

06.2;06.3;07

©1994

ПОРОГОВАЯ ПЛОТНОСТЬ ТОКА ЛАЗЕРНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР РАЗДЕЛЬНОГО ОГРАНИЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ GaInAsSb

*А.Н.Именков, Б.С.Кондратьев, А.А.Попов, О.В.Андрейчук,
С.Ю.Белкин, Б.Е.Саморуков, Ю.П.Яковлев*

1. Перестраиваемые лазерные диоды на основе A^3B^5 соединений GaInAsSb привлекательны для высокоточного аналитического детектирования атмосферных загрязнений в спектральной области 1.8–2.5 мкм [1]. Одной из их основных характеристик является температурная зависимость порогового тока, которая для лазерных диодов на основе GaInAsSb исследовалась ранее [2] только для двойных гетероструктур. Между тем, одномодовые полупроводниковые лазеры для перестраиваемой диодной спектроскопии [3], как правило, создаются на основе структур раздельного оптического и электронного ограничения.

Настоящая работа является продолжением работ [1–6] по созданию инфракрасных диодных лазеров для спектроскопии и посвящена исследованию температурной зависимости порогового тока для диодных лазеров на основе GaInAsSb с раздельным ограничением и различной толщиной активной области.

2. Лазерные структуры создавались жидкофазной эпитаксией на подложках n -GaSb [100], легированных Te до концентрации электронов $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Структуры (рис. 1) имели узкозонный слой n -GaInAsSb (ширина запрещенной зоны $E_g = 0.64 \text{ эВ}$, $n = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$), волноводные ограничительные слои GaAlAsSb толщиной по 2 мкм ($E_g = 1.27 \text{ эВ}$) n -типа и p -типа ($n = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $p = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) и один или два слоя GaSb толщиной порядка 1 мкм каждый, прилегающие к узкозонному слою. В первой группе структур (рис. 1,а) слой p -GaSb ($p = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) располагался между узкозонным слоем и волноводным слоем p -типа. Во второй группе (рис. 1,б) еще имелся слой n -GaSb ($n = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) между узкозонным слоем и волноводным слоем n -типа. Наружный слой p -GaSb ($p = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$) использовался в качестве контактной области. Акцептором служил Ge, донором — Te. В каждой группе структур варьировалась толщина активного слоя от 0.3 до 2 мкм.

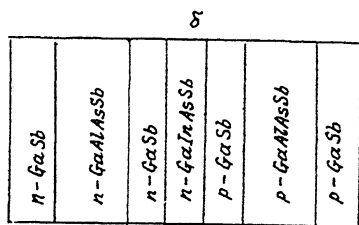
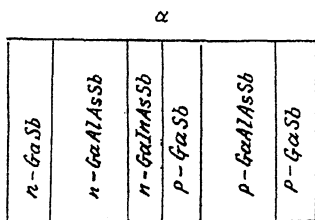
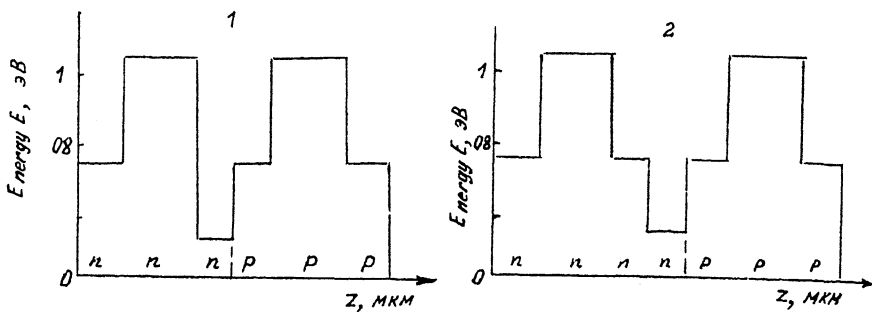


Рис. 1. Плоские энергетические диаграммы лазерных гетероструктур группы 1 (а) и группы 2 (б).

Методами стандартной фотолитографии были изготовлены лазерные диоды глубокой мезаполосковой конструкции со сплошным напыленным омическим контактом Au+5%Te/Ag к подложке N-GaSb и Au+12% Ge к контактной области P-GaSb. Ширина полоск составляла 30 мкм. Диодные лазеры собирались на стандартном корпусе ТО-18 с длиной резонатора 300 мкм.

Исследовались зависимости выходной оптической мощности от тока, а также зависимости порогового тока от температуры. Измерения проводились в интервале температур $T = 77-300$ К при импульсном режиме питания. Длительность импульса составляла 100 нс, частота повторения — 10 кГц.

3. На пороге генерации обычно разрешалось несколько продольных мод, а при токах, больших порогового в 1.1–1.2 раза — преобладала одна мода. При более высоких превышениях над порогом одномодовый режим достигался только в отдельных экземплярах лазеров, преимущественно с тонким узкозонным слоем (< 0.54 мкм).

