

## УВЕЛИЧЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭИ СО ЛАЗЕРОВ

В.Ю. Ананьев, А.А. Ионин, А.П. Лыткин

*На основе многорезонаторной схемы сформированы много-  
частотные спектры излучения ЭИ СО лазера в режимах свобод-  
ной генерации и модуляции добротности, позволяющие увели-  
чить спектральную яркость излучения и уменьшить поглоще-  
ние излучения в атмосфере.*

Электроионизационный (ЭИ) лазер на окиси углерода — один из самых эффективных источников мощного когерентного излучения в среднем ИК диапазоне спектра [1]. Однако энергия излучения лазера рассредоточена более чем по 30-ти спектральным компонентам, присутствующим одновременно в спектре генерации, что затрудняет применение лазера для решения ряда задач. Например, широкий спектр генерации СО лазера трудно согласовать с небольшим количеством "окон прозрачности" атмосферы, имеющих в области рабочих переходов лазера. Генерация на одном переходе, соответствующем "окну прозрачности", не эффективна (КПД ~ 1%) [2].

Целью данной работы является экспериментальное исследование возможности формирования спектра излучения СО лазера, содержащего минимальное количество спектральных компонент, без значительного снижения энергетических характеристик лазера.

Спектр излучения импульсного ЭИ СО лазера имеет развитую вращательную структуру, т.е. в каждой колебательной полосе генерация развивается, как правило, на нескольких колебательно-вращательных переходах [2]. Проведенные исследования показали, что, во-первых, развитая вращательная структура спектра не является следствием неоднородности энерговклада или температуры активной среды и, во-вторых, присутствующие в спектре линии генерации нельзя связать с какими-либо выделенными участками активной среды ЭИ СО лазера.

Принцип сокращения спектра СО лазера заключается в устранении вращательной структуры спектра. В каждой из колебательных полос, присутствующих в спектре излучения СО лазера, необходимо выделить одну вращатель-

ную компоненту. Поскольку время вращательной релаксации мало ( $\sim 10^{-9}$  с) и каждая спектральная компонента излучается всем объемом активной среды, с помощью одной линии можно снять энергию всей колебательной полосы со всего активного объема, а набором из 5–7 линий — всю энергию, излучаемую лазером с неселективным резонатором.

Этот принцип был экспериментально реализован в многорезонаторном ЭИ СО лазере с помощью набора селективных резонаторов, каждый из которых настраивался на один колебательно-вращательный переход в семи каскадно-связанных колебательных полосах. Схема формирования спектра состояла из дифракционной решетки, работающей в режиме, близком к автоколлимационному, и семи плоских зеркал. Набор селективных резонаторов имел общее плоское выходное зеркало с коэффициентом отражения  $\sim 30\%$ .

На рис. 1 представлены многочастотные спектры генерации (сплошные линии), сформированные с помощью предложенной схемы. В одном из спектров (рис. 1а) в каждой колебательной полосе выбраны линии, имеющие минимальные коэффициенты поглощения в атмосфере [3], вблизи колебательно-вращательных переходов, оптимальных для данных условий возбуждения. Второй спектр (рис. 1б) представляет собой прямой каскад по семи колебательным полосам. Многочастотный спектр ЭИ СО лазера, жестко привязанный к "окнам прозрачности" атмосферы, обеспечивает меньшие потери при

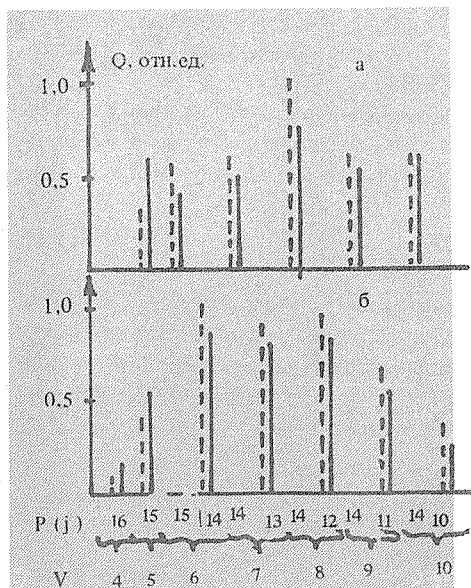
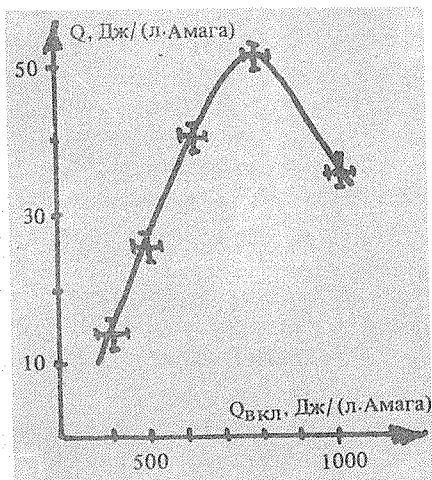


Рис. 1. Спектры излучения ЭИ СО лазера, сформированные с помощью набора селективных резонаторов (сплошные линии): а — прямой каскад по семи колебательным полосам; б — спектр, согласованный с "окнами прозрачности" атмосферы. Штриховые линии — энергия излучения в каждой линии с одним селективным резонатором. Указаны номера верхних уровней переходов  $V \rightarrow V - 1$ .

