

06;07

Двухволновое излучение в структуре GaInPAsSb/InAs с разьединенным изотипным гетеропереходом и $p-n$ -переходом в подложке

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

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: bmat@iropt3.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 8 июля 2002 г.

Сообщается о получении структуры $P\text{-Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{P}_{0.05}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.87}/p\text{-InAs}/n\text{-InAs}$ с разьединенным изотипным гетеропереходом и $p-n$ -переходом в толще подложки, с максимумами электролюминесценции $\lambda = 1.9, 3.1 \mu\text{m}$ (77 К) и $\lambda = 2.1, 3.6 \mu\text{m}$ (300 К) соответственно. Длинноволновая линия излучения обусловлена рекомбинацией в p -области $p-n$ -перехода в толще подложки. Коротковолновая линия излучения обусловлена рекомбинацией в широкозонном слое твердого раствора $P\text{-GaInPAsSb}$, источником неравновесных электронов для которой является $p-n$ -переход в толще подложки.

Введение. Ранее нами сообщалось о получении пятикомпонентного твердого раствора (ПТР) $\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{P}_{0.05}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.87}$ с шириной запрещенной зоны 695 meV (77 К) и 640 meV (300 К), изопериодного с InAs. Было показано, что на границе InAs/ $\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{P}_{0.05}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.87}$ реализуется разьединенный гетеропереход II рода, а изотипный переход $P\text{-GaInPAsSb}/p\text{-InAs}$ обладает выпрямляющими свойствами. Полученный твердый раствор (ТР) был использован для создания прототипов светодиода и фотодиода с максимумом интенсивности излучения и фоточувствительности в области $1.9 \mu\text{m}$ соответственно [1].

В данной работе описано двухволновое излучение $\lambda = 2.1, 3.6 \mu\text{m}$ (300 К) в структуре на основе разьединенного изотипного гетероперехода $P\text{-Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{P}_{0.05}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.87}/p\text{-InAs}$ и $p-n$ -перехода в толще подложки.

Получение и исследование образцов. Пятикомпонентный твердый раствор $\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{P}_{0.05}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.87}$ был получен методом жидкофазной

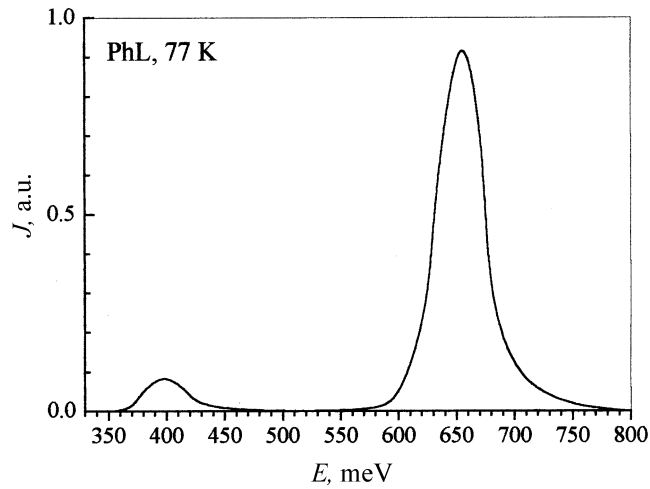


Рис. 1. Спектр ФЛ структуры при 77 К.

эпитаксии (ЖФЭ) на подложке n -InAs (111) по методике, описанной ранее [1]. Толщина эпитаксиального слоя составляла $5 \mu\text{m}$. P - n -переход создавался при легировании ПТР цинком до концентрации $5 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$ и был расположен в объеме подложки на расстоянии $2 \mu\text{m}$ от гетерограницы.

Методами исследования служили фото- и электролюминесценция (ФЛ и ЭЛ). ФЛ возбуждалась с помощью лазера на основе GaAs (ЛПИИ-14) и измерялась в геометрии „на отражение“ со стороны ТР при 77 К. ЭЛ измерялись на чипах размером $0.5 \times 0.5 \text{mm}$ с точечным контактом к эпитаксиальному слою и сплошным к подложке InAs.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлен спектр ФЛ структуры при 77 К, который содержит коротковолновую линию с максимумом излучения при 655meV и полушириной 45meV , что согласуется с данными для аналогичного эпитаксиального слоя $\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{P}_{0.05}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.87}$, легированного цинком [1], и линию излучения подложки с максимумом вблизи 380meV .

