

06.2;06.3;07;12

©1995

ДЛИННОВОЛНОВЫЙ ЛАЗЕР ($\lambda = 3.26$ МКМ) С РАЗЪЕДИНЕННЫМ ОДИНОЧНЫМ ГЕТЕРОПЕРЕХОДОМ II ТИПА p -GaInAsSb/ p -InAs В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

К.Д.Мусеев, М.П.Михайлова, О.Г.Ершов, Ю.П.Яковлев

В последние годы большое внимание уделяется созданию лазеров среднего ИК-диапазона 3–5 мкм [1,2], которые весьма перспективны для лазерной диодной спектроскопии высокого разрешения и экологического мониторинга [3]. В работе [4] нами была впервые обнаружена интенсивная электролюминесценция в спектральном диапазоне 3–4 мкм на разъединенной изотипной гетероструктуре II типа p -GaIn_{0.17}As_{0.22}Sb/ p -InAs, обусловленная туннельной излучательной рекомбинацией пространственно разделенных носителей, локализованных по разные стороны гетерограницы. Интенсивность такой интерфейсной излучательной рекомбинации была велика и сопоставима с интенсивностью обычного светодиода, излучающего в том же спектральном диапазоне. Это позволило нам предложить новый физический подход к созданию лазерных структур, используя туннельную инжекцию в разъединенной гетероструктуре.

В данной работе мы впервые сообщаем о создании лазера для диапазона 3–4 мкм, работающего на интерфейсных переходах в разъединенном изотипном p - p гетеропереходе II типа.

Лазерные структуры выращивались на подложках InAs (100) с концентрацией $p = 3 \cdot 10^{18}$ см⁻³ методом ЖФЭ. Послойный профиль ширины запрещенной зоны лазерной структуры с отдельным электронным и оптическим ограничением представлен схематически на рис. 1, а. В активной области использовался изотипный p - p гетеропереход II типа на основе двух твердых растворов GaInAsSb — широкозонного и узкозонного — с разным содержанием In в твердой фазе и с ширинами запрещенных зон $E_g = 630$ мэВ и $E_g = 390$ мэВ при $T = 77$ К соответственно. Эта область обозначена пунктиром на рис. 1, а. В широкозонном слое GaIn_{0.17}AsSb создавался p - n переход, который играл роль дополнительного инжектора электронов. В представленной на рис. 1 лазерной структуре большие разрывы зон на гетерогранице ($\Delta E_c = 0.4$ эВ) позволяли создавать хорошее электронное ограничение. Для улучшения оптического

