

07

Экспериментальное определение оптимального количества квантовых ям в многоямных гетеролазерах с вытеканием излучения через подложку

© С.М. Некоркин, М.В. Карзанова, Н.В. Дикарева,
Б.Н. Звонков, В.Я. Алешкин

Научно-исследовательский физико-технический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород
E-mail: dikareva@nifti.unn.ru

Поступило в Редакцию 13 декабря 2013 г.

Проведены исследования влияния количества квантовых ям на модовую структуру и пороговые характеристики лазерных диодов со значительным вытеканием излучения в подложку ($\sim 94\%$). Выявлено, что лазерные диоды с малым количеством квантовых ям генерируют на основной волноводной моде. С увеличением количества квантовых ям доминировать начинает первая мода, при этом также увеличивается пороговый ток, что, вероятно, обусловлено слабым заполнением неравновесными носителями заряда центральных квантовых ям и увеличением потерь для фундаментальной волноводной моды.

Полупроводниковые лазерные диоды с увеличенной активной областью и вытеканием излучения через подложку [1,2] обладают узкой диаграммой направленности в плоскости, перпендикулярной $p-n$ -переходу, позволяют достигать высоких значений энергии излучения и характеризуются низкой плотностью мощности на зеркалах по сравнению с полупроводниковыми лазерами со стандартной геометрией волновода. Кроме этого, в отличие от лазеров без выхода излучения через подложку, в лазерах с вытеканием излучения наблюдается модовая структура в дальнем поле в допороговом режиме, выраженная узкими лепестками на диаграмме направленности. Теоретически было показано, что моды излучения различного порядка выходят под разными углами к плоскости лазерной структуры. Это позволяет изучать модовый состав излучения гетеролазеров подобной конструкции [3,4].

Было показано, что использование нескольких идентичных квантовых ям (КЯ) в активной области полупроводникового лазера может как улучшить, так и ухудшить характеристики прибора [5–7]. Поэтому определение оптимального количества квантовых ям для полупроводникового лазера является важной и интересной задачей для улучшения лазерных характеристик. В работе [8] теоретически был изучен вопрос об оптимальном количестве квантовых ям в лазерах с вытеканием излучения через подложку, где показано, что оптимальное количество квантовых ям составляет 5 ± 1 в таких лазерах. Однако экспериментальных исследований для подтверждения данной теории не проводилось.

В данной работе экспериментально изучалось влияние количества квантовых ям в активной области лазерного диода со значительным вытеканием излучения через подложку на его характеристики.

Были исследованы 4 лазерные гетероструктуры InGaAs/GaAs/InGaP, которые содержали различное количество квантовых ям в активной области: № 1 — 4, № 2 — 6, № 3 — 8, № 4 — 10 квантовых ям. Параметры слоев структуры № 1 с 4 квантовыми ямами приведены в таблице. Тонкий ограничительный слой 3 (53 nm) позволяет излучению туннелировать из волновода в область подложки. Эпитаксиальное исполнение гетероструктур с 6, 8 и 10 квантовыми ямами было подобным. На основе данных гетероструктур были изготовлены лазерные диоды. Ширина активной области $360 \mu\text{m}$, длина 1 mm. Напыления просветляющих и отражающих покрытий на грани лазерных чипов не проводились. Зеркалами служили сколотые грани структур. Длина волны лазерной генерации составляла 980 nm. Не менее 94% излучения лазера выходило через подложку в режиме лазерной генерации.

Измерения диаграмм направленности излучения проводились при постоянной накачке электрическим током в допороговом режиме работы лазерных диодов. Все измерения выполнялись при комнатной температуре.

