

## УСИЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕДИ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ

К.И. Земсков, М.А. Казарян, С.Ф. Люксютов\*, С.Г. Одулов\*,  
Н.Г. Орлова, Г.Г. Петраш, М.С. Соскин\*

*Впервые реализована двухпучковая динамическая запись голографических решеток пропускающего типа в фоторефрактивном кристалле с диффузной нелинейностью излучением лазера на парах меди. Получено пятнадцатикратное усиление сигнального пучка мощностью  $10^{-6}$  Вт при голографической записи в кристалле натрия-бариевого ниобата (НБН).*

Активная среда лазера на парах меди (ЛПМ) обеспечивает, по-видимому, наибольшее однопроходное усиление сигнала видимого диапазона спектра в  $10^3 - 10^4$  раз, что определяет необычайно широкий спектр ее применений, прежде всего как усилителя яркости изображений /1/. В то же время, использование ЛПМ для записи голограмм /2/ сопряжено с определенными трудностями из-за ограниченной пространственной когерентности излучения. В данной работе сообщается о первой реализации двухпучковой динамической записи объемных голографических решеток пропускающего типа в фоторефрактивном материале НБН излучением ЛПМ. Было получено более чем десятикратное усиление слабого сигнального пучка, несущего оптическую информацию, при прямом двухпучковом взаимодействии с когерентным ему сильным опорным пучком.

Кристалл НБН, используемый в эксперименте, является фоторефрактивным материалом (ФРК) с нелокальным откликом диффузного типа, что обеспечивает сдвиг на четверть периода решетки показателя преломления среды относительно интерференционного поля. На возможность применения НБН для задач динамической голографии указано в работе /3/. ФРК с нелокальным откликом ( $\text{BaTiO}_3$ , стронций-бариевый ниобат, /4/, а также НБН) для усиления слабых сигналов, несущих информацию об изображении, предпочтительнее чем ФРК с локальным откликом ( $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  и др.), так как в средах с локальным откликом в результате самовоздействия пересекающихся пучков возникают сильные крупномасштабные искажения волновых фронтов /5/.

При использовании излучения ЛПМ с обычным плоским резонатором получать решетки в НБН не удавалось. Для получения расходящейся, более близкой к дифракционной, и улучшения пространственной когерентности излучения применены неустойчивые резонаторы телескопического типа /6/ с коэффициентами увеличения  $M_1$  и  $M_2 = f_1/|f_2|$  равными 166 и 100 для активных элементов соответственно длиной 70 и 45 см.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Здесь 1 и 2 — сферические зеркала, образующие неустойчивый резонатор; зеркало 2 расположено на расстоянии  $f_1 - |f_2|$  от зеркала 1. Для резонатора с  $M_1 = 166$  использовались зеркала с фокусными расстояниями  $f_1 = 250$  см и  $f_2 = -1,5$  см; для резонатора с  $M_2 = 100$  — зеркала с фокусными расстояниями  $f_1 = 100$  см и  $f_2 = -1$  см. Излучение из резонатора выводилось наклонно расположенным зеркалом 3, причем из всего пучка диафрагмой 6 вырезалась только часть диаметром 0,3 см. Диспергирующая призма 7 использовалась для выделения из генерационного пучка зеленой линии излучения с  $\lambda = 0,51$  мкм. Система из трех зеркал 9, 10, 11 и светоделительной пластинки 8 использовалась для того, чтобы обеспечить необходимое наложение сигнального и опорного пучков при взаимодействии в ФРК 16. Пучки сводились в кристалле в плоскости, содержащей ось С кристалла так, чтобы волновой вектор записываемой решетки  $k$  был приблизительно параллелен этой оси. Для подбора необходимой поляризации использовались призмы Глана 12, 13. 4 — активный элемент ЛПМ, работающий

\* Институт физики АН УССР.

