

07

Лазеры на основе AlGaAsSb, излучающие в области $1.6 \mu\text{m}$

© Т.Н. Данилова, Б.Е. Журтанов, А.Н. Именков,
М.А. Сиповская, Ю.П. Яковлев

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

Поступило в Редакцию 19 ноября 1998 г.

Изготовлены и исследованы лазеры на основе AlGaAsSb с разным содержанием Al в активной и ограничительных областях, излучающие в области $\sim 1.6 \mu\text{m}$. Твердый раствор AlGaAsSb в активной области прямозонный с малым энергетическим расстоянием между прямозонным Γ минимумом и непрямоzonным L минимумом ($\sim 56 \text{meV}$) зоны проводимости ($\sim 56 \text{meV}$). Спектры лазеров одномодовые с преимущественной продольной модой в пространственном распределении излучения. Лазеры работают при комнатной температуре в импульсном режиме.

1. Лазеры, излучающие в спектральной области вблизи $1.6 \mu\text{m}$, перспективны для диодно-лазерной спектроскопии, поскольку они работают при комнатной температуре, и в этой спектральной области лежат обертоны линий поглощения газов, вызывающих большой практический интерес, таких как метан (CH_4), углекислый газ (CO_2) и другие, фундаментальные полосы поглощения которых лежат в средней инфракрасной области ($3\text{--}4 \mu\text{m}$), где генерация при комнатной температуре не достигнута. Чтобы компенсировать слабое поглощение света на обертонах по сравнению с фундаментальным поглощением, обычно используются многопроходные кюветы, содержащие исследуемый газ [1]. На этом принципе создан, например, портативный анализатор метана с использованием лазера на основе твердого раствора InGaAsP для измерений в открытой атмосфере [2]. В настоящее время созданы приборы с очень высоким спектральным разрешением с использованием диодных лазеров на основе гетероструктур InGaAsP/InP для чувствительного оптического детектирования и дифференцирования близко расположенных обертона $2\nu_3$ линии поглощения CH_4 и $6\nu_2 + \nu_3$ комбинационной линии CO_2 в спектральной области $1.6 \mu\text{m}$ [3,4].

Нами предпринята попытка создания и исследования диодных лазеров на основе другого полупроводникового твердого раствора, AlGaAsSb, работающих в спектральной области $\sim 1.6 \mu\text{m}$. Лазеры содержат гетероструктуру с активной и широкозонными областями, состоящими из того же твердого раствора AlGaAsSb, но с разным содержанием Al. В твердом растворе AlGaAsSb при прямозонных составах энергетическое расстояние между прямозонным Γ минимумом и непрямозонным L минимумом меньше 100 meV . Представляет интерес определить, возможна ли генерация в лазерах с активной областью, содержащей такой полупроводниковый материал.

2. Исследуемые лазерные структуры изготавливались методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на подложке $n\text{-GaSb}(100)$, легированной Te до концентрации свободных электронов $(8-9) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Схема расположения слоев в лазерной структуре представлена на рис. 1, *a*. Все выращенные слои изопериодны с подложкой. Величина рассогласования периодов подложки и узкозонных слоев $\Delta a/a = (8-9) \cdot 10^{-4}$, а подложки и широкозонных слоев $\Delta a/a \sim 10^{-3}$. Узкозонный слой активной области состава $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}_{0.044}\text{Sb}_{0.956}$ легировался Te до концентрации свободных электронов $(3-5) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Толщина этого узкозонного слоя $0.5 \mu\text{m}$. Широкозонные слои выращивались с большим содержанием Al и имели состав $\text{Al}_{0.34}\text{Ga}_{0.66}\text{As}_{0.44}\text{Sb}_{0.956}$. N -широкозонный слой легирован Te до концентрации свободных электронов $(3-5) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ и P -широкозонный слой легирован Ge до концентрации свободных дырок $\sim 7 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Приконтактный узкозонный P -слой такого же состава, как слой активной области, легировался до концентрации дырок $\sim 1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Толщина широкозонных слоев $\sim 2.5 \mu\text{m}$, а приконтактного высоколегированного слоя $\sim 1.5 \mu\text{m}$.

