

06.2;06.3;07

Мезаполосковые лазеры на основе ДГС InAsSbP/InGaAsSb, легированных гадолинием, диапазона 3–3.6 мкм

© Н.В. Зотова, С.А. Карандашев, Б.А. Матвеев, М.А. Ременный,
Н.М. Стусь, Г.Н. Талалакин

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 10 ноября 1996 г.

Приведены данные о диодных мезаполосковых лазерах на основе ДГС InAsSbP/InGaAsSb, впервые из длинноволновых лазеров легированных редкоземельным элементом Gd. Показано, что легирование приводит к улучшению пороговых характеристик. Проведено измерение токовой модуляции лазерного излучения, показывающее возможность использования данных лазеров в спектроскопических измерениях.

Диодные лазеры на основе узкозонных полупроводников, генерирующие в средней ИК области спектра (3–5 мкм), могут найти применение в спектроскопии и контроле за загрязнением окружающей среды, поскольку в указанном спектральном диапазоне лежат полосы поглощения многих промышленных газов, таких как CH₄ (3.3 мкм), HCl (3.54 мкм), CO₂ (4.2 мкм), CO (4.6 мкм). Кроме того, при использовании данных источников в сочетании с волокнами на основе халькогенидных и флюоритных стекол оптические потери уменьшаются на порядок по сравнению с волокнами из кварца, что делает эти лазеры перспективными для применения в волоконно-оптических линиях связи [1].

В настоящей работе сообщается о мезаполосковых лазерах, излучающих в спектральном диапазоне 3.2–3.5 мкм на основе двойных гетероструктур InAsSbP/InGaAsSb/InAsSbP, полученных методом жидкофазной эпитаксии на подложках *n*-InAs (111), с активным слоем *n*-InGaAsSb, легированным гадолинием (Gd).

В литературе мало сведений о структурах, выращенных на подложке *n*-InAs, ориентированной в плоскости (111), хотя условия выращивания гетероструктур при повышенных температурах

		W , мкм	λ , мкм	J_{th} , А/см ²	I_{th} , А
InGaAsSb	Gd	20	3.335	350	35
InGaAsSb	—	20	3.49	800	70
InGaAsSb	Gd	10	3.355	2000	75
InGaAsSb	—	10	3.324	2600	130
InAs	Gd	10	3.228	950	100
InAs	—	10	3.164	10000	390

(условия для высокой пластичности подложки) на подложках с ориентацией (111) позволяют получать градиентные слои и двойные гетероструктуры с низкой плотностью дислокаций несоответствия за счет преимущественного образования дефектов в подложке [2,3]. Насколько нам известно, легирование активной области длинноволновых лазеров на основе двойных гетероструктур редкоземельными элементами до нас не проводилось.

Двойные гетероструктуры были получены аналогично описанным в [4] и состояли из нелегированной подложки n -InAs (111) Å ($n = 1-2 \cdot 10^{16}$ см⁻³) и трех слоев: широкозонного ограничивающего слоя n -InAs_{1-x-y}Sb_xP_y, активного слоя лазера n -In_{1-v}Ga_vAs_{1-z}Sb_z(Gd) ($0.01 \leq v \leq 0.07, 0.065 \leq z \leq 0.07$) и широкозонного эмиттера p -(Zn)-InAs_{1-x-y}Sb_xP_y ($0.05 \leq x \leq 0.09, 0.09 \leq y \leq 0.18$). Толщины широкозонных слоев 4-6 мкм, активного слоя 1.5-3 мкм. Мезаполосковые лазеры с шириной полоска 10 или 20 мкм были изготовлены методами фотолитографии и имели длину 200-1000 мкм.

Измерения эффекта Холла показали, что легирование эпитаксиальных слоев InGaAsSb гадолинием (Gd) приводит к уменьшению концентрации электронов от $1 \cdot 10^{17}$ до $\sim 4 \cdot 10^{15}$ см⁻³ и увеличению их подвижности до $\sim 10^5$ см²/В·с. Легирование активного слоя InGaAsSb в ДГС InAsPb/InGaAsSb/InAsSbP сопровождается уменьшением полуширины спектров фотолюминесценции материала активного слоя до ~ 1.5 кТл (77 К), увеличением интенсивности излучения в $\sim 20-30$ раз, и, как будет видно из таблицы, уменьшением порогового тока генерации. Это можно связать с образованием комплексов [5], уменьшающих концентрацию остаточных доноров.

