

# ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА

УДК 621.382

## МОЩНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР С УЛУЧШЕННЫМИ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

© 2012 г. С.М. Некоркин<sup>1</sup>, Б.Н. Звонков<sup>1</sup>, М.Н. Колесников<sup>1</sup>, Н.В. Дикарёва<sup>1</sup>,  
В.Я. Алёшкин<sup>2</sup>, А.А. Дубинов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

<sup>2</sup> Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород

kolesnikov\_m\_n@nifti.unn.ru

Поступила в редакцию 30.11.2011

На основе гетероструктуры InGaAs/GaAs/InGaP создан высокоэффективный импульсный полупроводниковый лазерный диод с 94% выходом излучения в подложку и энергией излучения 280 мкДж в режиме накачки одиночным импульсом тока величиной 130 А и длительностью 5 мкс в лазере с длиной 1 мм и шириной активной области 360 мкм.

*Ключевые слова:* полупроводниковый лазер, квантовая яма, вытекающая мода.

### Введение

В настоящее время можно выделить две основные причины, ограничивающие выходную мощность полупроводниковых лазеров. Первая причина – это наличие предельно возможного поля световой волны в резонаторе, которое фактически определяется вероятностью испускания оптических фононов [1]. Вторая причина – деградация зеркал лазера в сильных полях. Один из возможных путей увеличения предельной мощности связан с выводом основной части излучения не через зеркало, а через подложку, которая на порядки толще по сравнению с волноведущим слоем. В этом случае возможно значительное увеличение суммарной мощности лазера. Вывод излучения через подложку можно осуществить за счет уменьшения толщины ограничивающего слоя, отделяющего волноведущий слой от подложки. Очевидно, что такие лазеры будут обладать большим пороговым током из-за больших потерь на вытекание в подложку. Для того чтобы увеличить коэффициент усиления, необходимо в активную область лазера встраивать большое количество квантовых ям. Кроме того, в таких лазерах возможно значительно сузить диаграмму направленности в плоскости, перпендикулярной *p-n*-переходу. Такой подход был осуществлен в работе [2], где реализован значительный выход излучения (около 84%) в узком угловом интервале (около

1°–2°) по сравнению с лазерными диодами с вытеканием излучения в подложку обычной конструкции [3, 4] (выход излучения в узком пучке 50%). Исследуемый полупроводниковый лазер имел широкий волновод и увеличенный объем активной среды (6 квантовых ям (КЯ)).

В настоящей работе проведена оптимизация подобной структуры с целью увеличения части излучения, выходящего через подложку, и улучшения энергетических параметров лазеров.

### Особенности конструкции полупроводникового лазера

Лазерная структура была выращена методом МОС-гидридной эпитаксии при атмосферном давлении в НИФТИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Параметры слоев приведены в таблице. В конструкцию выращенной структуры были внесены 3 основных изменения в отличие от структуры, исследуемой в работе [2]. Во-первых, были уменьшены толщины ограничивающего слоя *n*-InGaP с 80 до 67 нм и волновода GaAs с 1800 до 1730 нм. Это сделано для увеличения амплитуды электрического поля в подложке по сравнению с амплитудой поля в волноводе, а следовательно, для увеличения доли выходящего из подложки излучения. Второе отличие: отсутствие легированной *p*-области волновода, что приводит к уменьшению потерь в лазере. Третье: увеличение уровня легирования огра-