Изменение ширины запрещенной зоны (E_g) по толщине структуры при комнатной температуре представлено на рис. 1, *b*. В активной области E_g соответствует длине волны излучения $\lambda \sim 1.6 \mu\text{m}$ и составляет $\sim 0.775 \text{ eV}$. В широкозонных ограничительных областях E_g имеет величину $\sim 1.0 \text{ eV}$. Приконтактный сильнолегированный P -слой имеет величину E_g примерно такую же, как активная область. Твердый раствор $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{AsSb}$ в активной области ($x = 0.05$) прямозонный, а в широкозонных областях ($x = 0.34$) непрямозонный, поскольку переход от абсолютного Γ -минимума к абсолютному L -минимуму происходит при $x = 0.25$ [5-6]. Однако в активной области непрямозонный L -минимум близко расположен к прямозонному Γ -минимуму, на энергетическом

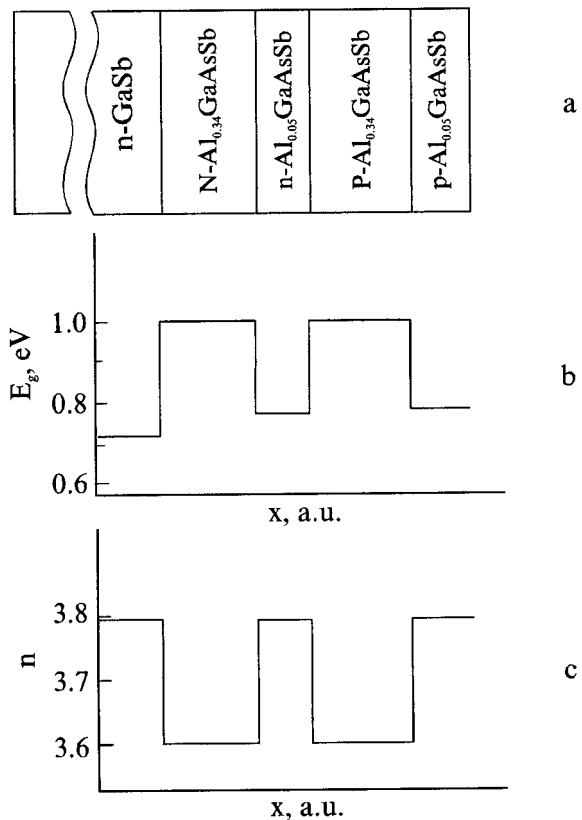


Рис. 1. Схема расположения слоев в лазерной структуре (а), послойное распределение ширины запрещенной зоны E_g (b), послойное распределение показателя преломления n (с).

расстоянии ~ 56 meV. Гетерограницы между активной областью и широкозонными ограничительными областями являются гетеропереходами I -типа с разрывом в зоне проводимости $E_c \sim 120$ – 150 meV и с разрывом в валентной зоне $E_v \sim 150$ – 170 meV.

Изменение показателя преломления n по толщине структуры представлено на рис. 1, с. Значения приведенных величин расчетные.

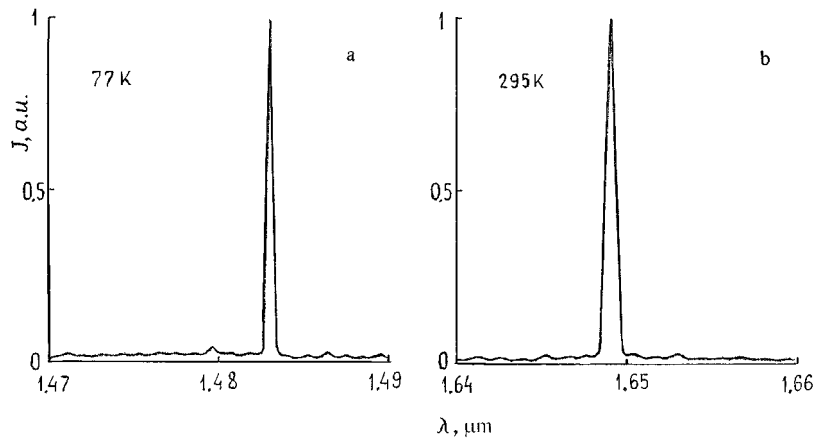


Рис. 2. Спектры излучения лазера (E-174 N 14) при 77 К (*a*) и при комнатной температуре (*b*).

Показатель преломления в активной области имеет величину, близкую к его величине для GaSb, и равен примерно 3.79. Показатель преломления в широкозонной ограничительной области $\text{Al}_{0.34}\text{Ga}_{0.66}\text{As}_{0.044}\text{Sb}_{0.956}$ составляет величину ~ 3.6 . Таким образом, разность показателей преломления между активной и широкозонной областями $\Delta n \sim 0.19$.

Из лазерной эпитаксиальной структуры методом фотолитографии изготавливались мезаполоски шириной $\sim 10 \mu\text{m}$. Резонаторы Фабри–Перо лазеров длиной 200–250 μm образовывались скальванием.

У исследуемых лазеров измерялись спектры излучения, диаграммы распределения излучения в дальнем поле и вольт-амперные характеристики.

Спектры излучения исследуемых лазеров измерялись при 77 К и при комнатной температуре. В качестве диспергирующего прибора использовался монохроматор МДР-2. Фотоприемником служил фотодиод на основе GaInAsSb [7]. При 77 К измерения проводились при питании лазеров импульсами тока типа меандр с частотой следования 400 Hz. При комнатной температуре лазеры питались импульсами тока длительностью $\tau = 500 \text{ ns}$ при частоте следования 30 kHz.

