ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СВЕТОДИОДНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОФИЛЯ

В.Н. Давыдов, О.Ф. Задорожный

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

Рассматривается излучательная способность квантовой ямы комбинированного профиля, представляющая собой яму, полученную составлением нескольких прямоугольных ям разной толщины и высоты. Нижняя яма наименьшей толщины и наибольшей глубины является излучающей, а расположенные над ней другие ямы предназначены увеличить скорость захвата носителей заряда из барьерных слоев. Приведена методика составления ямы комбинированного профиля, определения числа комбинируемых ям, их глубины и толщины, а также содержания в них индия. В качестве примера в предположении аддитивности формирования энергетического спектра ямы комбинированного профиля при объединении трех ям показана возможность кратного увеличения интенсивности излучения гетероструктурой с ямами комбинированного профиля в сравнении с гетероструктурой с прямоугольными ямами.

Ключевые слова: квантовая яма комбинированного профиля, уровни размерного квантования, интенсивность излучения, энергетический спектр.

Введение

В настоящее время разработчиками источников излучения уделяется большое внимание поиску высокоэффективных источников излучения, способных заменить лампы накаливания. Большие успехи в этом направлении достигнуты при использовании в качестве излучателей светодиодных гетероструктур с квантовыми ямами (КЯ) на основе нитридов $A^{III}N$, в частности $InGaN/GaN$.

Однако достичь теоретического предела преобразования электрической энергии в световую в таких источниках пока не удается. Основные причины низкого значения внутренней квантовой эффективности этого типа источников: высокая скорость безызлучательной рекомбинации в КЯ из-за большой (до $10^8-10^9 \text{ см}^{-2}$) плотности структурных дефектов, унаследованных преимущественно от подложки, а также пространственное разделение центроидов зарядов инжектированных в яму электронов и дырок полем спонтанной поляризации и пьезоэлектрическим полем [1–3].

В соответствии с этим предложены технические решения, направленные на увеличение квантовой эффективности излучения гетероструктуры за счет снижения концентрации структурных дефектов изменением морфологии поверхности с помощью полировки сапфировой подложки [4], введения в состав КЯ примесных ионов редкоземельных элементов [5], применения поверхностной плазмонной дисперсии в металлических слоях Au/Ag [6–8], а также топологии гетероструктуры введением дополнительных слоев между КЯ и барьером [9–11].

Другой цикл работ по повышению внутренней квантовой эффективности гетероструктур направлен на уменьшение влияния поля поляризации в КЯ на скорость излучательной рекомбинации [12–18]. Так, в работе [12] уменьшение пьезоэлектрического поля в объеме КЯ достигалось применением дополнительных слоев из $ZnGaN$ толщиной 1 нм между ямой и барьерами из $AlGaN$, что уменьшало упругую деформацию на интерфейсах за счет более близких значений постоянных решеток $ZnGaN$ и $InGaN$. В результате получено увеличение скорости излучательной рекомбинации до шести раз по сравнению с ямами $InGaN$ -слоев и высоким содержанием индия. Снижение поля поляризации за счет вариации содержания индия в составе КЯ, составленной из трех слоев $InGaN$ с разным содержанием индия, исследовалось в работах [1–3, 13, 15–18]. Исследуемые КЯ представляли собой совмещенные две ямы из $InGaN$ разной толщины и ширины запрещенной зоны. Получившаяся таким способом яма располагалась между барьерными слоями из GaN или $AlGaN$. Увеличение интенсивности света, генерируемого гетероструктурой со ступенчатой ямой и достигаемого за счет снижения поля поляризации внутри ямы с малой шириной зоны, по сравнению с гетероструктурой с прямоугольной ямой, достигало порядка [3, 12, 13, 15].

К перечисленным выше причинам низкого значения внутренней квантовой эффективности авторы добавляют еще одну – недостаточную эффективность захвата носителей заряда из барьерного слоя на состояния квантовой ямы [19–25].

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>