

06.3; 12

© 1991

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО
AlGaAs - GaAs ГЕТЕРОЛАЗЕРА,
 ИЗГОТОВЛЕННОГО МЕТОДОМ
 МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ ЭПИТАКСИИ

Ю.В. К о в а л ь ч у к, В.Е. М я ч и н,
 А.Ю. О с т р о в с к и й, И.Ю. Ф у с а н о в и ч,
 И.А. С о к о л о в, Г.А. Ф о к и н,
 В.П. Ч а л ы й, М.И. Э т и н б е р г,
 М.Л. А л е к с а н д р о в, А.А. М а й о р о в,
 С.С. Р о м а н о в, М.В. С т е п а н о в

В данном сообщении представлены результаты исследования полупроводникового гетеролазера с повышенной дифференциальной эффективностью, изготовленного на основе твердых растворов *AlAs - GaAs* методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Работы проводились на установке молекулярно-лучевой эпитаксии ЭП-1201 производства Научно-технического объединения АН СССР, подвергнутой ряду доработок.

Зонная диаграмма лазерной структуры схематически изображена на вставке рис. 1.

В качестве подложек использовались пластины *GaAs : Sn* ($n \approx \approx (2-3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) с ориентацией (100). Подготовка подложки для эпитаксии осуществлялась по стандартной методике [1], включающей обезжиривание в органических растворителях (толуол, ацетон), обработку в полирующем травителе $H_2SO_4 : H_2O_2 : H_2O$ (5 : 1 : 1) и пассивацию поверхности в дистиллированной воде. После пассивации образцы наклеивались на молибденовый держатель, смоченный жидким индием, и загружались в высоковакуумную камеру.

Калибровка потоков *Ga* и *Al* осуществлялась путем измерения периода осцилляций интенсивности зеркального рефлекса при отражении быстрых электронов от поверхности растущих *GaAs* и *AlAs* [2]. Калибровка потока *As₄* и температуры образца T_S проводилась на основе фазовой диаграммы поверхности *GaAs* (100) [3].

При подъеме температуры образца в потоке *As₄* момент удаления окисного слоя ($T_S \approx 620 \text{ }^\circ\text{C}$) фиксировался по резкому изменению картины дифракции быстрых электронов (ДБЭ). Одновременно масс-спектрометром регистрировался пик десорбции кислорода, задний фронт которого был однозначно связан с изменением картины ДБЭ. Буферный слой *GaAs : Si* ($n \approx 6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) толщиной $\approx 1 \text{ мкм}$ выращивался при температуре $T_S \approx 580 \text{ }^\circ\text{C}$

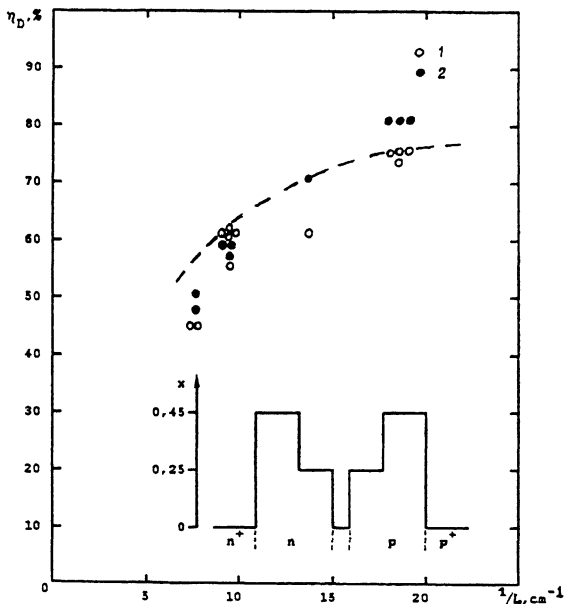


Рис. 1. Зависимость дифференциальной квантовой эффективности η_D от длины резонатора: 1 – для лазеров с шириной полоска $W=200$ мкм; 2 – для лазеров с шириной полоска $W=100$ мкм.

со скоростью роста 1 мкм/час при соотношении потоков As_4 и Ga 2 : 1. При этих условиях роста картина ДБЭ, регистрируемая в азимутальных направлениях $[110]$ и $[\bar{1}\bar{1}0]$, соответствовала мышьяк-стабилизированной поверхности $GaAs$ и реконструкцией типа (2×4) .

