

ОБРАЩЕНИЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ПРИ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В МАЛОМОДОВЫХ ВОЛОКНАХ

Б. Я. Зельдович, Ю. Е. Капицкий

Голограммы квадратичной поляризуемости в оптических волокнах исследованы экспериментально при их записи пикосекундным излучением неодимового лазера и его 2-й гармоники. Получено обращение волнового фронта зеленого сигнала при считывании голограммы ИК излучением встречного направления

В работах Ойстерберга и Маргулиса¹⁻³, см. также⁴⁻⁶ была обнаружена генерация второй гармоники (ВГ) излучения пикосекундного неодимового лазера в волоконном световоде. В работах Столена и Тома⁴⁻⁵, а также в работе⁶ было предположено, что интерференция полей ω и 2ω дает отличный от нуля средний по времени куб поля $E_1^{*2} E_2 \exp(i\Delta kz) + \text{к.с.}$, и что этот куб записывается в среде в виде решетки квадратичной поляризуемости $\delta\chi^{(2)}(\mathbf{r}, z)$:

$$\delta\chi^{(2)}(\mathbf{r}, z) \sim E_1^2(\mathbf{r}, z) E_2^*(\mathbf{r}, z) e^{-i\Delta kz} + E_1^{*2}(\mathbf{r}, z) E_2(\mathbf{r}, z) e^{+i\Delta kz}, \quad (1)$$

где $\Delta k = k_2 - 2k_1$.

В настоящей работе продемонстрирована возможность обращения волнового фронта на решетках квадратичной поляризуемости в таких волокнах, которые удерживают несколько поперечных мод как на ВГ, так и на основной частоте. При этом записывается информация о волновых фронтах интерферирующих полей ИК и ВГ, т.е. формируется голограмма; $E_1(\mathbf{r}, z)$ и $E_2(\mathbf{r}, z)$ (1) являются суперпозициями нескольких поперечных мод, биения которых в общем случае создают спекл-структуру в объеме световода. Если считывающая ИК волна вводится в световод с противоположного конца по сравнению с процессом записи, то считывание голограммы дает поляризацию вида

$$P_{2\omega}(\mathbf{r}, z) \sim E_1^2(\mathbf{r}, z) E_2^*(\mathbf{r}, z) B_1^2(\mathbf{r}, z) e^{-ik_2 z}. \quad (2)$$

Если волна $B_1(\mathbf{r}, z)$ при считывании является обращенной по отношению к волне $E_1(\mathbf{r}, z)$ при записи, $B_1(\mathbf{r}, z) \sim E_1^*(\mathbf{r}, z)$, то поляризация $P_{2\omega} \sim |E_1|^4 E_2^*(\mathbf{r}, z) \exp(-ik_2 z)$ эффективно возбуждает обращенный сигнал $E_2^*(\mathbf{r}, z)$. При неточном совпадении $B_1(\mathbf{r}, z)$ и $E_1(\mathbf{r}, z)$ срабатывает лишь проекция B_1 на E_1^* .

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В эксперименте использовалось излучение пикосекундного неодимового лазера с частотой повторения $f = 4000$ Гц, дли-

тельностью импульсов 100 пс, по 30 импульсов в пачке. В режиме записи излучение лазера (1) частично преобразовывалось во ВГ в кристалле КТР (2). Затем смесь ω и 2ω с помощью двух призм (3, 4) разделялась на два параллельных пучка, которые вводились микрообъективом (5) с фокусным расстоянием 9 мм в волокно (6) так, что пучок на частоте ω шел по центру объектива, а пучок на частоте 2ω был смещен относительно центра и поэтому вводился в волокно под некоторым углом. Ось волокна совпадала с направлением ИК излучения. Из волокна излучение выводилось через такой же объектив (7). Мощность прошедшего через волокно ИК излучения регистрировалась фотодиодом (8) и была 0,2 Вт. Мощность прошедшей ВГ была 0,005 Вт. При считывании голограммы в пучок вводилась призма (9) и фильтр (10), который отсекал ВГ, и через систему зеркал и плоскопараллельную пластину (11) толщиной 40 мм вводилась микрообъективом (7) в волокно (6) с противоположной стороны.

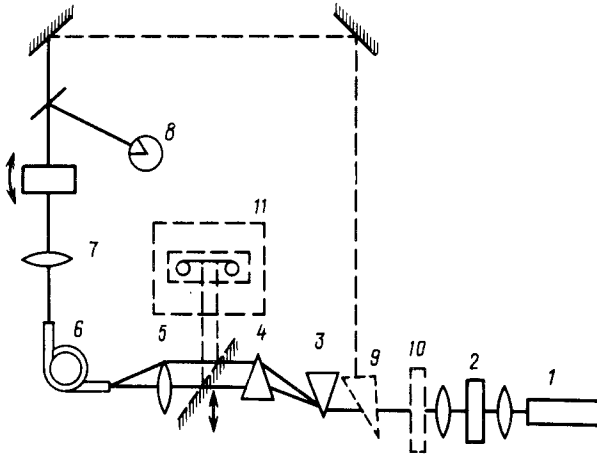


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для наблюдения обращения волнового фронта: 1 – лазер, 2 – кристалл КТР, 3–4 – призмы для разведения пучков, 5, 7 – микрообъектив, 6 – световод, 8 – фотодиод, 9 – призма, 10 – ИКС фильтр, 11 – плоскопараллельная пластина, 12 – выдвигаемое зеркало

