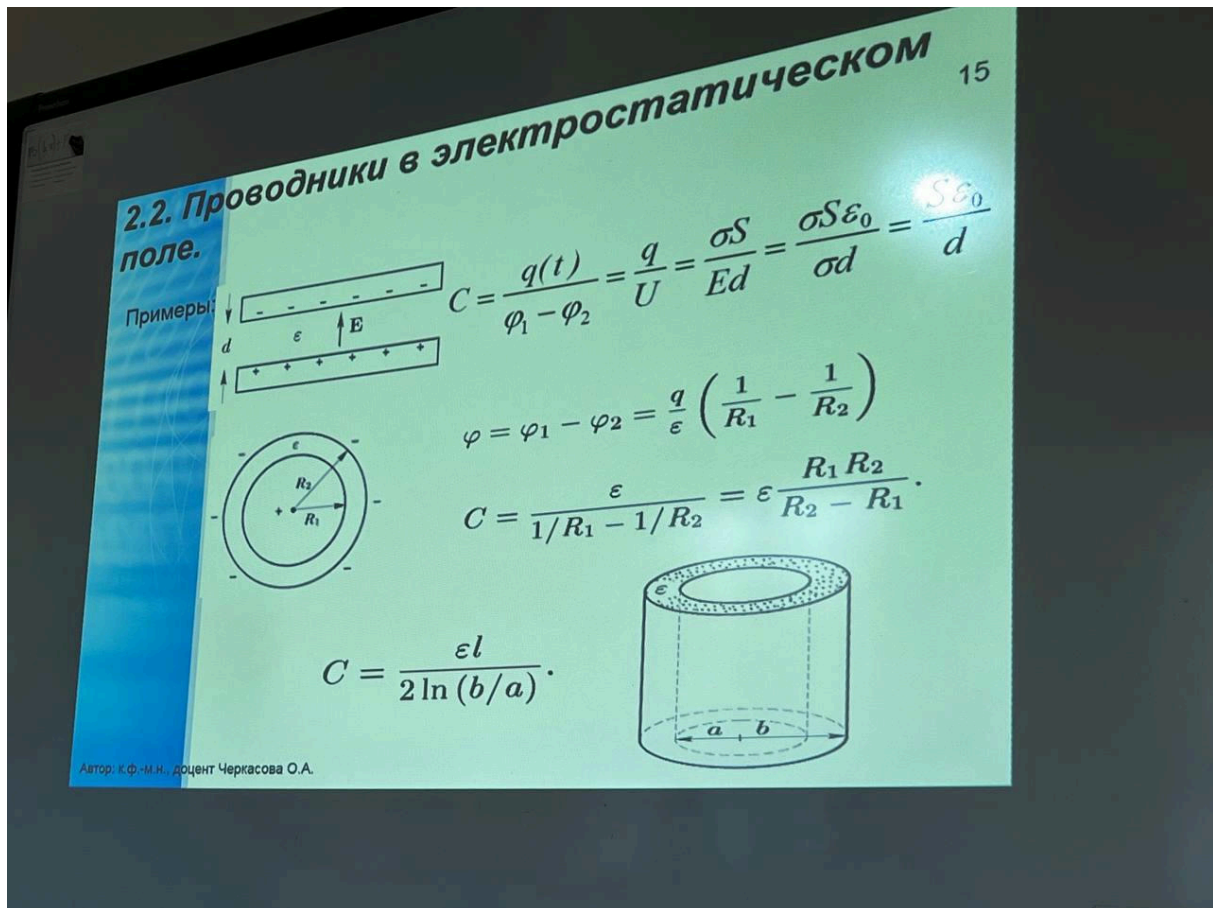
Проводники в электростатическом поле

$$C = \frac{q(t)}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U} = \frac{\sigma S}{Ed} = \frac{\sigma S \varepsilon_0}{\sigma d} = \frac{S \varepsilon_0}{d}$$