На рис. 2 представлены прямые ветви вольт-амперных характеристик (ВАХ) при 77 и 300 К и энергетические диаграммы структуры без смещения и при прямом смещении (положительный потенциал —

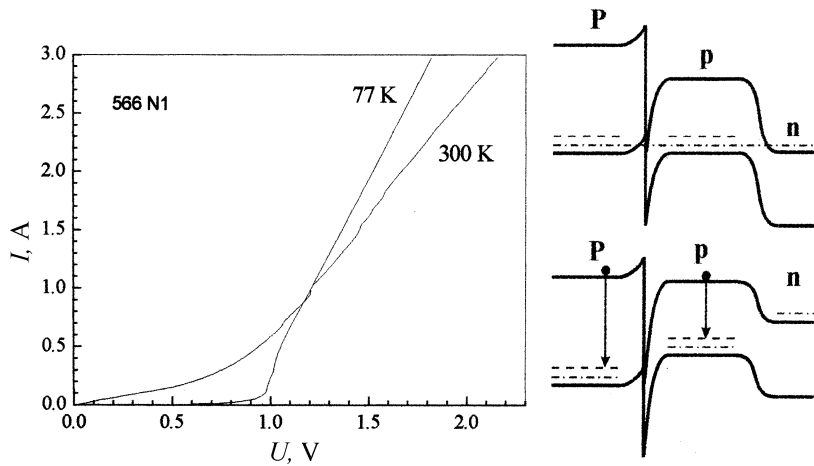


Рис. 2. Прямые ветви вольт-амперных характеристик при 77 и 300 К и энергетические диаграммы структуры без смещения и при прямом смещении.

к широкозонному P -слою и отрицательный — к подложке). ВАХ имеет характерный диодный характер со значениями напряжения отсечки 0.95 и 0.75 В при 77 и 300 К соответственно. Величина отсечки свидетельствует о том, что приложенное напряжение достаточно для полного спрямления зон в структуре: 0.4 для p - n -перехода и 0.2 В для изотипного P - p -перехода. Последовательное сопротивление образца определяется толщиной структуры, о чем свидетельствует его увеличение от 0.25 до 0.4 Ω при повышении температуры от 77 до 300 К, связанное с уменьшением подвижности носителей заряда.

На рис. 3 представлены спектры ЭЛ, полученные при приложении положительного смещения (a — 77 К и b — 300 К). Спектр ЭЛ при 77 К содержит две линии излучения с максимумами спектральной кривой при 398 (полуширина $\Delta h\nu \approx 20$ meV) и 660 meV ($\Delta h\nu \approx 35$ meV). Длинноволновый пик обусловлен излучательной рекомбинацией в p -области p - n -перехода. Энергия максимума коротковолнового пика совпадает с положением пика ФЛ широкозонного слоя и, по-видимому, обусловлена рекомбинацией в объеме пятикомпонентного ТР. На вставке к рис. 3, a представлена зависимость интенсивности излучения от тока через структуру для обеих линий.

