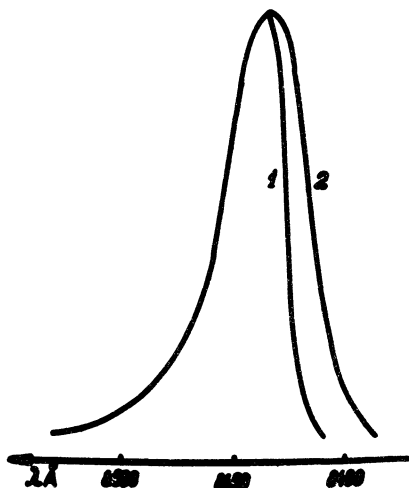


ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОМОДОВОГО ИНЖЕКЦИОННОГО ЛАЗЕРА НА ОСНОВЕ ДВОЙНОГО ДИОДА

Ю. А. Быковский, В. Л. Величанский, Ю. П. Захаров,
В. А. Маслов, В. В. Никитин, В. Л. Смирнов

В обычных инжекционных ПКГ многомодовый режим излучения наблюдается при небольших превышениях порогового тока /1/. Для различных практических применений, например, спектроскопии, голографии и т.д. требуются одномодовые лазеры. Для получения одномодового режима генерации в работе /2/ рассмотрено влияние частотного фильтра, введенного в цепь обратной связи ПКГ, на спектр излучения генератора. Используя в качестве частотного фильтра легированную цинком грань резонатора ПКГ, был получен одномодовый режим генерации, который сохранялся при превышении над порогом 20% /3/. Применение сложного резонатора /4/ позволило получить одномодовый режим генерации, который сохранялся при превышении над порогом $\sim 30\%$. В данной работе проводились исследования излучательных характеристик двойных диодов /5/. Диоды находились в кристате на медном хладопроводе при температуре $\sim 80^\circ\text{K}$ и работали в импульсном режиме с длительностью импульса ~ 10 мсек. Спектральные измерения проводились с помощью спектрографа ДФС-12 с разрешением $\sim 0,5 \text{ \AA}$. Для наблюдения момента генерации, возникновения последующих мод и перестройки длины волны излучения за время импульса был использован внешний интерферометр Фабри-Перо /6/, расстояние в длинах волн между резонансами которого равно $0,12 \text{ \AA}$. Если ток инжекции подавать только в одну из частей двойного ди-

ода, то пассивную часть можно рассматривать как поглощающий частотный фильтр, который будет также обладать дискриминационными свойствами, и получить модовую структуру излучения более простую по сравнению с обычным диодом.

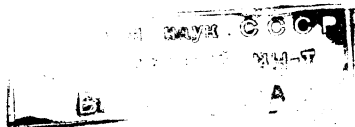


Р и с. 1. Спектры спонтанного излучения активной части двойного диода (кривые 2 и 1 с активной и пассивной сторон соответственно).

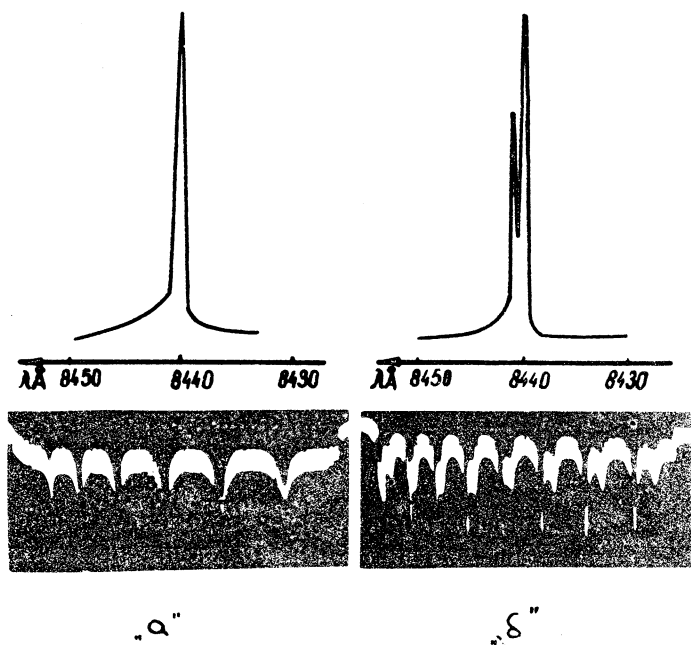
На рис. 1 показаны приведенные к единичному спектры спонтанного излучения активной части диода в предпороговом состоянии с активной и пассивной сторон. Видно, что пассивная часть диода хорошо поглощает коротковолновую часть спонтанного света и может служить частотным фильтром в соответствующем диапазоне частот. Действительно, измерения показали, что одномодовый режим излучения в двойных диодах с пассивной частью сохраняется при превышениях над порогом $\sim 10\%$. Если наблюдать ближнее поле излучения на торце такого диода, то появление канала генерации

