

## ГЕНЕРАЦИЯ ИНЖЕКЦИОННОГО ЛАЗЕРА С ВНЕШНИМ СЕЛЕКТИВНЫМ ЗЕРКАЛОМ НА ПАРАХ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

А.М. Акульшин, В.Л. Величанский, М.В. Зверков, А.С. Зибров  
В.В. Никитин, Г.Т. Пак, В.А. Саутенков

*Зарегистрирован спектральный контур селективного полного внутреннего отражения от границы стекло – пары рубидия. Получена непрерывная генерация инжекционного лазера на резонансной линии рубидия ( $\lambda = 780$  нм) с селективирующей ячейкой полного внутреннего отражения.*

В настоящем сообщении представлены первые результаты изучения и применения в квантовой электронике явления селективного полного внутреннего отражения (ПВО) от границы прозрачный диэлектрик – поглощающий газ. Селективное ПВО может наблюдаться, когда показатель преломления газа  $n(\nu)$  и угол падения света на окно кюветы  $\theta$ , измеренный относительно нормали к внешней поверхности плоскопараллельного окна, удовлетворяют соотношению  $\sin \theta > n(\nu)$ .

Ранее селективное отражение изучалось и использовалось только в таких экспериментальных условиях, когда селективное ПВО не проявляется [1 – 7]. В частности, была получена генерация лазера на красителе [6] и полупроводникового лазера [7] на резонансных линиях натрия и цезия, соответственно, с селективным зеркалом, в котором использовалось нормальное падение излучения лазера на границу раздела стекло – пары металла. Однако, эта методика не получила широкого распространения, поскольку коэффициент селективного отражения  $R(\nu)$  при нормальном падении света ограничен величиной  $\sim 30\%$  из-за столкновительного уширения атомной линии  $\gamma_c$ , проявляющегося при увеличении концентрации ( $\gamma_c \propto N$ ,  $N$  – концентрация атомов газа) [1]. Использование селективного ПВО весьма перспективно для сужения спектра генерации широкополосных лазеров, т.к. по оценкам коэффициент отражения при выполнении условия  $\sin \theta > n(\nu)$ , несмотря на наличие поглощения, приближается к 100%.

Схема экспериментальной установки дана на рис. 1. Перестраиваемый инжекционный ДГС-лазер работал в непрерывном режиме при комнатной температуре. При настройке длины волны излучения на  $D_2$ -линию рубидия ( $\lambda = 780$  нм) ширина линии одночастотной генерации составляла 80 МГц, мощность излучения – 3 мВт. Модовая структура, длина волны генерации и ширина спектра контролировались с помощью дифракционного монохроматора и конфокального интерферометра [8]. Перестройка длины волны излучения осуществлялась изменением тока накачки и температуры хладопровода.

Излучение лазера направлялось на стеклянную кювету с насыщенными парами естественной смеси изотопов  $^{85}\text{Rb}$  и  $^{87}\text{Rb}$ . Концентрация атомов рубидия  $N$  контролировалась по температуре самой холодной части кюветы. Непараллельность граней окна ( $\varphi \approx 10^{-2}$  рад) кюветы позволяла разделить лучи, отраженные от каждой грани. Излучение, отраженное от границы стекло – пары металла, регистрировалось фотодиодом ФД-24К, а затем сигнал подавался на самописец или осциллограф. Спектральная зависимость коэффициента селективного ПВО приведена на рис. 2 при  $N = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  и  $\theta = 75^\circ \pm 0,5^\circ$ . При такой концентрации столкновительное уширение линий  $\gamma_c \approx 2$  ГГц значительно превышает доплеровское  $\Delta\nu_D = 0,6$  ГГц.

Большой коэффициент отражения ( $R_{\max} \approx 95\%$ ) и высокий контраст ( $R_{\max}/R_0 \sim 10$ , где  $R_0$  – коэффициент отражения от поверхности раздела стекло – вакуум) позволяют использовать такую рубидиевую ячейку для селекции мод. Для получения генерации инжекционного лазера с селективирующей атомной ячейкой фотодиод заменялся внешним глухим зеркалом (рис. 1). Для упрощения юстировки резонатора излучение фокусировалось на внешнее зеркало (непараллельность пучка порядка  $10^{-2}$  рад).

На рис. 3 показано влияние на модовую структуру лазерного излучения внешнего резонатора, в котором роль селектора выполняет ячейка с резонансно-поглощающей средой.