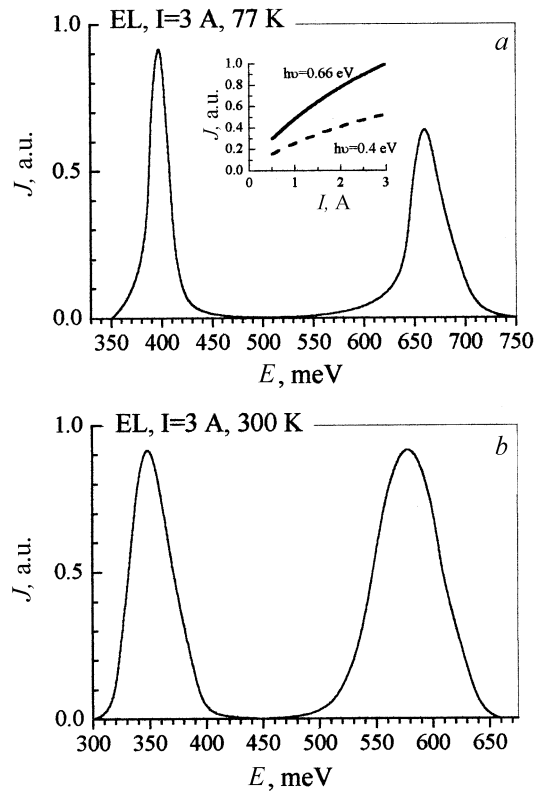


Рис. 3. Спектры ЭЛ при 77 К (*a*) и 300 К (*b*). На вставке (*a*): зависимость интенсивности излучения от тока через структуру для коротковолновой $h\nu \approx 660$ meV и длинноволновой $h\nu \approx 398$ meV линий излучения.

При 300 К спектр излучения также содержит 2 линии с энергиями максимумов 350 и 580 meV (рис. 3, *b*). С повышением температуры от 77 до 300 К интенсивность излучения обеих линий уменьшается приблизительно в 50 раз. Температурный коэффициент сдвига максимума излучения для обеих линий составляет $-3 \cdot 10^{-4}$ eV/K и соответствует коэффициенту температурного изменения ширины запрещенной зоны InAs.

При приложении обратного смещения к структуре (положительный потенциал на подложке InAs) сигнал ЭЛ зафиксирован не был.

Для интерпретации полученных результатов рассмотрим энергетическую диаграмму структуры (рис. 2). На гетерогранице реализуется одиночный изотипный разьединенный P - p -гетеропереход с разрывом зон около 60 meV [1,2]. В термодинамическом равновесии на гетерогранице существует квантовая яма для электронов со стороны подложки благодаря переходу электронов из валентной зоны ТР в зону проводимости p -InAs. При уровне легирования ТР $5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, ширина квантовой ямы составляет не более 400 Å [3]. При приложении к гетеропереходу прямого смещения изгибы зон вблизи гетерограницы увеличиваются, глубина квантовой ямы возрастает, концентрация электронов в ней увеличивается. Кроме того, потолок валентной зоны ТР опускается вниз, дно зоны проводимости поднимается вверх, уменьшая потенциальный барьер для электронов со стороны подложки. В исследуемой структуре p - n расположен в области узкозонной подложки. Очевидно, что длинноволновая линия излучения обусловлена рекомбинацией в p -области p - n -перехода. Толщина p -области составляет не более $2 \mu\text{m}$, в то время как диффузионная длина электронов достигает $10 \mu\text{m}$. Поэтому часть неравновесных электронов легко достигает P - p -гетерограницы, заполняет квантовый колодец и в режиме спрямленных зон перетекает в твердый раствор, формируя коротковолновую линию излучения с максимумом 680 meV.

Таким образом, получены структуры $P\text{-Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{P}_{0.05}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.87}/p\text{-InAs}/n\text{-InAs}$ с разьединенным изотипным гетеропереходом и p - n -переходом в толще подложки, с максимумами излучения $\lambda = 1.9, 3.1 \mu\text{m}$ (77 К) и $\lambda = 2.1, 3.6 \mu\text{m}$ (300 К). Такие структуры могут быть использованы при создании двухволновых светодиодов для приборов газового анализа при необходимости иметь рабочий и опорный каналы.

Список литературы

- [1] Айдаралиев М., Зотова Н.В., Карандашев С.А., Матвеев Б.А., Ременный М.А., Стусь Н.М., Талалакин Г.Н., Шустов В.В., Кузнецов В.В., Когновицкая Е.А. // ФТП. 2002. Т. 36. С. 1010.
- [2] Михайлова М.П., Зегря Г.Г., Моисеев К.Д., Тимченко Н.И., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1995. Т. 29. С. 687.
- [3] Воронина Т.И., Лагунова Т.С., Михайлова М.П., Моисеев К.Д., Розов А.Е., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1998. Т. 32. С. 215.