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{\varepsilon} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$C = \frac{\varepsilon}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}} = \varepsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

$$C = \frac{\varepsilon l}{2 \ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$



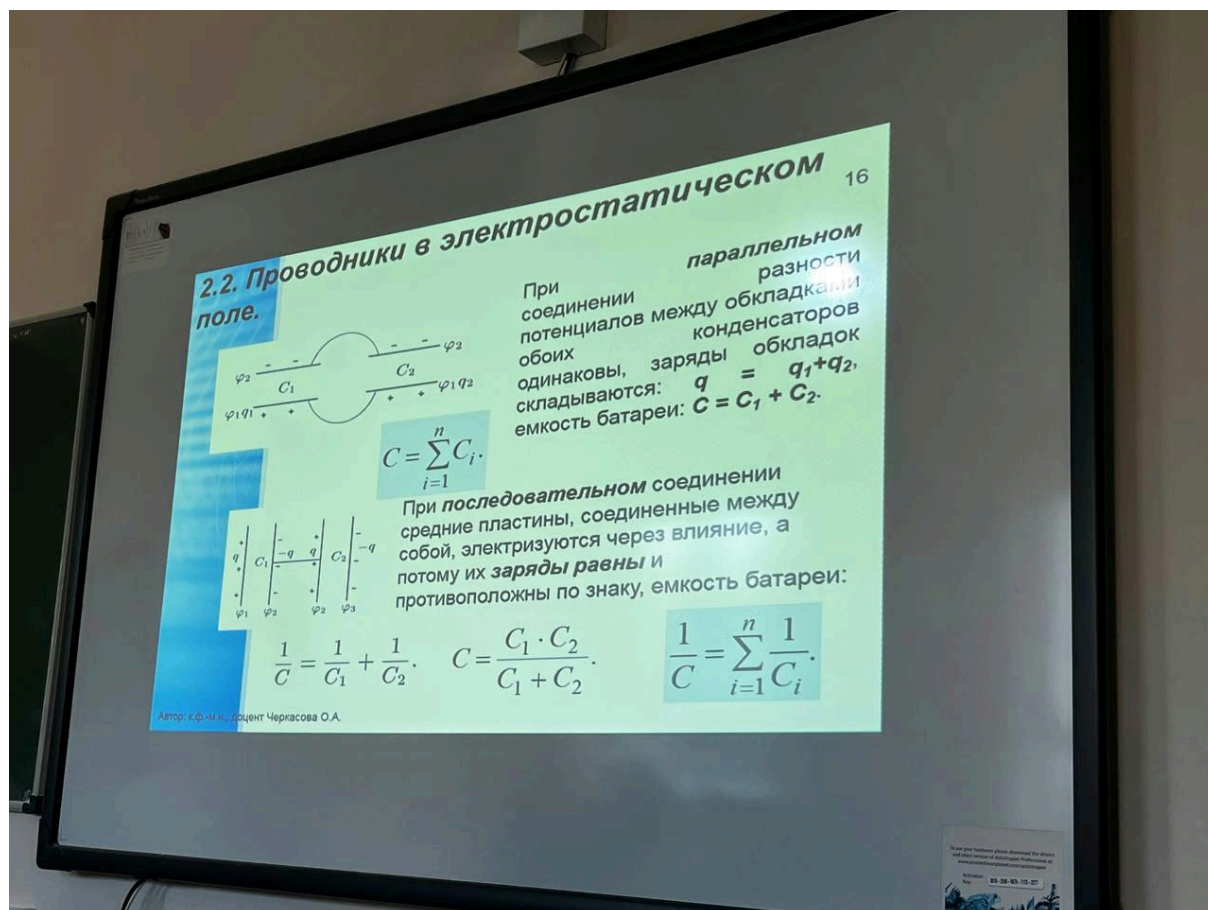
При параллельном соединении разности потенциалов между обкладками обоих конденсаторов одинаковы, заряды обкладок складываются: $q = q_1 + q_2$, емкость батареи: $C = C_1 + C_2$

