

ного распределения намагниченности в интервале значений $z < 1$ запишется в виде

$$\left(\frac{1}{2} \sigma_1 + \sigma_2\right) \left[-2b_1 - 2b_4 - \left(\frac{1}{2} \sigma_1 + \sigma_2\right) / (c_{11} - c_{12})\right] > 0.$$

При изменении знака неравенства происходит переход от зигзагообразного распределения намагниченности к угловой фазе с однородной M . При $z=1$ реализуется однородное состояние намагниченности вдоль направления $[110]$.

Л и т е р а т у р а

- [1] Коваленко В.Ф., Нагаев Э.Л. - УФН, 1986, т. 148, в. 4, с. 561-602.
- [2] Веселаго В.Г., Владимиров И.В., Дорошенко Р.А., Сетченков М.С. - Препринт ИОФАН СССР № 56, М., 1987, 61 с.
- [3] Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин Р.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках, М.: Наука, 1979, 317 с.
- [4] Веселаго В.Г., Воробьева Н.В., Дорошенко Р.А. - Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 45, в. 8, с. 402-404.

Отдел физики и математики
с вычислительным центром
Башкирского филиала
АН СССР, Уфа

Поступило в Редакцию
15 сентября 1987 г.
В окончательной редакции
17 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 12

26 июня 1988 г.

РОС - ГЕНЕРАЦИЯ В *InGaAsP/InP* ($\lambda=1.5-1.6$ мкм)
ЛАЗЕРАХ С СОСТАВНЫМ АКТИВНЫМ СЛОЕМ

А.И. Гурьев, С.А. Никишин, Д.В. Куксенков,
В.И. Кучинский, Е.Л. Портной,
В.Б. Смирницкий

Настоящая работа продолжает исследования лазеров с распределенной обратной связью (РОС) в системе *InGaAsP/InP*, начатые в работах [1, 2]. В работах [1, 2] сообщалось о получении устойчивого одночастотного режима непрерывной генерации при комнатной температуре с пороговым током 30-60 мА. В работе [2] продемонстрирована возможность получения одночастотной РОС-генерации с расстройкой длины волны $\Delta\lambda = \pm 200-300$ Å относительно максимума полосы усиления. Таким образом, спектральный интервал Δ перестройки длины волны одночастотной генерации путем изме-

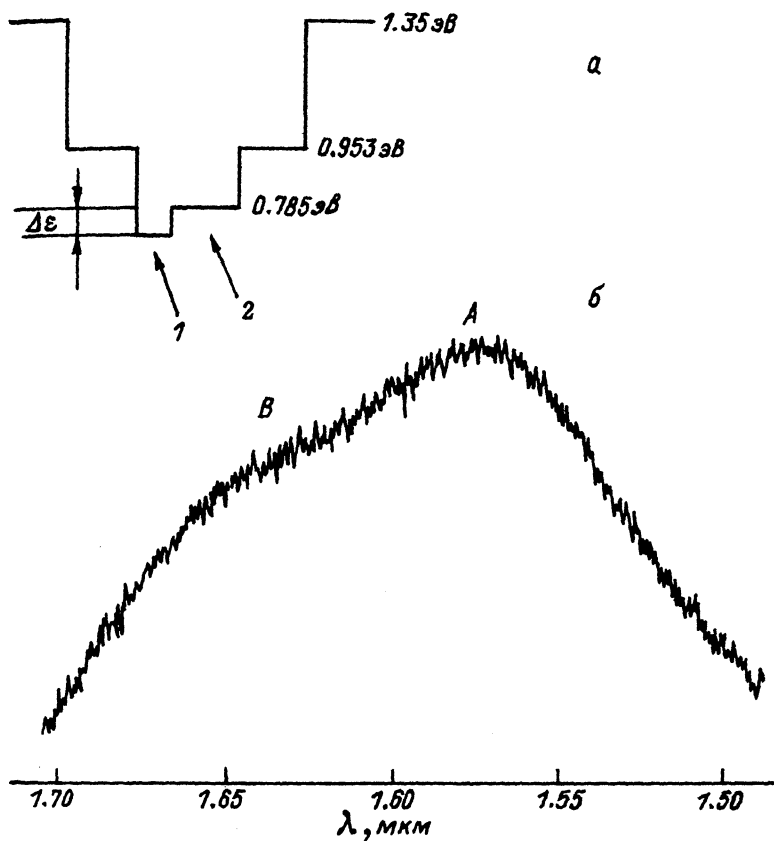


Рис. 1. а) Энергетическая диаграмма для гетероструктуры с составным активным слоем. б) Спектр спонтанной люминесценции инжекционного лазера со сплошным контактом.

