

СЕЛЕКТИВНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НЕОДНОРОДНОУШИРЕННЫХ ФОНОННЫХ РЕЗОНАНСОВ В РАЗУПОРЯДОЧЕННОЙ СРЕДЕ

*Т.Т.Басиев, Е.М.Дианов, Э.А.Захидов, А.Я.Карасик,
С.Б.Миров, А.М.Прохоров*

Приведены результаты экспериментального исследования обзорных спектров антистоксова и стоксова рассеяния в стеклянных волоконных световодах (СВС) при бигармонической монохроматической накачке, позволившие создать узкополосный субнаносекундный источник перестраиваемого излучения в стоксовой и антистоксовой относительно накачки областях спектра. Обсуждается схема селективного ВКР усиления, позволившая впервые измерить величину однородного уширения ($\sim 16 \text{ см}^{-1}$) неоднородноуширенного фононного колебания ($\nu \approx 460 \text{ см}^{-1}$) в стеклообразном SiO_2 .

Объекты исследования: одномодовые и маломодовые СВС на основе $\text{SiO}_2 + 3 \text{ вес. \% GeO}_2$, обладающие протяженным неоднородноуширенным колебательным спектром \sim до 1300 см^{-1} (рис. 2). Достоинства СВС: высокая плотность оптического излучения при неограниченной длине объекта исследования и возможность реализации межмодового фазового синхронизма (МФС) на больших длинах взаимодействия^{2,3}. Источник бигармонической накачки (рис.1): импульсно-периодические $\text{YAG} : \text{Nd}^{3+}$ -лазер ($\lambda_1 = 1,0642 \text{ мкм}$) и $\text{LiF} : \text{F}_2^-$ кристаллический

перестраиваемый лазер ($\lambda_2 = 1,09 \div 1,23$ мкм, $\Delta\nu < 1$ см⁻¹)⁴. Схему визуальной и фотоэлектрической регистрации спектров рассеяния поясняет рис.1. (Спектральная ширина щели монохроматора ≤ 1 см⁻¹). На рис. 2, а представлен обзорный спектр рассеяния при бигармонической накачке ($\nu_1; \nu_2 = \text{const}$) маломодового СВС длиной ~ 3 м. Наличие интенсивной антистоксовой компоненты с частотой $\nu_a = 2\nu_1 - \nu_2$ и малой шириной спектра ($< 1,5$ см⁻¹) обусловлено выбором условий МФС $K_a = 2K_1 - K_2$ при избирательном возбуждении двух световодных мод (LP_{01} и LP_{11}), имеющих разные постоянные распространения. Здесь волна накачки ν_1 распространяется в обеих LP_{01} и LP_{11} модах, в то время как волна ν_2 и антистоксова волна распространяются раздельно соответственно в моде с меньшей (LP_{11}) и большей (LP_{01}) фазовой постоянной³. В таком режиме удалось получить эффективный МФС для всех трех волн на длине СВС до 30 м при непрерывной перестройке $\nu_a - \nu_1 = \nu_1 - \nu_2$ от 390 до 650 см⁻¹ ($\lambda_a = 1,0218 \div 0,9954$ мкм). Наряду с описанным излучением КАРС в спектре рассеяния (рис. 2, а) присутствует интенсивная стоксовая узкополосная компонента¹⁾ с частотой $\nu_c = 2\nu_2 - \nu_1$, которая в отличие от процесса КАРС наблюдается и в одномодовом СВС. Высокая эффективность данного преобразования не может быть обусловлена выполнением условия МФС³ и может трактоваться либо как обычное ВКР усиление селективного стоксова рассеяния, либо как усиление неселективного КР на селективно возбужденных фоновых модах $\nu_\phi = \nu_1 - \nu_2$ (селективное ВКР усиление). Наличие протяженного колебательного спектра кварца позволило нам, меняя ν_2 , получить плавную перестройку частоты стоксовой компоненты ν_c от 1,116 до 1,221 мкм (ИК предел системы фоторегистрации), которая легко может быть расширена за 1,3 мкм в область аномальной материальной дисперсии SiO₂. На рис.3 а, б представлены осциллограммы импульсов накачки на входе СВС. Оба импульса имеют характерную пиковую структуру, а импульс излучения ν_2 задержан \sim на 10 нс относительно импульса ν_1 . Момент появления импульса ν_c (рис.3, в) определяется перекрытием импульсов накачки и в ряде режимов представляет один пикочек с длительностью $< 0,7$ нс (рис. 3, г) (разрешение схемы регистрации). Подобный вид имеет осциллограмма антистоксова рассеяния. Таким образом, применение бигармонической накачки маломодовых и одномодовых СВС позволило создать плавноперестраиваемый узкополосный субнаносекундный источник света в антистоксовой и стоксовой относительно накачки областях спектра.