абсолютно произвольно и связано с наличием неконтролируемых неоднородностей. С увеличением тока накачки возникают новые каналы генерации, которые могут располагаться как непосредственно рядом с первым каналом, так и на расстояниях, удаленными от него на десятки микрон.

В каждом отдельном канале одна мода при увеличении тока накачки может сохраняться достаточно долго благодаря частотному фильтру, в то же время возникшие новые удаленные каналы могут работать независимо, и общий спектр излучения может стать многомодовым. Создание сильной управляемой неоднородности вдоль $p-n$ перехода в двойном диоде позволило бы подавить возникновение произвольных каналов генерации и получить более простой спектр излучения. Для достижения этой цели была предложена следующая конструкция двойного диода. Надрез со стороны p -части диода, изолирующий активные и пассивные области, был сделан не параллельно зеркалам резонатора, а под некоторым углом α (рис. 3). Такие диоды за порогом начинали работать в одномодовом режиме генерации. В зависимости от угла α , размеров образцов и материала диодов одномодовый режим генерации сохранялся при превышениях над порогом от 10 до 80%. На рис. 2 а, б представлены типичные спектры генерации диодов на пороге и в момент появления второй моды, сдвинутой $\sim 1\lambda$ в длинноволновую область. На этих же рисунках показана осциллограмма сигнала излучения с фоторегистрирующей системы после прохождения света через внешний интерферометр Фабри-Перо. Осциллограммы соответствуют приведенным спектрам. На осциллограммах отчетливо наблюдается момент появления второй моды генерации. Расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной $p-n$ переходу, составила $\sim 15^\circ$. На рис. 3 представлена ватт-амперная характеристика диода. На рис. 3а, б, в, приведены фотографии ближнего поля генерации. Канал генерации возникает со стороны диода.

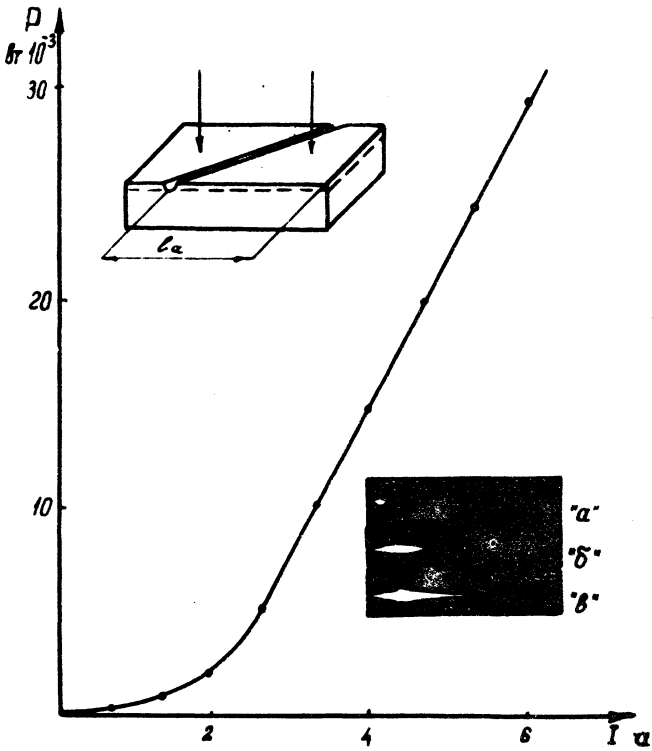


где длина пассивной части наименьшая. При увеличении тока в активную часть область свечения расширяется. Рис. 3а соответствует порогу генерации, область



Р и с. 2. Спектры генерации и осциллограммы сигнала излучения с фоторегистрирующей системы после прохождения света через внешний интерферометр Фабри-Перо. а - диод работает на пороге, $J_a = 2,1a$; б - $J_a = 3,8a$.