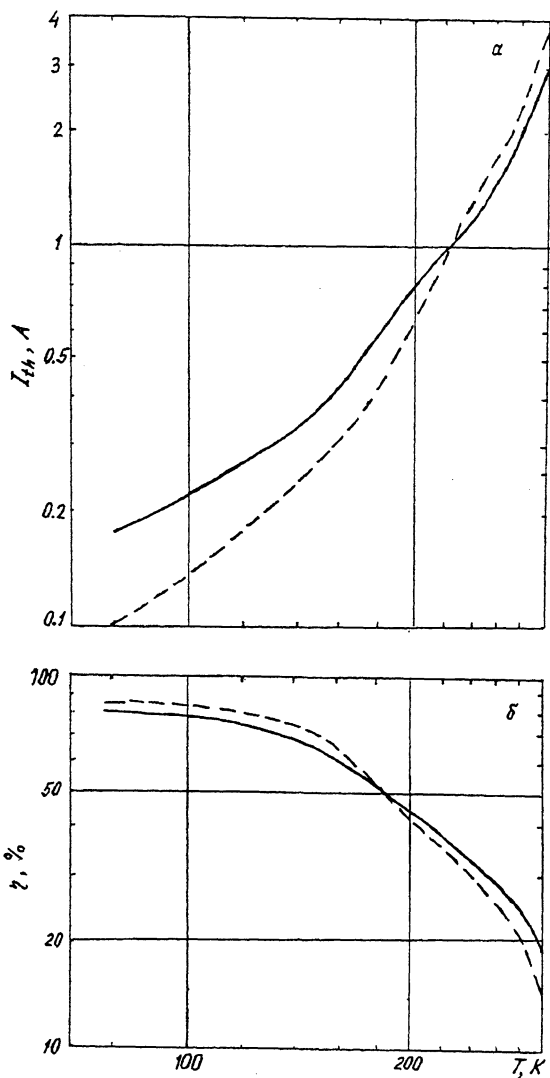


Рис. 2. Температурные зависимости порогового тока I_{th} (а) и внутреннего квантового выхода излучения на пороге генерации η (б) лазеров группы 1 с тонким (сплошные кривые) и толстым (штрихи) узкозонным слоем.

Дифференциальная квантовая эффективность всех лазеров при $T = 77$ К составляла не менее 0.7 фотона на электрон и с повышением температуры до ~ 250 К почти не изменяется. При более высоких температурах дифференци-

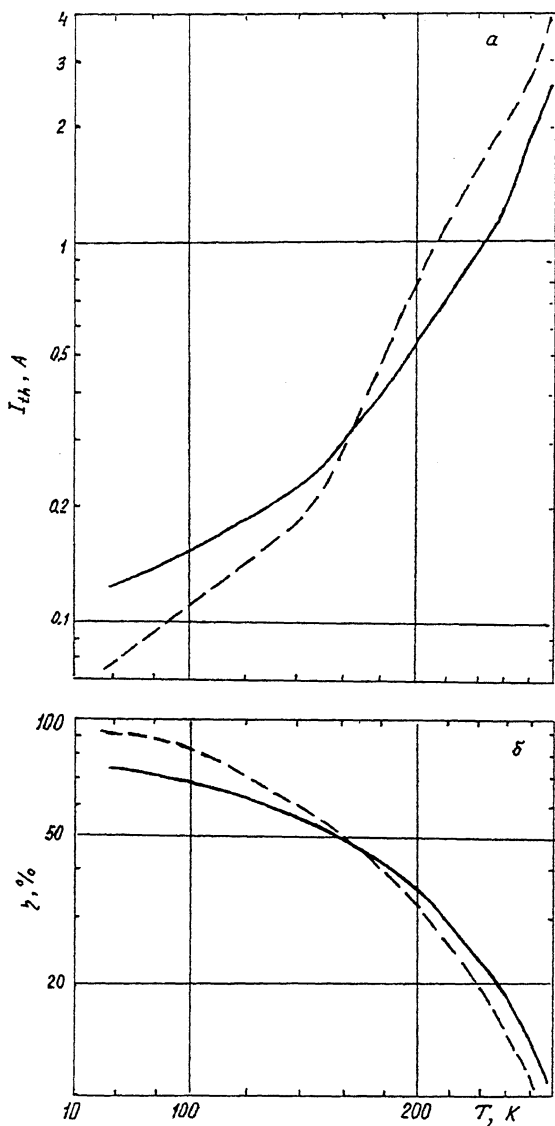


Рис. 3. Температурные зависимости порогового тока I_{th} (а) и внутреннего квантового выхода излучения на пороге генерации η (б) лазеров группы 2 с тонким (сплошные кривые) и толстым (штрихи) узкозонным слоем.

