

СОХРАНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ СТОКСОВЫХ ПУЧКОВ ПРИ ИХ УСИЛЕНИИ В ПОЛЕ МНОГОМОДОВОЙ НАКАЧКИ

А.А.Бетин, Г.А.Пасманик

На примере мандельштам-бриллюэновского преобразователя показана принципиальная возможность эффективной перекачки многомодового оптического излучения в одномодовую стоксову волну и выяснены условия, при которых такая перекачка может быть осуществима. Подобный эффект сохранения пространственной когерентности наблюдался также при усилении стоксовых пучков более сложного профиля в поле сильно неоднородной накачки.

1. В настоящее время считается установленным, что спектральная яркость пространственно неоднородного (многомодового) оптического излучения может быть существенно повышена при его преобразовании в стоксову компоненту за счет вынужденного комбинационного [1] или мандельштам-бриллюэновского [2] рассеяния в оптическом резонаторе. Однако, использование ВР в резонаторе для значительного увеличения спектральной яркости световых пучков и, в конечном счете, преобразования их излучения в одномодовое существенно затруднено предъявляемыми для этого требованиями, связанными, главным образом, с надежной селекцией продольных и поперечных мод комбинационного генератора, а также сильным ограничением возможностей для формирования достаточно коротких стоксовых импульсов [2, 3].

В то же время перечисленные затруднения могут быть легко сняты при использовании для указанной цели комбинационных усилителей с многомодовой накачкой при условии сохранения пространственной когерентности усиливаемой волны. Однако, в такой постановке вопрос об усилении одномодового сигнала как в комбинационных, так и в параметрических усилителях экспериментально не исследовался. В настоящей работе впервые на примере мандельштам-бриллюэновского усилителя показана принципиальная возможность перекачки многомодового (пространственно некогерентного) оптического излучения в когерентную стоксову волну и выяснены условия, при которых такая перекачка может быть осуществима.

2. Теоретический анализ показал [4], что для сохранения пространственной когерентности сигнала требуется эффективное усреднение стоксовой волной неоднородностей коэффициента усиления, необходимого некогерентной накачкой; при этом параметры возбуждающего излучения должны удовлетворять условию

$$\gamma = \int_0^L \Gamma^2 z_K dz \ll 1, \quad (1)$$

где $\Gamma = g l_L$ — инкремент на единицу длины, l_L — интенсивность накачки на оси пучка, L — длина взаимодействия, $z_K = k \rho_L^2$ — длина продольной корреляции возбуждающего излучения, ρ_L — характерный масштаб поперечной корреляции поля накачки. При $\gamma \gg 1$ режим усреднения не реализуется и пространственная когерентность сигнала при усилении не сохраняется.

3. Экспериментальное исследование эффекта преобразования некогерентного излучения в одномодовую мандельштам-бриллюэновскую компоненту (см. рис. 1) проводилось в кювете с ацетоном 3 ($L = 30$ см),

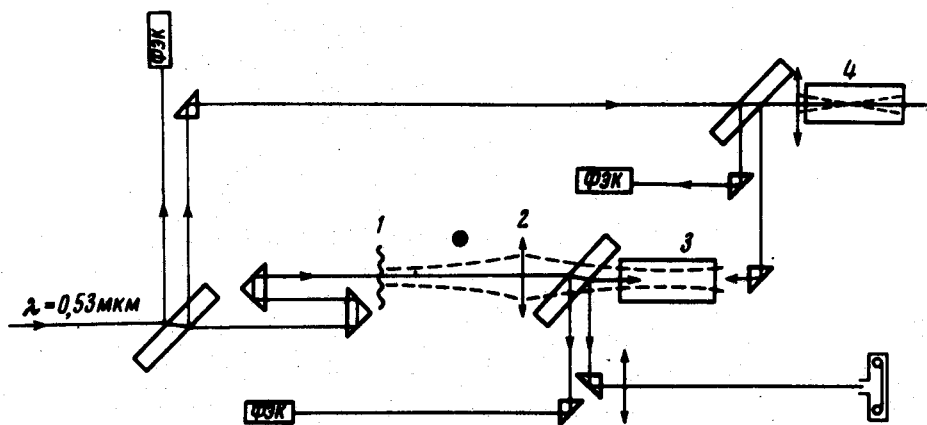


Рис. 1. Блок-схема установки

в которую одновременно с разных сторон запускались импульс 2-й гармоники неодимового лазера ($\lambda = 0,53$ мкм, длительность $t_L = 25$ нсек, радиус пучка $r_L = 0,1$ см, энергия до $0,25$ дж) и стоксовый импульс ($t_s = 25$ нсек, $r_s = 0,1$ см), ослабленный относительно накачки примерно в 85 раз. Расходимость луча накачки $\theta_L = 1/k\rho_L$ изменялась с помощью помещенных на его пути стеклянных пластинок 1, травленных в плавиковой кислоте. Источником пространственно когерентного стоксова излучения, имеющего расходимость, близкую к дифракционной ($\theta_s = 1,3 \cdot 10^{-4}$ рад), в наших экспериментах являлось ВРМБ, возбуждаемое в дополнительной кювете 4 одномодовым сфокусированным пучком, ответвленным от основного луча накачки.