Выращивание широкозонного эмиттера $Al_{0.45}Ga_{0.55}As : Si$ ($n \approx 6 \cdot 10^{17}$ см⁻³, толщина 1.8 мкм) начиналось при температуре образца $T_S \approx 580$ °C. Затем температура существенно повышалась, и рост происходил при реконструкции поверхности твердого раствора (3×1) . В том же режиме осуществлялось выращивание волноводного слоя $Al_{0.25}Ga_{0.75}As : Si$ ($n \approx 6 \cdot 10^{17}$ см⁻³, толщина 0.08 мкм) вплоть до активной области.

Активная область представляла собой нелегированный слой $GaAs$ толщиной 150 Å. Его выращивание проводилось при пониженной скорости роста 0.5 мкм/час и оптимальном отношении потоков As_4 и Ga . Рост дважды прерывался в течении 30 с на обеих гетерограницах квантовой ямы. Перед началом роста активного слоя температура образца существенно понижалась. Выбранный температурно-поточный режим роста активного слоя обеспечивал сохранение поверхностной реконструкции (2×4) в течении всего времени выращивания активного слоя.

Симметрично расположенные волноводный слой $Al_{0.25}Ga_{0.75}As:Be$ ($\rho \approx 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, толщина 0,08 мкм) и широкозонный эмиттер $Al_{0.45}Ga_{0.55}As : Be$ ($\rho \approx 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, толщина 1,6 мкм) выращивались при тех же температурах, что и соответствующие слои n-типа. Верхний контактный слой из $GaAs : Be$ ($\rho \approx 3 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, толщина 0,4 мкм) изготавливался, как и активный слой, при пониженной температуре.

Выращенные структуры использовались для изготовления полупроводниковых гетеролазеров.

Из части структур были изготовлены контрольные образцы со сплошными контактами, все четыре грани которых представляли собой качественные сколы. Пороговая плотность тока в таких 4-сколотых образцах не зависела от их размера и составляла 250–300 А/см² (порог генерации определялся по спектрам излучения в импульсном режиме; длительность импульса накачки составляла 100 нс, частота – 5 кГц).

Из другой части структур были изготовлены полосковые лазеры с оксидной изоляцией и шириной полоска 100 и 200 мкм. При одинаковой длине резонатора, пороговая плотность тока в лазерах шириной полоска 100 мкм была в 1,3–1,4 раза выше, чем в лазерах шириной полоска 200 мкм. Анализ распределения излучения в ближней зоне показал, что эта разница связана с недостаточным токовым ограничением. Минимальная пороговая плотность тока была получена на лазерах с длиной резонатора $L = 1,2 \text{ мм}$ и составила 350 А/см² (ширина полоска 200 мкм). С уменьшением длины резонатора пороговая плотность тока возрастала и при $L = 0,54 \text{ мм}$ составила 500 А/см².

На рис. 1 точками показаны значения дифференциальной квантовой эффективности η_D (на два зеркала), измеренной в лазерах шириной полоска $W = 100$ и 200 мкм при различной длине резонатора. Как видно, величина η_D не зависит от ширины полоска и в коротких лазерах достигает 75–80%. Полученные данные позволяют оценить величину внутренних потерь в исследуемой лазерной структуре. Пунктирная кривая на рис. 1 рассчитана в предположении 100%-го внутреннего квантового выхода для величины внутренних потерь $\alpha_i = 6 \text{ см}^{-1}$. Экспериментальные значения η_D у лазеров с длиной резонатора больше 1 мм ниже расчетной величины, что, по-видимому, связано с внесением дополнительных потерь, обусловленных структурными неоднородностями.

Измеренные зависимости пороговой плотности тока и дифференциальной эффективности позволяют определить длину резонатора лазера, оптимальную для получения максимальной выходной мощности. Мощностные измерения проводились на образце с $L \approx 1 \text{ мм}$, $W = 200 \text{ мкм}$, напаянном индием на медный теплоотвод. Измерения проводились как в импульсном режиме (длительность импульса 400 нс, частота 25 кГц), так и в непрерывном режиме (в этом случае поддерживалась постоянная температура теплоотвода). Измеренные мощностные характеристики представлены на рис. 2. В непрерывном режиме ватт-амперная характеристика сохраняла ли-

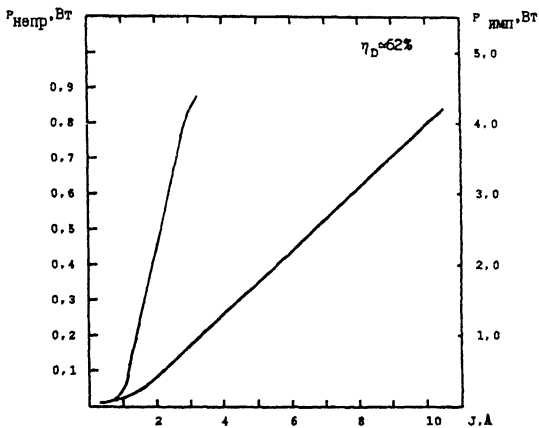


Рис. 2. Ватт-амперные характеристики лазера с длиной резонатора $L = 1$ мм, шириной полоски $W = 200$ мкм в непрерывном режиме (кривая 1) и в импульсном режиме (кривая 2) (длительность импульса $\tau_{\text{и}} = 400$ нс, частота $f = 25$ кГц).

