

СПЕКТРАЛЬНО - ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ НА ДВУХСТОРОННЕЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ

Сведения по поляризации излучения инжекционных лазеров позволяют получить дополнительную информацию о структуре примесных центров и дефектов, механизме протекания тока и рекомбинации в полупроводниках [1], а также представляют интерес в связи с широким применением оптических методов записи, хранения, обработки и передачи информации с использованием лазерного излучения [2].

Изменение поляризационных и пространственных характеристик в процессе работы излучателя может привести к негативным последствиям (ухудшению эффективности ввода излучения в волновод, росту потерь, паразитной модуляции сигнала), которых стараются избежать [3].

Лазеры на пороге генерации могут работать на одной или двух продольных модах с шириной спектра $\sim 1 \text{ \AA}$. Однако в режиме развитой генерации при значительных превышениях тока инжекции над пороговым значением лазер работает в многомодовом режиме с шириной спектра $\sim 10 - 40 \text{ \AA}$. Каждая мода имеет свой коэффициент усиления, коэффициент потерь, которые зависят от тока, давления, температуры и в связи с этим могут быть по-разному поляризованы. Поэтому исследование спектрально-поляризационных характеристик является актуальной проблемой.

Для исследования поляризации излучения инжекционных лазеров разработана установка, структурная схема которой представлена на рис.1.

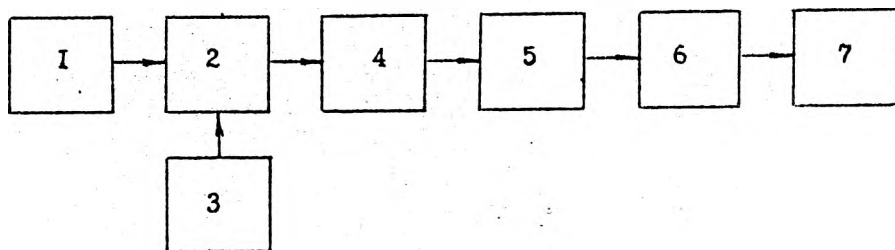


Рис. 1. Структурная схема установки для исследования поляризации излучения инжекционных лазеров в ближней зоне: 1 - генератор импульсов; 2 - усилитель - формирователь; 3 - источник питания; 4 - ла-

Выходные импульсы ФЭУ, работающего в режиме счета фотонов, поступают на предварительный усилитель, который усиливает их и формирует в стандартные импульсы с заданными амплитудой и длительностью. Затем импульсы преобразуются в сигнал постоянного тока, уровень которого прямо пропорционален числу импульсов в секунду. Этот сигнал и воспроизводится на самописце.

Для изучения степени поляризации отдельных спектральных полюсов излучения использовался дифракционный спектрометр RAMALOG-4 в сочетании с формирующей изображением оптикой. Двойной монохроматор этого спектрометра относится к типу Черни-Тернера и предназначен для двойного диспергирования входного излучения. Спектральное разрешение такого спектрометра достигает величины $0.15 \text{ \AA}$.

Поток поляризованного излучения лазерного диода, прошедшего через поляризатор, зависит от взаимной ориентации плоскости поляризации излучения и плоскости пропускания поляризатора. Поэтому сигнал на выходе ФЭУ является функцией угла поворота поляризатора.

Степень поляризации определялась по формуле

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $I_{\max}$ и $I_{\min}$ - максимальный и минимальный сигнал с ФЭУ, соответствующие максимуму и минимуму пропускания поляризатора.

В работе исследовались полупроводниковые инжекционные лазеры из GaAlAs с двумя гетеропереходами типа 32ДЛ101Г, структурная схема которых изображена на рис. 3.