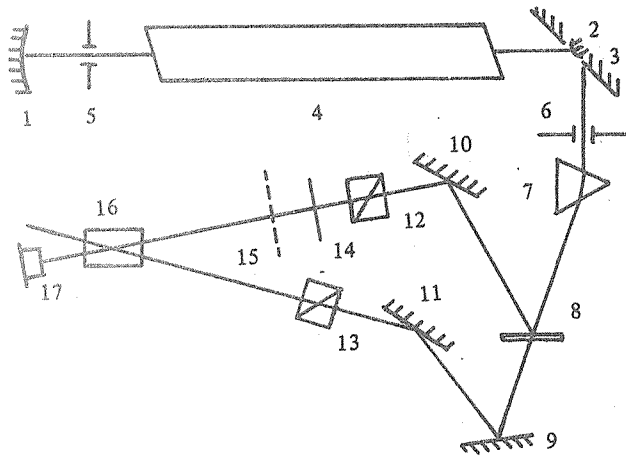
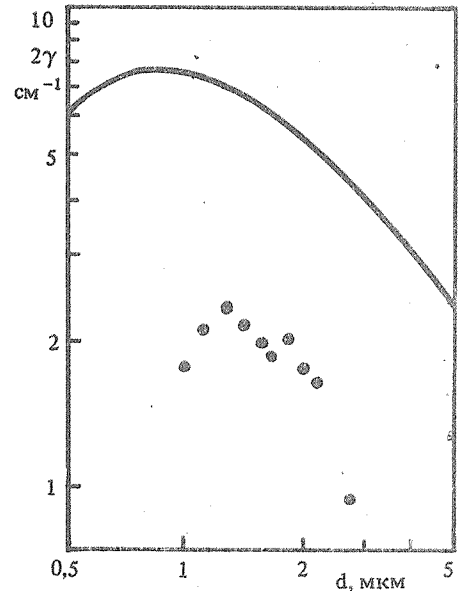


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Рис. 2. График зависимости коэффициента усиления  $2\gamma$  от периода  $d$  записываемой в ФРК решетки; эксперимент — точки, теория — сплошная линия.



в режиме саморазогрева. Длительность импульсов излучения составляла  $\sim 20$  нс, частота их повторения 11 кГц. Средняя мощность генерации составляла 0,5 – 0,8 Вт при пиковой мощности несколько кВт. Для ослабления сигнального пучка использовался набор фильтров 14. ФРК 16 имел размеры  $0,4 \times 0,4 \times 1,0$  см<sup>3</sup> и был предварительно монодоменизирован. Интенсивность падающего на ФРК и проходящего сигнального пучка регистрировалась при помощи фотодиода 17.

При использовании резонатора с  $M_1 = 166$  сначала не удавалось получить удовлетворительные значения амплитудного коэффициента усиления  $\gamma$ . Однако было замечено, что уменьшение диаметра диафрагмы, помещенной перед зеркалом 1, приводит к увеличению коэффициента усиления, что, возможно, связано с улучшением пространственной когерентности выходного лазерного излучения. Проведенные измерения расходимости излучения показали, что с уменьшением диафрагмы 5 до 0,3 см расходимость достигала значения  $\sim 0,7$  мрад. Замена данного резонатора на резонатор с длиной активного элемента 45 см и  $M_2 = 100$  обеспечивала  $\gamma > 1$  см<sup>-1</sup> без внесения диафрагмы 5 в резонатор. В этом случае сканирование внешней диафрагмой 6 с размером, соответствующим поперечному сечению ФРК, сечения пучка практически не приводило к снижению коэффициента усиления  $\gamma$ .

Излучение ЛПМ с неустойчивым телескопическим резонатором позволяло получить голографическую запись и осуществить голографическое усиление приблизительно в 15 раз сигнального пучка, исходная мощность которого  $W = 10^{-6}$  Вт составляла  $10^{-3}$  от интенсивности опорного пучка. Экспериментальная зависимость коэффициента усиления  $2\gamma = \ln [I_0(l)/I_a(0)]/l$  (где  $l$  — толщина образца,  $I_a(0)$ ,  $I_a(l)$  — интенсивности падающего и прошедшего через ФРК сигнального пучка) от периода записываемой решетки  $d$  показана на рис. 2 (точками). Качественно эта зависимость подобна предсказываемой теорией [7] зависимости, показанной на рис. 2 сплошной линией и рассчитанной на основе соотношения

$$2\gamma = \frac{2\pi^2 r_{33} n_e^4 kT}{\lambda^2 e} \left[ 1 + \left( \frac{l_t}{d} \right)^2 \right]^{-1} \left[ 1 + \frac{r_{13} n_0^2}{r_{33} n_e^2} \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2} \right] \sin 2\theta,$$

