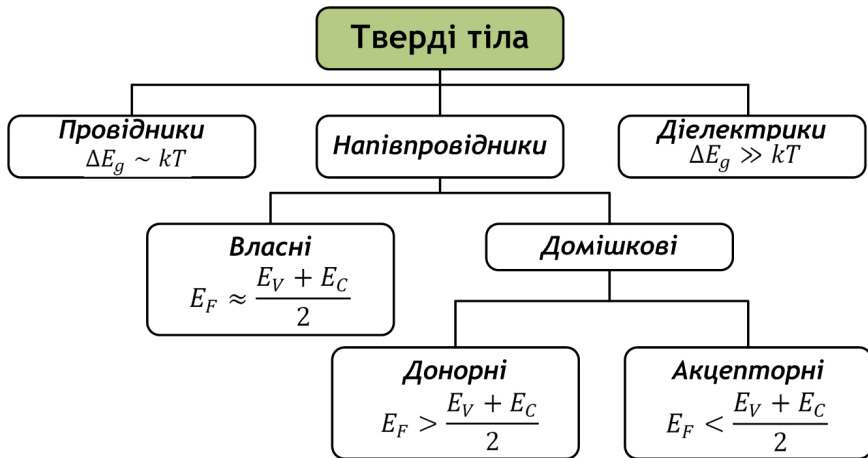


Власні та домішкові напівпровідники

Модуль 2, лекція 7

Р. Коломієць

5 листопада 2020 р.



Утворення вільних електронів та дірок — генерація носіїв заряду — відбувається під впливом теплового хаотичного руху атомів кристалічної ґратки (так звана теплова генерація), або під впливом поглинутих напівпровідником квантів світла (світлова генерація) та/або інших енергетичних факторів. Оскільки напівпровідник весь час знаходиться під впливом принаймні одного з цих факторів ($T \neq 0$), то генерація носіїв заряду відбувається безперервно.

Одночасно із генерацією відбувається зворотний процес — рекомбінація носіїв заряду, тобто повернення електронів із зони провідності назад у валентну зону, у результаті чого зникає пара електрон–дірка.

У стані термодинамічної рівноваги процеси генерації носіїв заряду та їх рекомбінації взаємно урівноважені. При цьому в напівпровіднику існують рівноважні концентрації електронів n_0 та дірок p_0 .

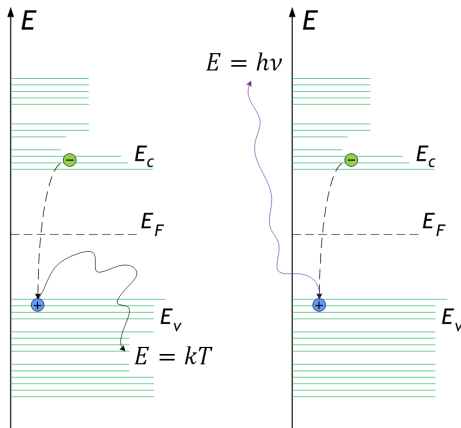
Надлишкова концентрація носіїв заряду

При впливі на напівпровідник нетеплового зовнішнього енергетичного фактора (світла, електричного поля тощо) внаслідок додаткової генерації носіїв заряду їх концентрація n і p буде перевищувати рівноважну концентрацію на деяку величину Δn (або Δp), яку називають надлишковою концентрацією. Таким чином:

$$\Delta n = n - n_0; \quad \Delta p = p - p_0.$$

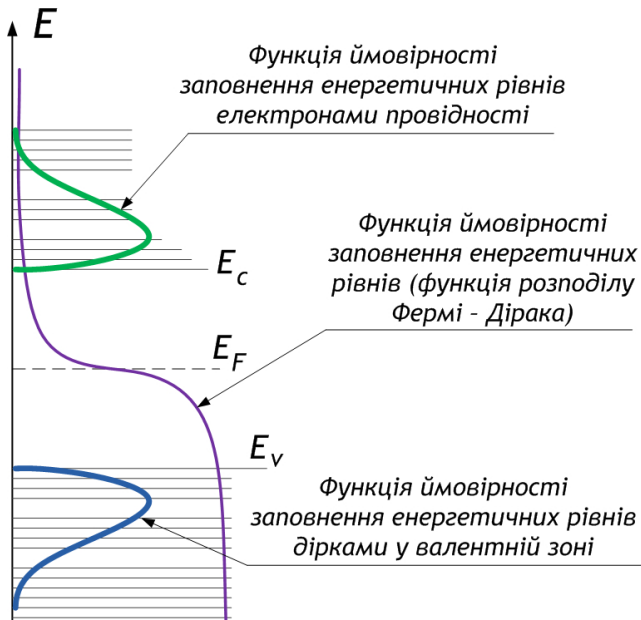
Надлишкова концентрація може виникати не лише у всьому об'ємі напівпровідника, але і локально, у малих областях за рахунок різних процесів (інжекції, екстракції, акумуляції).

Види рекомбінації

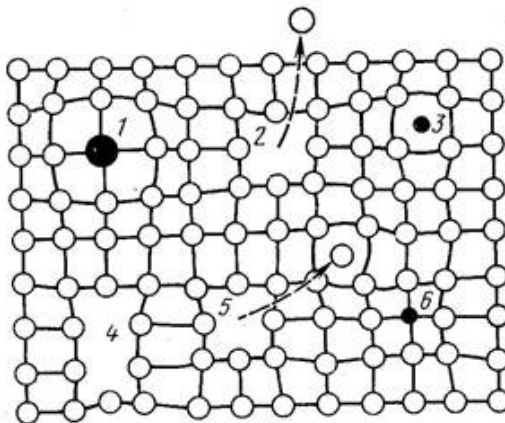


Випромінювальна рекомбінація супроводжується випромінювання фотонів (квантів світлової енергії), а безвипромінювальна — фононів (“уявних” квантів теплової енергії).