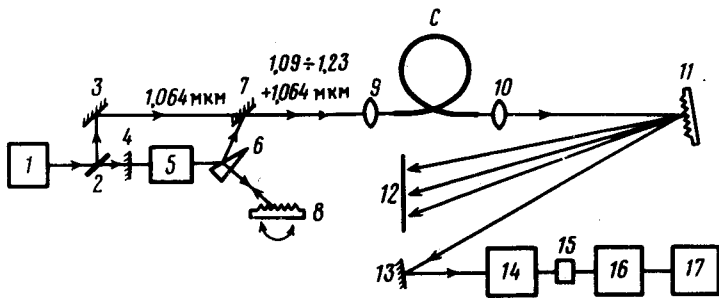


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер на YAG : Nd³⁺ ЛТИПЧ-8; 2 – светоделительная пластинка; 3, 13 – 100 %-ые, 4, 7 – полупрозрачные зеркала, 5 – кристалл LiF : F₂ ; 6 – расширяющая призма; 8, 11 – дифракционные решетки; 9, 10 – линзы; C – световод; 12 – экран, 14 – МДР-23, 15 – ФЭУ-28; 16 – интегратор PAR-162; 17 – самописец

1) Энергия стоксовой волны E_c , измеренная пиродетектором (Molelectron J3 – 05) доходила до 38 % от энергии $E_1 \approx E_2$.

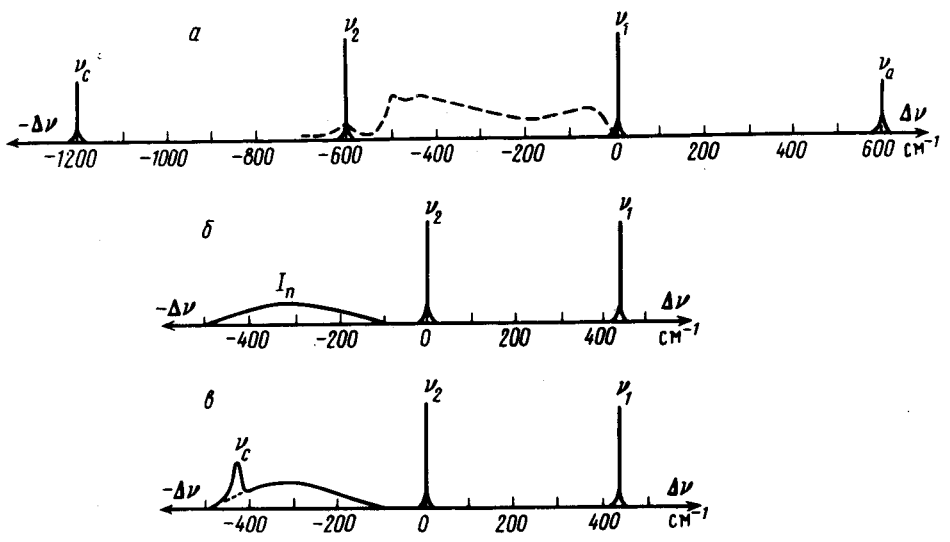


Рис.2. Спектры лазерной накачки и рассеяния на выходе маломодового СВС (пунктирной линией показан спектр КР плавленого кварца)

