

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 4—1976

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.378.32

Е. И. КАМЕНСКИЙ, В. В. КОЗЛОВ

ОПТИЧЕСКИЙ КВАНТОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С МНОГОГРАННЫМ АКТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Для решения многих практических задач необходимо иметь оптический квантовый генератор, работающий на одной моде и излучающий мощные короткие импульсы света. Лазеры с модулированной добротностью обеспечивают одномодовый режим и одиночный гладкий импульс, но, к сожалению, энергия выхода таких систем очень мала. Поэтому для увеличения энергии излучения и получения импульсов необходимой временной формы используются многокаскадные системы усилителей, результирующий коэффициент усиления которых по энергии достигает $\sim 10^3$ [1]. Однако такие установки сложны и громоздки.

Нами в качестве усилителя входного сигнала использовался многогранный элемент, изготовленный из стекла типа ПГЛС-1 [2, 3]. Внешний диаметр многогранника составлял 100 мм. Эффективный путь (от входной плоскости до выходной) в активном материале оптического квантового усилителя (ОКУ) составлял 2,467 м. Входная и выходная плоскости имели размеры $10 \times 10,5$ мм². Габариты системы не превышали 150 мм.

Оптическая схема установки состоит из задающего генератора 1 (рис. 1) ОКУ с многогранным элементом 4 и аппаратуры измерения параметров излучения задающего генератора и исследуемого ОКУ. В качестве задающего генератора были использованы два ОКГ: на иттриево-алюминиевом гранате с расходимостью $\sim 1, 2^\circ$ и на неодимовом стекле типа ГЛС-1 с расходимостью $\sim 10'$. В ОКГ на иттриево-алюминиевом гранате зеркала были нанесены непосредственно на торцы стержня, в ОКГ на неодинаковом стекле использовались внешние зеркала.

Процесс усиления исследовался при следующих поперечных размерах входного луча задающего ОКГ.

1. Входной луч с расходимостью 0 полностью заполняет входной торец ОКУ.
2. Входной луч с расходимостью θ диафрагмирован так, что его поперечные размеры на выходе ОКУ не превышают поперечных размеров выходного торца ОКУ. В этом случае максимальный поперечный размер входного луча r с целью уменьшения энергетических потерь за счет выхода некоторой части излучения через боковые грани многогранника должен удовлетворять условию

$$r \leq r_1 - L \operatorname{tg} \theta,$$

где r_1 — поперечный размер выходного торца ОКУ, L — эффективный путь в активном элементе.

3. Входной луч коллимирован и диафрагмирован. Процесс усиления исследовался при входном сигнале генератора, работающего как в режиме свободной генерации (длительность импульса генерации $\tau_g \sim 500$ мкс), так и в режиме с модулированной добротностью ($\tau_r \sim 30$ нс). В каналах усилителя и задающего генератора одновременно контролировались энергия, ширина спектра и расходимость излучения. Для измерения спектров использовались интерферометр Фабри—Перо и спектрограф ИСП-51 с камерой УФ-90.

Расстояние между торцом усилителя и задающим ОКГ составляло около 130 мм. Входной сигнал был перпендикулярен к плоскости торца ОКУ. Самовозбуждение в

резонаторе, образованном входным торцом усилителя и выходным зеркалом задающего генератора 2 (рис. 1), устранялось помещением вблизи 2 диафрагмы Д.

Коэффициенты $G=6\div 8$ наблюдались в случае 2. При поперечных размерах луча в случае 1 были достигнуты небольшие коэффициенты усиления $G\sim 1,5-1,8$. Это объясняется тем, что значительная часть расходящегося входного сигнала по мере прохождения большой длины в активном элементе ОКУ выводится через боковые грани

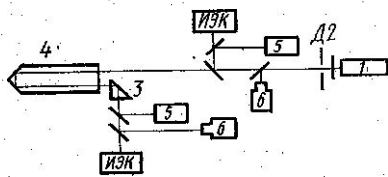


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 — задающий ОКГ, 2 — выходное зеркало задающего ОКГ, 3 — призма, 4 — активный элемент ОКУ, 5 — спектрограф, 6 — электронно-оптический преобразователь, ИЭК — калориметрический измеритель энергии, Д — диафрагма

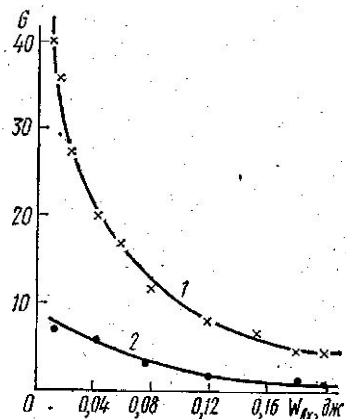


Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления ОКУ от величины входного сигнала. 1 — входной сигнал коллимирован (диаметр диафрагмы 1 мм); 2 — входной сигнал неколлимирован

многогранника. Измерения распределения интенсивности входного и выходного сигнала, однако, показывают, что имеет место усиление центральной части пятна в 3—4 раза с одновременным ослаблением его периферийных участков. Расходимость входного сигнала в этом случае уменьшается в 4—5 раз.

