

### Контрольні питання та завдання до теми 3

1. Який фізичний зміст енергії Фермі?
2. Вказати інтервал енергій, в якому рівноважна функція розподілу електронів змінюється від 0,99 до 0,01 при температурі  $T$ .
3. Вказати інтервал енергій, в якому рівноважна функція розподілу електронів змінюється від 0,95 до 0,05 при температурі  $T$ .
4. При яких умовах значення функції розподілу Фермі-Дірака можна вважати відповідними значенням функції розподілу Максвелла-Больцмана?
5. Вказати приблизні значення функції розподілу Фермі-Дірака при  $E=E_F - kT$ ,  $E=E_F + kT$ ,  $E=E_F - 5 kT$ ,  $E=E_F + 5 kT$ .
6. З яких міркувань виходять при знаходженні наближення Больцмана для інтеграла Фермі (вивести його).
7. Вивести наближення Мак Дугела-Стонера для інтегралу Фермі.
8. Як залежить густина станів в вільній зоні від енергії і ефективної маси в випадку сферично-симетричного екстремуму енергії? Представити графічну залежність густини станів в вільній зоні від енергії.
9. Як враховується несферичність екстремумів енергії при підрахунках  $N(E)$  в дозволеній зоні?
10. Мета введення поняття "ефективна маса для густини станів".
11. У скільки разів зміниться ефективна густина станів навколо дна вільної зони при переході від 30 К до 300 К?
12. Відомо, що ефективна густина станів біля дна вільної зони Si та Ge при 300 К рівня відповідно  $2,8 \cdot 10^{19}$  та  $1,09 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Чим обумовлена різниця цих значень?
13. У скільки разів зміниться густина станів в вільній зоні при переході від енергії  $E_c + 4 kT$  до енергії  $E_c + kT$  (у валентній зоні при переході від  $E_v - kT$  до  $E_v - 5 kT$ )?
14. Записати найбільш загальний вираз для концентрацій вільних носіїв заряду в напівпровіднику.
15. Як визначити положення рівнів Фермі  $E_F$  в невідродженому напівпровіднику, якщо відома концентрація вільних електронів  $n$  та температура  $T$ ?
16. Як визначити положення рівнів Фермі в невідродженому напівпровіднику при температурі  $T$ , якщо відома концентрація власних дірок?
17. Описати характер температурної залежності концентрації вільних носіїв заряду в невідродженому власному напівпровіднику.
18. Визначити концентрацію вільних носіїв заряду у власному Si при 300 К.
19. Визначити концентрацію вільних носіїв заряду у власному Ge при 300 К.
20. Як зміниться положення рівня Фермі з ростом  $T$  у власному

напівпровіднику, якщо відношення ефективних мас електронів та дірок дорівнює 2?

21. Визначити положення рівнів Фермі в металі з  $m_{nd}^* = m_0$  і концентрацією вільних електронів  $10^{22} \text{ см}^{-3}$ .

22. Визначити положення рівня Фермі в Si при  $T=300 \text{ K}$ , якщо концентрація вільних дірок дорівнює  $10^{14} \text{ см}^{-3}$ .

23. Перевірте, чи виконується умова повного виродження для металу при  $T=300 \text{ K}$ , якщо  $m_{dn}^* = m_0$ , а концентрація вільних електронів дорівнює  $10^{22} \text{ см}^{-3}$ .

24. Перевірте, чи виконується умова виродження для Ge при  $T = 300 \text{ K}$ , якщо концентрація дірок у валентній зоні дорівнює  $10^{15} \text{ см}^{-3}$ .

25. Визначити середню кінетичну енергію електрону в неvirодженому напівпровіднику при  $300 \text{ K}$ .

26. Визначити положення рівня Фермі у металі, якщо середня кінетична енергія електрону в ньому дорівнює  $1 \text{ eV}$ .

27. Чим визначається тангенс кута нахилу графіка залежності  $\ln n = f(1/T)$  в інтервалах температур  $T < T_s$ ,  $T_s < T < T_i$  та  $T > T_i$  в електронному (донорному) напівпровіднику? Напівпровідник неvirоджений.