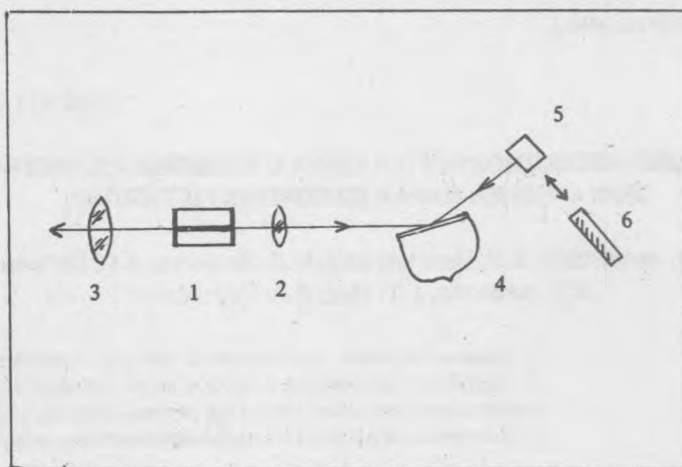


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – инжекционный лазер; 2 – микрообъектив с числовой апертурой  $A = 0,4$ ; 3 – фотообъектив с  $A = 0,1$ ; 4 – кювета с парами рубидия; 5 – фотодиод; 6 – зеркало ( $R = 100\%$ ).

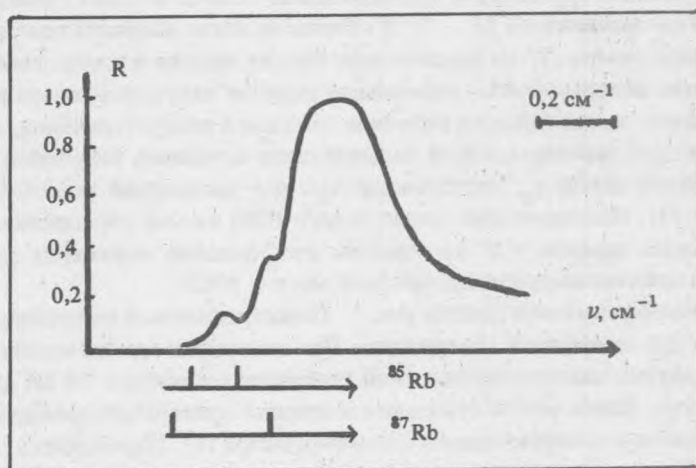


Рис. 2. Спектральный контур селективного отражения в окрестности  $D_2$ -линии. Внизу – частотное положение компонент основного состояния изотопов рубидия.

При небольшом превышении тока накачки над пороговым уровнем (без внешней обратной связи) инжекционный лазер работает в многомодовом режиме, в стороне от линии поглощения рубидия (рис. 3а). Мощность генерации  $P$  составляла около 1 мВт.

На рис. 3б приведены спектры суперлюминесцентных мод лазерного диода при токе накачки на 10% ниже порогового значения. При включении обратной оптической связи (ток накачки остался без изменения) потери для одной из суперлюминесцентных мод, частота которой совпала с максимумом отражения селективного зеркала, резко уменьшаются, и лазер начинает работать на одной продольной моде лазерного диода (рис. 3в).

Мощность генерации инжекционного лазера с внешним селективным резонатором составляла 1 мВт при токе накачки на 10% ниже "собственного" порогового уровня.

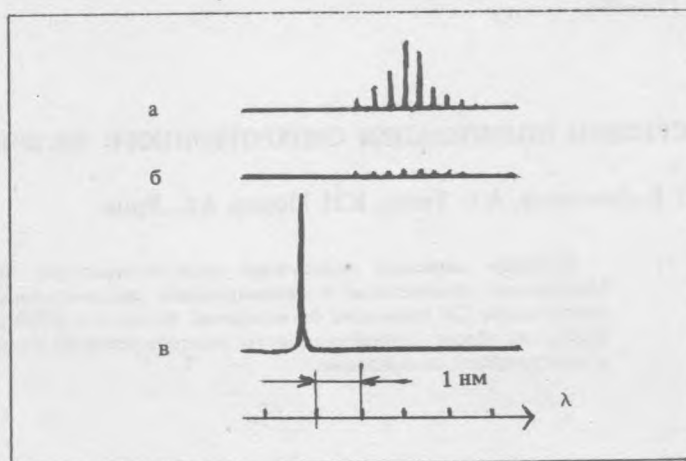


Рис. 3. Спектр излучения инжекционного лазера.

Таким образом, впервые зарегистрирован спектральный контур селективного ПВО, и с использованием этого явления получена одномодовая непрерывная генерация инжекционного лазера. В принципе, подбором изотопа рубидия, к линиям которого привязывается частота лазерного излучения, можно добиться совпадения селективного ПВО с центром линии поглощения другого изотопа. Такие лазеры могут найти применение для оптической накачки щелочных металлов в квантовых стандартах частоты и магнитометрах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Galt J.A., Welch H.L. Can. J. Phys., 35, 98 (1956).
2. Woerdman J.P., Schuurmans M.F.H. Optics Commun., 19, 248 (1975).
3. Кизель В.А. Отражение света, М., Наука, 1973.
4. Саутенков В.А. и др. Квантовая электроника, 8, 1867 (1981).
5. Летохов В.С. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11, 14 (1970).
6. Dujardian G., Meyer Y.H. Optics Commun., 24, 21 (1978).
7. Величанский В.Л. и др. Квантовая электроника, 5, 1465 (1978).
8. Величанский В.Л. и др. Квантовая электроника, 8, 1925 (1981).

Поступила в редакцию 14 июля 1986 г.