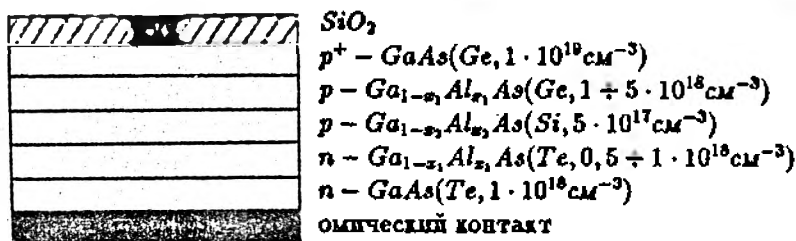


Рис. 3. Структурная схема гетеролазера типа 32ДЛ101Г.

Лазер представляет собой пятислойную гетероструктуру, полученную методом эпитаксиального наращивания ориентированных слоев из жидкой фазы на подложку из GaAs n -типа.

Активная область гетеролазера толщиной 0,5 мкм из $GaAlAs$ p -типа с небольшим содержанием Al формировалась между широкозонными эмиттерами n и p типов из $Ga_{0,7}Al_{0,3}As$.

Ввиду одинакового содержания в эмиттерах алюминия, активный слой представлял собой симметричный диэлектрический волновод.

На p -эмиттер варьировался тонкий слой из $GaAs$ p^+ -типа, на который методом вакуумного напыления наносился полосковый омический контакт.

Пороговые токи исследуемых образцов определялись по зависимости интенсивности интегрального излучения диода от тока накачки путем аппроксимации линейного участка характеристики до пересечения с осью токов, как показано на рис. 4.

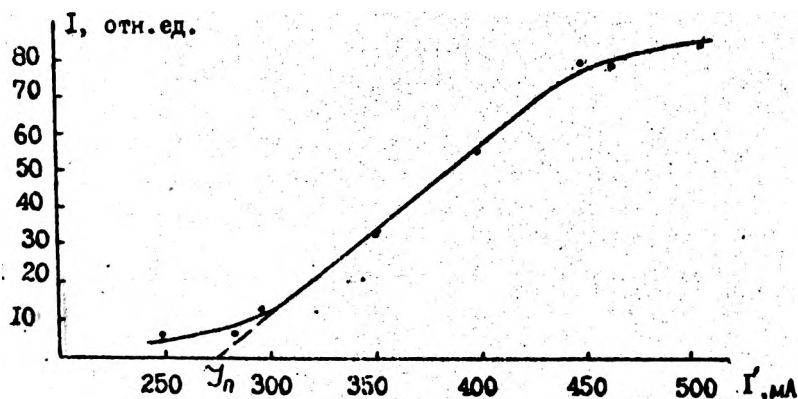


Рис. 4. Ватт-амперная характеристика гетеролазера (сигнал в интегральном потоке).

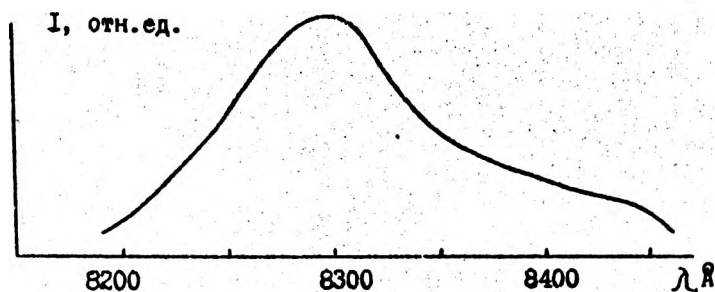


Рис. 5. Спектральная полоса спонтанного излучения инжекционного гетеролазера при токе накачки $I = 220$ мА.