$$C = \sum_{i=1}^n C_i$$

При последовательном соединении средние пластины, соединенные между собой, электризуются через влияние, а потому их заряды равны и противоположны по знаку, емкость батареи:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$



$$dA = U dq \quad U = q_C \Rightarrow dA = \frac{q dq}{C}$$

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$$

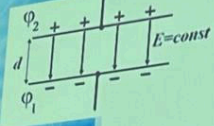
Обобщим полученный результат на любые поля. Возьмем плоский конденсатор $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \Rightarrow U = ed$

$$dW = \omega dV, \quad W = \int_V \omega dV, \quad W = \int_V \omega(x, y, z) dx dy dz$$

$$\omega = \frac{C(Ed)^2}{2Sd} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S(Ed)^2}{d2Sd} \Rightarrow \omega = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2}$$

Диэлектрики в электростатическом поле

2.2. Проводники в электростатическом поле. 18



$$dW = \omega \cdot dV, \quad W = \int_V \omega \cdot dV.$$

$$W = \int_V \omega(x, y, z) \cdot dx dy dz$$

плотность энергии

$$\omega = \frac{C(Ed)^2}{2Sd} = \frac{\epsilon\epsilon_0 S(Ed)^2}{d \cdot 2Sd} \Rightarrow \omega = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2}$$

объем, занимаемый полем

Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

Полярные диэлектрики (к ним относятся H_2O , CO , NH_3) — это диэлектрики, молекулы которых имеют асимметричное строение, т.е. центры тяжести положительных и отрицательных зарядов не совпадают. Таким образом, эти молекулы в отсутствие внешнего электрического поля представляют собой диполь.

Неполярные диэлектрики (H_2 , O_2 , N_2) — это диэлектрики, молекулы которых имеют симметричное строение.

Ионные диэлектрики (вещества с кристаллической структурой, $NaCl$, KCl , KBr) — это диэлектрики, молекулы которых имеют ионное строение. Диэлектрик представляет собой ионную кристаллическую решетку с чередованием ионов разных знаков, т.е. диэлектрик можно рассматривать как две подрешетки противоположных зарядов, сдвинутых одна относительно другой.