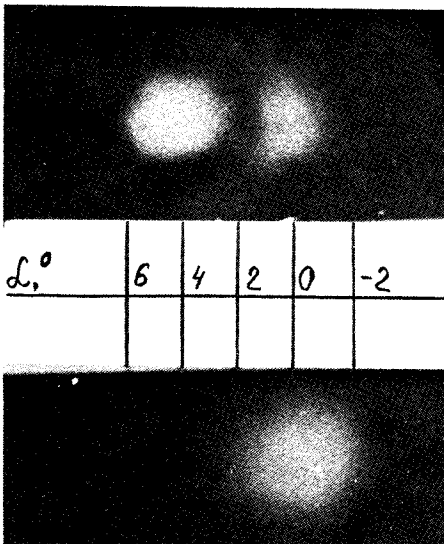
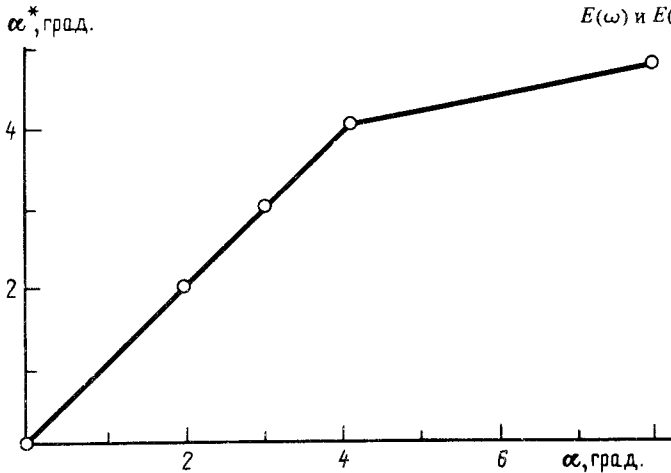


Рис. 2. Типичная картина взаимного расположения считывающего ИК излучения (нижняя фотография) и обращенной ВГ (верхняя фотография) по горизонтальной оси. Запись производилась при угле ввода ВГ 4° . Угловой размер основной моды ВГ 4°

При этом наблюдалась генерация ВГ, которая выводилась через микрообъектив (5) и выдвижное зеркало (12), и регистрировалась на фотопленке КН-4. Также на этой пленке регистрировалось считывающее ИК излучение. На пленке наблюдалось отчетливое пространственное разделение пучков ω и 2ω . Пучок 2ω отклонялся по отношению к ω в направлении, соответствующем обращенной волне.

Типичная картина и взаимное расположение пучков представлена на рис. 2. Запись решетки производилась для угла между ω и 2ω 4° . На верхней фотографии изображено распределение 2ω , на нижней — ω . Смещение по горизонтали 2ω относительно ω соответствует наблюдавшемуся в эксперименте. Как масштаб для грубой оценки величины отклонения можно взять угловой размер центральной 2ω -моды $\Delta\theta(LP_{01}, 2\omega, FWe^{-1}M) = 3,9^\circ$. Видно, что расстояние в горизонтальном направлении между центрами верхнего и нижнего распределений приблизительно равно диаметру яркого пятна на частоте $2\omega - 4^\circ$. Для более точной оценки угла отклонения, в дальнейшем, на пути регистрируемого излучения ставилась проволоочка диаметром 350 мкм. Расстояния между центрами дифракционных полос давали масштаб на фотографии. Измерялось смещение между центрами ω и 2ω как функция угла записи. График зависимости угла выхода α^* ВГ при считывании от угла ввода α ВГ при записи представлен на рис. 3. Из него видно, что волну ВГ при считывании можно рассматривать как обращенную. Отклонение от линейной зависимости для больших углов объясняется тем, что волокно обращает лишь тот набор углов записывающего сигнала, который удовлетворяет условию распространения в волокне. На обращение волнового фронта указывает и тот факт, что при изменении угла ввода считывающего излучения поворотом плоскопараллельной пластины (11), положение и форма считанного 2ω распределения не менялись, а менялась лишь ее яркость.

Рис. 3. Зависимость угла α^* между $E^*(\omega)$ и $E^*(2\omega)$ при считывании от α -угла между $E(\omega)$ и $E(2\omega)$ при записи голограммы



Записанные в данном эксперименте голограммы были далеки от насыщения. При приближении к насыщению сильнее записывались те компоненты ВГ, которые лучше перекрывались с ИК полем, и при достаточно продолжительной записи первоначальная информация о сигнальной волне терялась, а распределение ВГ приобретало осесимметричную структуру.

Таким образом мы экспериментально показали, что при записи $\chi^{(2)}$ -голограмм в малоомодовых волокнах совместной экспозицией на длинах волн 1,06 мкм и 0,53 мкм регистрируется информация о поперечной структуре каждой из волн. Мы продемонстрировали обращение волнового фронта излучения 0,53 мкм в процессе $(\omega + \omega - 2\omega) + \omega + \omega = 2\omega$, который можно назвать шестифотонным.

Авторы благодарят Н.Б.Баранову, Р.Х.Столена и В.М.Чурикова за полезные обсуждения.

Литература

1. *Osterberg, Margulis W.* Opt. Lett., 1986, 11, 516.
2. *Osterberg U., Margulis W.* Opt. Lett., 1987, 12, 57.
3. *Margulis W. et al.* Opt. Lett., 1989, 14, 700.
4. *Stolen R.H., Tom H.* Opt. Lett., 1987, 12, 585.
5. *Tom H. et al.* Opt. Lett., 1988, 13, 512.
6. *Баранова Н.Б., Зельдович Б.Я.* Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 717.

Челябинский
политехнический институт

Поступила в редакцию
5 февраля 1990 г.