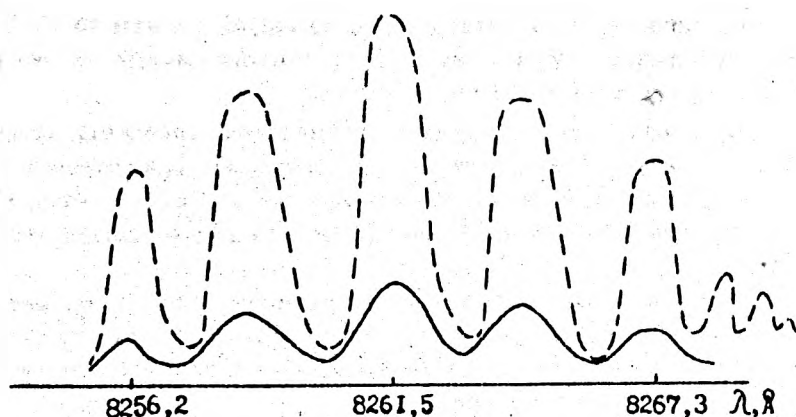


Рис. 6. Спектр генерации инжекционного гетеролазера:
(- - - $I=275$ мА; — $I=280$ мА)

Пороговый ток, вычисленный таким образом, составлял около 270-280 мА. Более точно $I'_{\text{пор}}$ можно определить, контролируя спектр излучения инжекционного гетеролазера в зависимости от тока накачки. На рис.5 показана форма спектральной полосы спонтанного излучения при токах, меньших $I'_{\text{пор}}$. Вследствие вынужденного излучения вблизи порога при большом разрешении спектрального прибора можно наблюдать структуру мод, вызываемых интерференцией в резонаторе Фабри-Перо. На пороге генерация интенсивность мод вблизи максимума спонтанной линии возрастает сверхлинейно, а генерация происходит на нескольких модах. По резкому сужению спектра излучения и значительному увеличению интенсивности излучения отдельных мод судят о достижении порога генерации (рис. 6). Определенный таким образом пороговый ток равен 280 мА. При превышении порога генерации гетеролазер работает в многомодовом режиме. Типичный спектр излучения гетеролазера при токе накачки 450 мА показан на рис. 7. На рис. 8 приведены результаты измерения степени поляризации излучения отдельных спектральных составляющих от тока накачки.

Установлено, что при токах накачки ниже порогового значения степень поляризации (P) оставалась примерно постоянной и равной 6 - 8 %. При этом величина P была практически одинакова во всем спектральном интервале излучения. Далее, по мере приближения тока к значению ($0.9 - 0.95 I'_{\text{пор}}$) величина P увеличивается и становится равной для центральных спектральных составляющих около 50-60 %, а для крайних 10-20