Таблица

Параметры слоев лазера с квантовыми ямами в волноводе

Номер слоя	Название слоя	Легирование и состав слоя	Концентрация носителей, см <sup>-3</sup>	Толщина слоя, нм
1	подложка	<i>n</i> -GaAs	$5 \cdot 10^{17}$	-
2	буферный	<i>n</i> -GaAs	$1.6 \cdot 10^{18}$	950
3	ограничительный	<i>n</i> -InGaP	$1.2 \cdot 10^{18}$	67
4	волноводный	<i>n</i> -GaAs	$10^{17}$	477
5	волноводный	<i>i</i> -GaAs	-	89
6	КЯ №1	InGaAs	-	9
7	волноводный	<i>i</i> -GaAs	-	115
8	КЯ №2	InGaAs	-	9
9	волноводный	<i>i</i> -GaAs	-	115
10	КЯ №3	InGaAs	-	9
11	волноводный	<i>i</i> -GaAs	-	115
12	КЯ №4	InGaAs	-	9
13	волноводный	<i>i</i> -GaAs	-	115
14	КЯ №5	InGaAs	-	9
15	волноводный	<i>i</i> -GaAs	-	115
16	КЯ №6	InGaAs	-	9
17	волноводный	<i>i</i> -GaAs	-	958
18	ограничительный	<i>p</i> -InGaP	$3 \cdot 10^{18}$	504
19	контактный	<i>p</i> <sup>+</sup> -GaAs	$10^{19}$	220

ничающего слоя *p*-InGaP с  $10^{18}$  до  $3 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>, что необходимо для компенсации отсутствия легированной *p*-области волновода. Из выращенной GaAs/InGaP/InGaAs-гетероструктуры были изготовлены полупроводниковые лазеры с шириной активной области 360 мкм и длиной резонатора 1 мм. Напыление просветляющих и отражающих покрытий на выходные грани полупроводникового лазера проводилось методом электронно-лучевого испарения на установке ВУ-1А. Отражающее покрытие имело коэффициент отражения  $R \sim 0.98$ , а просветляющее покрытие  $R \sim 0.06$ .

#### Экспериментальные результаты и обсуждение

Измерение спектральных зависимостей и диаграмм направленности лазерного излучения проводилось при накачке лазера импульсами тока длительностью 220 нс с частотой повторения 1.43 кГц. Спектральные зависимости измерялись с помощью решеточного монохроматора МДР-23. Измерения проводились при комнатной температуре. Исследование спектральных зависимостей показало наличие лазерной генерации для всех диодов на длине волны вблизи 1.02 мкм. Пороговый ток стимулированного излучения составил при этом около 6 А.

Были проведены измерения диаграмм направленности лазерного излучения в плоскости *p-n*-перехода и в плоскости, перпендикулярной *p-n*-переходу (рис. 1). Ширина диаграммы направленности излучения (полуширина на полувысоте) в плоскости *p-n*-перехода составила около 5°. Вид диаграммы направленности в

плоскости, перпендикулярной *p-n*-переходу, – однолепестковый с отклонением от нормали в сторону подложки на 10°. Ширина диаграммы направленности в плоскости, перпендикулярной *p-n*-переходу, составила 1°–2°. Из анализа диаграммы направленности в плоскости, перпендикулярной *p-n*-переходу, можно сделать вывод, что через подложку выходит 94% всего излучения (узкая составляющая излучения) и только 6% из волноводного слоя (широкая составляющая излучения).

Энергетические характеристики снимались с помощью измерителя мощности и энергии лазерного излучения (Coherent, 0340J10R). На рис. 2 (кривая 1) приведена зависимость энергии импульса излучения от тока накачки при длительности импульса накачки 5 мкс для изготовленного лазерного диода с выходом излучения через подложку. Для сравнения на рис. 2 (кривая 2) приведена зависимость энергии импульса излучения от тока аналогичного лазерного диода с увеличенной активной областью, взятая из работы [2]. Из рисунка видно, что энергия излучения оптимизированной лазерной структуры достигла величины 280 мкДж, что значительно превышает максимальное значение энергии импульса, полученное в работе [2]. Хочется отметить, что условия накачки при измерении энергии импульса лазерного излучения были выбраны одинаковые (режим накачки – одиночный импульс, длительность импульса – 5 мкс).

