

ВЗАЄМОДІЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З НАПІВПРОВІДНИКАМИ

Анотація: В даній статті поданий опис фізичних процесів у напівпровідниках під час оптичного випромінювання, наведені основні формули розрахунку фізичних ефектів та їх графічне представлення.

Ключові слова: Оптичне випромінювання, напівпровідник, спектр, електричне поле

Abstract: This article describes the physical processes in semiconductors during optical radiation, the basic formulas for calculating physical effects and their graphical representation.

Keywords: Optical radiation, semiconductor, spectrum, electric field

Вступ

Досить широко в сучасному світі відоме поняття взаємодії оптичного випромінювання з напівпровідниками. Коли ми досліджуємо оптичне випромінювання на тверде тіло, ми маємо справу з механізмом обміну енергією між твердим тілом і світлом. Цей процес є досить важливим як для розробки нових інженерно конструкторських рішень, так і для повноцінного розгляду даного питання. В даній статті поданий математичний огляд понять взаємодії оптичного випромінювання з напівпровідниками, основні формули для розрахунку даного фізичного процесу та класифікацію поглинання світла у напівпровідниках.

Результати досліджень

Якщо позначити літерою I інтенсивність світла, тобто кількість світлової енергії, яка проходить за одиницю часу через нормальний одиничний переріз, то коефіцієнт відбиття R визначає частку енергії, яка відбивається на границі тіла. [1-2]

$$R = \frac{I_R}{I_0},$$

де I_R - інтенсивність відбитого світла, а I_0 - інтенсивність падаючого світла.

Залежність іншого важливого для нас коефіцієнту – коефіцієнту відбиття від частоти, або довжини хвилі, отримало назву спектр відбиття. Коли світло, падаючи на тверде тіло поглинається, даний процес починає описуватися законом Бугера-Ламперта [1-2].

$$I(x) = I_0(1 - R)e^{-\alpha x},$$

де x - відстань від граничної межі тіла до даної точки, α - коефіцієнт поглинання, α^{-1} це величина зворотня до даного процесу відповідно. Вона рівна товщині прошарку після проходження якого інтенсивність світла зменшується. Залежності коефіцієнту поглинання від частоти, або довжини хвилі отримав назву спектр поглинання. Оскільки ми маємо справу з електромагнітною теорією світла[3], доцільно згадати можливий розрахунок коефіцієнту відбиття через показник заломлення і поглинання [4].

$$R = \frac{(n-1)^2 + n^2 x^2}{(n+1)^2 + n^2 x^2} = \frac{(n-1)^2 + \frac{\lambda^2}{16\pi} \alpha^2}{(n+1)^2 + \frac{\lambda^2}{16\pi} \alpha^2}.$$

З поданого закону можливо зробити висновок, що з ростом поглинання зростатиме і відбиття, тобто існуватиме поняття повного відбиття падаючого світла. Цим і буде пояснюватися значне відбиття світла у металів.

Також вище згаданий закон Бугера-Ламперта дозволяє визначити коефіцієнт поглинання α через концентрацію центрів поглинання N і ефективний переріз поглинання одного фотону σ за одинцю часу. [4]

$$\alpha = \sigma N.$$

Величину $(\sigma N)^{-1}$ можливо визначити як середню довжину вільного пробігу фотона в середовищі поглинання [4].

$$l_{\text{фот}} = (\sigma N)^{-1} = \alpha^{-1}.$$

Коефіцієнт поглинання α це ймовірність поглинання фотона на деяку відстань при одиниці довжини. Ефективний переріз σ залежить як від енергії фотону так і від природи поглинаючих центрів. Повний коефіцієнт поглинання складається з спектрів поглинання будь-яких поглинаючих центрів.

Якщо згадувати існуючу класифікацію, яка подана у роботі [4], є такі види поглинання світла у напівпровідниках:

- Власне поглинання світла, яке в свою чергу зумовлює перехід електрону з зв'язаного стану у вільний, тобто у зону провідності з валентної зони. Воно існує у видимій і початковій інфрачервоній області в залежності від забороненої зони.
- Домішкове поглинання, відповідає переходу електронів від домішкових атомів у зону провідності.
- Під дією електричного поля світлової хвилі відбувається її поглинання вільними носіями заряду, при цьому, оскільки хвиля віддає частини своєї енергії, виникає її послаблення.
- Взаємодія світлових хвиль з коливанням ґратки має назву ґраткового поглинання.
- Утворення пари електрон-дірка при поглинанні світла, має назву екситонного поглинання.
- Поглинання світла вільними електронами і дірками називається плазмовим поглинанням.

