

А. Г. ПАЩЕНКО, канд. физ.-мат. наук, В. М. ВАНЦАН, канд. физ.-мат. наук

ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ГЕНЕРАЦИИ КВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ПРИБОРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО СТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Приборы и устройства нанoeлектроники, рабочая область которых представляет собой квантоворазмерные структуры (КРС), в процессе работы подвергаются воздействию внешних электрических и магнитных полей. Эти воздействия приводят к изменению энергетического профиля зонной структуры КРС и к изменению энергетических состояний частиц и квазичастиц, что, в свою очередь, вызывает флуктуации выходных характеристик приборов [1; 2].

Современный уровень развития систем волоконно-оптических линий связи обуславливает необходимость совершенствования рабочих параметров передающих и приемных узлов таких линий. В частности, следует предусмотреть возможность стабилизации частоты (длины волны) генерации (а значит, и несущей частоты линии связи) в излучающем элементе передатчика. Наиболее широко применимым устройством, сочетающим в себе наименьшие массогабаритные параметры, высокую излучаемую мощность и приемлемую степень монохроматичности, является полупроводниковый лазер или высоконаправленный светодиод. Кроме того, эти приборы позволяют осуществлять модуляцию выходного излучения непосредственно током накачки (за счет энергии информационного сигнала) и исключить из конструкции передатчика отдельное модулирующее устройство, системы его управления, питания и т.д. Однако при использовании для модуляции выходного излучения непосредственно тока накачки, особенно в режиме большого сигнала, неизбежно возникают флуктуации частоты генерации [3; 4].

Одним из универсальных инструментов исследования этих флуктуаций является квантово-механический подход. Теория возмущений дает возможность построить математическую модель процессов, протекающих в КРС, которые находятся под воздействием внешних полей (как стационарных, так и переменных во времени), причем она наиболее адекватна физической модели [5; 6].

Нами исследовалось воздействие внешнего стационарного электрического поля на одномерные однослойные симметричные КРС, созданные на основе GaAs/Al_xGa_{1-x}As. Получены зависимости длины волны генерации от геометрических и энергетических параметров квантово-ограниченных слоев и напряженности внешнего поля. Векторы напряженности внешних полей направлены перпендикулярно к плоскости квантового ограничения.

Расчет влияния внешнего стационарного электрического поля на длину волны генерации квантоворазмерных светоизлучающих приборов проводился на основе теории возмущений в таком порядке [6 – 8]:

1. Задание ширины квантово-ограниченного слоя L , молярной доли третьего компонента твердого раствора замещения ограничивающего материала x (а значит, высоты ограничивающего барьера) и диапазона изменения напряженности внешнего электрического поля E .

2. Расчет энергетических состояний частиц и квазичастиц на основе решения стационарного уравнения Шредингера в отсутствие внешнего поля.

3. Расчет изменения энергетических состояний частиц под действием внешнего поля с помощью теории возмущений.

4. Определение частоты (длины волны) генерации КРС прибора на основании правила частот Бора – в отсутствие и при наличии внешнего стационарного электрического поля.

5. Повторение процедуры расчета для различных значений ширины квантово-ограниченного слоя и высоты ограничивающих барьеров.

Нами исследовались КРС с шириной квантово-ограниченного слоя L , равной 4, 6 и 10 нм – как с низкими, так и с высокими ограничивающими барьерами при изменении напряженности E внешнего электрического поля от 0 до 2 В/нм. На рис. 1 показано изменение длины волны λ излучательных переходов между состояниями первого уровня электрона и первыми уровнями тяжелой и легкой дырок, а также второго уровня электронов и второго уровня тяжелой и легкой дырок для КРС с невысокими барьерами.