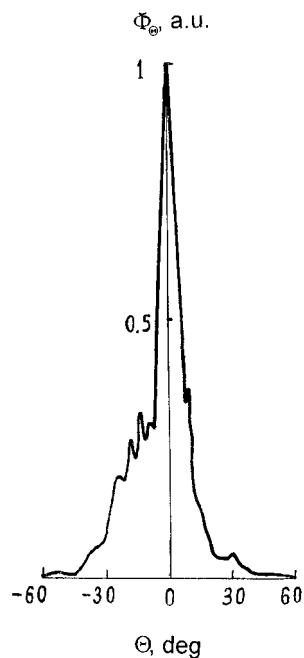


Рис. 3. Распределение в дальней зоне интенсивности излучения Φ в зависимости от угла регистрации излучения Θ лазера E-174 N 14.

3. Спектр излучения одного из исследуемых лазеров (E-174 N 14) представлен на рис. 2 при 77 К (рис. 2, *a*) при токе 40 мА и при комнатной температуре (рис. 2, *b*) при токе 880 мА. Лазер имеет пороговый ток 27.5 мА при 77 К и ~ 800 мА при комнатной температуре. Спектры излучения лазеров одномодовые. Смещение длины волны с температурой от 77 К до комнатной происходит со скоростью $\sim 7.6\ \text{\AA}/\text{deg}$.

На рис. 3 приведено пространственное распределение излучения лазера в плоскости p - n -перехода в дальнем поле при токе 30 мА и температуре 77 К. Диаграмма направленности имеет преимущественную продольную моду с шириной на половине максимума интенсивности 10.8 градуса. Боковые максимумы, вероятно, соответствуют поперечным

модам, их общая интенсивность приблизительно в четыре раза меньше, чем интенсивность продольной моды. Интенсивность поперечных мод уменьшается с ростом номера моды. В плоскости, перпендикулярной p - n -переходу, ширина диаграммы направленности на половине высоты интенсивности составляет 40–50 градусов.

Из измерений вольт-амперных характеристик лазеров при комнатной температуре получено, что остаточное сопротивление лазерных структур имеет величину $\sim 28 \Omega$.

4. Обсудим полученные результаты.

Основной результат этой работы состоит в том, что получена генерация в лазере с активной областью из прямозонного материала, в котором непрямозонный L -минимум расположен близко к прямозонному Γ -минимуму, на энергетическом расстоянии $\sim 56 \text{ meV}$. Оценки показывают, что в условиях генерации в таком материале в побочном непрямозонном минимуме зоны проводимости концентрация электронов на порядок больше, чем в главном прямозонном минимуме.

Спектры полученных лазеров однододовые с пространственным распределением преимущественно в продольной моде. Сдвиг длины волны когерентного излучения при изменении температуры от 77 К до комнатной происходит со скоростью примерно в два раза меньшей, чем то изменение, которое соответствовало бы изменению с температурой в том же температурном интервале ширины запрещенной зоны в активной области лазера.

Присутствие поперечных мод в пространственном распределении излучения лазера, вероятно, определяется недостаточно узкой шириной полоска для длины волны излучения $1.6 \mu\text{m}$. Это может быть учтено при дальнейшей работе.

Из-за того, что ограничительные слои структуры непрямозонные, лазеры обладают высоким последовательным сопротивлением (28Ω), которое, однако, можно уменьшить за счет увеличения легирования этих слоев.

Работа частично поддержана контрактом INCO-Copernicus N 1C15-ST97-0802 (DG12-CDPF) и частично грантом Министерства науки РФ по программе "Оптика и лазерная физика".

Список литературы

- [1] Chernin S.M., Barskaya E.G. // Appl. Opt. 1991. V. 30. P. 51.
- [2] Beresin A., Chernin S., Ershov O., Kutnyak V., Nadezhdinskii A. // 2nd International Conference on Tunable Diode Laser Spectroscopy. 1998. Moscow. Abstracts of papers. P. 33.
- [3] Weldon V., Phelan P., Hegarty J. // Electron. Lett. 1992. V. 28 (22). P. 2098–2099.
- [4] Weldon V., Phelan P., Hegarty J. // Electron. Lett. 1993. V. 29. P. 560–561.
- [5] Mead C.A., Spitzer W.G. // Phys. Rev. Lett. 1963. V. 11. P. 358.
- [6] Акимов Ю.А., Буров А.А., Загаринский Е.А., Крюкова И.В., Петрушенко Ю.В., Степанов Б.М. // Квант. электр. 1975. Т. 2. С. 68.
- [7] Андреев И.А., Баранов А.Н., Абраилов М.А., Данильченко В.Г., Михайлова М.П., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12(21). С. 1311–1315.