

Авторы выражают благодарность Т.И. Коротковой и О.В. Сагаповской за помощь в изготовлении концентратора.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] P o u n d R.V., R e b k a G.A. // Phys. Rev. Lett. 1959. V. 3. N 9. P. 766-774.
- [2] А р к а д ь е в В.А., К о л о м и й ц е в А.И., К у м а х о в М.А., Л а б у з о в В.В., П о н о м а р е в И.Ю., Х о д е е в И.А., Ч е р т о в Ю.П., Ш а х п а р о н о в И.М. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 2. С. 97-98.
- [3] M o s h e r D., S t e r n a n a k i s S. // Appl. Phys. Lett. 1976. V. 29. N 2. P. 105-107.
- [4] А н а н ь и н О.Б., Б ы к о в с к и й Ю.А., З в е р ь к о в А.К., Ф р о н д з е й И.Я. // Квантовая электроника. 1987. Т.14. № 3. С. 617-618.
- [5] А н а н ь и н О.Б., Б ы к о в с к и й Ю.А., Ж у р а в л е в А.А., З н а м е н с к и й В.Ю. Тез. докл. 11 Всес. семинара „Физика быстропротекающих плазменных процессов“, 1989, г. Гродно.

Московский инженерно-физический институт

Поступило в Редакцию
14 ноября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 2

26 января 1990 г.

06.2; 06.3; 07

© 1990

ИНЖЕКЦИОННЫЕ ГЕТЕРОЛАЗЕРЫ С РОС В СИСТЕМЕ $InGaAsSb/GaSb$

В.И. В а с и л ь е в, Н.Д. И л ь и н с к а я,
Д.В. К у к с е н к о в, В.И. К у ч и н с к и й,
В.А. М и ш у р н ы й, В.В. С а з о н о в,
В.В. С м и р н и ц к и й, Н.Н. Ф а л е е в

Настоящая работа продолжает исследования, направленные на создание одночастотных лазеров для спектрального диапазона 1.7-3.5 мкм, начатые в [1].

В работе [1] сообщалось о создании лазеров с распределенной обратной связью (РОС) на основе одиночных гетероструктур $GaSb-InGaAsSb$ при оптической накачке. Целью данной работы являлось получение и исследование инжекционных гетеролазеров с РОС на основе двойной гетероструктуры $GaSb-InGaAsSb-GaSb$.

Изготовление гетеролазерных структур осуществлялось в два этапа. На первом этапе на подложке $p-GaSb$ (100) последователь-

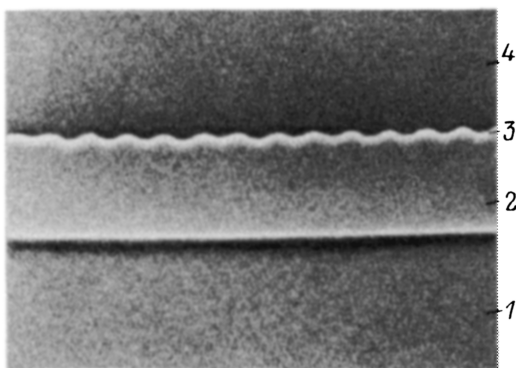


Рис. 1. Микрофотография скола гетероструктуры:

1 - подложка, 2 - активная область, 3 - дифракционная решетка, 4 - верхний эмиттер - контактный слой.

но выращивались: буферный слой $p\text{-GaSb}$ толщиной ~ 10 мкм, легированный Ge , являющийся одновременно широкозонным эмиттером и активный слой InGaAsSb , легированный Te толщиной $0.6\text{--}0.8$ мкм. Рост осуществлялся при постоянной температуре 630° и пересыщении жидких фаз $\Delta T \sim 5\text{--}7^\circ$. Для гомогенизации жидких фаз перед выращиванием они выдерживались при температуре на $20\text{--}25^\circ$ выше температуры ликвидуса в течение $40\text{--}60$ минут. Величина рассогласования периодов решетки полученных слоев InGaAsSb и GaSb составляла $(3\text{--}9) \cdot 10^{-3}$ Å. На поверхности активного слоя изготавливалась дифракционная решетка (ДР), которая на втором этапе создания гетеролазерной структуры зарастивалась слоем $p\text{-GaSb}$ (Te) толщиной ~ 10 мкм, являющимся одновременно вторым широкозонным эмиттером и контактным слоем.