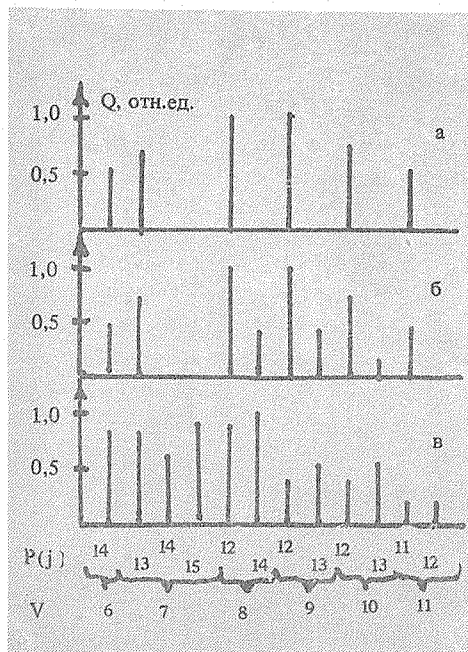
распространении излучения сквозь атмосферу по сравнению со спектрами, формируемыми при помощи воздушной или водяной ячейки [4, 5]. Штриховыми отрезками возле каждой линии спектра показана энергия излучения этой линии при одном включенном селективном резонаторе. Энергия излучения линии, работающей в лазере с одним селективным резонатором, превосходит энергию этой линии в многочастотном спектре. Исключение в обоих случаях составляют нижние линии спектра, энергия излучения которых возрастает при включении генерации на расположенных выше колебательных переходах. Проведенные исследования показали, что для концентрации энергии излучения в одной из линий спектра ЭИ СО лазера необходимо выключить генерацию на всех колебательных переходах, расположенных ниже селективируемого перехода, и включить ее в вышерасположенных колебательных полосах.

Длительности импульсов генерации лежали в диапазоне 150 – 200 мкс (по уровню 0,1 от максимальной интенсивности) при импульсе накачки ~ 30 мкс. Длительность генерации на отдельных переходах в обоих случаях монотонно возрастала с увеличением номера колебательного уровня от 50 до 200 мкс.

Типичная зависимость удельного энергосъема импульсов излучения со сформированным спектром от удельного энерговклада в активную среду лазера представлена на рис. 2. Использовалась лазерная смесь  $\text{CO}:\text{N}_2 = 1:9$  плотностью 0,25 Амага с начальной температурой ~ 100 К. Максимальный электрооптический КПД генерации не превышал 6 – 7%, что связано с большими



Р и с. 2. Зависимость удельного энергосъема  $Q$  от удельного энерговклада  $Q_{\text{вкл}}$  в активную среду ЭИ СО лазера.



Р и с. 3. Спектры излучения ЭИ СО лазера: а – режим свободной генерации; б – режим МД со схемой формирования спектра; в – режим МД без схемы формирования спектра. Указаны номера верхних уровней переходов  $V \rightarrow V - 1$ .

потерями в оптической схеме формирования спектра. Как показали проведенные оценки, подтвержденные в экспериментах по исследованию системы генератор – усилитель, исключение всех потерь позволит увеличить КПД генерации примерно в 3 раза.

Для ряда практических применений необходимо управлять спектром излучения короткого импульса, генерируемого ЭИ СО лазером в режиме модуляции добротности (МД) [6]. Результаты экспериментальных исследований показаны на рис. 3. Для управления спектром короткого импульса с помощью вращающегося зеркала включался высокодобротный резонатор 1, в котором к моменту его включения развивалась генерация со спектром, формируемым с помощью набора селективных резонаторов (рис. 3а). Резонатор 1 был связан со схемой формирования спектра с помощью полупрозрачного зеркала с коэффициентом отражения 60%. При включении резонатора 1 излучение в нем формировалось не из спонтанного шума, а из спектральных компонент, задаваемых в схеме формирования спектра. Спектр импульса излучения длительностью  $\sim 5$  мкс и мощностью  $\sim 1$  МВт содержал эти спектральные компоненты, а также ряд слабых линий, генерация на которых развивалась при включении резонатора 1 (рис. 3б).

Таким образом, впервые осуществлено управление многочастотным спектром генерации ЭИ СО лазера в режимах свободной генерации и МД,

что дает возможность повышать спектральную яркость излучения без существенного снижения энергетических характеристик.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Басов Н.Г. и др. Труды ФИАН, 116, 54 (1980).
2. Басов Н.Г., Казакевич В.С., Ковш И.Б. Квантовая электроника, 9, 763 (1982).
3. Отчет ГОИ 174 08-79, Ленинград, 1983.
4. Басов Н.Г. и др. Квантовая электроника, 10, 1121 (1983).
5. Ананьев В.Ю. и др. Тезисы докладов XII Всесоюзной конференции по нелинейной и когерентной оптике. М., 1985, с. 542.
6. Басов Н.Г. и др. Квантовая электроника, 10, 1261 (1983).

Поступила в редакцию 1 августа 1985 г.