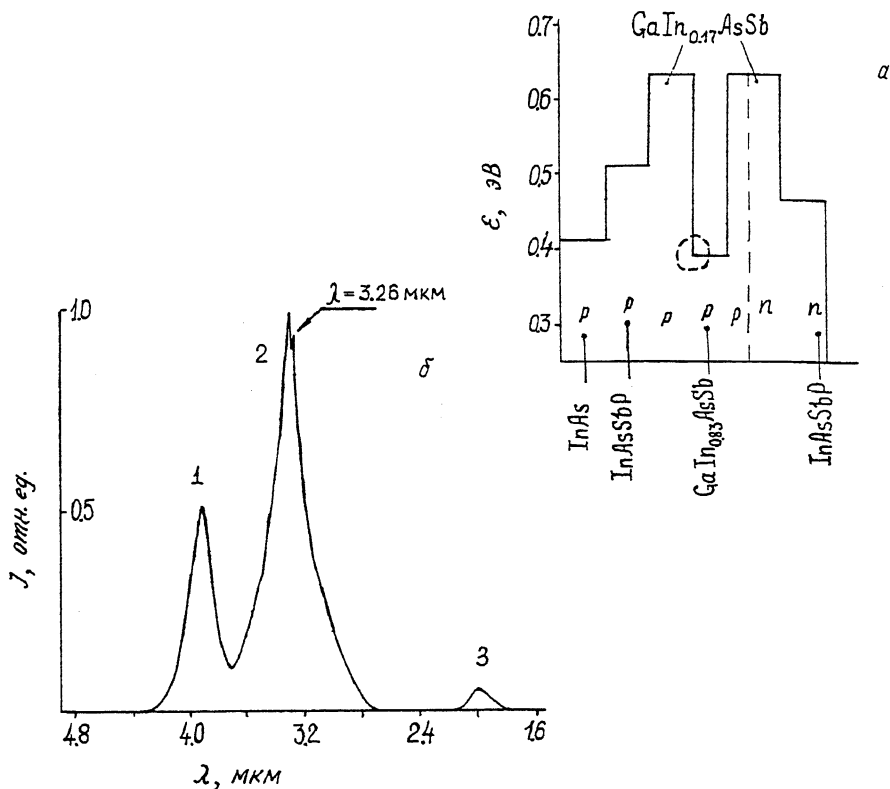


Рис. 1. Послойный профиль ширины запрещенной зоны туннельно-инжекционного лазера (а). Спектр спонтанной электролюминесценции лазерной структуры при токе накачки $i = 100$ мА. Стрелкой отмечена длина волны в максимуме когерентного излучения для данной лазерной структуры ($\lambda = 3.26$ мкм). $T = 77$ К (б).

ограничения использовались слои n - и p -типа твердых растворов $\text{InAsSb}_{0.12}\text{P}_{0.26}$ ($E_g = 510$ мэВ при $T = 77$ К). Благодаря существенной разнице в показателях преломления между слоем широкозонного твердого раствора $\text{GaIn}_{0.17}\text{AsSb}$ ($n = 3.7$) и накрывающими слоями ($n = 3.5$), в нашем случае мы ожидали лучшего удержания световой волны в активной области лазера по сравнению, например, со стандартной ДГС-лазерной структурой на основе $\text{InAsSbP}/\text{InAs}(\text{Sb})$ [1].

Методом стандартной фотолитографии были изготовлены мезаполосковые лазеры с шириной полоска 30–60 мкм и длиной резонатора 250–500 мкм. Контакты к p -материалу напылялись из сплава $\text{Au}:\text{Zn}$, для n -материала — из сплава

Аu : Те; затем они вжигались в атмосфере водорода. Образец крепился на держателе в криостате. Регистрируемое излучение выводилось через сколотые грани. Излучение регистрировали с помощью решеточного монохроматора МДР-4 методом синхронного детектирования. Спектральные измерения проводились при $T = 77$ К в импульсном режиме с длительностью импульса $\tau = 100-300$ нс и частотой повторения $f = 10^5$ Гц.

Спектр спонтанного излучения новой лазерной структуры представлен на рис. 1, б. Как видно из рисунка, он подобен спектру электролюминесценции изотипной гетеро-структуры $p\text{-GaIn}_{0.17}\text{As}_{0.22}\text{Sb}/p\text{-InAs}$, описанной ранее в работе [4], и содержит также две узкие полосы интерфейсного излучения с энергиями фотона в максимуме $h\nu_1 = 316$ мэВ и $h\nu_2 = 368$ мэВ при $T = 77$ К соответственно, лежащие ниже по энергии, чем ширина запрещенной зоны узкозонного твердого раствора. Это позволило сделать вывод о том, что в новой лазерной структуре мы также имеем дело с излучательными переходами электронов и дырок через гетерограницу.

Созданная новая лазерная структура излучала в режиме генерации на длине волны $\lambda = 3.26$ мкм ($h\nu = 378$ мэВ) при $T = 77$ К, при этом плотность порогового тока составляла $J_{th} = 2$ кА/см². Излучение в режиме генерации было одномодовым. Спектр когерентного излучения на пороге генерации ($J = 1.05 \cdot J_{th}$) представлен на рис. 2, а. Отметим, что когерентное излучение возникало на высокоэнергетическом склоне спектра спонтанного излучения (на рис. 1, б отмечено стрелкой), что также отличает данный лазер от обычного ДГС-лазера, у которого когерентное излучение возникает на низкоэнергетическом склоне или в максимуме спонтанной полосы. Этот факт мы связываем с излучательной рекомбинацией через квантовые состояния на $p-p$ гетерогранице.

Исследование температурной зависимости порогового тока для новой лазерной структуры показало, что в интервале температур 77–110 К она была слабой и описывалась экспоненциальной зависимостью

$$I_{th} = I_0 \cdot \exp(T/T_0),$$

при этом величина характеристической температуры (T_0) в интервале 80–120 К достигала значений $T_0 = 30-60$ К (рис. 2, б). Это значение характеристической температуры превышало максимальное значение T_0 для лазерных структур среднего ИК-диапазона на основе узкозонных соединений A^3B^5 [1] в 1.5–2 раза, что само по себе существенно. Мы связываем наличие участка слабой температурной зависимости порогового тока ($T = 77-110$ К) в первую очередь с подавлением Оже-рекомбинации на гетерогранице II типа.