нения шага дифракционной решетки, составляет $\sim 500 \text{ \AA}$ для одной гетеролазерной структуры. Величина этого интервала ограничена шириной полосы усиления активного слоя. При создании систем передачи информации со спектральным уплотнением каналов необходимо иметь набор одночастотных лазеров, длины волны генерации которых отличаются на определенную величину δ (величина δ определяется возможностями системы демультиплексирования). Максимальное число каналов ограничивается соотношением $N = \frac{\Delta}{\delta}$. Целью

настоящей работы явилось исследование возможности расширения интервала Δ .

Наиболее прямой путь решения этой задачи – расширение спектральной полосы усиления гетеролазерной структуры. Такое расширение без существенного ухудшения пороговых характеристик может быть достигнуто за счет использования активного слоя с переменной шириной запрещенной зоны. При этом следует учитывать, что методика жидкостной эпитаксии не позволяет в настоящее время получать слои $InGaAsP$, изопериодические с InP , с плавным изменением состава по толщине. В этом случае единственно возможным является создание в структуре составной активной области, включающей два или несколько слоев со сравнимой толщиной и различной E_g (см. рис. 1, а). Оптимальное значение общей толщины активной области определяется требованием минимизации пороговой плотности тока и составляет $d \sim 700 \text{ \AA}$ [3]. Величина $\Delta \mathcal{E}$, соответствующая разнице в ширине запрещенной зоны слоев 1 и 2 $\Delta \mathcal{E} = E_g^2 - E_g^1$, не должна превышать 1–1.5 кТ, чтобы избежать локализации неосновных носителей заряда в слое 1. При выполнении этого условия полоса усиления в составном активном слое будет представлять собой суперпозицию полос усиления в слоях 1 и 2, и ее эффективная ширина увеличивается на величину $\Delta \mathcal{E}$.

В работах [4, 5] изучались особенности кристаллизации четверных твердых растворов $InGaAsP$ ($\lambda = 1.06 \text{ мкм}$) на подложке InP . Было показано, что при выращивании слоя твердого раствора общей толщиной $\sim 800 \text{ \AA}$ в первые $\sim 20 \text{ мс}$ на подложке кристаллизуется слой $InGaAsP$ с толщиной 100–250 \AA и шириной запрещенной зоны на 15–20 мэВ меньшей, чем E_g слоя, кристаллизующегося в последующий период времени. В результате на подложке InP формируется составной слой твердого раствора с энергетической структурой, сходной с изображенной на рис. 1, а.

Как показывают экспериментальные результаты, аналогичная энергетическая структура формируется при выращивании $InGaAsP$ ($\lambda = 1.5 \text{ мкм}$) активного слоя на волноводном $InGaAsP$ ($\lambda = 1.3 \text{ мкм}$) слое. При создании РО ДГС структур для лазеров с РОС [1] активный слой толщиной $\sim 700 \text{ \AA}$ выращивался методом ЖФЭ из ограниченного объема жидкой фазы при скорости движения подложки относительно раствора–расплава 2 см/с [8]. Время роста активного слоя составляло 1 с.

