

УДК 535.34

## ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ МНГОВОЛНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В РАСТВОРАХ ЛАЗЕРНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

© 2005 г. О. Ормачеа, А. Л. Толстик

Белорусский государственный университет.

Проанализированы схемы поляризационной голографической записи при многоволновых взаимодействиях в растворах красителей. Предложен метод самоусиления поляризационных решеток при реализации в кювете с красителем режима лазерной генерации. Установлено, что поляризация дифрагированной волны зависит от порядка дифракции и может совпадать с поляризацией сигнальной волны или быть ортогональной.

Одна из актуальных задач современной лазерной физики – поиск новых эффективных методов управления энергетическими, спектральными и поляризационными характеристиками лазерного излучения. Большими потенциальными возможностями обладают интерференционно-голографические методы преобразования световых полей на основе многоволнового смешения. При этом повышенное внимание уделяется нелинейной голографической записи, реализуемой в средах с нелинейностями пятого и более высоких порядков [1–5]. В растворах красителей такая ситуация имеет место при насыщении поглощения и заселении возбужденных электронных состояний. При записи динамических решеток в таких условиях профиль штриха искажается, приводя к появлению вторых и более высоких компонент разложения восприимчивости среды в ряд по пространственным гармоникам решетки, определяя тем самым эффективность многоволнового смешения (эффективность брэгговской дифракции в высшие порядки). Однако широкое практическое использование многоволновых процессов ограничено, как правило, небольшими значениями нелинейностей высших порядков и соответственно невысокой эффективностью многоволнового смешения.

В настоящей работе проведен анализ поляризационного многоволнового взаимодействия, реализуемого при ортогональной поляризации записывающих голограмму волн, и предложен метод самоусиления поляризационных решеток в растворе красителя при одновременной реализации режима лазерной генерации. Рассмотрена классическая схема записи динамических решеток при поглощении взаимодействующих волн молекулами из основного энергетического состояния (переход  $S_0 - S_1$ ). Отличительным моментом является возникновение лазерной генерации в кювете с красителем, определяемой резонаторной обратной связью (например, за счет отражения от торцов кюветы). Вследствие стоксова сдвига полос поглощения и

испускания, характерного для молекул красителя, частота генерации смещена в длинноволновую область спектра относительно частот волн, участвующих в процессе многоволнового взаимодействия, и, как правило, попадает в полосу поглощения молекул из возбужденного энергетического состояния (переход  $S_1 - S_2$ ). Поскольку пространственное распределение указанных молекул (населенность уровня  $S_1$ ) определяется суммарным полем взаимодействующих волн, поглощение излучения генерируемого будет приводить к формированию дополнительных решеток, которые могут существенно усилить исходную динамическую голограмму. При этом усиление решетки за счет переходов с возбужденного уровня практически не влияет на процесс голографической записи в основном канале. Указанное обстоятельство позволяет усиливать динамические решетки сложного профиля, что весьма существенно при реализации многоволнового взаимодействия на нелинейностях высших порядков.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1а. Для записи динамических голограмм в растворе красителя родамин-6Ж использовалось излучение второй гармоники лазера на иттрий-алюминиевом гранате ( $\lambda = 532$  нм) при длительности импульсов 20 нс. При встречном направлении распространения опорной  $E_1$  и считывающей  $E_2$  волн дифрагированная волна  $E_D$  распространялась точно навстречу сигнальной волне  $E_S$  (эффект образования волнового фронта при четырехволновом взаимодействии). При изменении направления распространения считывающей волны можно реализовать брэгговскую дифракцию во второй и более высокие порядки. Зависимость дифракционной эффективности (отношения интенсивностей дифрагированной и считывающей волн:  $\xi = I_D/I_2$ ) от угла поворота считывающей волны представлена на рис. 1б. Угол между сигнальной и опорной волнами  $\alpha$  составлял 90 мрад.