Как известно, для получения брэгговской генерации шаг дифракционной решетки должен удовлетворять соотношению $\alpha = \lambda r / N^m$, где N^m - эффективный показатель преломления поперечной волноводной моды с индексом m . Расчет N^m для использовавшейся нами гетероструктуры был затруднен отсутствием достоверных данных о значении показателя преломления материала активной области - четверного твердого раствора InGaAsSb (n_f).

Значение N^m определялось из экспериментально найденных углов вывода генерируемого в активной области излучения через пробную дифракционную решетку с шагом $\alpha_{\text{проб}} = 0.4860$ мкм. Накачка производилась излучением лазера $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ с длиной волны 1.06 мкм. Угол вывода генерируемого излучения с длиной волны 1.7455 мкм в первом порядке дифракции составил $\alpha = 9^\circ 40'$. Показатель преломления волноводной моды N^0 , рассчитанный из соотношения $N^0 = \frac{\lambda}{\alpha_{\text{проб}}} + \sin \alpha$, составил 3.805 .

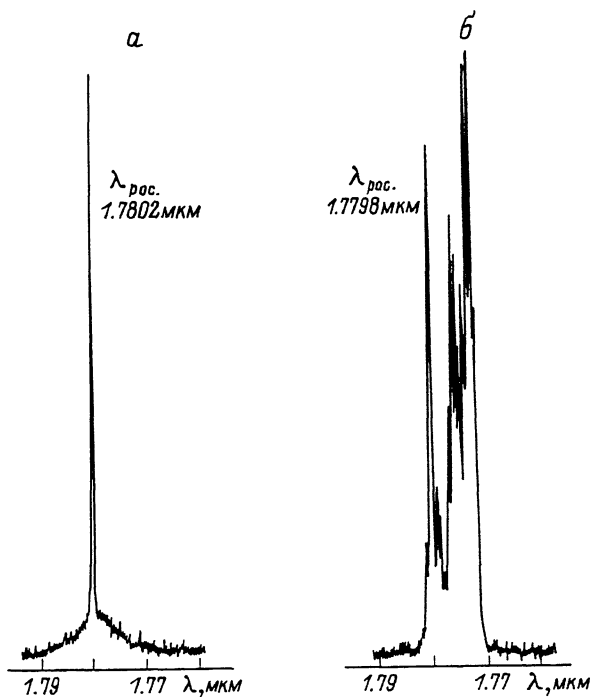


Рис. 2. Спектры генерации инжекционного лазера с РОС при импульсной накачке.

Шаг дифракционной решетки для получения брегговской генерации в инжекционном гетеролазере с учетом изменения симметрии волновода после зарастивания ДР эпитаксиальным слоем $GaSb$ $\alpha_{рос} = 0.4680$ мкм.

Дифракционные решетки на поверхности активного слоя $InGaAsSb$ изготавливались методом голографической фотолитографии [2].

Химическое травление через фоторезистивную маску осуществлялось в смеси $Br_2 - CH_3 - COOH - CCl_4$. Микрофотография профиля дифракционной решетки после зарастивания приведена на рис. 1.

Из полученной гетероструктуры выкалывались полоски шириной 300–400 мкм, которые затем распиливались на лазерные кристаллы шириной ~ 200 мкм. Распиливание позволяло исключить генерацию неаксиальных мод в полученных лазерных диодах.

На рис. 2, а и б приведены типичные спектры генерации инжекционного $InGaAsSb / GaSb$ лазера при температуре, близкой к температуре жидкого азота.

Рис. 2, а представляет одночастотный спектр генерации лазера с распределенной обратной связью, где линия брегговской генерации расположена в максимуме полосы усиления. Температурный интервал существования одночастотной генерации составил ~ 5 К.

Температурный сдвиг линии генерации внутри упомянутого интервала $\frac{\Delta \lambda_{\text{рос}}}{\Delta T} \approx 1.2 \text{ \AA}/\text{K}$. На границах интервала в спектрах наряду с брэгговской генерацией наблюдалась многочастотная генерация Фабри-Перо (рис. 2, б).

