

06.2;06.3;07

©1994

СВЕТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ InAsSbP ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 2.6–3.0 мкм ($T = 300$ К)

*Т.Н.Данилова, А.Н.Именков,
К.Д.Моисеев, И.Н.Тимченко, Ю.П.Яковлев*

1. Спектральный диапазон 2.6–3.0 мкм перспективен для целей влагометрии и газового анализа, поскольку в нем находятся линии поглощения H_2O в области 2.75–2.85 и линии поглощения некоторых газов, например CO_2 , в области 2.64–2.87 и H_2S –2.63 мкм. Об источниках излучения, работающих при комнатной температуре в этом спектральном диапазоне, не сообщалось. Светодиоды, созданные на основе GaInAsSb/GaSb, излучают при комнатной температуре от 1.7 до 2.5–2.6 мкм [1,2]. На основе многокомпонентных твердых растворов InAs, а именно InAsSbP и InAsSb, разработаны светодиоды, излучающие при комнатной температуре в более длинноволновом спектральном диапазоне от 3.0 до 4.8 мкм [3]. Недавно нами разработаны и изготовлены для спектральной области 2.6–3.0 мкм на основе InAsSbP лазеры, работающие при азотной температуре [4]. Однако для практического использования удобны источники, излучающие при комнатной температуре.

Целью настоящей работы явилось создание светодиодов на основе InAsSbP, излучающих в области 2.6–3.0 мкм при комнатной температуре.

2. Изготовленные и исследованные в работе светодиоды представляют собой двойную гетероструктуру (ДГС) (рис. 1) с активной областью и широкозонными областями из изопериодных к InAs твердых растворов $InAs_{1-x-y}Sb_yP_x$, но с разным содержанием фосфора x . Светодиодные гетероструктуры выращивались методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на подложке InAs [100] с рассогласованием параметров решеток не более $1.2 \cdot 10^{-3}$. Активная область структуры толщиной 4 мкм была p -типа и легировалась Zn до концентрации дырок $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Содержание фосфора x в активной области варьировалось от 0.12 до 0.27. Широкозонный слой p -типа толщиной ~ 2.5 мкм легирован Zn до концентрации дырок $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Широкозонный слой n -типа толщиной ~ 2 мкм легирован Sn до концентрации электронов $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Содержание фосфора в широкозонных облас-

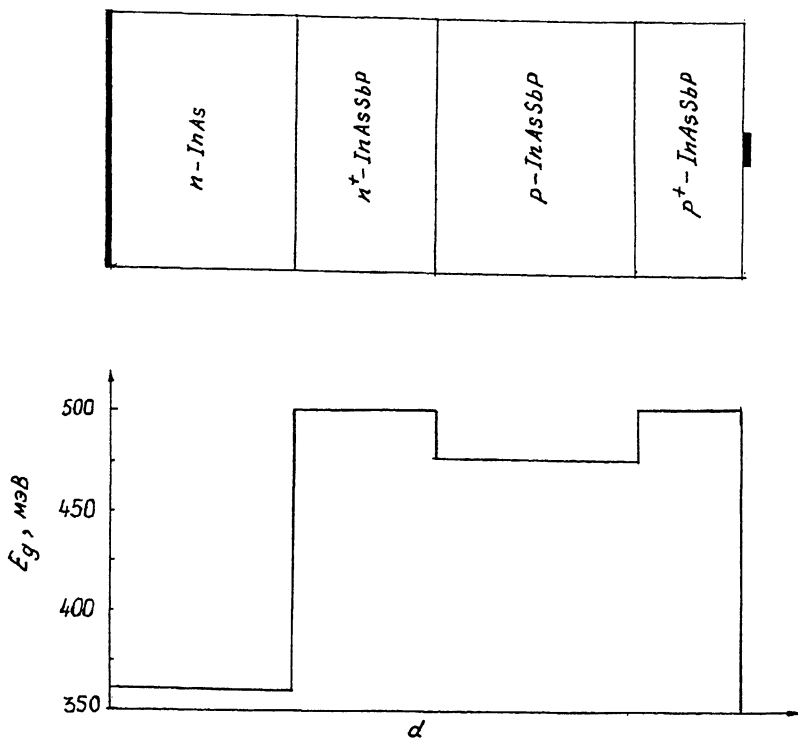


Рис. 1. а — схема расположения слоев в структуре светодиода, б — послойный профиль ширины запрещенной зоны E_g .