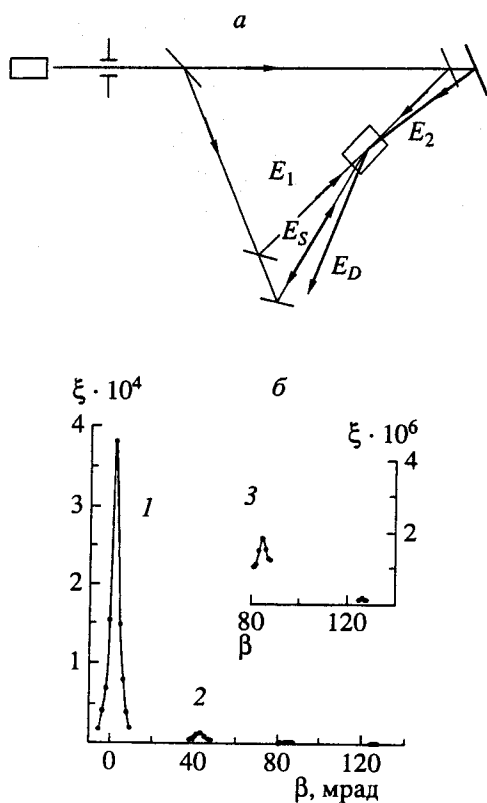


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (а) и зависимость дифракционной эффективности  $\xi$  от угла между считывающей и опорной волнами  $\beta$  (б), для четырех- (1), шести- (2), восьми- (3) и десятиволнового (4) взаимодействия.

Первый максимум на рис. 1б ( $\beta = 0$ , кривая 1) отвечает встречному распространению считывающей и опорной волн (классический случай четырехволнового взаимодействия; нелинейная поляризация  $P \sim \chi^{(3)} E_1 E_2 E_S^*$ ; условие фазового синхронизма для волновых векторов  $\vec{k}_D = \vec{k}_1 - \vec{k}_S + \vec{k}_2$ ). Второй максимум в зависимости дифракционной эффективности  $\xi$  от угла между считывающей и опорной волнами  $\beta$  наблюдается при угле, равном половине угла между записывающими голограмму волнами ( $\beta \approx \alpha/2$ , кривая 2), и отвечает условию фазового синхронизма  $\vec{k}_D = 2\vec{k}_1 - 2\vec{k}_S + \vec{k}_2$  для шестиволнового смещения (нелинейная поляризация  $P \sim \chi^{(5)} (E_1 E_S^*)^2 E_2$ ). Аналогичным образом третий и четвертый максимумы (кривые 3 и 4) в области углов  $\beta \approx \alpha$  и  $\beta \approx 3/2\alpha$  (условия фазового синхронизма  $\vec{k}_D = 3\vec{k}_1 - 3\vec{k}_S + \vec{k}_2$  и  $\vec{k}_D = 4\vec{k}_1 - \vec{k}_S + \vec{k}_2$ ) определяют восьми- и десятиволновое смещение на нелинейностях седьмого и девятого

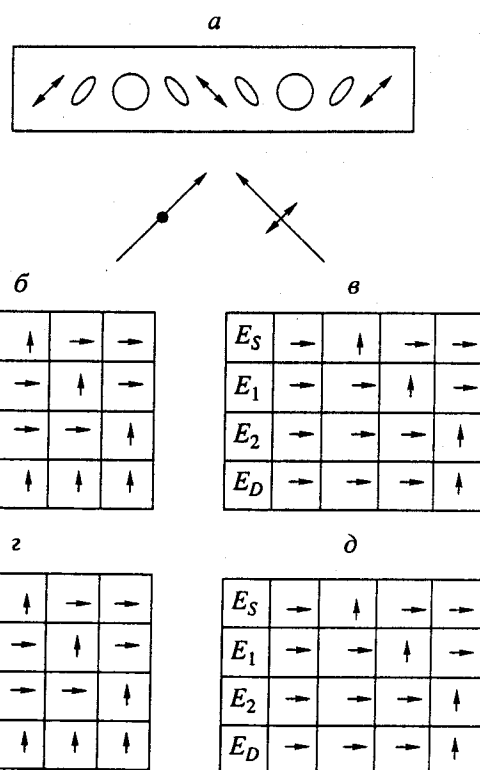


Рис. 2. Поляризация структура интерференционного поля при ортогональной поляризации записывающих решетку волн (а) и схемы поляризации состояний волн для четырех- (б), шести- (в), восьми- (г) и десятиволнового (д) взаимодействия.