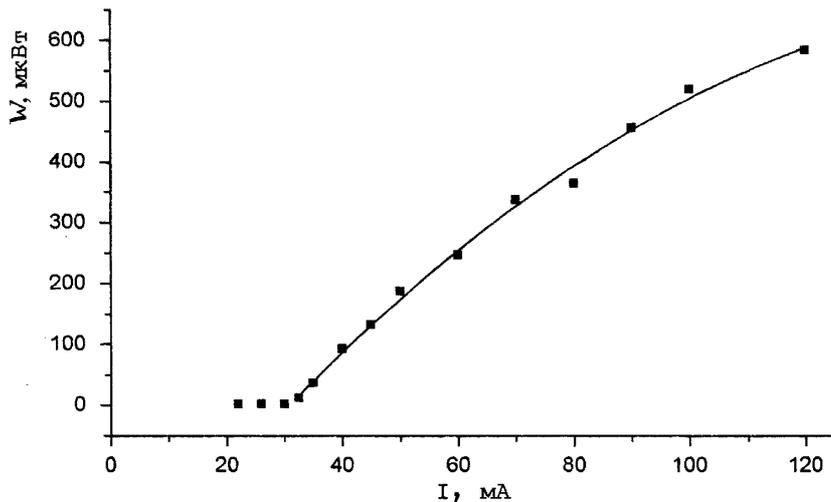


Рис. 1. Ватт-амперная характеристика лазера с активной областью InGaAsSb, легированной Gd, шириной полоска 20 мкм, в импульсном режиме (5 мкс, 500 Гц), $T = 77$ К (W — импульсная мощность).

В таблице приведены основные параметры изготовленных лазеров: материал активной области, наличие легирующей примеси активной области, W — ширина полоска, λ — длина волны генерации, J_{th} — плотность порогового тока, I_{th} — пороговый ток, при $T = 77$ К. Увеличение порогового тока при уменьшении ширины полоска объясняется, по-видимому, ростом вклада тока утечки через боковые поверхности полоска. На рис. 1 изображена ватт-амперная характеристика одного из лазеров при импульсном питании (длительность импульса 5 мкс, частота следования 500 Гц). На рис. 2 представлены спектры излучения лазера при разных токах. Как видно, в интервале токов $I = (1 - 2)I_{th}$ наблюдается одномодовый режим. С помощью резонатора Фабри-Перо были проведены измерения сдвига лазерной моды при увеличении тока накачки. Скорость перестройки составила $\sim 30 \text{ см}^{-1}/\text{А}$ в сторону длинных волн: при $I_{th} = 30$ мА сдвиг моды в красную сторону составил 5.1 А при увеличении тока на 18 мА, что удовлетворяет требованиям большинства задач лазерно-диодной спектроскопии. Изготовленные

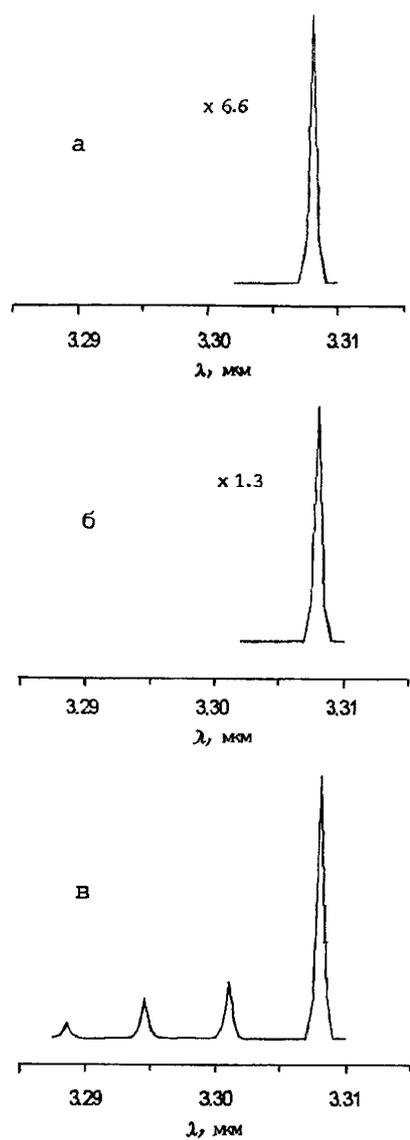


Рис. 2. Спектры лазера при разных токах: a — I_{th} ; $б$ — $1.7I_{th}$; $в$ — $2I_{th}$.

лазеры обладают стабильными параметрами (выходная мощность, пороговый ток) и, как мы надеемся, найдут применение в приборах газового анализа.

Авторы выражают глубокую признательность М. Айдаралиеву и Н.Д. Ильинской за помощь в изготовлении лазеров и А.Н. Именкову за проведенные измерения перестройки моды, а также Ю.П. Яковлеву за внимание и интерес к работе. Работа выполнена по программе "Оптика. Лазерная физика" (проект 4.14).

Список литературы

- [1] *Goodman C.H.L.* // Solid-State and Electron Devices. 1978. V. 2. N 5. P. 129–137.
- [2] *Матвеев Б.А., Стусь Н.М., Талалакин Г.Н.* // Кристаллография. 1988. Т. 33. В. 1. С. 216–221.
- [3] *Аргунова Т.С., Кютт Р.Н., Матвеев Б.А. и др.* // ФТТ. 1994. Т. 36. N 10. С. 3071–3078.
- [4] *Aydaraliev M., Zotova N.V., Karandashov S.A. et al.* // Semicond. Sci. Technol. 1993. V. 8. P. 1575–1580.
- [5] *Baranov A.N., Voronina T.I., Lagunova T.S. et al.* // Semiconductors. V. 27. (3). P. 236–240.