Малый температурный интервал существования одночастотной брэгговской генерации обусловлен слабым волноводным ограничением в использованной гетероструктуре, что снижает значение коэффициента распределения обратной связи при данной глубине профиля заросшей дифракционной решетки (рис. 1).

Эффективность распределенной обратной связи может быть значительно увеличена путем улучшения волноводного ограничения за счет замены материала верхнего широкозонного эмиттера на AlGaAsSb .

В отличие от [1], в настоящей работе гетеролазерные структуры выращивались жидкостной эпитаксией из растворов Ca , In , As в расплавах Sb . На наш взгляд, переход от металлических растворителей к растворителям, обогащенным Sb , удобен при выращивании многослойных гетероструктур, содержащих комбинацию двух четверных изопериодических твердых растворов InGaAsSb и AlGaAsSb . Следует указать, что при использованной технологии для твердых растворов InGaAsSb наблюдалась заметная разница в эффективных коэффициентах сегрегации $K^{\text{эфф}}$ компонентов в зависимости от ориентации подложки. Так, при температуре $630 \text{ }^\circ\text{C}$ для (100) $K_{\text{In}}^{\text{эфф}} = 0.21$ и $K_{\text{As}}^{\text{эфф}} = 28$, в то время как для (111) $K_{\text{In}}^{\text{эфф}} = 0.25$ и $K_{\text{As}}^{\text{эфф}} = 20$. Наблюдаемый эффект должен учитываться в процессах выращивания многослойных гетероструктур, изопериодических с подложками разных ориентаций.

В заключение отметим, что экспериментальные данные по брэгговской генерации при оптической и инжекционной накачках позволили нам, используя расчетные правила Когельника-Рамасвами [3], определить значение показателя преломления материала активного InGaAsSb слоя на длине волны генерации $\lambda = 1.78 \text{ мкм}$ ($n_f = 3.82$).

Таким образом, в настоящей работе сообщается о получении одночастотной генерации в $\text{InGaAsSb}/\text{GaSb}$ инжекционном лазере с распределенной обратной связью.

Авторы благодарят Е.Л. Портного за внимание к данной работе и полезные обсуждения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Александров С.А., Васильев В.И., Димов Ф.И., Кучинский В.И., Лазутка А.С., Мишурный В.А., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. № 17. С. 1081-1084.
- [2] Афанасьев Ю.Н., Карпов С.Ю., Мизеров М.Н., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Препринт ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 849. 1983.

Физико-технический
институт им.А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
17 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 2

26 января 1990 г.

Об.2

© 1990

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ n -GaAs ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН (ПЭВ)

В.В. В а й ч и к а у с к а с, Г.Н. Ж и ж и н,
Р.А. К а и о к а с, Э.К. М а л д у т и с,
В.А. Я к о в л е в

Для определения плазменного вклада на оптические константы легированных полупроводников достаточно знать плазменную частоту ω_p и константу затухания плазмонов γ . Оба эти параметра определяются из анализа спектров ИК отражения [1]. Однако в случае сильного легирования полупроводников ($\omega_p \sim \omega_{LO}$, ω_{LO} - частота продольных оптических колебаний решетки) из-за плазмон-фононного взаимодействия и непараболичности зоны проводимости эффективная масса электрона m_{opt}^* , найденная из оптических измерений, отличается от действительной m^* . Поэтому определение плазменной частоты $\omega_p = \left(\frac{Ne^2}{m^* \epsilon_0 \epsilon_\infty} \right)^{1/2}$ по плазменному краю отражения осложняется и приводит к ошибкам [1, 2]. Дисперсионная кривая поверхности поляритонов при этом расщепляется на две ветви [3], причем нижняя ветвь при малых волновых векторах является плазменного типа, т.е. параметры ПЭВ определяются свойствами электронной подсистемы полупроводника. Длина пробега ПЭВ в этой области частот может служить для определения концентрации свободных электронов N [4]. Однако при одновременной зависимости ω_p и константы затухания плазмонов γ от N их надо мерить независимо.

В настоящей работе рассмотрено применение метода спектроскопии ПЭВ дальнего ИК диапазона для определения плазменной частоты и константы затухания плазмонов.

Эксперименты проводились с помощью автоматизированного спектрометра ПЭВ дальнего ИК (ДИК) диапазона [5]. Источником излучения служил перестраиваемый по частоте ДИК лазер,