порядков соответственно ( $P \sim \chi^{(7)} (E_1 E_S^*)^3 E_2$  и  $P \sim \chi^{(9)} (E_1 E_S^*)^4 E_2$ ).

С использованием описанной схемы усиления многоволнового смешения проанализированы свойства поляризационных динамических решеток, формируемых при ортогональной поляризации записывающих голограмму волн, когда суммарная интенсивность остается постоянной в объеме среды, а имеет место пространственная модуляция поляризации светового поля [6, 7] (рис. 2а). Изменение состояния поляризации волн осуществлялось пластинкой  $\lambda/2$ , которая помещалась на пути распространения сигнальной, опорной или считывающей волн. В растворах красителей формирование поляризационных динамических решеток определяется анизотропией поглощения.

На основании экспериментальных данных установлено, что дифракционная эффективность поляризационных динамических решеток на один-два порядка меньше, чем решеток, записанных волнами с одинаковой поляризацией. При этом обнаружена зависимость ориентации плоскости поляризации дифрагированной волны от взаимной ориентации плоскостей поляризации всех взаимо-

действующих волн (см. рис. 2б–д). В случае когда поляризации записывающих голограмму волн совпадают, поляризация дифрагированной волны однозначно определяется поляризацией считывающей волны. В то же время при записи поляризационных динамических решеток поляризация дифрагированной волны может быть ортогональна поляризации считывающей волны (при четырех- и восьмиволновом смещениях; рис. 2б и г) или совпадать с ней (при шести- и десятиволновом смещениях; рис. 2в и д). В частности, полное поляризационное обращение волнового фронта имеет место при четырехволновом взаимодействии в условиях, когда поляризация сигнальной волны ортогональна поляризации опорной и считывающей волн (рис. 2б). Обнаруженная закономерность (сохранение поляризации считывающей волны при дифракции в четные порядки и поворот плоскости поляризации на  $90^\circ$  при дифракции в нечетные порядки) объяснена с помощью векторной модели взаимодействия при интегрировании вектора поляризации среды по всем возможным направлениям ориентации дипольного момента молекул.

Таким образом, продемонстрирована эффективность использования излучения генерации в

растворах лазерных красителей для усиления многоволновых процессов за счет поглощения излучения генерации молекулами, находящимися в возбужденных электронных состояниях. Предложенный метод усиления позволил впервые реализовать и определить основные закономерности поляризационного многоволнового взаимодействия в растворах красителей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tabosa J.W.R., Cesar C.L., Ducloy M. et al.* // Opt. Commun. 1988. V. 67. № 3. P. 240.
2. *Charra F., Nunzi J.-M.* // J. Opt. Soc. Amer. B. 1991. V. 8. № 3. P. 570.
3. *Карпук С.М., Рубанов А.С., Толстик А.Л.* // Оптика и спектроскопия. 1996. Т. 80. № 2. С. 313.
4. *Rubanov A.S., Tolstik A.L., Karpuk S.M., Orma-  
chea O.* // Opt. Commun. 2000. V. 181. P. 183.
5. *Толстик А.Л.* Многоволновые взаимодействия в растворах сложных органических соединений. Минск: Изд-во БГУ, 2002. 159 с.
6. *Todorov T., Nikolova L., Tomova N., Dragostinova V.* // Appl. Phys. B. 1983. T. 32. C. 93.
7. *Blanch P.-A., Lemaire Ph.C. et al.* // Opt. Commun. 2000. T. 185. C. 1.