



## Лекция 4

# Тема Лекции: Ток термоэлектронной эмиссии

*к.ф.-м.н., PhD, ассоциированный профессор  
Тулегенова Аида Тулегенкызы*

## **Цель лекции:**

Изучить физическую природу термоэлектронной эмиссии, условия вылета электронов из металла в вакуум при нагревании, основные уравнения и зависимости, описывающие эмиссионные токи, а также рассмотреть практическое применение явления в вакуумной электронике и термоэмиссионных приборах

## **Основные вопросы:**

1. Понятие термоэлектронной эмиссии.
2. Энергетическое распределение электронов в металле.
3. Уравнение Ричардсона–Дэшмана
4. Факторы, влияющие на величину термоэлектронного тока.
5. Практическое применение термоэлектронной эмиссии

Рассчитаем ток эмиссии электронов с поверхности полупроводника в условиях термодинамического равновесия. Все свободные электроны в полупроводнике находятся в потенциальной яме. Функция распределения этих электронов по степеням свободы описывается бoльцмановской статистикой:

$$f_0(E, T) = e^{-\frac{E-F}{kT}}$$

**Ток, обусловленный этими электронами, называется током термоэлектронной эмиссии. Таким образом, *ток термоэлектронной эмиссии* – это ток, обусловленный горячими равновесными электронами вследствие распределения энергии по степеням свободы**

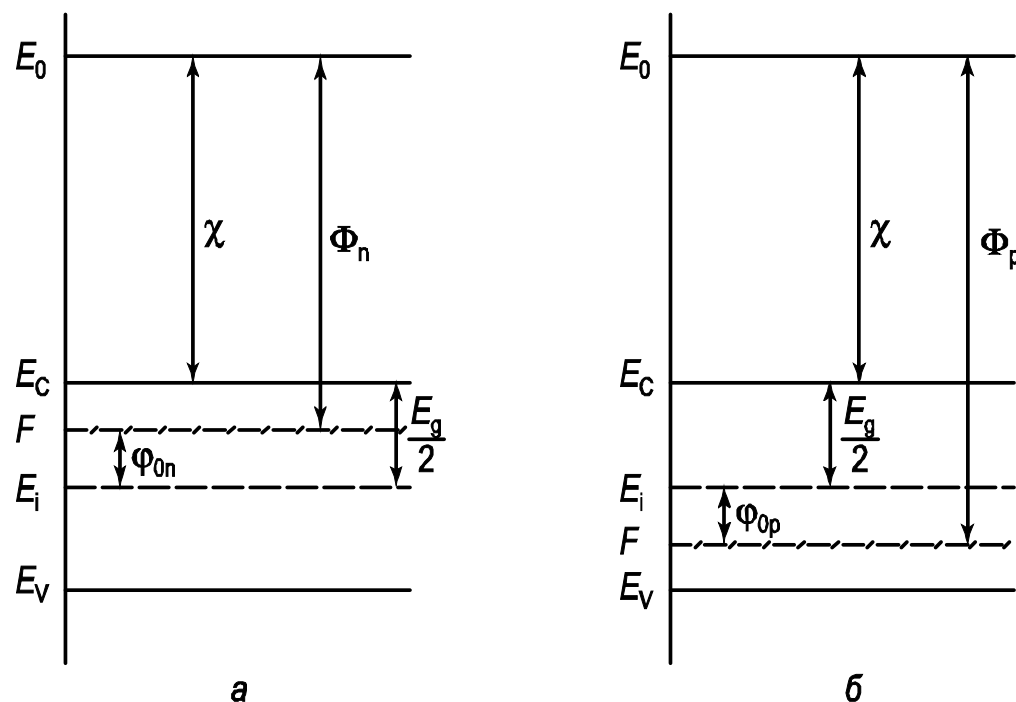
Чтобы узнать число электронов  $dn$ , нужно число состояний  $dz$  умножить на вероятность их заполнения  $f(E, T)$ :

$$dn = f(E, T)dz$$

*Функция распределения электронов по состояниям для электронов и дырок – в общем случае функция Ферми – Дирака.* Однако поскольку рассматриваются электроны с большой энергией, способные покинуть поверхность полупроводника ( $E - F \gg kT$ ), то функция распределения с высокой степенью вероятности будет больцмановской:

$$f_0(E, T) = \frac{1}{e^{\frac{E-F}{kT}} - 1} \approx e^{-\frac{E-F}{kT}}$$

# *Термодинамическая работа выхода в полупроводниках $p$ и $n$ типов*



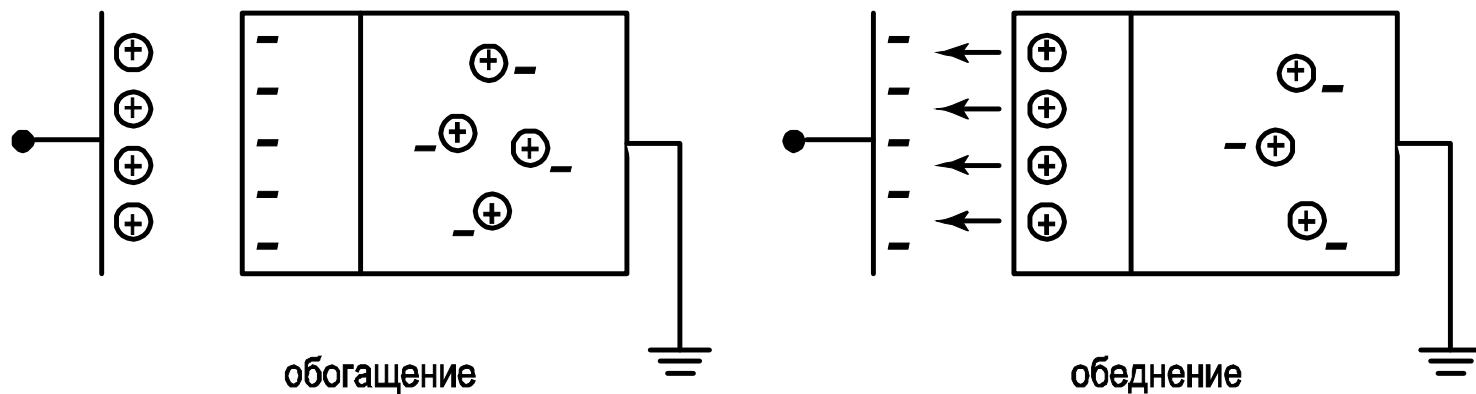
**Рис. 1. - Зонная диаграмма полупроводников: а)  $n$ -типа;  
б)  $p$ -типа**

**Согласно определению термодинамической работы выхода, получаем следующее выражение для термодинамической работы выхода в полупроводниках n типа  $\Phi_n$  и p типа  $\Phi_p$ :**

$$\hat{O}_n = -F = \chi + \left( \frac{E_g}{2} - \varphi_n \right)$$

$$\hat{O}_p = -F = \chi + \left( \frac{E_g}{2} + \varphi_p \right)$$

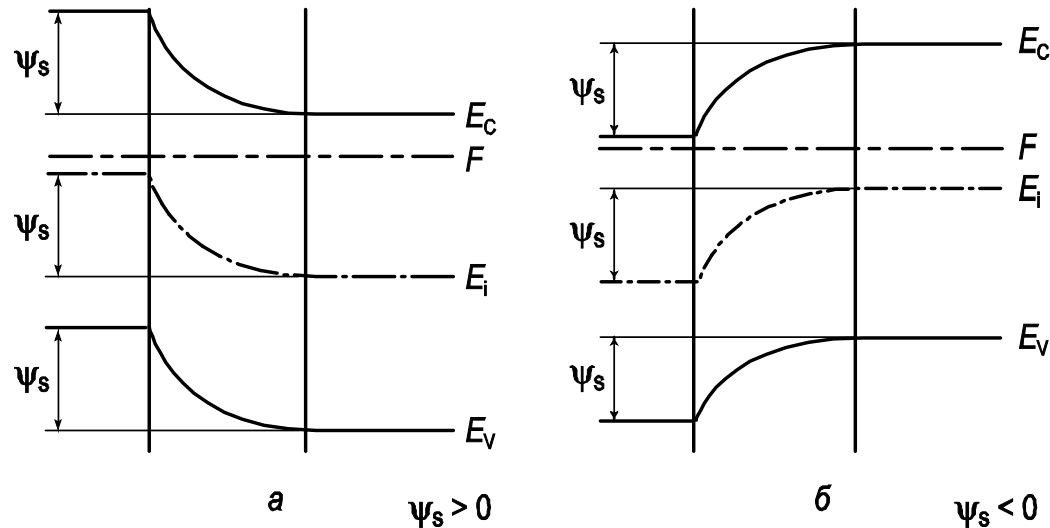
# Эффект поля, зонная диаграмма при эффекте поля



**Рис. 2. - Изменение концентрации свободных носителей в приповерхностной области полупроводника при наличии вблизи поверхности заряженной металлической плоскости**

Значение электростатического потенциала на поверхности полупроводника называется **поверхностным потенциалом** и обозначается символом  $\psi_s$ .

Знак поверхностного потенциала  $\psi_s$  соответствует знаку заряда на металлическом электроде, вызывающего изгиб энергетических зон. При  $\psi_s > 0$  зоны изогнуты вниз, при  $\psi_s < 0$  зоны изогнуты вверх



Энергетические зоны на поверхности полупроводника *n*-типа:

а) в случае обеднения; б) в случае обогащения

### **Вопросы для контроля изучаемого материала:**

1. Что представляет собой явление термоэлектронной эмиссии?
2. Объясните физический смысл работы выхода электрона из металла.
3. Запишите и прокомментируйте уравнение Ричардсона–Дэшмана.
4. Какие параметры влияют на величину эмиссионного тока?
5. Чем отличаются оксидные катоды от металлических по эмиссионным свойствам?
6. Что такое режим, ограниченный пространственным зарядом, и как он описывается?
7. Где на практике используется термоэлектронная эмиссия?

### **Список литературных источников:**

8. Трифонов Е. Н. Электронные процессы в твёрдых телах. — М.: Наука, 2015.
9. Соколов В. И. Физика и технология полупроводников. — М.: МИФИ, 2018.
10. Millman, J., Halkias, C. Electronic Devices and Circuits. — McGraw-Hill, 2010.
11. Streetman, B. G., Banerjee, S. Solid State Electronic Devices. — Prentice Hall, 2016.
12. Sze, S. M., Ng, K. K. Physics of Semiconductor Devices. — Wiley, 2007.
13. Boylestad, R., Nashelsky, L. Electronic Devices and Circuit Theory. — Pearson, 2019.
14. Sedra, A., Smith, K. Microelectronic Circuits. — Oxford University Press, 2015.