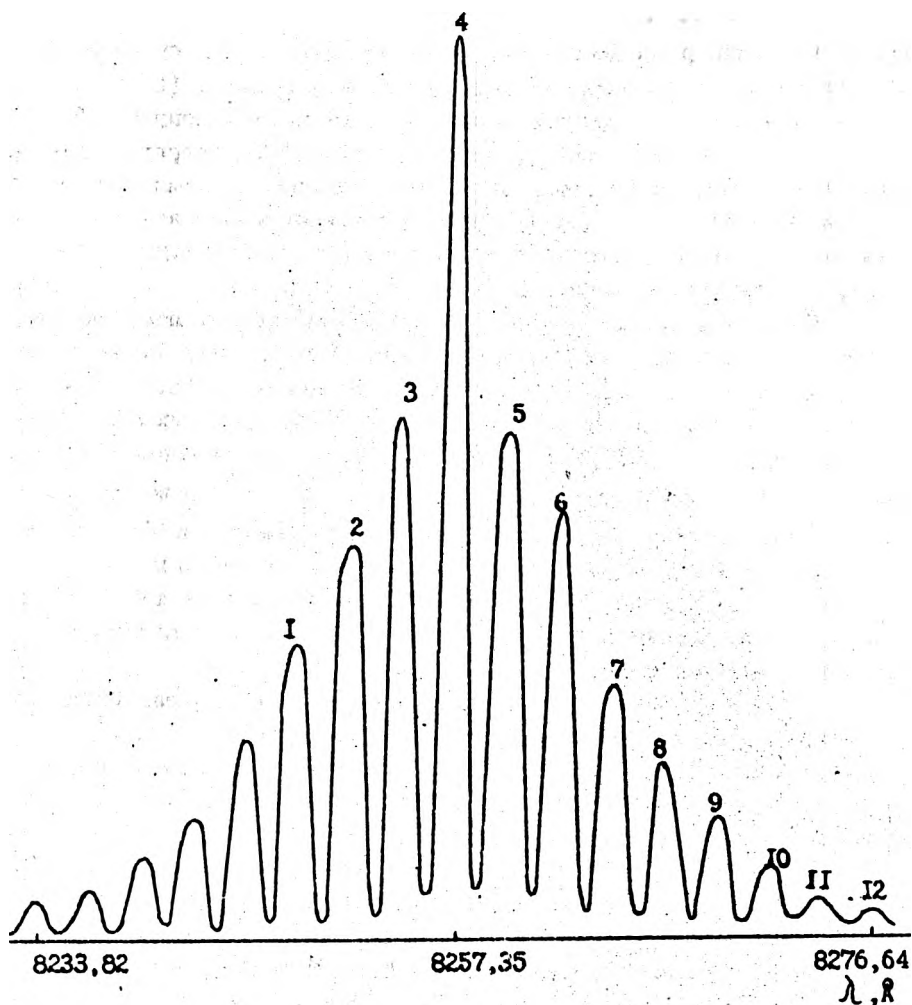


Рис. 7. Спектр излучения инжекционного гетеролазера при токе накачки $I' = 450$ мА: цифрами обозначены отдельные спектральные составляющие.

%. При достижении величины тока инжекции равной $I'_{гор}$ степень поляризации получения резко возрастает до 80% для центральных спектральных составляющих, а для значений тока, лежащих в пределах $(1.1 - 1.5)I'_{гор}$ величина Π достигает максимальных значений, превышающих 90%.

Высокая степень поляризации получения ДГС лазеров связана с тем, что достаточно большие скачки коэффициента преломления ($\Delta n \sim 0.1$) на гетерограницах обеспечивают эффективный волновод, в результате чего в лазере предпочтительно усиливаются собственные линейно-поляризованные моды волновода.

По мере удаления от центра спектральной полосы излучения поляризация отдельных составляющих уменьшалась. Степень поляризации наиболее удаленных составляющих достигала 10-15% и очень незначительно увеличивалась с током. У некоторых спектральных составляющих при токе $1.7 - 1.9I'_{гор}$ наблюдалось уменьшение величины Π , что, по-видимому, связано с уменьшением $\frac{I_{\parallel}}{I_{\perp}}$ при саморазогреве диода.

Одновременно с измерением интенсивностей ТЕ- и ТМ-волн, то есть интенсивностей $I_{\parallel}$ и $I_{\perp}$ относительно плоскости $p-n$ перехода, нами измерялась и интенсивность поляризованного излучения I . На рис.9 представлены зависимости $I_{\parallel}$, $I_{\perp}$ и I от тока накачки для различных спектральных составляющих.

Интенсивности $I_{\parallel}$, $I_{\perp}$ и I монотонно возрастают с увеличением тока накачки для всего спектрального интервала.

Исходя из анализа этих зависимостей можно косвенным образом говорить о повороте плоскости поляризации тех или иных спектральных составляющих.

Излучение, проходя через поляризатор, частично поглощается, поэтому его интенсивность уменьшается. Если соотношение интенсивностей одинаково на всем участке токов инжекции, значит плоскость поляризации сохраняет свое положение неизменным. Если же соотношение интенсивностей неодинаково, тогда можно говорить о повороте плоскости поляризации относительно своего первоначального положения.

