

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 621.315.292

DOI: 10.17223/00213411/62/3/99

В.Н. ДАВЫДОВ, О.Ф. ЗАДОРЖНЫЙ, О.А. КАРАНКЕВИЧ

ОГРАНИЧЕНИЕ ЧИСЛА УРОВНЕЙ РАЗМЕРНОГО КВАНТОВАНИЯ
В ЭЛЕМЕНТАХ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ*

Рассматривается выполнение критерия размерного квантования в квантовых ямах различного профиля. Установлено, что существует предельный номер дискретного состояния свободного носителя заряда в яме, выше которого критерий размерного квантования не выполняется. Показано, что в квантовых ямах прямоугольного и треугольного профиля число уровней размерного квантования не может превышать двух-трех уровней. Полученный результат применим как к квантовым ямам, так и к квантовым проволокам и квантовым точкам.

Ключевые слова: прямоугольная квантовая яма, треугольная квантовая яма, длина волны де Бройля, уровни размерного квантования.

Введение

Наблюдаемый в последнее десятилетие прогресс в электронном приборостроении в значительной степени обязан использованию эффекта размерного квантования энергии свободных носителей заряда, находящихся в потенциальной яме малых размеров. Такая топология полупроводникового элемента в применении, например к созданию светоизлучающих приборов, позволяет резко увеличить коэффициент полезного действия прибора, создавать источники света на разные длины волн без изменения физико-химического состава используемого полупроводникового материала, получать излучение высокой монохроматичности и т.д. [1–7].

Важным параметром, характеризующим эффект размерного квантования, является энергия низшего дискретного состояния, так как именно она определяет длину волны генерируемого света и ширину линии излучения. Другим важным параметром является число уровней размерного квантования с более высоким значением энергии и имеющим номера состояния от двух и более. Эти уровни производят захват носителей заряда, инжектируемых в активную область прибора, и тем самым повышают мощность генерируемого излучения [8–16].

Теоретически число уровней размерного квантования ничем не ограничено, однако в реальных полупроводниковых гетероструктурах их рассчитанное число определяется, главным образом, глубиной потенциальной ямы, ее геометрическими размерами и обычно не превышает нескольких единиц [8]. Если расчетный уровень размерного квантования по энергии окажется выше дна зоны проводимости барьерного слоя, то это означает, что, во-первых, электроны с таким значением энергии находятся вне квантовой ямы (КЯ) и потому их энергия не квантуется. Во-вторых, он попадает в зону проводимости слоя вещества КЯ, где спектр энергий фактически является непрерывным спектром энергии зоны проводимости 3D-полупроводника.

В настоящее время в литературе отсутствуют данные о другой структуре зонного спектра КЯ, а также о других возможных причинах ограничения числа уровней.

Целью данной работы является рассмотрение ограничения на число уровней размерного квантования в элементах нанoeлектроники, вызванное нарушением условия размерного квантования при высоких значениях энергии свободных носителей заряда.

1. Общие положения теории

Известно, что при размере потенциальной ямы меньше длины волны де Бройля из-за «тесноты» в яме электрон не может проявить свои корпускулярные свойства, поскольку не имеет возможности свободно перемещаться в кристалле, участвуя как в броуновском, так и дрейфовом движении. В таких стесненных условиях электрон проявляет себя как пакет волн, длины которых

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.». Уникальный идентификатор проекта RFMEFI57717X0266.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>