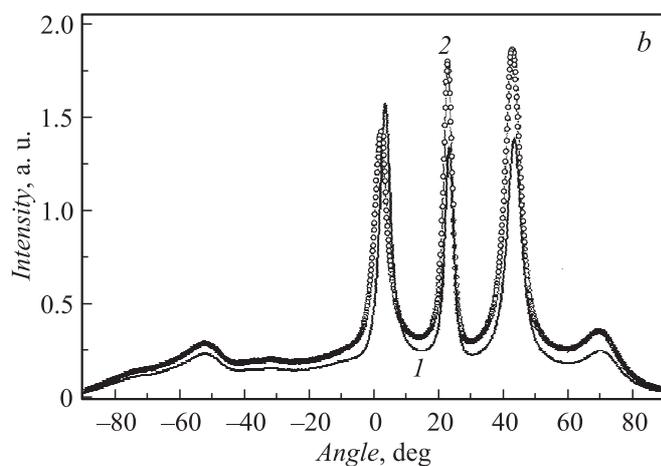
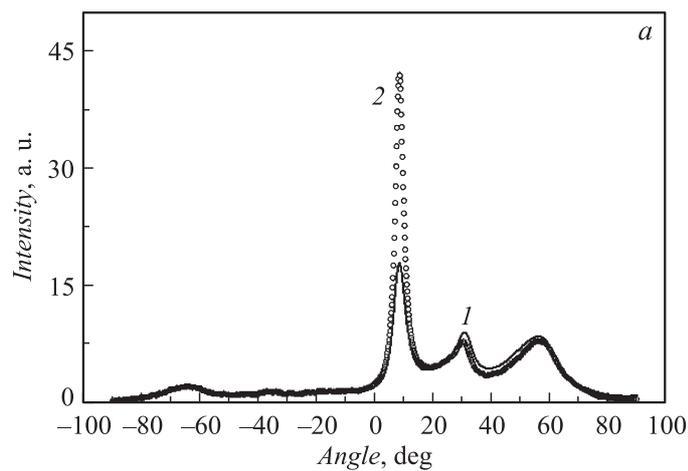
Исследования пространственных характеристик структуры № 1 в допороговом режиме токовой накачки (I — 150, 2 — 400 mA) в плоскости, перпендикулярной p – n -переходу, выявили наличие трехлепестковой диаграммы направленности в дальнем поле излучения лазера. Максимумы излучения приходятся на углы 8, 30, 60° со стороны подложки (см. рисунок, a), соответствующие волноводным модам, при этом мода меньшего порядка имеет меньшее угловое положение по

Параметры слоев лазерной гетероструктуры № 1

№	Название слоя	Легирование и состав слоя	Толщина слоя, nm
1	Подложка	n^+ -GaAs	—
2	Буферный	n -GaAs	792
3	Ограничительный	n -InGaP	53
4	Волноводный	n -GaAs	550
5	» »	i -GaAs	26
6	Компенсирующий	i -GaAsP	17
7	Волноводный	i -GaAs	35
8	КЯ 1	InGaAs	9
9	Волноводный	i -GaAs	35
10	Компенсирующий	i -GaAsP	33
11	Волноводный	i -GaAs	35
12	Повтор слоев 8–11 два раза		
—			
19			
20	КЯ 4	InGaAs	9
21	Волноводный	i -GaAs	35
22	Компенсирующий	i -GaAsP	17
23	Волноводный	i -GaAs	35
24	» »	p -GaAs	550
25	Ограничительный	p -InGaP	528
26	Контактный	p^+ -GaAs	132

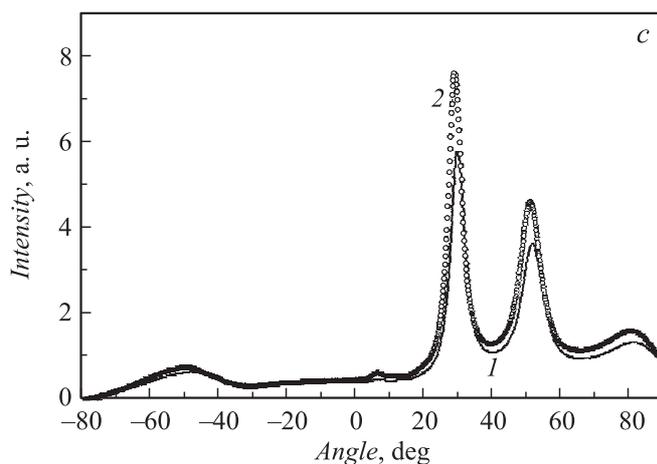
отношению к структуре. С увеличением количества квантовых ям до 6 интенсивности мод выравниваются (см. рисунок, *b*), наблюдается ярко выраженная четырехлепестковая диаграмма, максимумы которой приходятся на углы 2, 23, 43 и 69°.