Для этого были рассчитаны отношения $\frac{I_{\parallel}}{I}$ и $\frac{I_{\perp}}{I}$ для отдельных интегральных составляющих и построены зависимости $\frac{I_{\parallel}}{I}$ и $\frac{I_{\perp}}{I}$ от токов накачки, представленные на рис.10. Поведение этих зависимостей, говорит о том, что плоскость поляризации не меняет своего положения при изменении тока накачки. Обычно все моды имели одинаковую плоскость поляризации, параллельную $p-n$ переходу.

Для подтверждения этих выводов исследовались зависимости ин-

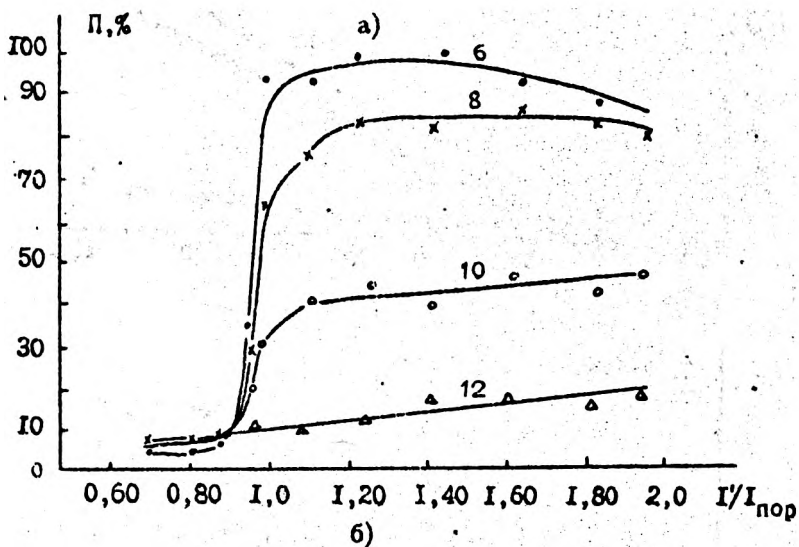
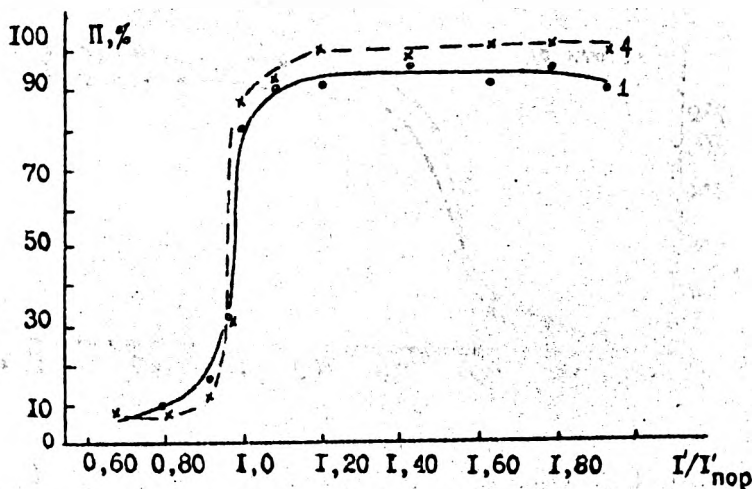
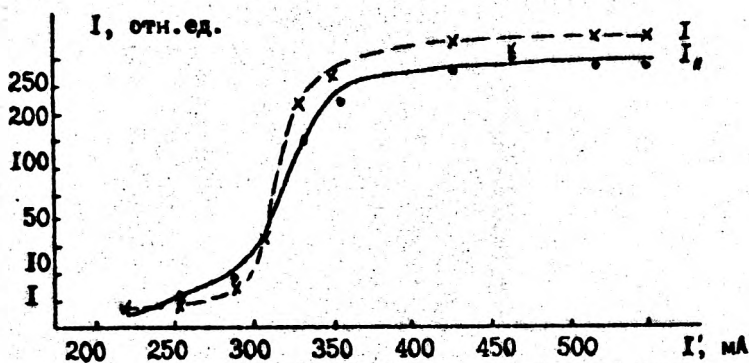
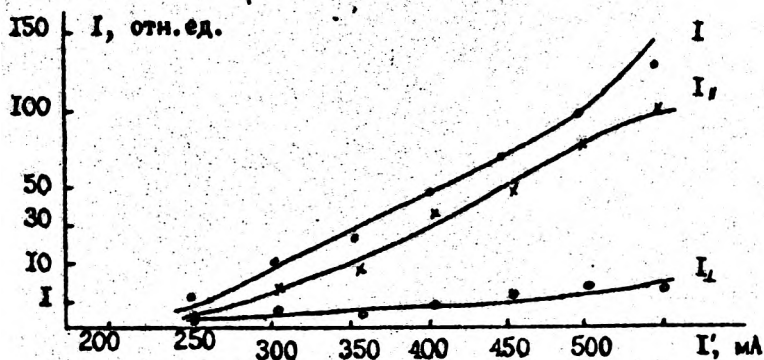