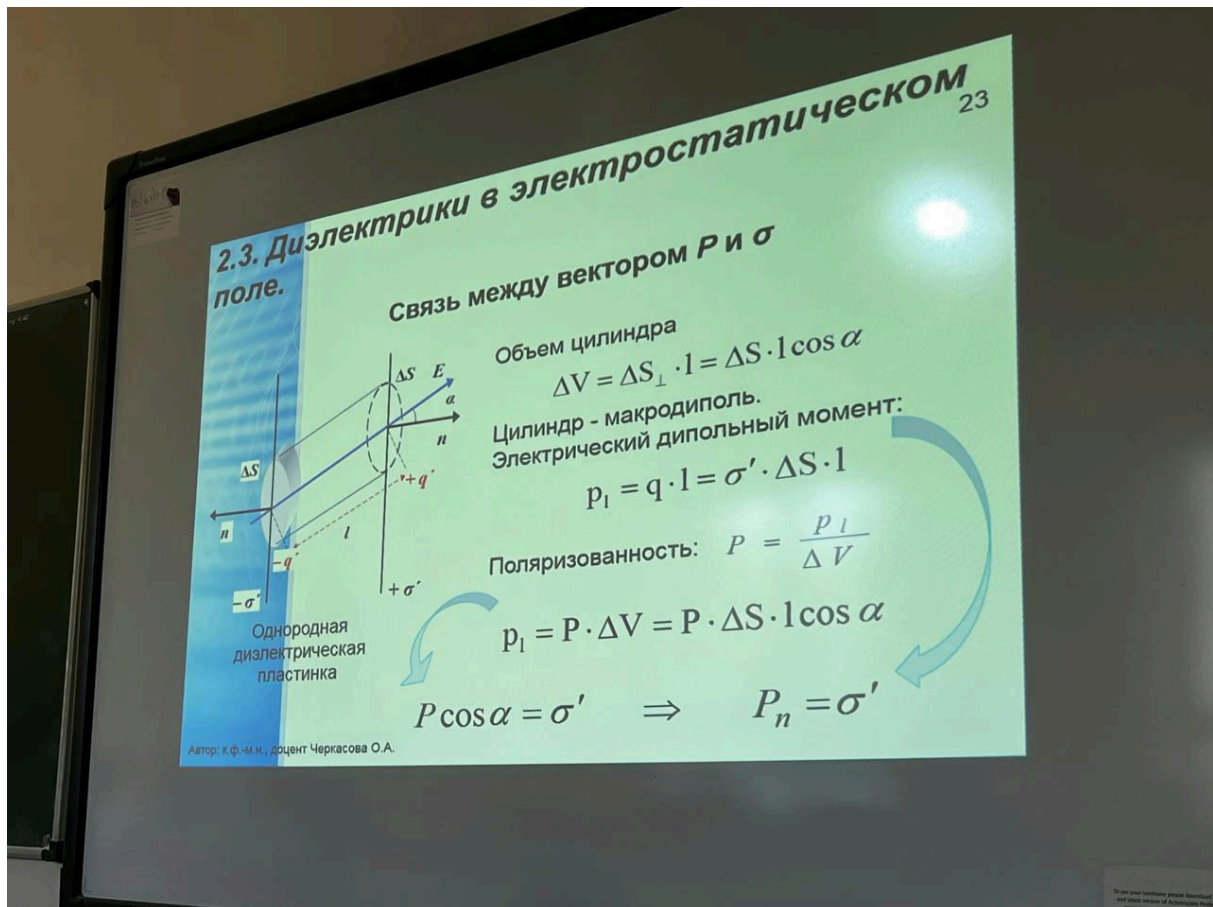
Смещение электрических зарядов вещества под действием электрического поля называется поляризацией. Степень поляризации диэлектрика характеризуется величиной, называемой вектором поляризации (или поляризованностью). Вектор поляризации

определяется как суммарный дипольный момент единицы объема диэлектрика и равен

$$\bar{P} = \frac{p_V}{V} = \frac{\sum_i \bar{p}_{li}}{V} \text{ [(Кл м)/м}^3 = \text{Кл / м}^2]$$

$$\bar{p}_l = \beta \varepsilon_0 E$$

Для неполярного диэлектрика — линейная зависимость (1). Для полярного диэлектрика — логарифмическая зависимость (2).



При определенной величине E достигается такое состояние, когда дипольные моменты всех молекул направлены по полю, т.е. наступает насыщение и модуль вектора поляризации достигает $P_{\text{нас}}$

Связь между вектором P и σ

Объём цилиндра: $\Delta V = \Delta S_{\text{перп}} \cdot l = \Delta S \cdot l \cos(\alpha)$

Цилиндр — макродиполь. Электрический дипольный момент: $p_1 = ql = \sigma' \cdot \Delta S \cdot l$

