

подобного рода будут иметь место и в квазиодномерных системах, аналогичных рассмотренным в работе [9]. При измерении зависимости  $\nu(E)$  следует ожидать резких скачков дрейфовой скорости, а также гистерезиса сопротивления образца как функции приложенного электрического поля  $E$ .

В заключение автор хотел бы поблагодарить А. А. Дубкова и А. В. Кузнецова за внимание к работе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Т. Андо, А. Фаулер, Ф. Стерн. Электронные свойства двумерных систем, 416. М. (1985).
- [2] K. Hess. Sol. St. Electron., 21, 123 (1978).
- [3] Z. Dobrovolskis, K. Grigoras, A. Krotkus. Appl. Phys. Lett. A, 48, 245 (1989).
- [4] Ю. К. Пожела. Физика быстродействующих транзисторов, 367. Вильнюс (1989).
- [5] Ж. Канцлерис, А. Матулис. ЖЭТФ, 94, 376 (1988).
- [6] Ж. Канцлерис, А. Матулис. Теория теплых электронов. Вильнюс (1990).
- [7] Г. Ф. Ефремов, А. Ю. Смирнов. ЖЭТФ, 80, 1071 (1981).
- [8] И. М. Дыкман, П. М. Томчук. Явления переноса и флуктуации в полупроводниках. Киев (1981).
- [9] Д. В. Бородин, С. В. Зайцев-Зотов, Ф. Я. Надь. ЖЭТФ, 90, 318 (1986).

Редактор В. В. Чалдышев

*ФТП, том 26, вып. 9, 1992*

### ПОЛОСКОВЫЕ ЗАРОЩЕННЫЕ AlGaAs-ГЕТЕРОЛАЗЕРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ В ОДНОСТАДИЙНОМ ПРОЦЕССЕ

А. Б. Казанцев, В. Р. Ларионов, В. Д. Румянцев, Е. М. Танклевская,  
В. П. Хвостиков

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021, Санкт-Петербург, Россия

(Получено 3.04.1992. Принято к печати 7.04.1992)

Минимальные значения пороговых токов в полосковых AlGaAs-гетеролазерах с квантово-размерной активной областью достигнуты в последнее время при выращивании структур методами молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) [1, 2], низкотемпературной жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) [3, 4], а также при использовании сочетаний этих методов [5]. Обычно процесс изготовления зарощенных AlGaAs-гетеролазеров полосковой геометрии осуществляется в две стадии [3-5]: в первом эпитаксиальном процессе выращивается планарная лазерная структура, а затем после фотолитографической обработки осуществляется наращивание полосковой структуры во втором эпитаксиальном процессе. Как правило, для наращивания используется метод ЖФЭ. Очевидно, такой двухстадийный процесс получения гетеролазеров является довольно длительным и трудоемким.

В настоящем сообщении представлены результаты по получению и исследованию полосковых квантово-размерных AlGaAs-гетеролазеров, в которых выращивание лазерной структуры и формирование полоскового канала протекания тока осуществляются методом ЖФЭ в одностадийном технологическом процессе.

При реализации такого процесса используются следующие обстоятельства.

Во-первых, при выращивании слоев  $Al_xGa_{1-x}As$  методом ЖФЭ имеет место тенденция к планаризации поверхности растущих слоев, так что если подложка обладает рельефом, то скорости роста на выступающих участках подложки оказываются меньше, чем в углублениях [6].