нейность вплоть до значений тока 2.5 А, дальнейшее увеличение тока приводило к разогреву диода и некоторому насыщению зависимости. Максимальная мощность в непрерывном режиме составила ≈ 0.9 Вт при токе 2.9 А (кривая 1). Кривая 2 соответствует значениям, полученным в импульсном режиме для того же лазерного диода. При импульсной накачке ватт-амперная характеристика была линейна во всем исследованном диапазоне токов. Предельные мощности, полученные в импульсном режиме для лазеров с $L \approx 1$ мм без дополнительных покрытий, составляли около 4.5 Вт при токах 11÷12 А и определялись катастрофическим разрушением лазерных зеркал.

Следует отметить, что в подавляющем числе работ используется высокотемпературный (при больших отношениях потоков As_4 и Ga) режим выращивания активного слоя. Так, например, в работе [4] при изготовлении гетеролазера, близкого к нашему по структуре, рост слоев твердого раствора и квантовой ямы осуществлялся при $T_S \approx 800-850$ °С; для улучшения свойств эпитаксиальных слоев выращивание проводилось на вицинальной поверхности с разориентацией $1^\circ-6^\circ$ относительно плоскости (100). На основе этих структур были получены гетеролазеры с пороговыми плотностями тока $j_{\text{тп}} \approx 260-300$ А/см² и дифференциальной эффективностью $\eta_D \approx 0.40-0.86$ Вт/А (30-60 %). В нашей работе использование иного температурного режима роста позволило получить сравнимые значения плотности тока и более высокую (до 80 %) дифференциальную эффективность гетеролазеров. Такие параметры были получены без применения предварительной разориентации растущей поверхности.

- [1] К о п ь е в П.С., М и н ч е в Г.М., Б е р Б.Я., М е л ь -
ц е р Б.Я. // П и с ь м а в Ж Т Ф . 1981. Т. 7. В. 19.
С. 1209-1213.
- [2] D o b s o n P.J., J o y c e B.A., N e a -
v e J.H., Z h a n g J. // J. Crist. Growth. 1987.
V. 81. P. 1-8.
- [3] N e w s t e a d S.M., K u b i a k R.A.A.,
P a r k e r E.H.C. // J. Crist. Growth. 1987.
V. 81. P. 49-54.
- [4] P i o n M., S p e c h t A., A p p e l -
m a n H., E b e r s o h l R., B e g l e y D.,
W a t e r s R., G u i d o T., S t a z a k S.//
J. Appl. Phys. 1988. V. 63. N 2. P. 588-590.

П о с т у п и л о в Р е д а к ц и ю
28 н о я б р я 1990 г.

П и с ь м а в Ж Т Ф , т о м 17, в ы п . 4

26 ф е в р а л я 1991 г.

09; 12

© 1991

Г И Р О Т Р О Н С Э Ш Е Л Е Т Н Ы М Р Е З О Н А Т О Р О М Н А 2-Й Г А Р М О Н И К Е Г И Р О Ч А С Т О Т Ы

С.Н. В л а с о в , Е.В. К о п о с о в а ,
А.Б. П а в е л ь е в , А.В. П ы л и н ,
В.И. Х и ж н я к

Для получения возможно более коротких длин волн миллиметрового диапазона могут быть использованы гиротроны на гармониках гирочастоты [1]. Применение в таких гиротронах традиционных резонаторов в виде волноводов с медленно меняющимся сечением затруднено из-за недостаточно высокой селекции мод: гиротрон возбуждается на первой гармонике гирочастоты.

Более высокими селективными свойствами обладает эшелетный резонатор. Принцип его работы такой же, как у дисперсионных резонаторов в лазерной технике [2], где для разрежения спектра в качестве отражателей с большой дисперсией коэффициента отражения применяются дифракционные решетки. При соответствующем подборе глубины и периода гофра эшелетной поверхности коэффициент отражения волны в направлении, обратном направлению падения, может быть близок к единице [3]; кроме этого автоколлимационного максимума может существовать зеркальный лепесток, благодаря которому мощность выводится из резонатора.