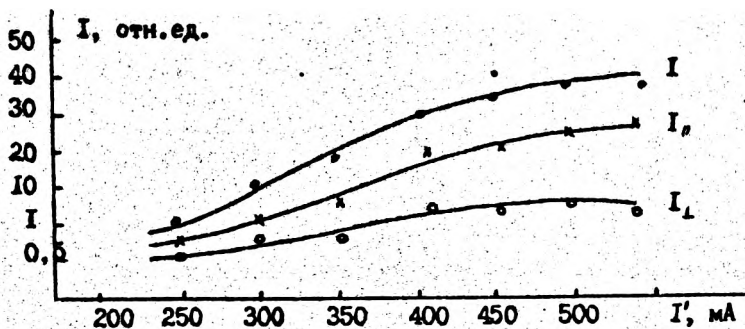
Рис. 8. Зависимость степени поляризации излучения от тока инжекции для отдельных спектральных составляющих (см.рис.7).



а)



б)



в)

Рис. 9. Зависимость интенсивности отдельных спектральных составляющих (а - 4; б - 6; в - 8) от тока инжекции, где $I, I_{||}, I_{\perp}$ - соответственно интенсивности излучения неполяризованного и поляризованного в плоскости, параллельной ($||$) и перпендикулярной ($\perp$) $p-n$ переходу.

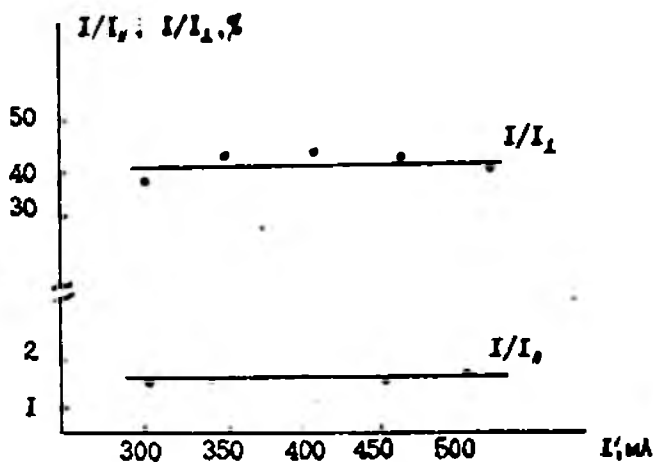
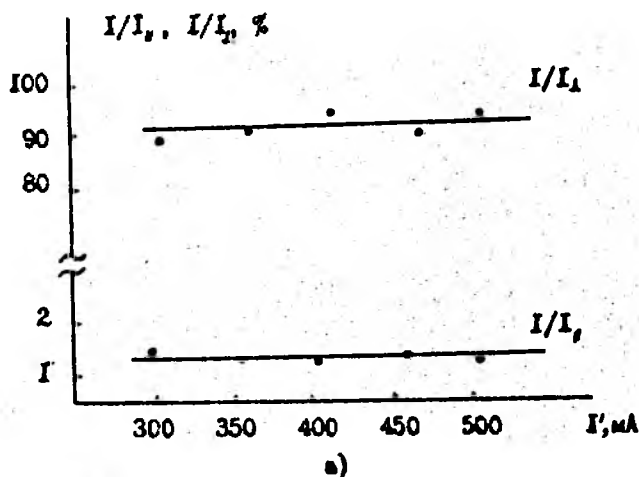