тах соответствовало $x = 0.30$. Состав четвертого раствора слоев определялся с помощью рентгеновского микроанализатора (САМЕВАХ). Рассчитанный послойный профиль ширины запрещенной зоны (E_g) приведен на рис. 1 для самой широкозонной активной области с $E_g = 0.475$ эВ. В ограничивающих слоях ширина запрещенной зоны $E_g = 0.500$ эВ. Из эпитаксиальных структур изготавливались мезасветодиоды с диаметром мезы 300 мкм.

Исследовались спектры излучения в зависимости от тока (I), характеристики ток-напряжение ($I-V$), определялся внешний квантовый выход излучения (η) и мощность излучения (P) в зависимости от тока. При токах 100 мА светодиоды питались меандром с частотой 40 Гц, а при больших токах — пакетами импульсов с длительностью 300–1000 нс и частотой следования 10^5 Гц.

3. Спектры излучения при комнатной температуре имеют основную и дополнительную полосы (рис. 2). Энергия максимума основной полосы m_{\max} на 20 мэВ меньше E_g

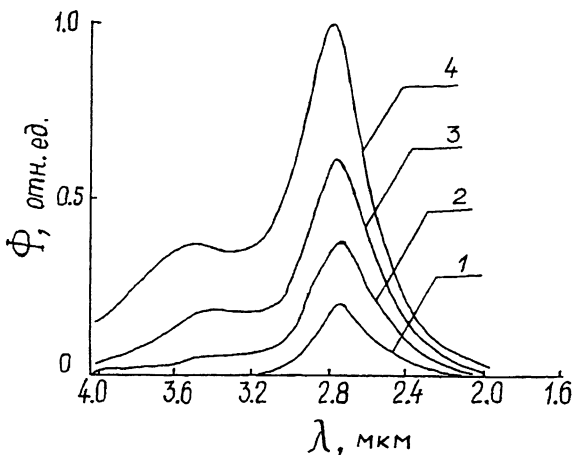


Рис. 2. Спектры излучения светодиода МК-396 No 2 при токах, А: 1 — 0.1, 2 — 0.2, 3 — 0.4, 4 — 1.

узкозонного слоя. Дополнительная полоса имеет энергию максимума 0.365 эВ и проявляется при токах > 0.2 А. Интенсивность ее растет с током быстрее, чем основной полосы, и при токе 1 А составляет 38 % от интенсивности основной полосы. При больших токах, когда эффективное значение тока превышает ~ 20 мА, наблюдается небольшой длинноволновый сдвиг, вызванный нагревом светодиода.

Вольт-амперная характеристика светодиодов при комнатной температуре (рис. 3) имеет прямолинейный участок, дающий отсечку 0.5 В и наклон, соответствующий остаточному сопротивлению $R_s = 5$ Ом. Квантовый выход излучения светодиодов составлял величины 0.02–0.03 % при комнатной температуре и токе 50 мА.

Мощность излучения светодиодов в зависимости от тока при комнатной температуре (рис. 4) возрастает сверхлинейно при $I < 50$ мА, линейно в интервале токов 50–200 мА и сублинейно при более высоких токах. Мощность излучения при постоянном токе 50 мА составляет 6–10 мкВт, а при токе 1 А импульсная мощность имеет величину 100–150 мкВт.

4. Проанализируем полученные результаты.