где  $r_{13} = 15 \cdot 10^{-10}$  см/В и  $r_{33} = 48 \cdot 10^{-10}$  см/В — компоненты тензора линейного электрооптического эффекта,  $k$  — постоянная Больцмана,  $\lambda$  — длина волны,  $\theta$  — угол схождения между пучками в ФРК,  $e$  — заряд электрона,  $n_{o,e}$  — показатели преломления для обыкновенной и необыкновенной волн (для данного случая  $n_o = 2,398$ ,  $n_e = 2,273$ ),  $l_t = 0,7$  мкм — диффузная длина увлечения фотовозбужденных носителей.

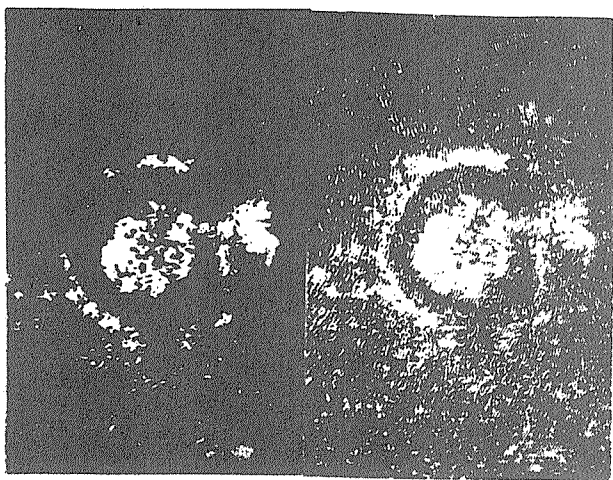


Рис. 3. а) Исходное изображение транспаранта в пучке света, проходящем через ФРК при перекрытом опорном пучке. б) Десятикратно усиленное изображение транспаранта при открытом опорном пучке.

Количественное расхождение частично может быть связано с потерями за счет рассеяния и поглощения в образце, а также с неполным наложением пучков в кристалле, ограничивающим эффективную длину взаимодействия. Следует отметить, что наибольшая достигнутая кратность усиления прошедшего сигнального пучка (отношение интенсивности прошедшего сквозь кристалл пучка в присутствии пучка накачки к его интенсивности без накачки) составила 40 при периоде решетки  $\sim 1$  мкм.

Для передачи и усиления изображения транспарант 15 помещался в сигнальный пучок на расстоянии 3 см от ФРК; полученные при прохождении через ФРК неусиленное и десятикратно усиленное изображения транспаранта представлены на рис. 3а и 3б. Видно, что одновременно с усилением изображения ухудшается соотношение сигнал/шум из-за сильного светоиндуцируемого рассеяния опорного пучка.

Был также проведен эксперимент, в котором неустойчивый резонатор заменялся резонатором с одним плоским и другим самостартующим нелинейным зеркалом на кристалле  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}/8/$ . В этом случае также удавалось получить голографическое усиление в кристалле НБН с  $\gamma > 1,0 \text{ см}^{-1}$ , что при длине ФРК 1 см может представить интерес для реализации некоторых схем самонакачивающихся обращающих зеркал.

Авторы благодарны В.Ю. Баженову и М.В. Васнецову за помощь, оказанную в ходе выполнения работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Земсков К. И. и др. Квантовая электроника, 3, 35 (1976).
2. Земсков К. И. и др. Квантовая электроника, 5, 425 (1978).
3. Одулов С. Г., Олейник О. И. ФТТ, 27, 3470 (1985).
4. Tshudi T. et al. IEEE Journal of Quantum Electr., QE-22, 1493 (1986).
5. Винецкий В. Л. и др. УФН, 120, 113 (1979).
6. Земсков К. И. и др. Квантовая электроника, 1, 863 (1974).
7. Kukhtarev N. et al. Ferroelectrics, 22, 949 (1979).
8. Литвиненко А. Я., Одулов С. Г. Украинский физический журнал, 28, 1427 (1983).

Поступила в редакцию 27 ноября 1987 г.