В настоящей работе изучались пороговые и люминесцентные характеристики таких структур. После нанесения сплошных омических контактов эпитаксиальные пластины распиливались на полоски шириной 200 мкм, из которых выкальчивались лазерные диоды различной длины (от 100 до 1000 мкм). В спектрах спонтанной люминесценции образцов лазеров со сплошным контактом (рис. 1, б) наряду с полосой А, характерной для излучения, обусловленного рекомбинацией носителей в материале с $E_g^2 \sim 0.785 \text{ эВ}$ ($\lambda_{\text{манс.}} \sim 1.58 \text{ мкм}$), присутствует также полоса В с $\lambda_{\text{манс.}} \sim 1.63 \text{ мкм}$, соответствующая излучению из слоя с $E_g^1 \sim 0.76 \text{ эВ}$. Таким образом, оцененная из спектральных данных величина $\Delta \mathcal{E}$ составляет

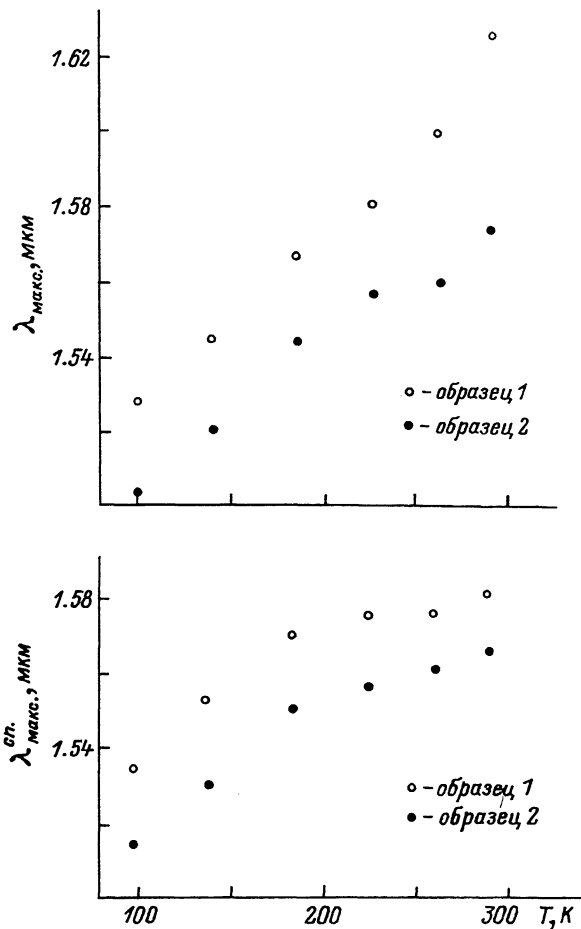


Рис. 2. Температурные зависимости спектрального положения максимума полосы усиления $\lambda_{\text{макс}}$ и максимума интенсивности спонтанной люминесценции $\lambda_{\text{макс}}^{\text{сп}}$ для двух образцов лазеров с одинаковой длиной резонатора.

~ 25 мэВ и приблизительно равна kT при комнатной температуре. В свою очередь, практически равная интенсивность спонтанной люминесценции в полосах А и В говорит о том, что толщина слоев 1 и 2, составляющих активную область лазерной структуры, сравнима. Это означает, что оптимальная с точки зрения расширения кривой усиления энергетическая структура активного слоя реализуется непосредственно при его выращивании методом ЖФЭ.