Рис. 10. Зависимости отношений $\frac{I}{I_1}$ и $\frac{I}{I_2}$ от тока инжекции для спектральных составляющих: а) - 4; б) - 8.

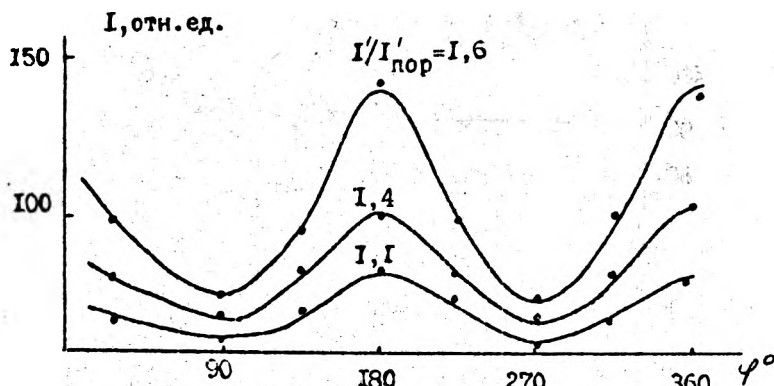


Рис. 11. Зависимость интенсивности излучения, прошедшего поляризатор, от угла его поворота при различных токах через диод.

тенсивности излучения, прошедшего через поляризатор, от угла поворота последнего, для различных значений питающего диод тока. Типичный вид этой зависимости показан на рис.11. Видно, что положение максимума и минимума пропускания анализатора сколько-нибудь заметно не меняются в широком диапазоне изменения токов накачки. Это говорит о том, что для одного диода ориентация плоскости поляризации излучения остается неизменной во всем исследуемом диапазоне токов [5].

Таким образом, экспериментальные результаты подтверждают ранее сделанный вывод о сохранении плоскости поляризации излучения при изменении тока накачки в широких пределах.

Указанное поведение поляризационных характеристик лазерного излучения, то есть сохранение ориентации плоскости поляризации при переходе от спонтанного ($I' < I'_{\text{пор}}$) к лазерному режиму работы ($I' > I'_{\text{пор}}$) объясняются, во-первых, одними и теми же причинами, вызывающими поляризацию излучения диодов в обоих режимах, во-вторых, высокой добротностью оптического резонатора ДГС-лазеров лишь для определенного типа собственных колебаний.

На рис.12 приведены зависимости степени поляризации излучения от тока накачки в различных участках излучающей поверхности. Из рисунка видно, что все участки, за исключением периферийных, почти одновременно выходят в лазерный режим с $\Pi = 90\%$, что связано с равномерностью накачки активной области. Такие зависимости являются типичными для полосковых ДГС-лазеров с практически однородным возбуждением активного объема.