На рис. 2 приведены экспериментальные кривые зависимости коэффициента усиления G (по энергии) от энергии входного сигнала ($\tau_r \sim 30$ нс) для случаев 1 и 3. Видно, что для исследованного типа ОКУ коэффициент усиления G находится в сильной зависимости от степени угловой расходимости в оного луча.

Практически интересно то, что происходит селективное усиление расходящегося входного сигнала, т. е. хорошее усиление получают моды, распространяющиеся вблизи расчетной оси ОКУ, а моды, распространяющиеся под углами, большими, чем $A\rho^2$ ($N-1$, покидают активный элемент ОКУ, где A — апертура ОКУ, L — эффективная длина ОКУ, N — число сторон правильного многогранника, ρ — число этажей [2]. Ширина спектра генерации входного сигнала сужается в 3—5 раз (рис. 3).

В этих двух случаях использование ОКУ с многогранным элементом весьма эффективно, если необходимо сохранить и усилить только моды, распространяющиеся под углом, немного меньшим, чем τ_r/L рад. Плотность мощности с учетом усиления входного сигнала и селекции по углам возрастает почти на два порядка.

В случае 3 входной сигнал коллимирован, энергетических потерь за счет выхода некоторой части усиленного луча через боковые стороны многогранника нет. При этом получен достаточно большой коэффициент усиления ~ 38 при выходном сигнале $\sim 0,018$ Дж. Изменения спектрального состава и поперечных размеров входного сигнала не наблюдалось.

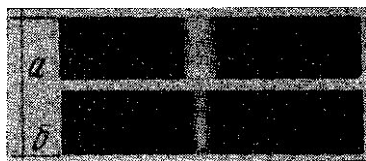


Рис. 3. Ширина спектра сигналов: a — входного, b — усиленного

Экспериментальные результаты по усилению коротких импульсов (~ 30 нс) практически не отличаются от приведенных выше результатов для режима свободной генерации. Максимальный коэффициент усиления был равен 42 при входном сигнале $\sim 0,015$ Дж.

Таким образом, ОКУ с многогранным элементом обладает селективирующим усилением расходящегося входного сигнала, сужает его спектр и уменьшает расходимость. Подобный ОКУ эффективно работает тогда, когда возникает необходимость усилить параксиальный лазерный пучок. Для коллимированного входного сигнала можно достичь значительных коэффициентов усиления.

В заключение отметим некоторые трудности работы с исследованным ОКУ: Большие коэффициенты усиления можно получить только при довольно строгом подходе луча задающего генератора по расчетной траектории в многогранном элементе. При смещении входа излучения даже от вертикальной осевой линии торца ОКУ наблюдается снижение G и значительная деформация поперечного размера луча, задающего ОКГ. Для получения коэффициентов усиления, больших 45, по-видимому, необходимо изготовить торец многогранного элемента, срезанный под углом Брюстера, так как уже при $G \sim 45$ наблюдается сильная люминесценция, срывающая усиленный процесс.

Авторы благодарны Р. В. Хохлову за постоянный интерес к работе, помощь и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванюков М. П., Исаенко В. И. и др. — В сб.: «Квантовая электроника», под ред. Басова, № 1, 1971, с. 35.
2. Каменский Е. И., Козлов В. В. — Сб.: «Квантовая электроника», под ред. Н. Г. Басова, № 4, 1971, с. 77.
3. Козлов В. В. — В сб.: «Квантовая электроника», под ред. Н. Г. Басова, № 2, 1972, с. 30.

Поступила в редакцию
4.7 1973 г.

Кафедра
волновых процессов

УДК 539.566 : 621.372.413

Ф. А. КОРОЛЕВ, В. Г. БОГОМОЛОВ, Р. М. ИСЛАМОВ, В. В. ЛЕОНТЬЕВ,
А. М. ХАПАЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТВЕРСТИЯ В ЗЕРКАЛЕ НА СВОЙСТВА ПОЛУСФЕРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА ФАБРИ — ПЕРО

Открытые резонаторы с плоскими и сферическими сплошными зеркалами подробно исследованы экспериментально [1, 2, 3]. Потери на центральных отверстиях в зеркалах рассчитывались численными методами, например, в работах [4, 5]. Открытый резонатор с центральными отверстиями и с частично прозрачным зеркалом для вывода энергии [6] использовался как резонансная система МЦР-генератора [7].

Возбуждение резонатора проводилось на длине волны $\lambda = 4$ мм через отверстие связи диаметром 0,2 мм в центре плоского зеркала. Для вывода энергии из резонатора и регистрации ее с помощью рупора на металлическом покрытии сферического зеркала делались прямые параллельные прозрачные риски с периодом 2 мм и шириной риски 0,2 мм. Измерения велись на установке, описанной в работе [8].

Спектр колебаний в резонаторе без отверстия представлен на рис. 1, а. Горизонтальная развертка соответствует изменению расстояния L между зеркалами от 16,6 до 26,6 мм. Возбуждаются колебания TEM_{00q} , как видно из рис. 1, б (распределение поля по радиусу, $2R = 20$ мм) и рис. 1, в (распределение поля по оси, $L = 20$ мм).

Величина нагруженной добротности Q_n в зависимости от q представлена в таблице и в пределах ошибок подчиняется соотношению

$$Q_n = qQ_{n1}, \quad (1)$$

где Q_{n1} — добротность при $q=1$.