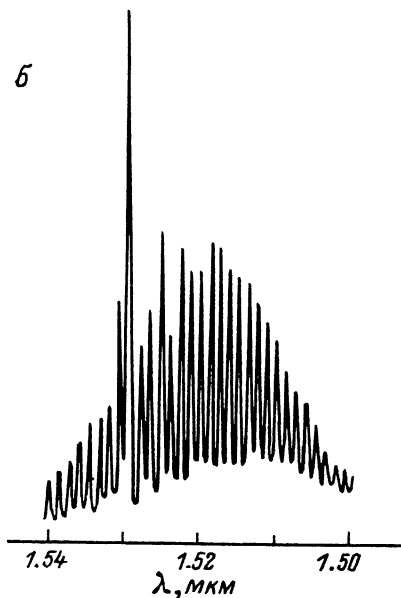
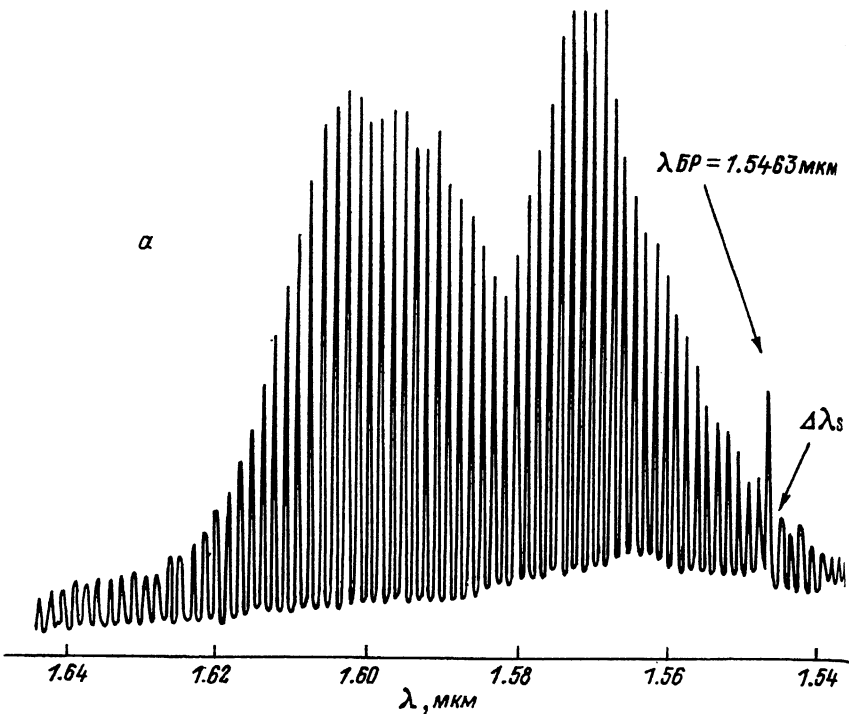


Рис. 3. Спектр излучения полоскового инжекционного РОС - лазера на пороге генерации в непрерывном режиме. а) $T=300$ К, $I=40$ мА. б) $T=77$ К, $I=0.85$ мА.

В лазерных образцах с длиной резонатора 150–1000 мкм генерация вынужденного излучения происходила на длине волны 1.63–1.64 мкм. Пороговая плотность тока в образцах с $L > 800$ мкм достигала 700 А/см². Характер зависимости пороговой плотности тока от обратной длины резонатора соответствовал толщине активной области 700 Å, что свидетельствует об отсутствии квантоворазмерных эффектов в слое с $E_g = 0.76$ эВ. Часть образцов

с наиболее коротким резонатором ($L \sim 100$ мкм) продемонстрировала генерацию на длине волны 1.57–1.58 мкм, что соответствует $E_g^2 = 0.785$ эВ.

На рис. 2 приведены температурные зависимости спектрального положения максимума полосы усиления $\lambda_{\text{МАКС}}$ максимума интенсивности спонтанной люминесценции $\lambda_{\text{МАКС}}^{\text{СП}}$ для образцов лазеров с $L = 98$ мкм (№ 1 – $\lambda = 1.645$ мкм, $I_{\text{П}} = 0.6$ А (293 К); № 2 – $\lambda = 1.576$ мкм, $I_{\text{П}} = 1.3$ А (293 К)). Как видно из рис. 2, ход зависимости $\lambda_{\text{МАКС}}^{\text{СП}}$ (Т) для образцов 1 и 2 почти одинаков. Сдвиг $\lambda_{\text{МАКС}}^{\text{СП}}$ в интервале температур 200–300 К практически отсутствует, что связано с постепенным переходом максимума интенсивности спонтанной люминесценции из полосы В в полосу А. Аналогичный эффект вызывает замедление температурного смещения $\lambda_{\text{МАКС}}$ для образца 2 в интервале температур 200–260 К. В результате суммарный сдвиг $\lambda_{\text{МАКС}}$ от 77 до 293 К для образца 2 оказывается на 300 Å меньше, чем для образца 1.