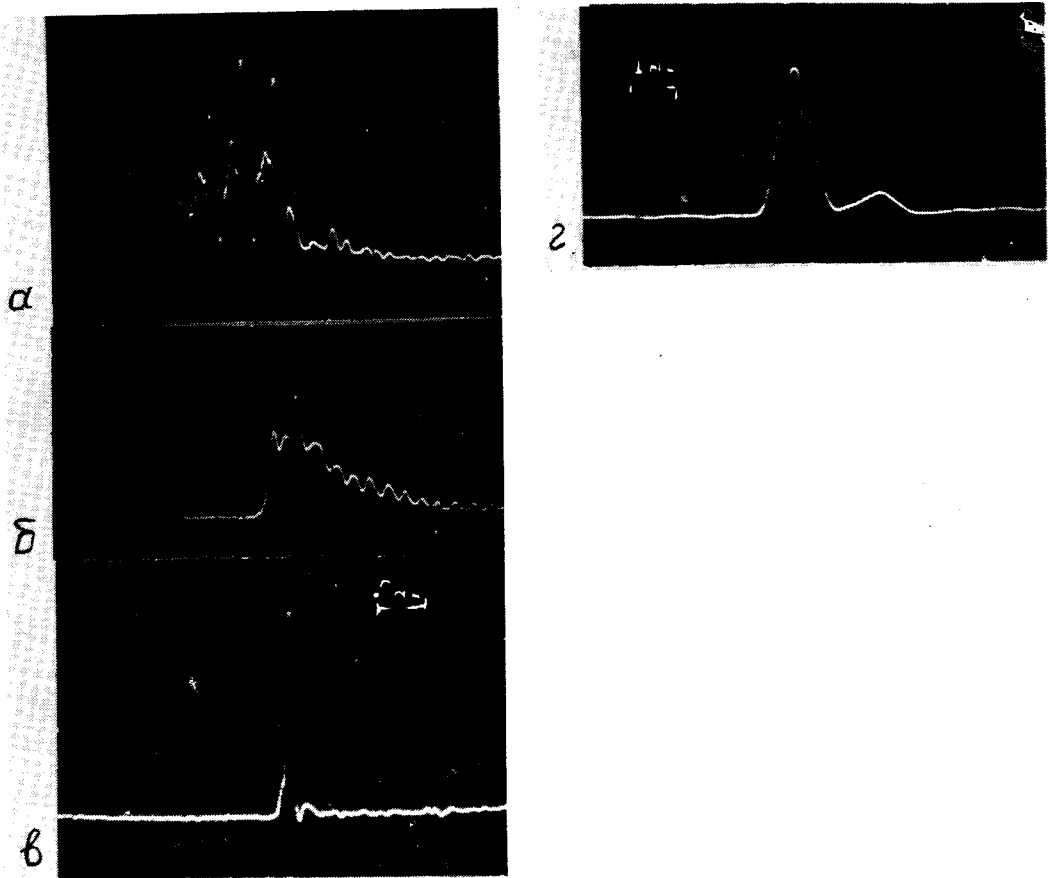


Рис.3. Осциллограммы излучения YAG : Nd³⁺ (а), LiF : F₂⁻ (б) лазеров, ВКР усиления (в, г) (Тектроник 7104, Ge лавинный фотодиод)

Предположив, что узкая ширина линии ν_c ($< 2 \text{ см}^{-1}$) является следствием искажения однородноуширенного контура фоонного резонанса при больших коэффициентах селективного ВКР усиления $\alpha(\nu) \gg 1$ слабого спонтанного рассеяния (большие значения I_1, I_2), мы для реализации режима $\alpha(\nu) < 3^5$ в СВС длиной ~ 2 м наряду с излучением на частотах ν_1, ν_2 вводили широкополосный пробный сигнал $I_{\text{п}} \ll I_1, I_2$ (рис. 2, б), получаемый при генерации на гранях кристалла $\text{LiF} : \text{F}_2^-$ (рис. 1). Это позволило на выходе СВС на фоне неселективно усиленного широкополосного пробного сигнала наблюдать узкую компоненту селективного ВКР усиления $I_{\text{п}}(\nu)$ (рис. 2, в), которая по форме, по-видимому, соответствует однородному уширению ($\delta \nu \approx 16 \text{ см}^{-1}$) неоднородного фоонного резонанса ($\text{с } \nu \approx 460 \text{ см}^{-1}$), возбужденного бигармоническим полем. С ростом $\alpha(\nu)$ (увеличение I_1, I_2) наблюдалось характерное сужение узкой компоненты, что подтверждает реализацию режима селективного ВКР усиления и указывает на отсутствие режима насыщения, также приводящего к уширению спектров как стоксова, так и антистоксова рассеяния.

Отметим, что по аналогии с линейной спектроскопией селективного лазерного возбуждения неоднородных резонансов ^{6,7} применение в нелинейной спектроскопии разупорядоченных сред бигармонического селективного возбуждения может позволить при измерении обзорных спектров когерентного и некогерентного рассеяния (в стоксовой и антистоксовой областях) более детально исследовать структуру неоднородноуширенных спектров: выявить однородное уширение, частоты и взаимосвязь отдельных колебаний, скорости и каналы релаксации возбуждений в среде.

Авторы благодарны А.Н.Гурьянову и Д.Д.Гусовскому за изготовление СВС.

Литература

1. Walrafen G.E., Krishnan P.N. Appl. Opt., 1982, 21, 359.
2. Stolen R.H., Bjorkholm J.E., Ashkin A. Appl. Phys. Lett., 1974, 24, 308.
3. Дианов Е.М., Захидов Э.А., Карасик А.Я., Мамышев П.В., Прохоров А.М. Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 40; ЖЭТФ. 1982, 83, 39.
4. Басиев Т.Т., Воронько Ю.К., Миров С.Б., Осико В.В., Прохоров А.М., Соскин М.С., Тараненко В.Б. Квантовая электроника, 1982, 9, 1741.
5. Бломберген Н. „Нелинейная оптика“, М.: Мир, 1969.
6. Басиев Т.Т., Воронько Ю.К., Прохоров А.М. „Спектроскопия кристаллов“, М.: Наука, 1978, стр. 83.
7. Басиев Т.Т., Воронько Ю.К., Карасик А.Я., Осико В.В., Щербakov И.А. ЖЭТФ, 1978, 75, 67.