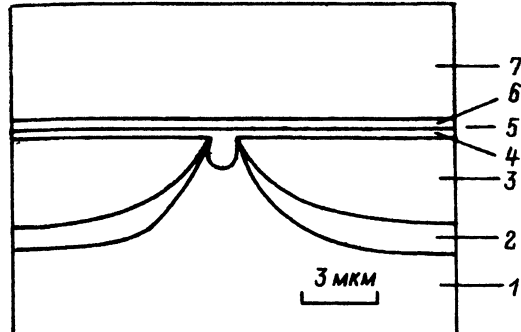


Рис. 1. *a* — микрофотография скола GaAs-подложки с трапециевидным выступом, планаризованной за счет выращивания AlGaAs-слоя с составом  $x = 0.65$ ; *б, в* — микрофотография скола одной из выращенных структур и схематическое изображение того же скола: 1 — подложка  $p^+$ -GaAs; 2 —  $n^0$ -Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>As; 3 —  $n^0$ -Al<sub>0.75</sub>Ga<sub>0.25</sub>As; 4 —  $p$ -Al<sub>0.65</sub>Ga<sub>0.35</sub>As; 5 — два волноводных слоя  $n$ -Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As с заключенной между ними узкозонной активной областью толщиной  $\sim 200$  Å; 6 —  $n$ -Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As; 7 — контактный слой  $n^+$ -GaAs толщиной 35—38 мкм.

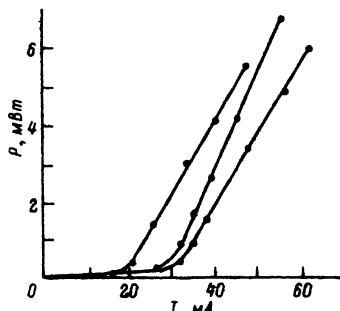


Рис. 2. Ватт-амперные характеристики полосковых лазеров, полученных в одностадийном технологическом процессе ЖФЭ. Кривая с минимальным значением порогового тока  $I_{п-} = 17$  мА получена при длине резонатора Фабри—Перо  $L = 110$  мкм, две другие кривые соответствуют  $L = 280$  мкм.

Во-вторых, при подрастворении слоев различного состава не насыщенной по мышьяку жидкой фазой имеют место большие скорости растворения слоев с меньшим содержанием AlAs [3, 7].

Нами для выращивания лазерных структур использовались GaAs-подложки, на которых предварительно с помощью химического травления формировались полосковые выступы трапециевидного сечения, имеющие ширину плоской части 2—3 мкм и примерно такую же высоту. Если на такой подложке начать выращивать слой  $Al_xGa_{1-x}As$  с  $x = 0.6 \div 0.7$ , то можно получить ситуацию, изображенную на рис. 1, *a*. Здесь соседние с выступом части подложки закрыты твердым раствором, в то время как вершина выступа остается открытой. При последующем смачивании ненасыщенной жидкой фазой можно осуществить локальное подрастворение этой открытой части подложки. При дальнейшей замене на пересыщенную фазу, наоборот, произойдет локальное зарастивание углублений, образовавшихся на месте выступов. Наконец, на вторично планаризованной таким образом поверхности может быть выращена лазерная гетероструктура. Канал для протекания тока образуется в том случае, если подложка и первый планаризирующий слой будут иметь противоположный тип проводимости.

На рис. 1, *б, в* изображены микрофотография и схема слоев лазерной гетероструктуры, полученной методом ЖФЭ. На профилированной подложке ( $I$ )  $p$ -типа проводимости (легирующая примесь — цинк,  $N_A \approx 10^{18}$  см<sup>-3</sup>) вначале выращивались преднамеренно не легированные слои твердого раствора, имеющие  $n$ -тип проводимости и состав  $x \approx 0.15$  (слой 2) и  $x \approx 0.75$  (слой 3). После выращивания этих слоев имела место ситуация, подобная изображенной на рис. 1, *a*. Затем осуществлялось подрастворение структуры не насыщенным по мышьяку расплавом Ga + Al, которое происходило в основном в области выступов подложки. Далее кристаллизовался слой  $p$ -Al<sub>0.65</sub>Ga<sub>0.35</sub>As, легированный германием до концентрации  $\sim 10^{17}$  см<sup>-3</sup>. Этот слой зарастивал полосковые углубления и служил широкозонным эмиттером в лазерной гетероструктуре. На границе слоев 3 и 4 образовывался блокирующий  $p$ - $n$ -переход, смещенный в обратном направлении при работе лазера. Далее на планаризованной структуре выращивалась вся остальная часть лазерной структуры: два нелегированных волноводных слоя с заключенной между ними активной областью толщиной  $\sim 200$  Å [все эти слои

изображены как линия 5 на рис. 1, в) и второй широкозонный эмиттер  $n\text{-Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ , легированный теллуром (слой б). Кристаллизация активной области осуществлялась в низкотемпературном режиме [3].