Поляризованность: $P = \frac{p_l}{\Delta V}$

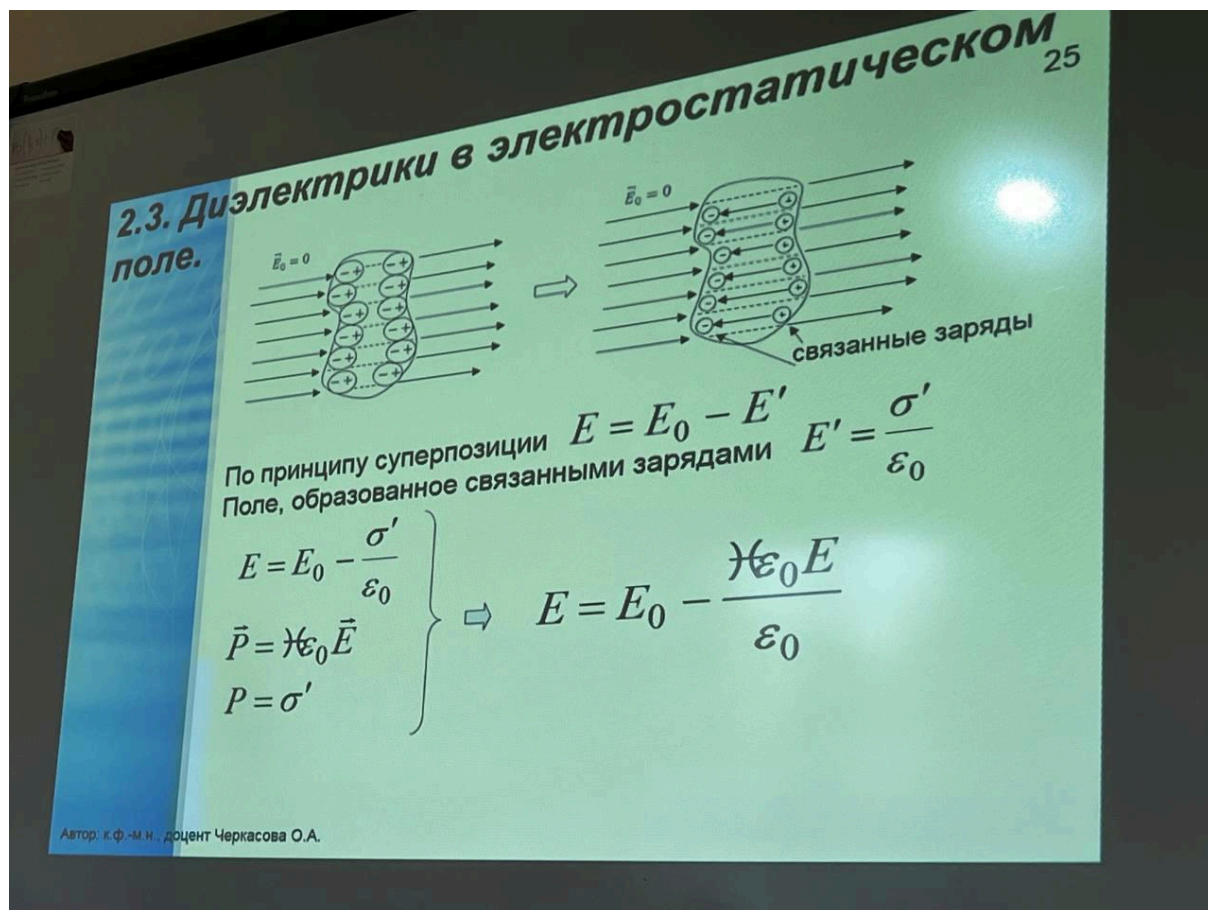
$$p_1 = P \cdot \Delta V = P \cdot \Delta S \cdot l \cos(\alpha)$$

$$P \cos(\alpha) = \sigma'$$

P_n — проекция вектора поляризованности на внешнюю нормаль к поверхности диэлектрика.

P_n — численно равна электрическому заряду, смещаемому через единичную площадку в направлении положительной нормали к ней.

$$P_n = \sigma' = \kappa \varepsilon_0 E$$



По принципу суперпозиции $E = E_0 - E'$ Поле, образованное связанными зарядами $E' = \sigma' / \varepsilon_0$

$$1) E = E_0 - \frac{\sigma'}{\varepsilon_0} \quad 2) \vec{P} = \kappa \varepsilon_0 \vec{E} \quad 3) P = \sigma'$$

