

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 521.315.82.2

DOI: 10.17223/00213411/64/3/144

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

ФОНОННЫЙ СПЕКТР LED-ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ InGaN/GaN
С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ

Измерения фононного спектра LED-гетероструктуры на основе барьера $\text{In}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}/\text{GaN}$ показали наличие в нём четырех пиков фононного излучения с энергиями 0.193, 0.207, 0.353 и 0.356 эВ. Из сравнения результатов проведенного расчета энергетического спектра электронной и дырочной квантовых ям с полученными экспериментальными данными предположено, что указанные пики могут быть интерпретированы как энергии фононов, генерируемых при захвате электронов из барьерного слоя на второй уровень размерного квантования, а также при релаксации электронов со второго уровня на излучательный уровень и захвате дырок на верхний уровень квантовой ямы.

Ключевые слова: квантовая яма, захват электронов, фононы, спектр, преобразования Кубелки – Мунка.

Введение

В настоящее время в научной литературе недостаточно внимания уделяется рассмотрению механизмов захвата и эмиссии носителей заряда квантовой ямой (КЯ) в LED-гетероструктурах (ГС). В свою очередь данные механизмы задают ток инжекции в КЯ, который определяет эффективность работы светодиодной ГС. Существует несколько моделей, описывающих захват и эмиссии носителей заряда на энергетические уровни: модель Дж. Томсона [1], каскадная модель Лэкса [2], модель Абакумова – Переля [3, 4], модель Шокли – Рида – Холла [5–7]. Однако до настоящего времени ни одна из них не учитывает, в требуемом для согласования с экспериментом объеме, принципиальные особенности взаимодействия КЯ и носителей заряда, связанные с участием в резонансном захвате – эмиссии свободных электронов и фононов с образованием стоячей волны с разностной энергией, представляющей спектр электрона в КЯ [3, 4, 8–10].

Исходные положения

Представленная на рис. 1 энергетическая диаграмма электронной (n -КЯ) и дырочной (p -КЯ) квантовых ям показывает, что процесс взаимодействия носителей и КЯ заключается в захвате носителя на верхний уровень размерного квантования (УРК) с характерным временем $\tau_{\text{зах}}^{(n)}$ или его эмиссии со временем $\tau_{\text{эм}}^{(n)}$ [10]. Избыток энергии захваченного электрона реализуется в виде фонона с энергией $E_{\text{ф1}}^{(n)}$ и $E_{\text{ф1}}^{(p)}$ при захвате дырки. Возможно излучение нескольких фононов с разными энергиями, но однофононные процессы, видимо, более вероятны.

Далее захваченные носители через время τ_r релаксируют на нижние уровни $E_{1n,p}$ с испусканием фононов разностных энергий $E_{\text{ф2}}^{(n)}$ и $E_{\text{ф2}}^{(p)}$, с которых осуществляются излучательные переходы зона – зона с временем рекомбинации τ_l .

Из проведенного анализа взаимодействия свободных носителей заряда с КЯ следует, что соотношения времен захвата, эмиссии, безызлучательной релаксации и времени излучательной рекомбинации являются определяющими для получения высокого внутреннего квантового выхода эмиссии излучения: одни характеристические времена должны быть максимальными ($\tau_{\text{эм}}^{(n)}$, $\tau_{\text{эм}}^{(p)}$), а другие – минимальными ($\tau_{\text{зах}}^{(n)}$, $\tau_{\text{зах}}^{(p)}$, τ_r , τ_l).

Если описания состояния свободного электрона в барьерном слое и электрона-волны в яме не вызывают затруднений, то описание третьего участника взаимодействия – оптического или акустического фонона в КЯ – требует отдельного рассмотрения. В настоящее время в литературе недостаточно работ по исследованию физических процессов по формированию фононных спектров КЯ из InGaN и интерфейса GaN–InGaN. Имеющиеся данные указывают на то, что основными

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>