альная эффективность уменьшалась с увеличением температуры, стремясь к нулю при температуре 320–340 К.

Зависимость порогового тока I_{th} лазеров от температуры T представлена на рис. 2, а и 3, а. Характеристики

$\lg I_{th} = f(\lg T)$ всех лазеров имели три почти прямолинейных участка: наиболее пологий лежит в интервале температур 77–150 К, средний в интервале 170–250 К и крутой при температурах больше 280 К. Границы участков в разных лазерах различались незначительно. Если зависимость I_{th} от T выразить формулой $I_{th} \sim T^n$, то величина n на пологом среднем и крутом участках соответственно составляет: 1,5, 4,5 и 6 в лазерах с толстым (1–2 мкм) узкозонным слоем и 1, 3 и 5 — тонким (0,3–0,5 мкм). При толщинах узкозонного слоя (0,5–1) мкм наблюдались промежуточные значения n .

4. Обсудим полученные результаты. Основные различия лазеров с тонким и толстым узкозонным слоем проявляются в том, что в первых с большей вероятностью достигается одномодовый режим, и их пороговый ток слабее зависит от температуры. Наличие слоя n -GaSb в волноводе не влияет на температурную зависимость порогового тока и устойчивость одномодового режима.

Наблюдаемые различия можно объяснить тем, что в лазерах с тонким узкозонным слоем рекомбинация на границах слоя оказывается более существенной, чем в его толще. При толщине слоя около 2 мкм преобладающий вклад дает рекомбинация в объеме. Значения показателя степени n близки к теоретически вычисленным [4] и экспериментально наблюдаемым значениям в лазерах, работающих на межзонных переходах [2]. На пологом участке характеристики $\lg(I_{th}) = f(\lg(T))$, $n = 1,5$, что соответствует преобладанию излучательной межзонной рекомбинации. На среднем участке $n = 4,5$, как должно быть при преобладании СННС Оже-процесса. На крутом участке, кроме того, значительно поглощение на свободных носителях заряда, как в лазерах на основе InAsSb [8]. Рост безызлучательных потерь приводит к уменьшению дифференциальной квантовой эффективности, проявляющейся именно на этом участке.

Преобладающая интерфейсная рекомбинация в лазерах с тонким узкозонным слоем происходит аналогично за счет излучательных и безызлучательных процессов. Однако температурная зависимость их скорости слабее из-за более слабой температурной зависимости эффективной плотности состояний в интерфейсных потенциальных квантовых ямах, чем в объеме полупроводника.

Если теперь принять, что во всех лазерах на пологом участке характеристик $\lg(I_{th}) = f(\lg(T))$ преобладает излучательная рекомбинация, а на остальных участках — безызлучательная, и аппроксимировать эти участки прямыми линиями, то можно вычислить внутренний квантовый выход излучения на пороге генерации η (рис. 2,б, 3,б). В лазерах с тонким узкозонным слоем, а при температурах

менее (170–190) К он оказывается меньше, чем в лазерах с толстым узкозонным слоем. При более высоких температурах наблюдается обратное соотношение. Это дает преимущество одномодовым интерфейсным лазерам при высоких температурах по сравнению с лазерами, в которых существенна объемная рекомбинация.

Список литературы

- [1] Аветисов В.Г., Баранов А.Н., Именков А.Н., Надежденский А.И., Хуснутдинов А.Н., Яковлев Ю.П. // Письма ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 14. С. 66–70.
- [2] Андаспаева А.А., Баранов А.Н., Гельмонт Б.Л., Джуртанов Б.Е., Зегря Г.Г., Именков А.Н., Яковлев Ю.П., Ястребов С.Г. // ФТП. 1991. Т. 25. В. 3. С. 394–401.
- [3] Именков А.Н., Кондратьев Б.С., Попов А.А., Яковлев Ю.П. // Письма ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 23. С. 13–19.
- [4] Баранов А.Н., Данилова Т.Н., Ершов О.Г., Именков А.Н., Яковлев Ю.П. Письма ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 17. С. 54–59.
- [5] Баранов А.Н., Белкин С.Ю., Данилова Т.Н., Ершов О.Г., Именков А.Н., Яковлев Ю.П. // Письма ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 17. С. 18–23.
- [6] Баранов А.Н., Белкин С.Ю., Данилова Т.Н., Ершов О.Г., Именков А.Н., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1992. Т. 26. В. 11. С. 1971–1976.
- [7] Зегря Г.Г., Харченко В.А. // ЖЭТФ. 1992. Т. 101. В. 1. С. 327–343.
- [8] Баранов А.Н., Данилова Т.Н., Ершов О.Г., Именков А.Н., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // Письма ЖТФ. Т. 18. В. 22. С. 6–10.

Физико-технический
институт им.А.Ф. Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
12 мая 1994 г.