Наличие в спектре генерации многих мод существенно снижает ко-

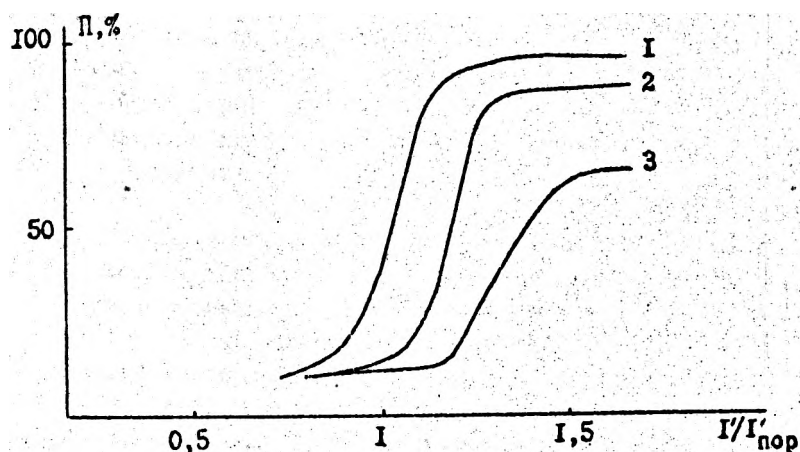


Рис. 12. Зависимость степени поляризации излучения от отдельных участков активной поверхности от тока инжекции:

- 1 - в точке максимального выхода излучения;
- 2 - отстоит от точки 1 влево на 5 мкм;
- 3 - отстоит от точки 1 вправо на 5 мкм.

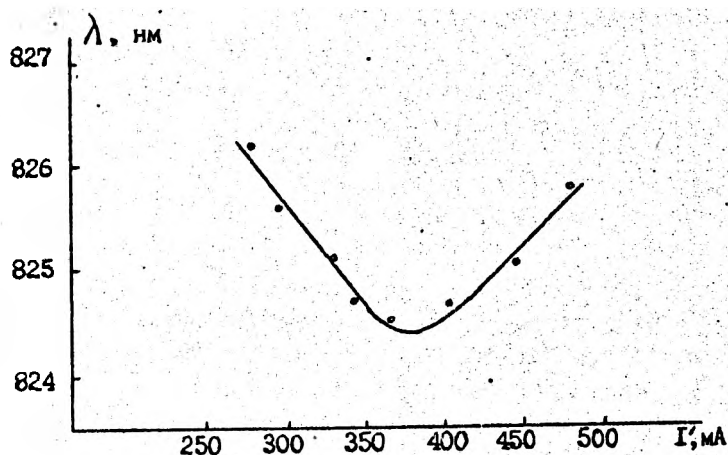


Рис.13. Положение максимума спектра излучения инжекционного гетеролазера в зависимости от тока инжекции.

герентные свойства лазеров. В процессе эксперимента обнаружено некоторое уширение спектра генерации. Одной из причин этого может быть нагрев кристалла за время импульса накачки и соответствующий сдвиг края запрещенной зоны полупроводника, приводящий к смещению линии усиления в длинноволновую сторону. Одновременно происходит и изменение длин волн отдельных мод (рис.13) вследствие изменения с температурой показателя преломления кристалла.

Таким образом, можно сделать следующие выводы[5]:

1) получение многомодовых ДГС-лазеров при токах накачки, значительно меньших пороговых значений, поляризовано в плоскости активного слоя со степенью поляризации около 10%;

2) при приближении к порогу генерации степень поляризации отдельных спектральных составляющих и в интегральном потоке резко возрастает, достигая на пороге значений $\sim 90\%$ с сохранением ориентации плоскости поляризации.

Литература

1. Басов Н.Г., Попов Ю.М. Полупроводниковые квантовые генераторы // ФТП.- 1967. -Т.1., №11. -С.1593-1599.
2. Басов Н.Г., Никитин В.В., Самойлов В.Д. Оптическая память на полупроводниковых инжекционных лазерах // Препринт ФИАН №83, 1975.- 45с.
3. D'Avanzo L.A., Ripper J.E. Junction Lasers // Phys. Today.-1971. -V.24, №3.- P.42-51.
4. Пилкуп М. Инжекционные лазеры // УФН. -1969. -Т.98, вып.2. - С.295-303.
5. Манах И.С., Журавский Ю.Л. Спектрально-поляризационные характеристики GaAlAs-лазеров // 13 Всесоюз. научн.-техн. конф. "Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстропротекающих процессов", Тез.докл.- М.: ВНИИОФИ, 1987. -С.103.