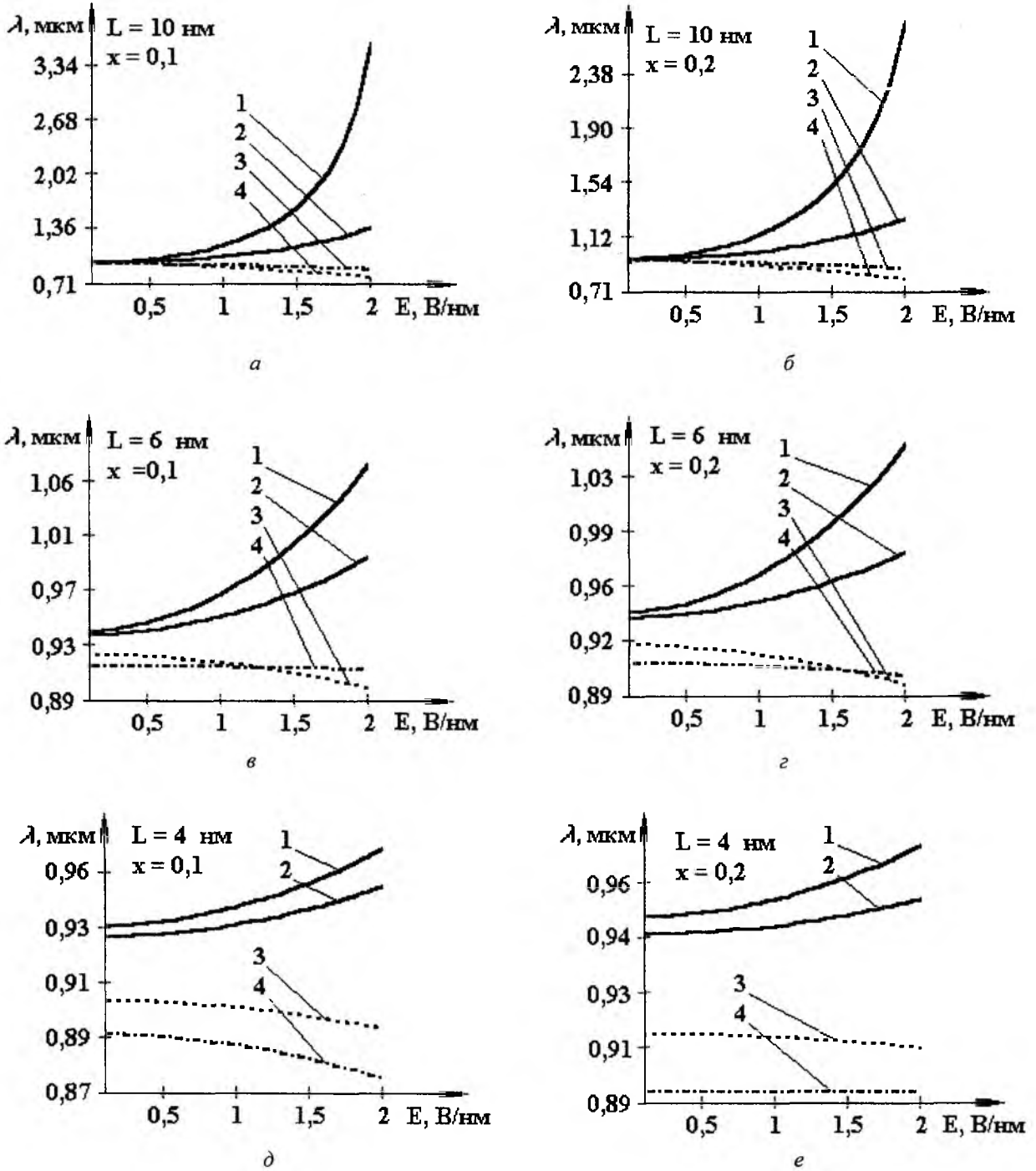


Рис. 1

Кривые 1 и 2 на рис. 1 соответствуют переходам $1e - 1hh$ и $1e - 1lh$, а кривые 3 и 4 – переходам $2e - 2hh$ и $2e - 2lh$.

На рис. 2 показано изменение длины волны излучательных переходов между состояниями первого уровня электрона и первыми уровнями тяжелой и легкой дырок, а также второго уровня электронов и второго уровня тяжелой и легкой дырок для КРС с высокими барьерами. Обозначения кривых такие же, как и на рис. 1.

