

ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИНЖЕКЦИОННОГО ПКГ
С ЛЕГИРОВАННОЙ ГРАНЬЮ РЕЗОНАТОРА

Ю. П. Захаров, В. А. Маслов, В. И. Молочев,
В. В. Никитин, В. Л. Смирнов, А. Ф. Сучков

В ПКГ линия усиления однородно уширена до вре-
мен не менее $10^{-12} + 10^{-13}$ сек¹. Однако многомодо-
вый режим генерации наблюдается при весьма незна-
чительных превышениях накачки над порогом, что свя-
зано с различного рода неоднородностями в усиливаю-
щей среде^{2,3,4,5}. Для различных применений важно
иметь одночастотный лазер. Поэтому представляет ин-
терес исследовать возможность получения одномодово-
го режима генерации. В работе⁶ было предложено по-
лучение одномодового режима путем введения в цепь
оптической обратной связи ненасыщающегося частот-
ного фильтра с резко нарастающим коэффициентом по-
глощения в коротковолновой области и прозрачного на
длинноволновом крыле линии усиления. В работе⁷ со-
общалось о режиме генерации лазера со сложным ре-
зонатором.

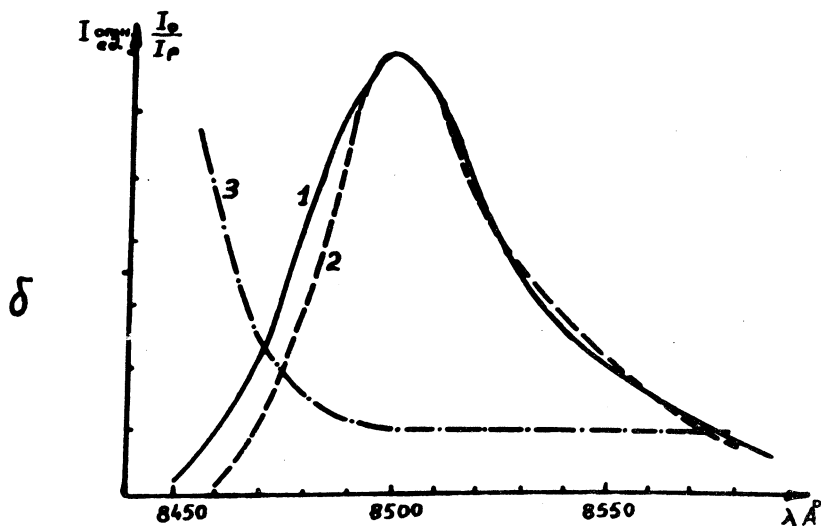
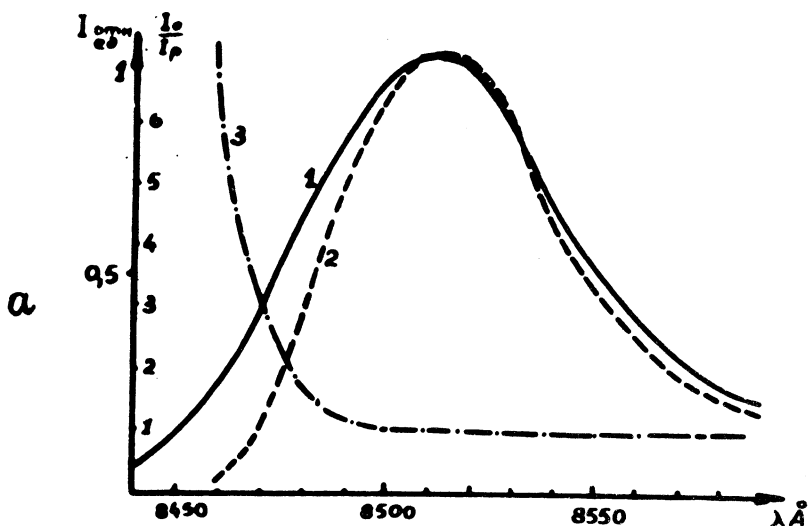
В данной работе исследовались излучательные ха-
рактеристики ПКГ, у которого в качестве частотного
фильтра используется легированная цинком область ла-
зерного диода, перпендикулярная p - n переходу.