В описываемой лазерной структуре использовался толстый контактный слой  $n^+\text{-GaAs}$  (слой 7 на рис. 1, в) толщиной 35—38 мкм). Наличие такого слоя обеспечивает полную симметрию структуры с точки зрения механических напряжений после утончения подложки и способствует увеличению срока службы лазеров [3]. Выращивание этого слоя осуществлялось следующим образом. После кристаллизации второго эмиттера пластина выдвигалась из-под расплава, расплав заменялся на другой с составом, обеспечивающим рост  $n^+\text{-GaAs}$ , а температура поднималась до 790 °С. Далее пластина вновь приводилась в контакт с расплавом. Кристаллизация контактного слоя происходила вплоть до комнатной температуры. На  $n$ - и  $p$ -стороны пластины с лазерной структурой напылялись сплошные омические контакты на основе золота.

На рис. 2 приведены ватт-амперные характеристики лазеров, выколотых из одной пластины и имеющих различную длину резонатора Фабри—Перо (оба зеркала без отражающих покрытий). Минимальное значение порогового тока  $I_p = 17$  мА было получено при длине резонатора  $L = 110$  мкм (длина волны генерации  $\lambda_r = 801$  нм). По-видимому, значения порогового тока могут быть значительно снижены за счет всесторонней оптимизации структуры. Так, наиболее существенным негативным фактором при работе рассматриваемой структуры полоскового лазера является растекание тока по планарной части широкозонного  $p$ -эмиттера (4).

Вблизи канала толщина этого слоя составила 0.2 мкм, и ее снижение позволило бы уменьшить растекание. В том же направлении действовало бы и снижение уровня легирования этого слоя, однако такой путь может привести к значительному увеличению последовательного сопротивления канала, поскольку в его пределах толщина рассматриваемого слоя должна оставаться на уровне 1—2 мкм. Существенным является также вопрос о выборе соотношений составов двух широкозонных эмиттеров (4 и б) и блокирующего слоя (3). Наилучшим был бы случай, при котором волноводная мода распространяется преимущественно в утолщенной части  $p$ -эмиттера (4) с тем, чтобы в наибольшей степени можно было реализовать боковое оптическое ограничение за счет более существенной разницы составов этого эмиттера и блокирующего слоя (3).

Таким образом, показано, что благодаря выбору условий роста и подрастворения слоев  $\text{AlGaAs}$  на рельефной подложке методом низкотемпературной ЖФЭ возможно получение гетероструктур низкороговых лазеров полосковой геометрии в одностадийном технологическом процессе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] E. Marclay. *Electron. Lett.*, **25**, 892 (1989).
- [2] M. Sugimoto, N. Namao, N. Takado, K. Asakawa, T. Yuasa. *Japan. Appl. Phys.*, **28**, 1013 (1989).
- [3] В. М. Андреев, А. Б. Казанцев, В. Р. Ларионов, В. Д. Румянцев, В. П. Хвостиков. *Письма ЖТФ*, **17**, 1 (1991).
- [4] Zh. I. Alferov, V. M. Andreev, A. Z. Mereutza, A. V. Syrbu, V. P. Yakovlev. *Appl. Phys. Lett.*, **5727**, 2873 (1990).
- [5] T. R. Chen. *Trans. IEEE J. Quant. Electron.*, **26**, 1183 (1990).
- [6] В. Ю. Аксенов, В. Д. Румянцев, В. П. Хвостиков. *Тр. Всес. конф. по физическим основам твердотельной электроники. А*, **56**. Л. (1989).
- [7] Ж. И. Алфёров, В. М. Андреев, А. З. Мереуцэ, А. В. Сырбу, Г. И. Суручану, В. П. Яковлев. *Письма ЖТФ*, **16** (1990).

Редактор В. В. Чалдышев