Режим усреднения исследовался с накачкой, имеющей расходимость $\theta_L = 1,4 \cdot 10^{-2}$ рад, изображение которой с поверхности пластинки переносилось в кювету с помощью длиннофокусной линзы 2; при этом значение параметра γ не превышало 0,2. Регистрировался угловой спектр уси-

ленного излучения, его полная мощность и доля мощности, приходящаяся на малый телесный угол порядка дифракционного (мощность когерентной части сигнала). Из результатов фотометрирования углового спектра стоксовой волны без усиления и при значительном усилении в режиме насыщения, когда пиковая мощность стоксовой компоненты достигала 75% пиковой мощности исходного импульса второй гармоники (при этом усиленный импульс был не более, чем на 15% короче импульса накачки), следует, что ширина спектра стоксова сигнала (по уровню 0,5) почти не изменяется в процессе усиления и равна $\theta_s \approx 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$.

Для проверки того, вся ли доля энергии усиленного пучка содержится в угле $\sim \theta_s$, в дальней зоне регистрировалась мощность стоксовой волны, сосредоточенная в пределах угла $\sim 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$. Оказалось, что внутри этого угла содержится не менее 80% полной мощности стоксовой волны. Сопоставляя эти данные с результатами фотометрирования пространственного спектра, можно утверждать, что в наших экспериментах пиковая мощность когерентной части волны достигала 60% пиковой мощности накачки (увеличение спектральной яркости $\sim 6 \cdot 10^3$).

При исследовании режима неусреднения пучок накачки имел расходимость $\theta_L \approx 7 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$; при этом параметр γ составлял величину 10 – 20. Измерения показали, что в этом случае коэффициент преобразования в стоксову компоненту может быть также высоким, однако, пространственная когерентность усиленного сигнала не сохраняется и его расходимость примерно совпадает с расходимостью накачки.



Рис. 2

4. В заключение заметим, что нами также исследовалось усиление пучка, несущего определенное изображение. В случае $\gamma \ll 1$ ($\theta_L \approx 1,4 \times 10^{-2} \text{ рад}$) спектр модулированного стоксова пучка почти не искажался (см. рис. 2, а, где приведена фотография углового спектра усиленного пучка, предварительно промодулированного крупномасштабной ($\rho_s \approx 0,15 \text{ мм}$) шестигранной сеточкой). Наоборот, при $\gamma > 1$ ($\theta_L \approx 7 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$) изображение сеточки в спектре пучка практически неразличимо (рис. 2, б). Интересно отметить, что при той же расходимости накачки с уменьшением масштаба модуляции затравочного луча соответствующее изображение в спектре усиленного пучка становится различимым (см. рис. 3, где приведена фотография спектра усиленной волны, промодулирован-



Рис. 3

ной прямоугольной сеточкой с размером проволоки $\rho_s \approx 25 \text{ мкм}$, существенно меньшим радиуса корреляции $\rho_L \approx 150 \text{ мкм}$). Отмеченный эффект связан с тем, что для спектральных компонент, распространяющихся под углами $\theta > \theta_L$, условия усреднения становятся более мягкими (длина корреляции z_K заменяется на ρ_L / θ) [4].

Авторы признательны В.И.Беспалову и В.И.Таланову за внимание к работе и обсуждение результатов.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
14 апреля 1976 г.

Литература

- [1] P.V. Avizonis, A.H. Guenther. Appl. Phys. Lett., 9, 309, 1966; А.З.Грасюк, В.Ф.Ефимков, И.Г.Зубарев, В.И.Мишин, В.Г.Смирнов. Письма в ЖЭТФ, 8, 474, 1968.
- [2] А.З.Грасюк, В.И.Поповичев, В.В.Рагульский, Ф.С.Файзуллоев. Сб. Квантовая электроника, № 1, 70, 1971; В.И.Ковалев, В.И.Поповичев, В.В.Рагульский, Ф.С.Файзуллоев. Письма в ЖЭТФ, 14, 503, 1971.
- [3] А.З.Грасюк. Сб. "Лазеры и их применение", Труды ФИАН СССР, М.изд. Наука, 76, 75, 1974.
- [4] А.А.Бетин, Г.А.Пасманик, Г.И.Фрейдман. Тезисы докладов, предст. на VII Всесоюзную конференцию по когерентной и нелинейной оптике, изд. МГУ, 1974, стр. 188.