Крім того важливо згадати про один із важливих параметрів енергетичного спектру напівпровіднику, а саме ширину забороненої зони яка визначається за наступною формулою [6]

$$E_g = E_c - E_v$$

Звідки E_g - ширина забороненої зони, E_c нижня точка зони провідності, E_v - верхня точка валентної зони. Якщо говорити про експериментальні дослідження оптичних спектрів, в області часткового поглинання, то можна побачити багато особливостей, їх теоретичний аналіз дає інформацію про енергетичний спектр електронів біля забороненої зони та зони провідності.

Також варто згадати фотоелектронні пристрої. У фотоелектричному пристрої фотони перетворюються в електрику. Цей процес передбачає генерацію носіїв заряду шляхом поглинання фотонів, поділу та транспортування носіїв заряду і, нарешті, їх збирання на електродах. Розуміння фотоелектричних ефектів у кремнієвих та інших більш нових структурах є корисним для розробки фотоелектричних технологій із сегнетоелектриками та напівпровідників на їх основі. На рисунку 2 показана діапазонова діаграма фотоелектричного пристрою з кристалічним рп-переходом.

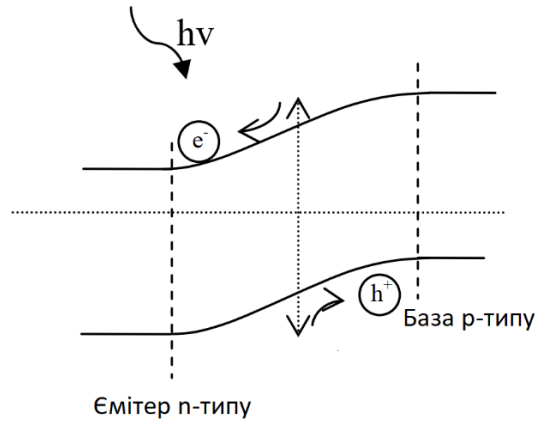


Рис. 2. Діаграма діапазону рп-переходу при освітленні

Вільні заряди утворюються, коли поглинаються фотони з енергією, більшою за ширину зазору. Потім ці фотогенеровані заряди відокремлюються вбудованим полем і збираються на контактних електродах, перш ніж потрапляти у зовнішні ланцюги для виконання певної задачі.

Рух електронів у кремнії р-типу зазвичай вищий, ніж рухливність дірок у кремнії n-типу, коли обидва леговані до одного рівня [7]. Рух електронів у внутрішньому Si становить $1350 \text{ см}^2/(\text{В с})$, тоді як рухливність дірок - лише $480 \text{ см}^2/(\text{В с})$ [8]. Це означає, що збір несучих є більш ефективним у р-типі, ніж у шарі n-типу, за інших рівних умов. Р-шар (база) набагато довший за n+-шар (емітер) і є основним оптичним поглиначем. Коефіцієнт поглинання Si збільшується нижче 1000 см^{-1} на кінці червоного спектру приблизно до 15000 см^{-1} на довжині хвилі 500 нм , пік сонячного спектру. Світло надходить з випромінювача і там сильно поглинається, особливо це стосується коротших хвиль. Щоб зменшити рекомбінацію та мінімізувати втрати, випромінювач сильно легується для поліпшення провідності і він набагато коротший, ніж злегка легована основа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Смит Р. Полупроводники. –М.: Из-во иностранной литературы, 1962. – 467 с.
2. Киреев П.С. Физика полупроводников. –М.: Высшая школа, 1975.–583 с.
3. Соколов А.А., Лоскутов Ю.М., Тернов И.М. Квантовая механика. –М.: Из-во министерства просвещения РСФСР, 1962. – 591 с.
4. Киреев П.С. Физика полупроводников. –М.: Высшая школа, 1975.–583 с.
5. В.С. Осадчук, О.В. Осадчук Напівпровідникові перетворювачі інформації – Вінниця, ВНТУ 2004.
6. А.Э Юнович, Ф.А. Лукьянов Оптические явления в полупроводниках, Москва 2007 г.
7. J. Nelson, The physics of solar cells. London: Imperial College Press, 2003
8. S. J. Fonash, Solar cell device physics. New York: Academic Press, 1981

Ільчук Дмитро Русланович – аспірант групи 172-20а, факультет інфокомунікацій, радіотехніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: demabels@gmail.com

Ichuk Dmytro Ruslanovich – graduate student group 172-20a, faculty of infocommunications, radio electronics and nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail demabels@gmail.com