

ВЫНУЖДЕННОЕ РАССЕЯНИЕ МАНДЕЛЬШТАМА – БРИЛЛЮЭНА В МНОГОМОДОВОМ СТЕКЛЯННОМ ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ

Т.Т.Басиев, Е.М.Дианов, А.Я.Карасик,
А.В.Лучников, С.Б.Миров, А.М.Прохоров

Впервые в многомодовом стеклянном волоконном световоде (СВС) наблюдалось вынужденное рассеяние Манделъштата – Бриллюэна (ВРМБ). Малая расходимость излучения ВРМБ и однородность его поля связывается с обращением волнового фронта поля лазерной накачки.

СВС с малыми оптическими потерями и диаметром световедущей сердцевины d_c порядка нескольких десятков мкм позволили резко снизить мощность накачки при наблюдении таких нелинейных процессов как ВКР, эффект Керра, фазовая модуляция (см. обзор ¹), четырехфотонные процессы ². До сих пор ВРМБ исследовалось только в одномодовых СВС с $d_c = 2,5 \div 4$ мкм при накачке одночастотными газовыми лазерами ^{3, 4}. Это связано с узкой линией усиления ВРМБ, составляющей несколько десятков МГц, а именно с тем фактом, что при широкополосной накачке эффективность процесса падает.

В данной работе, в качестве источника накачки использовался твердотельный лазер на гранате с неодимом при непрерывной накачке, работающий в режиме пассивной модуляции добротности, которая осуществлялась с помощью кристалла LiF с центрами окраски, помещенного в резонатор ⁵. Режим автомодуляции добротности осуществлялся путем просветления F_2^- центров окраски в LiF, причем в зависимости от начального пропускания затвора (75 ÷ 90%) генерация достигалась в импульсно-периодическом режиме с $\tau_{\text{и}}$ от 100 до 300 нс и $f_{\text{и}}$ от 1 до 5 кГц. Генерация на $\lambda = 1,064$ мкм осуществлялась в режиме одной поперечной моды TEM_{00} для двух продольных типов колебаний с расстоянием между ними $c/2L \approx \approx 280$ МГц. При этом мощность в импульсе достигала 1,5 кВт и излучение было линейно поляризовано. Исследования проводились на многомодовом СВС с кварцевой сердцевиной $d_c \approx 30$ мкм и ступенчатым профилем показателя преломления длиной 80 м. Измеренная числовая апертура СВС равнялась 0,15. Потери на $\lambda = 1,064$ мкм составляют 7 дБ/км.

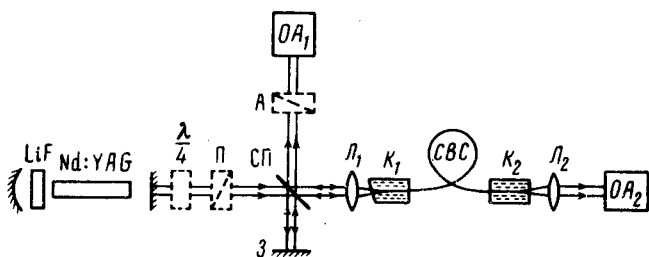


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Схема установки показана на рис. 1. Излучение от лазера с помощью линзы L_1 ($F = 1$ см) вводилось в СВС (апертура возбуждающего излучения $\approx 0,07$). Во избежание паразитных отражений концы световода были помещены в кюветы (K_1, K_2) с глицерином. Для регистрации обратного рассеяния и накачки использовались светоделительная пластина (СП) и зеркало (З). Исследуемые оптические сигналы попадали в оптический анализатор (ОА), который подробно будет описан в следующей работе, или интерферометр Фабри – Перо. Для измерения энергетических характеристик использовался пирозлектрический джоульметр.

При вводимой в СВС мощности накачки выше порогового значения (34 Вт) в спектре обратного рассеяния наблюдалась первая стоксовая компонента ВРМБ, сдвинутая относительно спектра лазера на 16 ГГц, что хорошо совпадает с экспериментальными данными для плавленого кварца ³. На рис. 2 показаны осциллограммы импульсов накачки (а), ВРМБ (б)

и проходящего через СВС излучения (*в*). Видно, что импульс накачки сильно деформируется при прохождении через СВС, что связано с эффективным преобразованием мощности накачки в ВРМБ. Наличие крутого спада в начале импульса, проходящего через СВС, связано с передним фронтом импульса ВРМБ и фиксирует момент его образования. Так как расстояние между этими фронтами импульсов (≈ 390 нс) соответствует времени прохождения светом СВС, можно считать, что максимальная эффективность ВРМБ имеет место в самом начале световода. В проходящем через СВС излучении, кроме накачки присутствует излучение ВРМБ, отраженное от выходного зеркала лазера и вторично введенное в СВС. Этот факт усложняет измерение эффективности нелинейного преобразования накачки в ВРМБ, которая как минимум равна 65%.