Диоды изготовлялись методом диффузии Zn в GaAs
n - типа с концентрацией электронов $2 \cdot 10^{18}$ см⁻³. Диф-
фузия проводилась при температуре 850°C на глубину
~20 мкм. После этого образец скалывался по одной

из граней вдоль плоскости $[110]$ и шлифовался с нижней стороны и с боков. Грань, параллельная сколотой, полировалась до тех пор, пока толщина легированной p -области не достигала 5 мкм . Чтобы инжектируемый ток не закорачивался через p -часть, нижняя кромка зеркала с p -частью была срезана. Размеры диодов были $0,2 \times 0,8 \times 0,6 \text{ мм}^3$. Диоды находились в криостате на медном теплопроводе при температуре $\sim 80^\circ\text{K}$ и работали в импульсном режиме с длительностью импульса 10 мксек . Спектральные измерения проводились на спектрографе ДФС-12 с разрешением не хуже $0,4 \text{ \AA}$ в режиме генерации и 5 \AA в режиме спонтанного излучения. На рис. 1а,б показаны приведенные к единичному спектры спонтанного излучения диода № 9, снятые со стороны p -фильтра и с противоположной стороны (стороны i) соответственно при токе через образец $1,5 \text{ а}$ и 4 а . Спектр со стороны p -части обрезан на коротковолновом крыле по сравнению со спектром со стороны i .

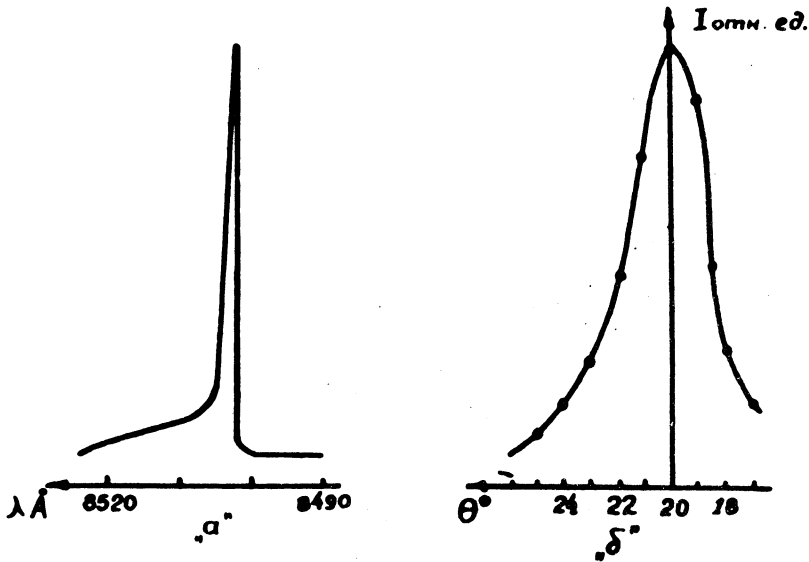
С ростом тока спектры сужаются, однако относительное уменьшение ширины спектра с p -части по сравнению со спектром со стороны i не изменяется. Плотность порогового тока у диодов с толщиной p -части 5 мкм примерно в 3 раза больше, чем у таких же диодов без p -части. За порогом диод начинал работать в одномодовом режиме генерации, который сохранялся при превышениях над порогом $\sim 20\%$. Типичный вид спектра генерации диода с p -частью в одномодовом режиме показан на рис. 2а. Ширина моды составляла $< 1 \text{ \AA}$. При превышении пороговой плотности тока более чем на 20% возникала вторая мода, сдвинутая на $1 + 2 \text{ \AA}$ в длинноволновую область. При еще большем увеличении тока генерация становилась многомодовой.

Интересной особенностью диода с p -фильтром является пространственное распределение излучения в плоскости, перпендикулярной к $p - n$ переходу. Излучение в режиме генерации со стороны p -части выходит из диода, отклоняясь на $15 - 20^\circ$ от плоскости $p - n$



Р и с. 1. а) спектры спонтанного излучения при токе через диод 1,5 а. 1 - со стороны 1-части; 2 - со стороны р-фильтра резонатора, 3 - частотная характеристика р-фильтра. б) то же самое при токе 4 а.

перехода в сторону n - части диода. Это отклонение наблюдалось у всех образцов при различных режимах работы лазеров. Со стороны 1 излучение выходит из диода нормально к зеркалу резонатора.

