

07

© 1991

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРФЕЙСНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ НА ПОРОГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ $GaInAsSb/GaSb$ ЛАЗЕРОВ

А.Н. Баранов, Т.Н. Данилова,
О.Г. Ершов, А.Н. Именков,
Ю.П. Яковлев

1. Полупроводниковые лазеры на основе $GaInAsSb$, работающие в диапазоне длин волн 2–2.5 мкм при комнатной температуре, привлекают к себе все большее внимание из-за возможности их применения для волоконно-оптической линии связи третьего поколения [1], а также для диодной лазерной спектроскопии [2].

Исследование температурной зависимости порогового тока и дифференциальной эффективности ДГС лазеров на основе $GaInAsSb/GaAlAsSb$ структур [3] выявило большую роль Оже-рекомбинации в объеме активного слоя из $GaInAsSb$ при температуре больше 200 К. Введение же в область генерации гетероперехода II типа $p-GaSb - p-GaInAsSb$ [4] приводит к тому, что квантовый выход спонтанного излучения определяется конкуренцией излучательной и безызлучательной рекомбинации на квантовых состояниях гетерограницы II типа [5].

Данная работа является продолжением наших исследований по созданию когерентных [6, 7] и спонтанных [4, 5, 8] источников света на основе $GaInAsSb$ и посвящена обнаружению интерфейсной Оже-рекомбинации на гетерогранице, теоретически предсказанной в работе [9], и ее влиянию на пороговые характеристики лазеров.

2. Исследовались два типа лазерных структур. Обычные ДГС лазеры, в которых активный слой $GaInAsSb$ располагался между эмиттерными слоями $GaAlAsSb$ и образовывал с ними гетеропереход I типа, а также лазеры, в которых между эмиттерными слоями $GaAlAsSb$ вводилась 2-х слойная структура $p-GaInAsSb - p-GaSb$, которая образовывала гетеропереход II типа (рис. 1). Состав твердого раствора $Ga_{0.9}In_{0.1}As_{0.09}Sb_{0.01}$ в активной области соответствовал лазерному излучению с длиной волны ~ 2 мкм при комнатной температуре. Активная область вместе с прилегающим слоем n легировались Те до концентрации электронов $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Такие лазерные структуры изготавливались методом жидкофазной эпитаксии. Толщина узкозонной области составляла 0.25–2 мкм. Лазеры с гетеропереходом II типа были двух видов: мезаполосковые с шириной полоска ~ 30 мкм и каналные зарощенные с серповидной активной областью с шириной канала ~ 12 мкм, а ДГС лазеры были только мезаполосковыми с шириной полоска ~ 30 мкм.

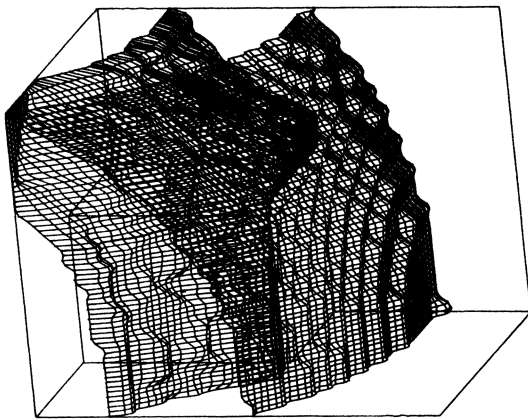


Рис. 1. Схема расположения слоев в лазерной структуре, изменение ширины запрещенной зоны (E_g) по толщине структуры и энергетические диаграммы в лазерном режиме. а - лазеры с гетерогранницей II типа, б - ДГС лазеры.

Исследования проводились при 77 К в непрерывном режиме и при комнатной температуре в импульсном режиме с длительностью импульса 100 нс и частотой следования 5 кГц.

Исследовались зависимости порогового тока I_{th} от длины резонатора L и от расстояния между ограничительными слоями d . Причем для исследования отбирались лазеры с наименьшими значениями пороговых токов.

3. Экспериментальные данные сводятся к следующему.

Зависимости порогового тока от длины резонатора при фиксированном в исследованных ДГС и квантоворазмерных лазерах при 77 и 295 К представлены на рис. 2.

При 77 К пороговый ток почти не зависит от длины резонатора в обоих типах лазеров. Это свидетельствует о том, что мощность выходящего из лазера излучения значительно больше, чем поглощаемого внутри лазера.

При комнатной температуре I_{th} несколько возрастает с увеличением L при $L > 300$ мкм, что означает увеличение поглощения излучения внутри лазера на свободных носителях заряда, т.к. дифференциальная излучательная эффективность $d\Phi/dI$ при комнатной температуре значительно меньше, чем при 77 К [3]. Однако изменение порогового тока не превышает $\pm 20\%$ в исследованном интервале длин резонаторов.