Поскольку максимум основной полосы на ~ 20 мэВ меньше E_g и не сдвигается с током, а активная область светодиодов p -типа, то, вероятно, излучение обусловлено рекомбинацией зона проводимости–акцептор. Интерфейсной полосы в излучении не наблюдается, что вполне вероятно из-за отсутствия на границе активной области n - n перехода. Наблюдаемая дополнительная полоса по энергии максимума соответствует квазимежзонной рекомбинации в InAs. Интенсивность этой полосы возрастает с увеличением тока,

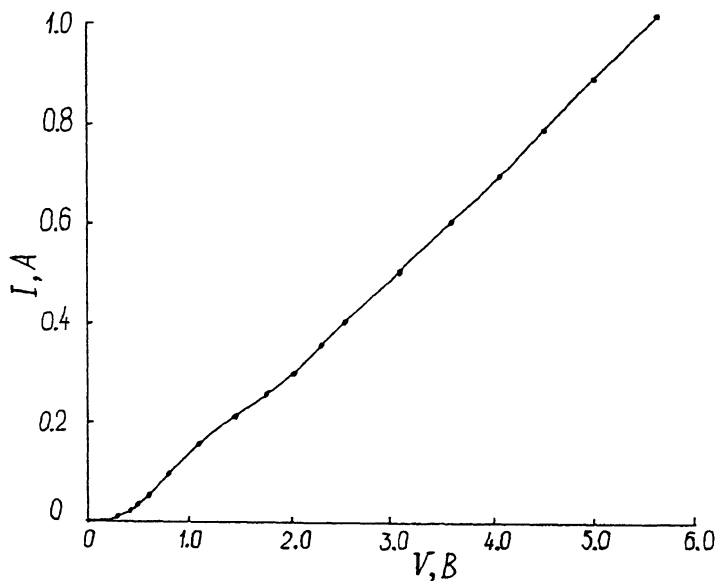


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика светодиода МК-396 No 2.

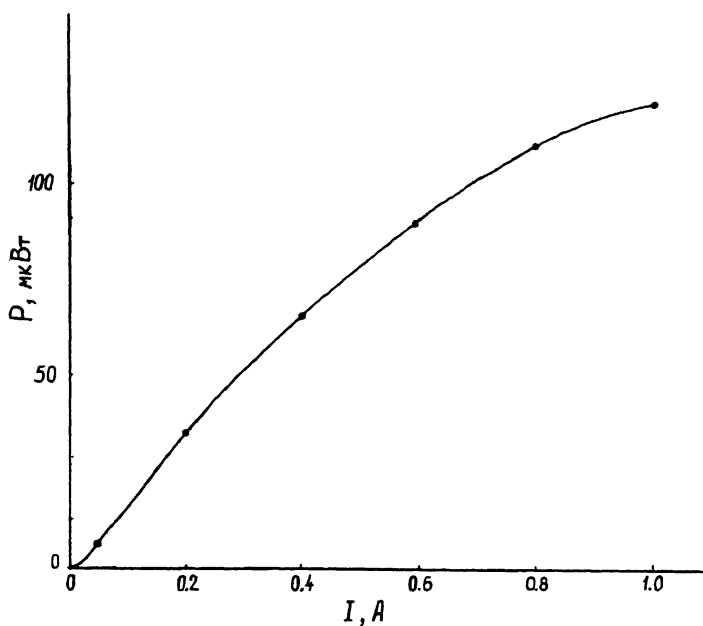


Рис. 4. Зависимость мощности излучения P светодиода МК-396 No 2 от тока I .

поскольку с увеличением тока возрастает утечка неосновных носителей из активной области в подложку InAs.

Таким образом, методом ЖФЭ на основе твердого InAsSbP созданы светодиоды, работающие в спектральной области 2.6–3.0 мкм при комнатной температуре.

Авторы выражают благодарность А.А.Рогачеву за помощь и поддержку работы.

Список литературы

- [1] Андаспаева А.А., Баранов А.Н., Гребенщикова Е.А., Гусейнов А.А., Именков А.Н., Рогачев А.А., Филаретова Г.М., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 8. С. 1373–1377.
- [2] Именков А.Н., Капранчик О.П., Литвак А.М., Попов А.А., Чарыков Н.А., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 24. С. 19–24.
- [3] Баранов А.Н., Именков А.Н., Капранчик О.П., Негрескул Валер.В., Чернявский А.Г., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 24. С. 42–47.
- [4] Данилова Т.Н., Ершов О.Г., Именков А.Н., Тимченко И.Н., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В печати.

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

Поступило в Редакцию
14 марта 1994 г.