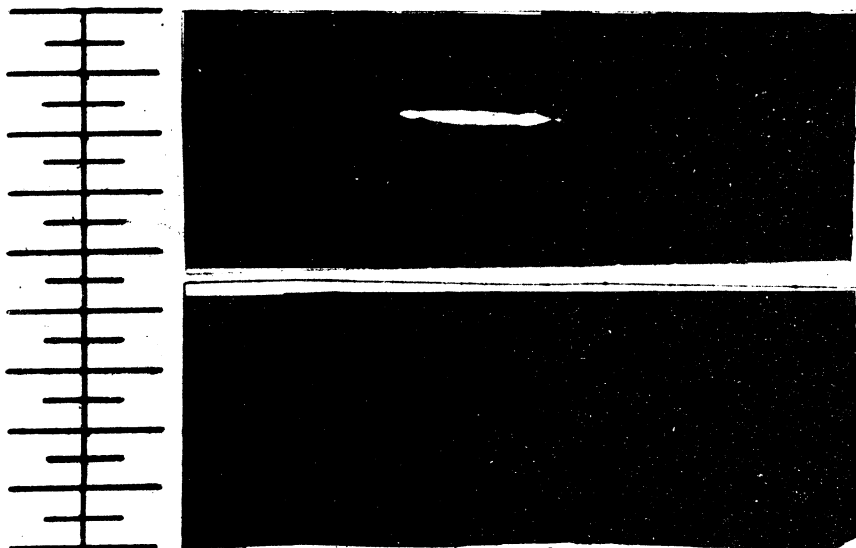


Р и с. 2. а) Спектр генерации в одномодовом режиме.
 б) Диаграмма направленности излучения со стороны p -части.

Расходимость излучения со стороны p -части в плоскости, перпендикулярной $p - n$ переходу, в одномодовом режиме составляет 4° (рис. 2б), а с противоположной стороны - 7° . Обычные диоды имеют расходимость в этой плоскости 20° . С помощью инфракрасного микроскопа МИК-1 было сфотографировано распределение поля на зеркале с p -фильтром и обычного диода (рис. 3).

Было обнаружено значительное увеличение ширины области светового поля на торце диода с p -фильтром, что приводит к уменьшению расходимости генерируемого излучения.

Из сравнения спектров спонтанного излучения со стороны легированной и нелегированной граней резонатора (рис. 1) видно, что вблизи максимума спонтанного излучения, где мы и наблюдали генерацию, час-



Р и с. 3. Вверху - распределение излучения на торпе диода с р-частью. Внизу - то же самое у обычного диода. Слева - мерительная линейка, одноделение 50 мк.

тотные характеристики пропускания легированной грани резонатора должны слабо влиять на спектр генерации. Поглощение в легированной грани при глубине легирования 5 мк и коэффициенте поглощения 200 см^{-1} приводит к ослаблению излучения за один проход всего на несколько процентов и не может объяснить полученное нами возрастание порогового тока.

Качественно полученные результаты объясняются искривлением р - п перехода вблизи легированной грани и, соответственно, изменениями глубины легирования

границы вблизи плоскости $p-n$ перехода, вдоль которого идет генерация. Радиус этого искривления составляет, по-видимому, 10–15 мк. Поскольку легированная p -часть диода обладает меньшим показателем преломления, волноводных свойств $p-n$ перехода оказывается недостаточно для локализации генерируемого излучения³, и область генерации значительно расширяется (см. рис. 3). Следствием этого является уменьшение расходимости излучения, возрастание порогового тока и отклонение диаграммы направленности в сторону n -части диода.

Более глубокое проникновение генерируемого излучения в p -часть диода приводит к тому, что прилегающие к $p-n$ переходу p -области кристалла с концентрацией легирования $\sim 10^{19}$ начинают работать как частотный фильтр, так как при концентрации легирования 10^{19} см⁻³ имеет место резкое возрастание коэффициента поглощения с уменьшением длины волны⁹. Это делает возможным получение одномодового режима при превышении порогового тока на 20%.

Таким образом, проведенные исследования лазеров с p -частью показали, что возможно получение одномодового режима генерации при превышении тока на 20% над порогом и с малой ($\sim 4^\circ$) расходимостью. Возможно, что тщательный подбор фильтра и условий легирования позволяет значительно улучшить излучательные характеристики полупроводникового лазера.

Поступила в редакцию
15 апреля 1970 г.

Л и т е р а т у р а

1. Haug H., Zs. Phys., 195, 74 (1966).
2. Stutz H., Tang C. L., Zavine J. M. J. Appl. Phys., 35, 2581 (1964).
3. Никитина Т. Ф., Попов Ю. М., Страховский Г. М., Шуйкин Н. Н. ФТП, 3, 164 (1969).

4. Попов Ю. М., Страховский Г. М., Шуйкин Н. Н., ФТП, 3, 803 (1969).
5. Попов Ю. М., Страховский Г. М., Шуйкин Н. Н. ФТП, 3, 1113 (1969).
6. Елисеев П. Г., Попов Ю. М., Шуйкин Н. Н. ЖЭТФ, 56, 1412 (1969).
7. Елисеев П. Г., Исмаилов И., Манько М. А., Страхов В. П. Письма в ЖЭТФ, 9, 594 (1969).
8. Аллахвердян Р. Г., Ораевский А. Н., Сучков А. Ф. ФТП, 4, 341 (1970).
9. Turner W. J., Reese W. E. J. Appl. Phys., 35, 356 (1964).