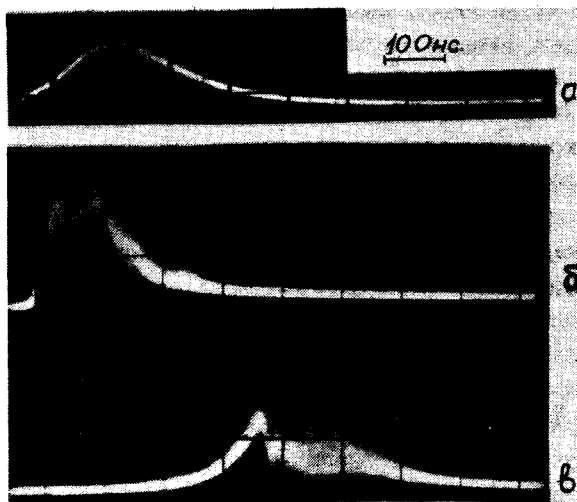


Рис. 2

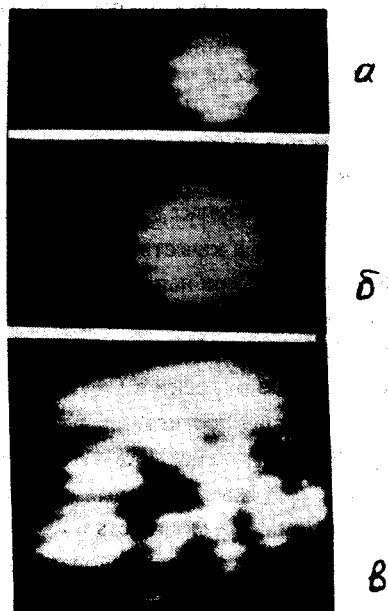


Рис. 3

Рис. 2. Временные характеристики накачки (*а*), ВРМБ (*б*) и прошедшего через световод излучения (*в*)

Рис. 3. Фотографии полей излучения ВРМБ (*а*), лазера (*б*) и излучения, прошедшего через световод при $P_H < P_{пор}$ (*в*)

На рис. 3 *а* представлена фотография поля ВРМБ, которое формировалось линзой L_1 и через светоделительную пластину (СП) (рис. 1) попадало на фотоприемник (OA_1), находящийся в месте формирования изображения торца СВС. На рис. 3, *б* показано поле излучения лазера, полученное на этом же несдвинутом фотоприемнике при повороте СП на 90° . На рис. 3, *в* показано изображение входного торца СВС в условиях, когда лазерное излучение мощностью ≈ 30 Вт вводилось через линзу L_2 в СВС. В этом случае видна характерная для многомодовых СВС пятнистая структура поля, связанная с интерференцией разных групп мод, имеющих отличающиеся фазовые скорости. В отличие от этого случая излучение ВРМБ имеет меньшую расходимость и его поле однородно по сечению (полосы во всех пятнах рис. 3 вызваны интерференцией на светоделительных элементах). Эти факты указывают на то, что фронт ВРМБ, так же как и фронт излучения накачки не искажен по фазе.

Подобное явление в данной ситуации возможно лишь в двух случаях: 1) ВРМБ заключено в основной световодной моде, 2) волна обратного рассеяния сопряжена по фазе с волной накачки⁶. Оптический анализатор (ОА) позволял нам прописывать профиль исследованных полей излучения. Было установлено, что ширина профиля поля ВРМБ (рис. 3, *а*) более чем

в два раза уже соответствующей расчетной величины основной моды СВС. Таким образом, однородное поле обратного рассеяния мы связываем с обращением волнового фронта накачки. Меньший размер пятна ВРМБ по сравнению с пятном накачки, по-видимому, связан с тем, что нелинейное преобразование лазерной накачки в ВРМБ на крыльях гауссова пучка идет менее эффективно.

В пользу второго предположения говорит и следующий факт. При вращении направления поляризации лазерной накачки (пластина $\lambda/4$ и поляризатор П, рис. 1) в пределах 180° поле ВРМБ было практически также линейно поляризовано и совпадало с азимутом поляризации накачки. Авторы ⁷ связали возможность обращения волнового фронта при ВРМБ с ситуацией, когда длина когерентности излучения накачки больше длины взаимодействия волн. Подобная ситуация может реализоваться в нашем случае, поскольку, как мы установили, процесс ВРМБ наиболее эффективно идет в начале СВС.

Литература

1. *Stolen R.H.*, Fiber and Integrated Optics, 1980, 3, 21.
2. *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.
3. *Ippen E.P., Stolen R.H.* Appl. Phys. Lett., 1972, 21, 539.
4. *Hill K.O., Kawasaki B.S., Johnson D.C.*, Appl. Phys. Lett., 1976, 28, 608.
5. *Басиев Т.Т., Воронько Ю.К., Мирюв С.Б., Осико В.В., Прохоров А.М.* Квантовая электроника, 1982, 9, 837.
6. *Зельдович Б.Я., Поповичев В.И., Рагульский В.В., Файзуллоев Ф.С.* Письма в ЖЭТФ, 1972, 25, 160.
7. *Поповичев В.И., Рагульский В.В., Файзуллоев Ф.С.* Письма в ЖЭТФ, 1974, 19, 350.