

КВАНТОВО-РОЗМІРНИЙ ЕФЕКТ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Шмідт І.О.

Науковий керівник – доктор фіз.-мат. наук, проф. Грицунов О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Науки, 14, каф. мікроелектроніки, електронних приладів
та пристроїв, тел.(057) 702-13-62
email: deadworldis77@gmail.com, факс (057) 702-11-13

This report explains the quantum-size effect in semiconductor materials and describes the energy of the particle size quantization.

У твердотільній електроніці досліджуються властивості електронів, фононів та екситонів або в «нескінченному» кристалі, або в кристалі з періодичними граничними умовами.

При відсутності дефектів ці частинки, або порушення, описуються з використанням квазіімпульсу, які можуть вільно поширюватися в кристалі. Нехай кристал кінцевий і існують два нескінченно високих бар'єру на відстані L один від одного, які можуть відображати квазіімпульс вздовж напрямку z . Тоді говорять про просторове обмеження цих хвиль. Класичним прикладом хвиль, обмежених в одному вимірі двома непроникними бар'єрами, є коливається струна з двома фіксованими кінцями.

Добре відомо [1], що нормальні коливальні моди такої струни є стоячі хвилі з довжиною хвилі λ , приймаючої дискретні значення виду:

$$\lambda_n = 2L/n, n = 1, 2, 3, \dots \quad (1.1)$$

Іншим класичним прикладом є інтерферометр Фабрі-Перо. В результаті багаторазових відображень в кінцевих дзеркалах, що утворюють резонатор, в спектрі пропускання електромагнітних хвиль, що пройшли через інтерферометр, з'являються максимуми і мінімуми при дискретних довжинах хвиль. Якщо простір всередині резонатора заповнено повітрям, умовою конструктивної інтерференції буде вираз (1.1).

У мінімумі пропускання хвилю можна вважати «замкненою» в інтерферометрі. Для вільної частинки з ефективною масою m^* , рух якої в кристалі в напрямку z обмежено непроникними бар'єрами (тобто бар'єрами з нескінченною потенційною енергією), дозволені значення хвильових векторів k_z квазіімпульсів мають вигляд:

$$k_{zn} = 2\pi/\lambda_n = n\pi/L, n = 1, 2, 3, \dots, \quad (1.2)$$

а енергія основного стану в порівнянні зі станом без обмеження зростає на величину

$$\Delta E = \frac{\hbar^2 k_z^2}{2m^*} = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m^* L^2} \quad (1.3)$$

Це збільшення енергії називається енергією розмірного квантування частинки [2]. Енергія розмірного квантування є наслідком принципу невизначеності в квантовій механіці. Якщо частка обмежена в просторі в межах відстані L (в нашому випадку – вздовж напрямку z), невизначеність z -компоненти її імпульсу зростає на величину порядку \hbar/L . Відповідне збільшення кінетичної енергії частинки дається виразом (1.3). Тому даний ефект часто називають квантовим розмірним ефектом. Крім збільшення мінімальної енергії частинки квантовий розмірний ефект призводить також до квантування енергій її збуджених станів. Для нескінченного одновимірного потенціалу «прямокутної ями» енергії збуджених станів виражаються як $n^2 \Delta E$, де $n = 1, 2, 3, \dots$, як і в (1.2).

Важливо усвідомлювати різницю між обмеженням, обумовленим бар'єрами, і локалізацією внаслідок розсіювання на домішках. У напівпровідниках вільні носії заряду розсіюються на фонах і дефектах із середнім часом розсіювання τ . Можна визначити їх середню довжину вільного пробігу L як добуток номінальної середньої вихідної швидкості на τ . Подібне розсіювання також може зменшити невизначеність у положенні частинки і, отже, збільшити невизначеність її імпульсу. Останнє призводить до невизначеності в енергії частки на величину, що задається виразом (1.3) з $L^2 \approx (v\tau)^2$. Цей ефект зазвичай пов'язаний з дефектами або безладом в твердих тілах і відрізняється від ефектів квантового обмеження, що становлять науковий і практичний інтерес.

Література

1. Дружинін А.О. Твердотільна електроніка: фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів. – Л: Львівська політехніка, 2001. – 415 с.
2. Питер Ю., Кардона М. Основи фізики напівпровідників. – М.: Физ-матлит, 2002. – 392 с.