28. Чим визначається кут нахилу графіка залежності  $\ln n = f(1/T)$  в інтервалах температур  $T < T_s$ ,  $T_s < T < T_i$  та  $T > T_i$  в акцепторному напівпровіднику? Напівпровідник неvirоджений.

29. Концентрація електронів у напівпровіднику дорівнює  $1/4$  концентрації власних носіїв заряду при тій же температурі. Чому дорівнює концентрація дірок при цій температурі. Напівпровідник неvirоджений.

30. Визначити температуру насичення для кремнія, легovanого фосфором ( $\Delta E_{dp} \approx 0,045 \text{ eV}$ ) з концентрацією  $10^{15} \text{ см}^{-3}$ .

31. Визначити температуру виснаження домішки в Si ( $T_i$ ) легovanної бором з концентрацією  $N_a = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ .

32. Знайти відношення концентрацій електронів в Si, легovanним фосфором ( $\Delta E_d \approx 0,045 \text{ eV}$ ), при температурах  $20 \text{ K}$  та  $200 \text{ K}$ , якщо концентрація домішки  $= 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . ( $20 \text{ K} < T_s$ ,  $T_s < 200 \text{ K} < T_i$ ).

33. Знайти відношення концентрацій дірок в Ge, легovanним алюмінієм ( $\Delta E_{Al} = 0,0102 \text{ eV}$ ,  $N_{Al} 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ), при температурах  $30 \text{ K}$  та  $300 \text{ K}$ . ( $30 \text{ K} < T_s$ ,  $T_s < 300 \text{ K} < T_i$ ).

34. Чи будуть відрізнятися, і якщо будуть то у скільки разів, концентрації електронів в Si та Ge, легovanних донорною домішкою якщо  $N_d$ ,  $\Delta E_d$  та  $T$  для обох зразків однакові (розглянути весь діапазон можливих  $T$ )? Напівпровідники неvirоджені.

35. У скільки разів зміниться концентрація електронів у напівпровіднику, легovanному донорною домішкою, якщо концентрація змінюється в 4 рази (розглянути три характерних температурних інтервали). Напівпровідник неvirоджений.

36. Як зміниться концентрація дірок у напівпровіднику після введення донорної домішки у кількості, що у 100 разів перевищує

концентрацію носіїв заряду у власному напівпровіднику при тій же температурі? Температура напівпровідника  $T < T_s$ . Напівпровідник невідроджений.

37. Як зміниться концентрація дірок у напівпровіднику після введення донорної домішки в кількості, у 100 разів перевищуючу концентрацію власних носіїв заряду при тій же температурі? Температура напівпровідника  $T_s < T < T_i$ . Напівпровідник невідроджений.

38. Записати вираз для концентрації електронів у дірочному невідродженому напівпровіднику, легованого домішкою з енергією іонізації 0,06 eV при  $T < T_s$ .

39. При якій температурі  $E_F$  досягне максимуму в Ge, якщо  $N_d = 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ .

40. При якій температурі  $E_F$  досягне мінімуму в Si, якщо  $N_a = 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ?

41. При якій температурі відмінний від 0K, рівень Фермі розміститься посередені між  $E_c$  та  $E_d$  в Ge, якщо  $N_d = 5 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ ?

42. При якій температурі, відмінній від 0K, рівень Фермі розміститься посередені між  $E_v$  та  $E_a$  в Si, якщо  $N_a = 5 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ ?

43. При якій температурі  $E_F \cong E_d$  в Si, якщо  $N_d = 4 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ ? ( $E_c - E_d \approx 0,01 \text{ eV}$ ).

44. При якій температурі  $E_F \cong E_a$  в Ge, якщо  $N_a = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ? ( $E_a - E_v \approx 0,01 \text{ eV}$ ).

45. Чи змінюється концентрація дірок та електронів, і якщо змінюється то згідно якого закону, в електронному напівпровіднику в області  $T_s < T < T_i$  при зміні температури?

46. Чи змінюється  $p$  та  $n$ , і якщо змінюється то згідно якого закону, в акцепторному напівпровіднику в області  $T_s < T < T_i$  при зміні температури?