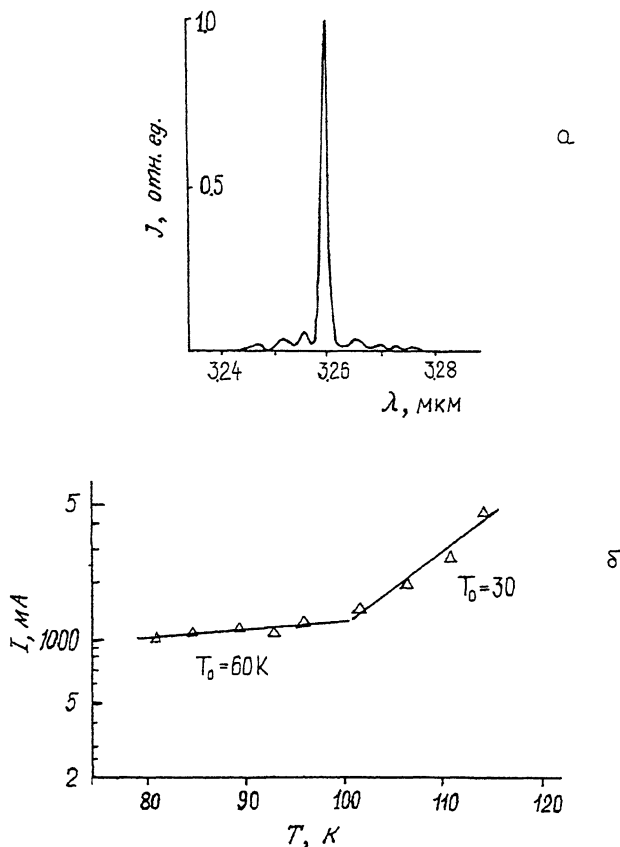


Рис. 2. Спектр когерентного излучения (а) и температурная зависимость порогового тока (б) для лазерной структуры на основе разъединенного гетероперехода II типа $p\text{-GaIn}_{0.17}\text{AsSb}/p\text{-GaIn}_{0.83}\text{AsSb}$ на пороге генерации при $T = 77 \text{ K}$.

В работе [5] было показано, что температурная зависимость Оже-рекомбинации на гетерогранице II типа ослабляется по сравнению с гетерограницей I типа, что приводит, в свою очередь, к более слабой температурной зависимости порогового тока в лазерных структурах на основе гетеропереходов II типа. Использование излучательных переходов на гетерогранице через квантовые ямы для создания источников света среднего ИК-диапазона позволяет избавиться также от объемной Оже-рекомбинации, связанной со

спин-орбитально отщепленной зоной, которая играет важную роль в объемных p -полупроводниках на основе InAs [6].

Возрастание порогового тока при увеличении рабочей температуры ($T > 120$ K), вероятно, обусловлено вкладом безызлучательной Оже-рекомбинации, связанной с СНСС процессом [6]. Этот вклад может быть уменьшен при дальнейшей оптимизации конструкции лазерной структуры, например, за счет увеличения высоты гетеробарьеров ($\Delta E_c \sim 0.6$ эВ) на гетерогранице II типа в активной области лазера, а также использования в качестве накрывающих слоев других твердых растворов. Тем не менее полученные результаты позволяют надеяться на создание лазеров среднего ИК-диапазона, работающих вблизи комнатной температуры.

Авторы благодарят Р.Ф. Казаринова и Г.Г. Зегря за полезные дискуссии и ценные замечания.

Работа частично поддержана Европейским отделением Аэрокосмических исследований и разработок США (EOARD).

Список литературы

- [1] Baranov A.N., Imenkov A.N., Sherstnev V.V., Yakovlev Yu.P. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64. P. 2480.
- [2] Choi H.K., Eglash S.J., Turner G.W. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64. P. 2474.
- [3] Nadezhdinsky A.I., Prokhorov A.M. // SPIE. 1992. V. 1724. P. 2.
- [4] Михайлова М.П., Зегря Г.Г., Мусеев К.Д., Тимченко И.Н., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1995. Т. 29. В. 4. С. 687.
- [5] Andreev A.D., Zegrya G.G. // Abstract of 16 Pecar International Conference on Theory of Semiconductors. Odessa, Ukraine. October 4-7, 1994. P. 27.
- [6] Гельмонт Б.Л., Соколова З.Н., Ясевич И.Н. // ФТП. 1982. Т. 16. В. 4. С. 592.

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

Поступило в Редакцию
10 апреля 1995 г.