свечения (Δx) имеет протяженность несколько микрон; рис. 3б - ток инжекции возрос на I_a , $\Delta x \sim 60$ мк; 3в - диод работает в режиме нескольких мод, $\Delta x \sim 120$ мк. Если подавать на пассивную часть импульс накачки, то эффект сохранения одной моды быстро исчезает, при однородном возбуждении диод практически на пороге генерирует несколько мод, что соответст-



Р и с. 3. Ватт-амперная характеристика и фотографии ближнего поля диода. а- $J_a = 2,1$ а; б- $J_a = 3,8$ а;
в - $J_a = 5$ а.

вует произвольному расположению каналов генерации по торцу диода.

Наилучшие результаты были получены на диодах, которые имели размеры 0,4 x 1,4 мм и угол $\alpha = 30^\circ$.

В случае двойного диода условие для порогового тока J может быть записано в виде

$$J_{\text{пор}} = \frac{1}{\beta} \left[\alpha + \alpha_1 \frac{l - l_a}{l_a} + \frac{1}{l_a} \ln \frac{l}{R} \right], \quad (1)$$

где β - фактор усиления, α , α_1 - коэффициенты потерь в активной и пассивной областях соответственно, l_a - длина активной области, l - общая длина резонатора.

Включение нового канала генерации изменяет отношение l_a и длины пассивной части диода и требует увеличения порогового тока на величину, определяемую из выражения (1):

$$\Delta J = \frac{\alpha_1 l + \ln \frac{l}{R}}{\text{tg} \alpha \cdot \beta \cdot l_a^2} \Delta x. \quad (2)$$

Из выражения (2), полагая $\alpha_1 = 50 \text{ см}^{-1}$, что легко можно найти из простых оценок, и считая $\beta = 2 \cdot 10^{-2} \text{ а/см}$ [1], можно определить величину Δx . Для приращения тока в один ампер $\Delta x = 70 \text{ мк}$, что хорошо согласуется с экспериментом. Получение генерации одной моды в широком пространственном канале, либо целого ряда каналов, синхронизированных одной модой [7], связано, по-видимому, с дифракционным расплыванием поля, а также эффектом преломления света на границе между активной и пассивной частями, так как при падении луча на оптически более плотную среду под углом 60° различие в коэффициенте преломления на величину 10^{-2} уже обеспечивает расширение области свечения до 10 мк за два прохода.

В заключение благодарим В. Ф. Елесина и В. Н. Морозова за полезное обсуждение работы.

Поступила в редакцию
5 февраля 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. М. Пилкун. УФН, 98, 295 (1969).
2. П. Г. Елисеев, Ю. М. Попов, И. Н. Шуйкин. ЖЭТФ, 56, 1412 (1969).
3. Ю. П. Захаров, В. А. Маслов, В. И. Молочев, В. В. Никитин, В. Л. Смирнов, А. Ф. Сучков. Краткие сообщения по физике, № 7, 1970 г.
4. П. Г. Елисеев, И. Исмаилов, А. И. Красильников, М. А. Манько. ФТП, 1, 953 (1967).
5. Н. Г. Басов, В. В. Никитин, А. С. Семенов. УФН, 97, 562 (1969).
6. Ю. А. Быковский, В. Л. Величанский, И. Г. Гончаров, В. А. Маслов, В. В. Никитин. ФТП (в печати).
7. Н. Г. Басов, Э. М. Беленов, В. С. Летохов. ДАН СССР, 161, 556 (1965).
8. J. E. Ripper, T. L. Paoli. Appl. Phys. Lett., 17, 371 (1970).