#### Заключение

Таким образом, благодаря оптимизации лазерной гетероструктуры удалось увеличить

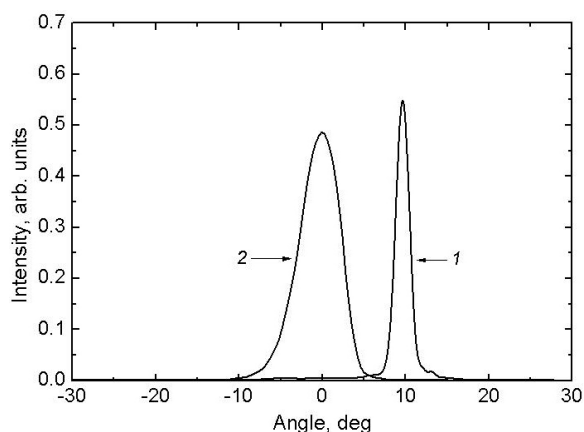


Рис. 1. Диаграммы направленности излучения перпендикулярно плоскости  $p$ - $n$ -перехода (кривая 1) и в плоскости  $p$ - $n$ -перехода (кривая 2) лазерного диода с длиной резонатора 1 мм, снятые при температуре 25°C. Ток накачки – 7 А

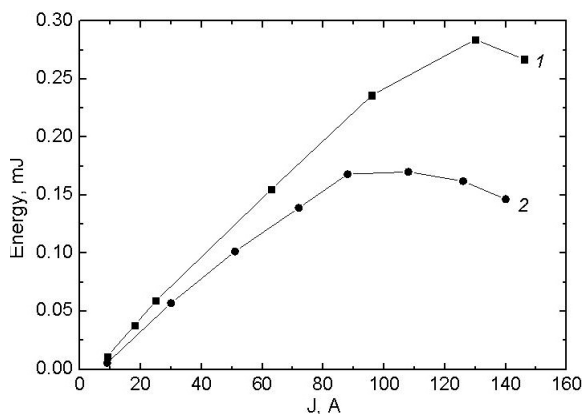


Рис. 2. Зависимости энергии импульса излучения от тока накачки при длительности импульса накачки 5 мкс для лазерных диодов с оптимизированными параметрами (кривая 1) и для лазерных диодов, рассмотренных в работе [2] (кривая 2)

часть излучения, выходящего через подложку, до 94%, сохраняя при этом узконаправленность излучения. По энергии импульса излучения предложенный полупроводниковый лазер превосходит свой аналог на 65%.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 11-02-97049-р\_поволжье\_а, 10-02-00371-а).*

#### Список литературы

1. Слипенко С.О., Соколова З.Н., Пихтин Н.А. и др. // ФТП. 2006. Т. 40. Вып. 8. С. 1017.
2. Алёшкин В.Я., Бабушкина Т.С., Бирюков А.А. и др. // Квантовая электроника. 2010. Т. 40. С. 855.
3. Звонков Н.Б., Звонков Б.Н., Ершов А.В. и др. // Квантовая электроника. 1998. Т. 25. Вып. 7. С. 622.
4. Геловани В.А., Скороходов А.П., Швейкин В.И. Высокомощные диодные лазеры нового типа. М.: Эдиториал УРСС, 2005.

### POWERFUL SEMICONDUCTOR LASER WITH IMPROVED SPATIAL AND ENERGETIC CHARACTERISTICS

*S.M. Nekorkin, B.N. Zvonkov, M.N. Kolesnikov, N.V. Dikareva, V.Ya. Aleshkin, A.A. Dubinov*

A leaky-wave highly effective pulse semiconductor laser diode has been fabricated on the basis of a In-GaAs/GaAs/InGaP heterostructure. The radiation energy is 280  $\mu$ J with 94 % leakage through the substrate, pumped by a single current pulse with an amplitude of 130 A and a width of 5  $\mu$ s in a laser with a cavity length of 1 mm and a stripe contact width of 360  $\mu$ m.

*Keywords:* semiconductor laser, quantum well, leaky-wave mode.