При изучении пороговых характеристик лазеров были использованы лазеры с разной длиной резонатора в интервале 200–500 мкм. Поскольку пороговый ток лазеров практически мало зависел от длины резонатора, то мы сочли возможным пренебречь зависимостью I_{th} от L при дальнейшем анализе экспериментальных данных.

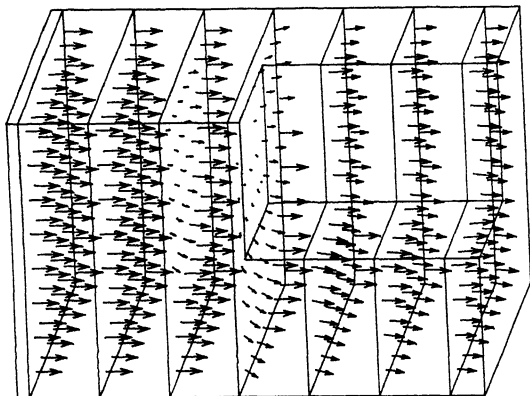


Рис. 2. Зависимость порогового тока (I_{th}) от длины резонатора (L) ДГС лазеров (окружности) и лазеров с гетерограницей II рода (треугольники) при фиксированных d' (0.25 и 0.46, соответственно). а - $T=77$ К, б - $T=295$ К.

Зависимости пороговых токов различных типов лазеров от толщины волноводного слоя (d') представлены на рис. 3. Следует отметить, что в лазерах с гетеропереходом II типа узкозонная область составляет от одной трети до половины этого слоя. Как при 77 К (рис. 3, а), так и при комнатной температуре (рис. 3, б) пороговый ток лазеров линейно возрастает с увеличением d' , что обычно наблюдается при удовлетворительном оптическом ограничении. Интересной же особенностью зависимости является то, что экстраполяция их к нулевому значению d' дает $I_{th} = 0$ только для ДГС лазеров при 77 К. Во всех остальных случаях имеются отсечки (I_{th0}) на оси I_{th} при $I_{th} = 0$ и, соответственно, отсечки отрицательных значений на оси d' (d_0) при $I_{th} = 0$. Величины I_{th0} и d_0 для всех типов исследованных лазеров при температурах 77 К и 295 К представлены в таблице.

4. Проанализируем полученные экспериментальные результаты. Вначале рассмотрим результаты при 77 К. Пересечение зависимости I_{th} от d' с началом координат в ДГС лазерах при 77 К свидетельствует, во-первых, об удовлетворительном оптическом ограничении электромагнитной волны, во-вторых, может быть следствием преобладания объемной излучательной рекомбинации над интерфейсной.

В лазерах с гетерограницей II типа положительные значения I_{th0} свидетельствуют о значительной интерфейсной рекомбинации, как это и должно быть в лазерах на гетеропереходах II типа с самосогласованными потенциальными ямами (рис. 1, а). Скорость интерфейсной рекомбинации здесь можно характеризовать равной ей скоростью объемной рекомбинации в слое толщиной d_{int} при той же разнице между квазиуровнями Ферми. Экспериментально наблюдаемое d_0

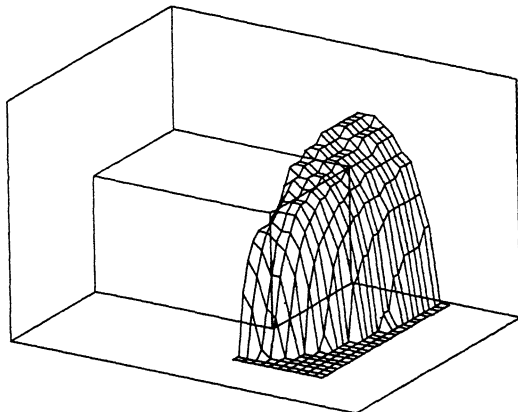


Рис. 3. Зависимость порогового тока (I_{th}) от толщины волноводного слоя (d) ДГС лазеров (окружности) и лазеров с гетерограницей II рода (полосковых, квадраты) и зарощенных серповидных (треугольники). а - $T=77$ К, б - $T=295$ К.