Замедление сдвига $\lambda_{\text{МАКС}}$ (Т) было использовано нами для расширения температурного интервала существования непрерывной одночастотной РОС – генерации. С этой целью из РО ДГС с составным активным слоем были изготовлены полосковые инжекционные РОС – лазеры с коротковолновой расстройкой длины волны генерации [2]. На рис. 3, а приведен спектр излучения одного из образцов на пороге генерации в непрерывном режиме (Т=300 К). В спектре хорошо заметны линия брэгговской генерации $\lambda_{\text{БР}} = 1.5463$ мкм, щель запрещенных частот $\Delta\lambda_{\text{З}}$, а также два максимума усиления, разнесенные на 300 Å. Величина расстройки при данной температуре составляет 240 Å. При увеличении температуры одночастотная генерация сохранялась до Т=317 К. Срыв генерации определялся перегревом образца. Снижение температуры до Т=77 К не привело к срыву непрерывной одночастотной генерации. Спектр излучения при Т=77 К приведен на рис. 3, б. При этой температуре носители полностью локализованы в слое 1 с меньшей шириной запрещенной зоны, и в спектре наблюдается только один максимум усиления. При изменении температуры от 77 до 317 К осуществляется плавная перестройка длины волны РОС – генерации в спектральном интервале шириной 210 Å.

Величина коэффициента обратной связи κ , оцененная по ширине „брэгговской щели“ $\Delta\lambda_{\text{З}}$, для исследованного образца лазера составляет ~ 110 см⁻¹. Теоретическая оценка по методу [7] дает для $\kappa = 110$ см⁻¹ и длины резонатора лазера $L = 200$ мкм предельную величину температурного интервала существования одночастотной РОС – генерации ~ 160 К. Превышение этой величины в 1.5 раза оказывается возможным благодаря наличию в структуре составного активного слоя.

Таким образом, в настоящей работе показано, что в InGaAsP/InP ($\lambda = 1.5\text{--}1.6$ мкм) лазерах с РОС использование активной области, состоящей из двух слоев с $\Delta E_g \sim 25$ мэВ, позволяет существенно увеличить температурный диапазон существования одночастотной генерации.

В заключение авторы выражают благодарность А.Г. Дерягину и помощь в проведении экспериментов, а также К.Ю. Кижяеву за изготовление образцов инжекционных лазеров и полезные консультации.

Л и т е р а т у р а

- [1] Алферов Ж.И., Кижяев К.Ю., Куксенков Д.В., Никишин С.А., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. - Письма в ЖТФ, 1987, т. 13, № 9, с. 513-517.
- [2] Кижяев К.Ю., Куксенков Д.В., Кучинский В.И., Никишин С.А., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. - Письма в ЖТФ, 1988, т. 14.
- [3] Гарбузов Д.З., Евтихийев В.П., Карпов С.Ю., Соколова З.Н., Халфин В.Б. - ФТП, 1985, т. 19, № 3, с. 449-455.
- [4] Rezek E.A., Vojak B.A., Chin R., Holonyak N., Jr. - Appl. Phys. Lett., 1980, v. 36, N 9, p. 744-746.
- [5] Brunemeier P.E., Roth T.J., Holonyak N., Jr., Stillman G.E., - Appl. Phys. Lett., 1983, v. 43, N 4, p. 373-375.
- [6] Евтихийев В.П., Гарбузов Д.З., Соколова З.Н., Тарасов И.С., Халфин В.Б., Чалый В.Л., Чудинов А.В. - ФТП, 1985, т. 19, № 8, с. 1420-1424.
- [7] Matsuo K. T. - Jap. J. Appl. Phys., 1986, v. 25, N 8, p. 1206-1210.
- [8] Кижяев К.Ю., Никишин С.А. У1 Всесоюзная конференция по росту кристаллов, Цахкадзор, Тезисы докладов, 1985, т. III, с. 22.

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

Поступило в Редакцию
21 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 12

26 июня 1988 г.

БЛОКИРОВАНИЕ СВЕТОМ ФОТОСТИМУЛИРОВАННОГО РАСТВОРЕНИЯ СЕРЕБРА В ПЛЕНКАХ As_2S_3

А.В. Колобов, В.М. Любин, Й. Трельтч

Несмотря на то что фотостимулированное растворение серебра в халькогенидных стеклообразных полупроводниках (ХСП) известно давно [1-5], до сих пор появляются сведения о ранее неизвестных сторонах этого процесса, характерного для ХСП и важного практически.