Из 1-3 следует:

$$E = E_0 - \frac{\kappa \varepsilon_0 E}{\varepsilon_0}$$

$$1) E_0 = (1 + \kappa) E \quad 2) \varepsilon = 1 + \kappa$$

Из 1,2 следует:

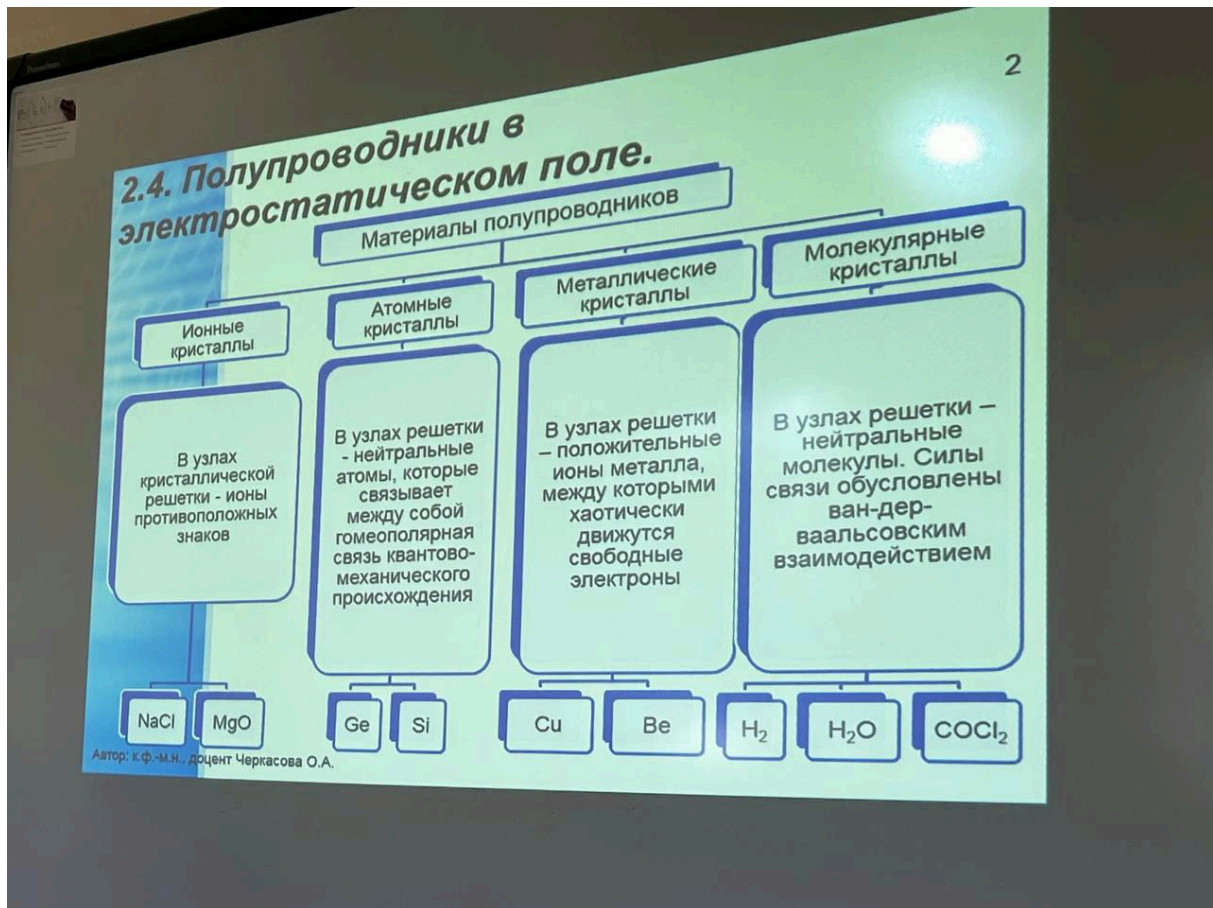
$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$$

Физический смысл диэлектрической проницаемости заключается в том, что она показывает во сколько раз ослабляется поле внутри диэлектрика