Параметры	$T=77$ К			$T=295$ К		
	ДГС лазеры	лазеры с гет. гр. II типа полоск.	лазеры с гет. гр. II типа серповидн.	ДГС лазеры	лазеры с гет. гр. II типа полоск.	лазеры с гет. гр. II типа серповидн.
I_{th0} , А	0	0.042	0.015	0.47	0.25	0.08
d_0 , мкм	0	5.4	5.3	0.8	0.6	0.7

свидетельствует, что существуют величины d_{int} , т.е. существует интерфейсная рекомбинация. Слабость зависимости I_{th} от d говорит о существенном преобладании интерфейсной рекомбинации над объемной. Характер рекомбинации приблизительно одинаков в полосковых и серповидных лазерах, т.к. d_0 в них почти одинаковы, а I_{th} различаются во столько же раз, во сколько различается ширина активной области (таблица).

Рассмотрим теперь результаты при комнатной температуре. В ДГС лазерах интерфейсная рекомбинация при 295 К не может быть связана с самосогласованными потенциальными ямами, т.к. гетерограницы в них размыты из-за диффузии Al т.к. эти потенциальные ямы при 77 К не проявляются. Наличие интерфейсной рекомбинации при 295 К в отсутствие потенциальных ям можно объяснить, если учесть, что в ДГС лазерах при 77 К преобладает излучательная рекомбинация, а при 295 К безызлучательная [3]. Действительно, безызлучательный Оже-процесс должен значительно активизироваться вблизи гетерограницы внесением неопределенности

в значение импульса электрона при квантовомеханическом проникновении его через гетерограницу (рис. 1, б). На излучательную рекомбинацию такое проникновение не может сильно влиять, но Оже-процесс может активизировать сильно из-за вовлечения в него дырок с малыми импульсами, в том числе и легких дырок.

Следовательно, в исследованных ДГС лазерах при комнатной температуре представляется значительной Оже-рекомбинация на гетерогранице. Этот новый механизм Оже-рекомбинации выявлен здесь впервые. Скорость Оже-рекомбинации на гетерогранице весьма велика, т.к. равна скорости объемной рекомбинации в слое толщиной $d_0 \approx 1$ мкм.

Не исключено, что обнаруженная в ДГС лазерах в данной работе интерфейсная Оже-рекомбинация существенна и в лазерах с самосогласованными потенциальными ямами, т.к. d_0 в них почти одинакова.

Однако, I_{th_0} при комнатной температуре в лазерах с квантовыми ямами почти в 2 раза меньше, чем в ДГС лазерах с той же шириной активной области. Это дает преимущество первым перед вторыми в получении низкого порогового тока при комнатной температуре и сложной его температурной зависимости.

Авторы выражают глубокую признательность В.А. Харченко и Г.Г. Зебря за обсуждение результатов работы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] G o o d m a n C.H.L. // Jol. Sb. Electron. Dev. 1972. V. 2. N 3. P. 129-137.
- [2] А в е т и с о в В.Г., Б а р а н о в А.Н., И м е н - к о в А.Н., Н а д е ж д и н с к и й А.И., Х у с н у т д и - н о в А.Н., Я к о в л е в Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. № 16. С. 66-70.
- [3] А н д а с п а е в а А.А., Б а р а н о в А.Н., Г е л ь - м о н т Б.Л., Д ж у р т а н о в Б.Е., З е б р я Г.Г., И м е н к о в А.Н., Я к о в л е в Ю.П., Я с т р е - б о в С.Г. // ФТП. 1991. Т. 25. № 3. С. 394-401.
- [4] А н д а с п а е в а А.А., Б а р а н о в А.Н., Г у с е й - н о в А., И м е н к о в А.Н., Л и т в а к А.М., Ф и л а - р е т о в а Г.М., Я к о в л е в Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 9. С. 845-849.
- [5] А н д а с п а е в а А.А., Б а р а н о в А.Н., Г у с е й - н о в А.А., И м е н к о в А.Н., К о л ч а н о в а Н.М., Я к о в л е в Ю.П. // ФТП. 1990. Т. 24. № 10. С. 1708-1714.
- [6] Б а р а н о в А.Н., Д ж у р т а н о в Б.Е., И м е н - к о в А.Н., Р о г а ч е в А.А., Ш е р н я к о в Ю.М., Я к о в л е в Ю.П. // ФТП. 1986. Т. 20. № 12. С. 2217-2221.

- [7] Баранов А.Н., Данилова Т.Н., Джуртанов Б.Е., Именков А.Н., Конников С.Г., Литвак А.М., Уманский В.Е., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 18. С. 1671-1675.
- [8] Андаспаева А.А., Баранов А.Н., Гусейнов А.А., Именков А.Н., Колчанова Н.М., Сидоренкова Е.А., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 18. С. 71-75.
- [9] Загря Г.Г., Харченко В.А. // ЖЭТФ. 1991. В печати.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
15 августа 1991 г.