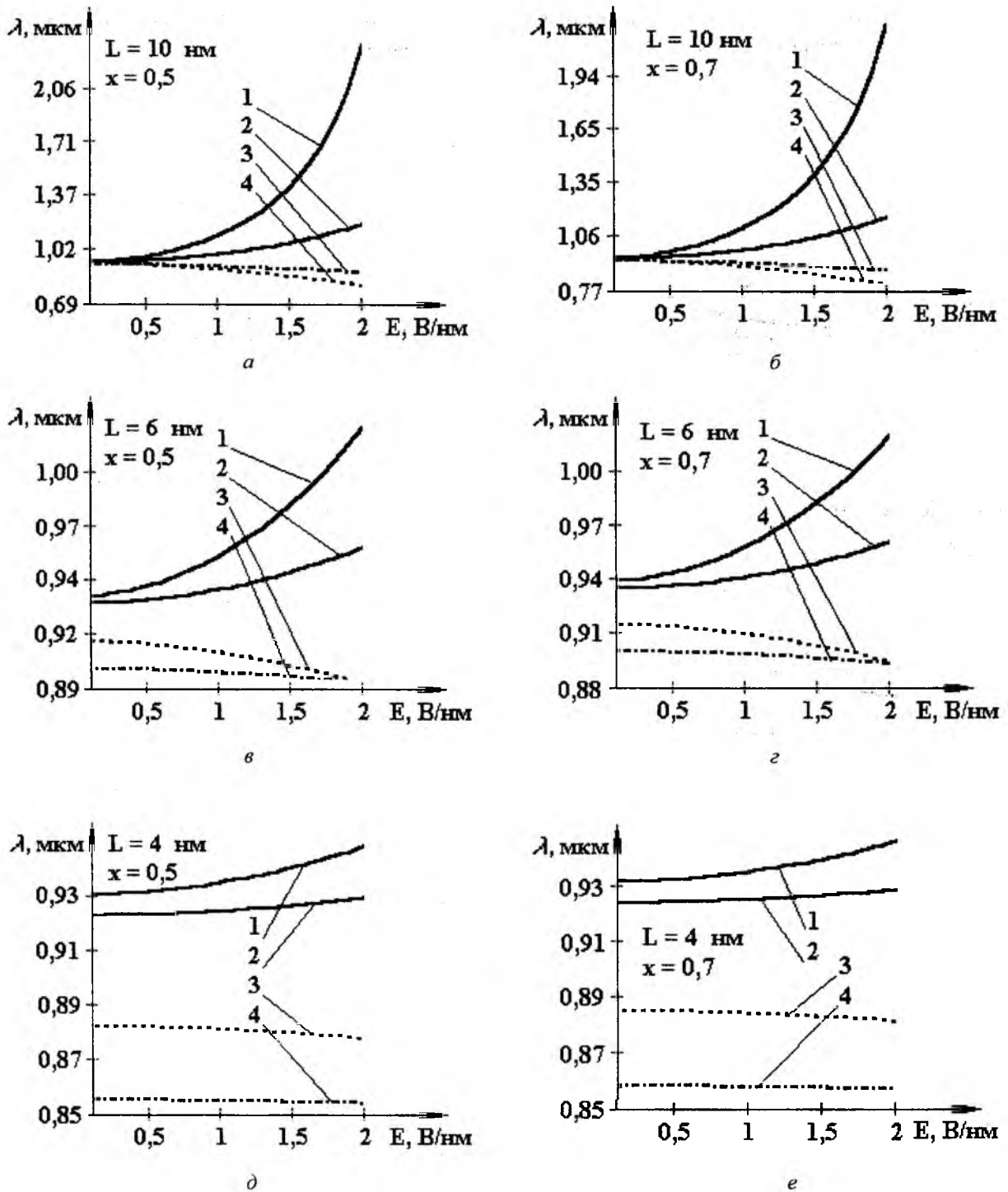


Рис. 2

Необходимо отметить, что в рассматриваемых КРС на основе $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ существенное изменение длины волны наблюдается в структурах, ширина которых близка к длине волны де Бройля электронов в GaAs – 6, 10 нм, с низкими ограничивающими барьерами. Подобное поведение можно объяснить тем, что в этих структурах потенциал квантового

ограничения слабо экранирует воздействие внешнего поля, а толщина слоя достаточна для возникновения большого количества разрешенных состояний и их взаимовлияния под воздействием внешнего поля. При повышении ограничивающего потенциала (высоты барьера) его экранирующее воздействие по отношению к внешнему полю усиливается (рис. 1, *a – г*, рис. 2, *a – г*), а возрастание высоты ограничивающего барьера приводит к увеличению энергетического расстояния между разрешенными состояниями частиц, а значит, к ослаблению их взаимодействия под влиянием внешнего электрического поля.

Снижение ширины квантово-ограниченного слоя приводит к уменьшению количества разрешенных состояний частиц, к ослаблению их взаимовлияния под действием поля и, следовательно, к менее выраженному проявлению эффекта Штарка по сравнению с аналогичным эффектом в широких квантово-ограниченных слоях с низкими ограничивающими барьерами (рис. 1, *д, е*, рис. 2, *д, е*). Увеличение длины волны под действием внешнего поля в узких КРС с высокими ограничивающими барьерами выражено слабее, чем в широких КРС с низкими ограничивающими барьерами. Следовательно, на этапе проектирования квантово-размерных излучающих приборов можно добиться такого сочетания конструктивных параметров КРС, при котором паразитное воздействие внешнего поля на характеристики генерируемого излучения будет минимальным.

Данный вывод является особенно актуальным в случае применения высокоскоростной модуляции большим сигналом, когда амплитуда модулирующего сигнала (сигнала накачки) изменяется скачком в широких пределах в течение короткого промежутка времени.

Список литературы: 1. Эсаки Л. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры: Пер. с англ. / Под ред. Л. Ченга, К. Плога. М.: Мир, 1989. 584 с. 2. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 240 с. 3. Гауэр Дж. Оптические системы связи: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989. 504 с. 4. Полупроводниковые инжекционные лазеры. Динамика, модуляция, спектры: Пер. с англ. / Под ред. У. Тсанга. М.: Радио и связь, 1990. 320 с. 5. Борисоглебский Л. А. Квантовая механика: Учеб. пособие. Минск: Университетское, 1988. 623 с. 6. Пащенко А.Г. Влияние энергетических и геометрических параметров квантово-ограниченных слоев на энергетические состояния частиц и квазичастиц // Радиотехника. 2001. Вып. 122. С. 162 – 168. 7. Пащенко А.Г. Влияние внешнего стационарного электрического поля на энергетические состояния частиц и квазичастиц в квантоворазмерной структуре. Ч. 1. Постановка задачи // Там же. Вып. 117. С. 117 – 120. 8. Пащенко А.Г. Влияние внешнего стационарного электрического поля на энергетические состояния частиц и квазичастиц в квантоворазмерной структуре. Ч. 2. Обсуждение результатов // Там же. Вып. 118. С. 55 – 60.

Харьковский национальный
университет радиозлектроники

Поступила в редколлегию 07.08.2002