По теореме О.-Г: $\oint \vec{E} d\vec{S} = \frac{q_{\text{своб}} + q_{\text{пол}}}{\epsilon_0}$

$$\oint \vec{D} d\vec{S} = \int_V \vec{D} dV = \int_V \rho dV \Rightarrow \vec{D} = \rho$$

Полупроводники в электростатическом поле



- Атомы кристаллических полупроводников связаны ковалентными связями, при которых валентные электроны становятся общими для соседних атомов
- При температурах близких к абсолютному нулю в п/п нет свободных электронов
- При возрастании температуры энергия (всех) электронов растет. Валентные электроны могут покинуть атом, в результате растет число свободных электронов и их энергия
- Априори можно утверждать, что главным свойством полупроводников является уменьшение ширины запрещенной зоны

Среднее значение энергии теплового движения электронов при комнатной температуре составляет примерно 0,04 эВ.

При $T = 0$ в зоне проводимости электронов нет, в валентной зоне все состояния заняты и наш кристалл будет демонстрировать чисто диэлектрические свойства.

При конечной температуре возникнет некоторое количество электронов и дырок, причем в силу общей электронейтральности и их концентрации совпадают $n_e = n_h$. Эти термоактивированные носители заряда называют также собственными носителями заряда, а о таком полупроводнике говорят как о полупроводнике с собственной проводимостью.

Электроны и дырки являются фермионами, для них применимо распределение Ферми-Дирака. Поэтому концентрации электронов и дырок равны

$$n_{e,h} = 2 \int n(\varepsilon_{e,h}) \frac{d^3 \vec{q}_{e,h}}{(2\pi)^3}$$

$$n(\varepsilon_{e,h}) = \frac{1}{\exp((\varepsilon_{e,h} \pm \mu)/kT) + 1}$$

$$n_e = 2 \left(\frac{m_e T}{2\pi \hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g - \mu}{T}}$$

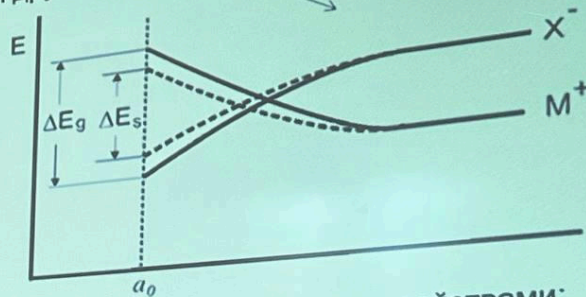
$$n_h = 2 \left(\frac{m_h T}{2\pi \hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu}{T}}$$

Собственная проводимость полупроводника пропорциональная числу носителей заряда, зависит от температуры по закону:

$$\sigma = \sigma_c e^{-\frac{W_g}{2k_B T}}$$

2.4. Полупроводники в электростатическом поле.

Как можно повысить количество свободных электронов дырок или того или другого в полупроводнике?



Атомы примеси должны обладать свойствами:

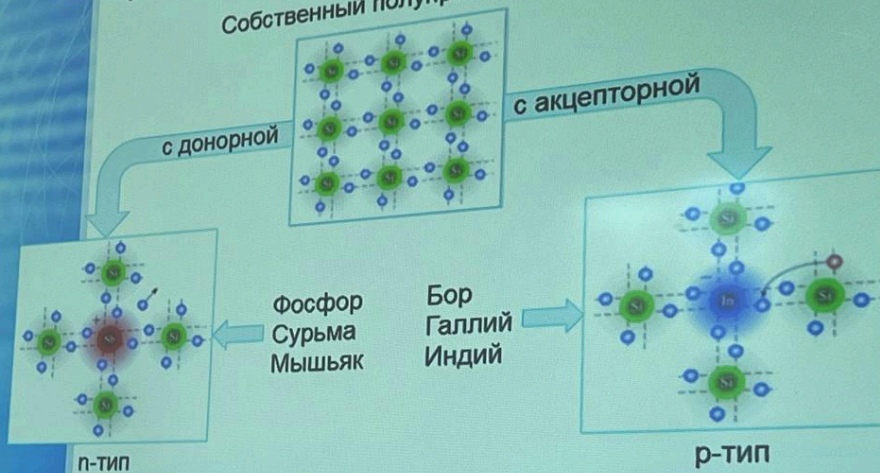
- ✓ должны занимать место на энергетических уровнях в запрещённой зоне исходного собственного полупроводника.
- ✓ валентность примеси должна быть отличной от валентности собственного полупроводника.

Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

2.4. Полупроводники в электростатическом поле.

Примесная электропроводность полупроводника

Собственный полупроводник (i-тип)



Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

2.4. Полупроводники в электростатическом поле.

Зонные диаграммы полупроводников



Уровень Ферми твердого тела - это термодинамическая работа, необходимая для добавления одного электрона к телу.

Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

Уровень Ферми твердого тела — это термодинамическая работа, необходимая для добавления одного электрона к телу.

Основная задача электростатики

Нахождение решения дифференциальных уравнений Пуассона и Лапласа

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d^2\varphi}{dy^2} + \frac{d^2\varphi}{dz^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

Уравнение Пуассона описывает распределение потенциалов в пространстве, если электрическое поле создано системой проводников и в пространстве между проводниками имеются свободные заряды.

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d^2\varphi}{dy^2} + \frac{d^2\varphi}{dz^2} = 0$$

Уравнение Лапласа описывает распределение потенциалов в пространстве, если электрическое поле создано системой проводников и в пространстве между проводниками нет свободных зарядов.

Постоянный электрический ток

Электрический ток — упорядоченное движение электрических зарядов.

Ток проводимости (ток в проводниках) — движение микрочаarged в макротеле.

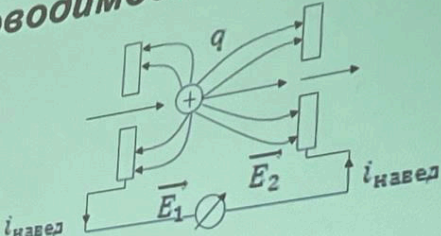
Конвекционный ток — движение макроскопических заряженных тел в пространстве

Ток в вакууме — движение микрочаarged в вакууме.

Наведенный ток — это механизм преобразования энергии источника в энергию токов или электромагнитных колебаний во внешней цепи.

13

3.1. Ток проводимости.



Пусть заряд q от некоторого источника влетает в пространство, ограниченное двумя металлическими поверхностями (сетками). Известно, что заряд наводит на металлической поверхности заряды противоположного знака. Поле двойного заряженного слоя $E_1 > E_2 \rightarrow \varphi_1 > \varphi_2$. Тогда во внешней цепи возникает разность потенциалов, следовательно, ток, называемый **наведенным**.

Автор: к.ф.-м.н., доцент Черкасова О.А.

Пусть заряд q от некоторого источника влетает в пространство, ограниченное двумя металлическими поверхностями (сетками). Известно, что заряд наводит на металлической поверхности заряды противоположного знака. Поле двойного заряженного слоя $E_1 > E_2 \rightarrow \varphi_1 > \varphi_2$

Тогда во внешней цепи возникает разность потенциалов, следовательно, ток, называемый наведенным.

Условия возникновения тока:

1. Нужны носители тока, то есть заряды (свободные или почти свободные)
 1. В проводниках первого рода — свободные электроны
 2. В полупроводниках — электроны и “дырки” (валентные электроны)
 3. В электролитах — Ионные
 4. В плазме — свободные электроны и положительные ионы
2. Надо нарушить равновесие заряда в проводящей среде, т.е. необходимо наличие в среде электрического поля, энергия которого затрачивалась бы на перемещение электрических зарядов.