Власні напівпровідники

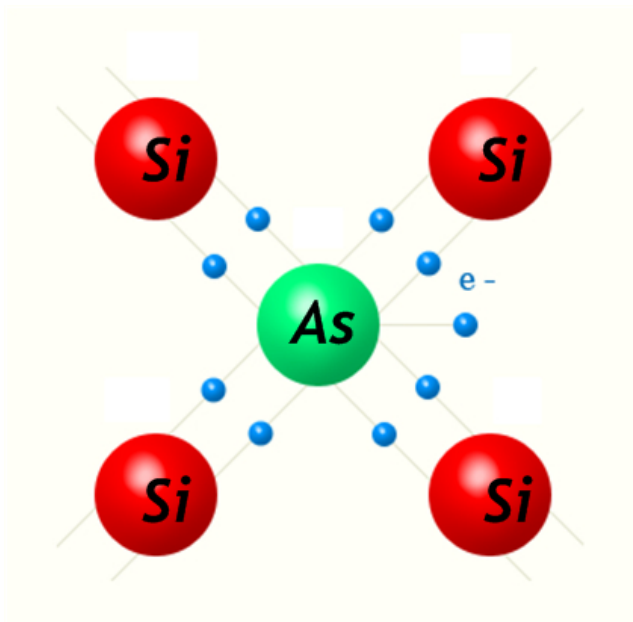


Домішки — спотворення кристалічної ґратки

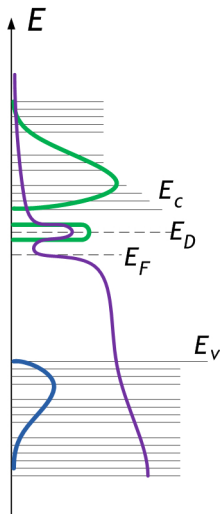


1 — домішковий атом заміщення; 2 — дефект Шотткі; 3 — домішковий атом впровадження; 4 — дивакансія; 5 — дефект Френкеля (вакансія та міжвузловий атом); 6 — домішковий атом заміщення.

Домішка донорного типу

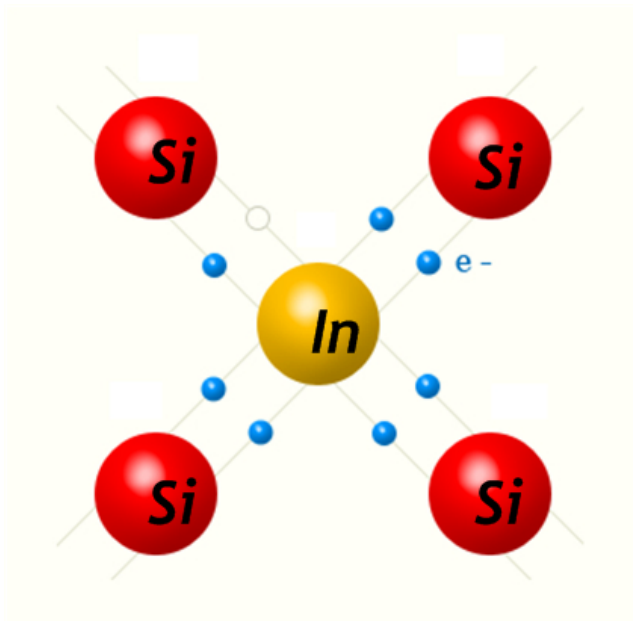


Зонна діаграма донорного напівпровідника

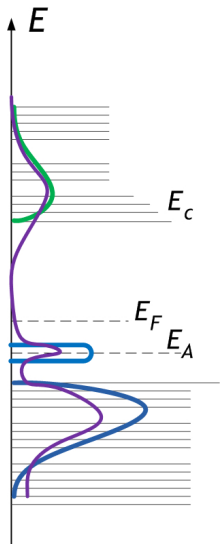


У донорного напівпровідника (або напівпровідника n-типу) на зонній діаграмі з'являється додатковий донорний рівень, утворений за рахунок незв'язаних електронів атомів домішки. Один атом домішки приходить на $10^5 \dots 10^6$ атомів кристалічної ґратки напівпровідника. Рівень Фермі у донорного напівпровідника зміщується вгору, вище середини забороненої зони. Донорний рівень знаходиться приблизно між рівнем Фермі та мінімумом зони провідності.

Домішка акцепторного типу



Зонна діаграма акцепторного напівпровідника



У акцепторного напівпровідника (або напівпровідника р-типу) на зонній діаграмі з'являється додатковий акцепторний рівень, утворений за рахунок додаткових дірок наколо атомів домішки. Один атом домішки також приходить десь на $10^5 \dots 10^6$ атомів кристалічної ґратки напівпровідника. Рівень Фермі у акцепторного напівпровідника зміщується донизу, нижче середини забороненої зони. Додатковий акцепторний рівень знаходиться приблизно між рівнем Фермі та максимумом валентної провідності.

Строго кажучи, ні донорний, ні акцепторний напівпровідники самі по собі не використовуються. Використовується їх безпосереднє поєднання — р-n-перехід.

Література:

- ❶ Готра З.Ю., Лопатинський І.Є., Лукіянець Б.А. та ін. Фізичні основи електронної техніки: підручник – Львів: вид-во «Бескид Біт», 2004. – 808 с.
- ❷ Зи С. Физика полупроводниковых приборов (в 2-х книгах, пер. с англ.): Кн. 1 — М.: Мир, 1984. - 456 с.