Проведенные нами исследования показали, что в допороговом режиме накачки структуры с 4 квантовыми ямами максимальной интенсивностью обладает основная волноводная мода, что может свидетельствовать о равномерном распределении носителей заряда в активной области лазера. При малых токах накачки гетероструктуры, включающей в себя 6 квантовых ям, основной вклад дают первая и вторая возбужденные моды, тогда как вклад фундаментальной моды мал.



Диаграммы направленности излучения лазера с 4 (a), 6 (b) и 10 (c) квантовыми ямами в активной области при разных токах постоянной накачки. a: 1 — 200, 2 — 400; b, c: 1 — 400, 2 — 800 мА.

При дальнейшем увеличении количества квантовых ям до 8 и 10 (структуры № 3, 4) доминирующей становится первая волноводная мода (см. рисунок, c). Отметим, что в структуре с 10 квантовыми



Продолжение рисунка.

ямами интенсивность фундаментальной моды (угловое положение около 8°) значительно меньше по отношению к интенсивности первой моды. Вероятно, доминирование первой волноводной моды обусловлено слабым заполнением неравновесными носителями заряда центральных квантовых ям, что приводит к большим потерям для основной моды в допороговом режиме накачки.

В свою очередь, пороговые условия быстрее достигаются в гетеролазерах с 6 квантовыми ямами (порог 7А), тогда как генерация 4-, 8- и 10-ямных лазеров начинается при ббльших токах накачки (8-ямных — 5 А, 10 — 10 А, 4 — выше 60 А). Высокий пороговый ток структуры с 4 квантовыми ямами, вероятно, вызван наличием больших потерь на вытекание в подложку по отношению к энергии, запасенной активной областью.

Таким образом, экспериментально показано, что в полупроводниковых лазерах со значительным вытеканием излучения в подложку 6 квантовых ям в активной области является оптимальным для достижения порогового состояния и начала лазерной генерации.

Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-02-97062-р_поволжье_а.

Список литературы

- [1] *Некоркин С.М., Звонков Б.Н., Колесников М.Н., Дикарёва Н.В., Алёшкин В.Я., Дубинов А.А.* // Труды XV Международного симпозиума „Нанофизика и нанoeлектроника“. 2011. Т. 2. С. 482.
- [2] *Некоркин С.М., Звонков Б.Н., Колесников М.Н., Дикарёва Н.В., Алёшкин В.Я., Дубинов А.А.* // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2012. Т. 1. № 2. С. 30–32.
- [3] *Богатов А.П., Дракин А.Е., Стратонников А.А., Алавердян Ю.С., Устинов А.В., Швейкин В.И.* // Квантовая электроника. 1999. Т. 27. В. 2. С. 131.
- [4] *Богатов А.П., Дракин А.Е., Лях А.А., Стратонников А.А.* // Квантовая электроника. 2001. Т. 31. В. 10. С. 847.
- [5] *Некоркин С.М., Звонков Б.Н., Карзанова М.В., Дикарева Н.В., Алешкин В.Я., Дубинов А.А.* // Квантовая электроника. 2012. Т. 42. В. 10. С. 931.
- [6] *Соколова З.Н., Трасов И.С., Асрян Л.В.* // ФТП. 2012. Т. 46. В. 8. С. 1067.
- [7] *Бирюков А.А., Некоркин С.М., Колесников М.Н., Бабушкина Т.С., Алешкин В.Я., Дубинов А.А.* // ЖТФ. 2011. Т. 81. В. 7. С. 149.
- [8] *Ушаков Д.В., Афоненко А.А., Алешкин В.Я.* // Сб. ст. 9-го Белорусско-Российского семинара: Полупроводниковые лазеры и системы на их основе. 2013. С. 49.