

характеризующих явление, в том числе и величины асимптотических коэффициентов.

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1970.
2. Voigt W. // Phys. Z. 1905. V.6. P.818.
3. Бельский А. М., Хапалюк А. П. // Опт. и спектр. 1978. Т.44. С.746.
4. Scheil A.J., Bloembergen N. // J. Opt. Soc. Am. 1978. V.68. P.1093.
5. Карпов К.А., Чистова Э.А. Таблицы функций Вебера. М. 1968. Т.3.

Поступила в редакцию 12.10.98.

УДК 535.34

ОМАР ОРМАЧЕА (Боливия), А.Л. ТОЛСТИК

МНОГОВОЛНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В РАСТВОРЕ КРАСИТЕЛЯ РОДАМИН 6-Ж

In the paper consideration is being given to the angle and energy characteristics of the YAG-laser radiation second harmonic upon diffraction from the volume dynamic grating recorded in ethanol solution of Rhodamine 6G dye at excitation intensities of the order of the saturation intensity. The conditions for realisation of six- and eight-wave coupling of light beams have been determined.

В резонансных средах вследствие эффекта насыщения поглощения наряду с кубической нелинейностью проявляются нелинейности пятого и более высокого порядков, определяющие возможность протекания процессов многоволнового смешения. Причем эти процессы могут быть реализованы при изменении направления распространения или частоты пучка накачки в стандартной геометрии четырехволнового взаимодействия [1–4]. Так, при использовании в качестве одной из встречных волн накачки светового пучка на удвоенной частоте в растворе полиметинового красителя №3274У на нелинейности пятого порядка реализовано обращение волнового фронта с одновременным преобразованием частоты излучения [5,6]. При голограммической записи информации в этих условиях имеют место искажения профиля штриха решетки, приводящие к появлению шумовых компонент дифрагированного излучения. При этом в разложении восприимчивости среды в ряд по гармоникам динамической решетки появляются новые компоненты, определяющие возможность дифракциичитывающего луча в брэгговском режиме во второй и более высокие порядки. Нелинейные голограммические элементы, работающие на этих принципах, расширяют возможности систем оптической обработки информации, позволяя реализовать пространственную фильтрацию, ассоциативную память, визуализацию когерентных изображений и сложных фазовых портретов.

В настоящей статье анализируются угловые и энергетические характеристики многоволновых процессов в этанольном растворе красителя родамин-6Ж при проявлении нелинейностей высших порядков. Определены условия, при которых реализуется шести- и восьмиволновое взаимодействие световых пучков.

Пропускающая динамическая голограмма записывается попутно распространяющимися сигнальной E_s и опорной E_1 волнами. При встречном направлении распространения считающей волны E_2 (дифракция в первый порядок) индуцируется нелинейная поляризация $P \sim \chi^{(3)} E_1 E_s^* E_2$, т.е. имеем традиционный вариант обращения волнового фронта при четырехволновом взаимодействии. Условие брэгговской дифракции в высшие порядки может быть выполнено за счет изменения направления распространения волны E_2 . При этом дифрагированная волна E_d определяется нелинейной поляризацией $P \sim \chi^{(N-1)} (E_1 E_s^*)^M E_2$ (M – порядок дифракции) и имеет место N -волновое смешение ($N=2(M+1)$) на нелинейности ($N-1$) порядка.

При таком рассмотрении записывающие голограмму волны удовлетворяют укороченным волновым уравнениям

$$\frac{\partial E_{1,s}}{\partial z} = i \frac{2\pi\omega}{cn_0} (E_{1,s}\chi_0(\omega) + E_{s,1}\chi_{\pm 1}(\omega)),$$

а дифракция на объемной динамической голограмме определяется уравнениями

$$\frac{\partial E_{2,D}}{\partial z} = -i \frac{2\pi\omega}{cn_0} (E_{2,D}\chi_0(\omega) + E_{D,2}\chi_{\pm M}(\omega)),$$

где $\chi_M = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \chi(\zeta) \exp(-iM\zeta) d\zeta$ – компоненты разложения нелинейной восприимчивости среды χ в пространственный ряд Фурье по гармоникам динамической решетки $\zeta = (\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_S)\mathbf{r}$. Члены с χ_0 учитывают изменение коэффициента поглощения и показателя преломления просветляющейся среды в интерференционном поле взаимодействующих волн, $\chi_{\pm 1}$ описывает перекрассеяние сигнальной и опорной волн на формирующейся амплитудно-фазовой решетке, а $\chi_{\pm M}$ определяет параметрическую связь считывающей и линзированной волнами. Реализация различных порядков дифракции на объемной голограммической решетке осуществляется за счет изменения направления распространения считывающей волны в соответствии с условием Брэгга для различных пространственных компонент решетки. В соответствии с условием фазового синхронизма для N -волнового смешения $M(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_S) = \mathbf{k}_D - \mathbf{k}_2$ считывающая волна должна направляться в среду под углом $\beta = \arcsin(M \sin(\alpha/2)) - \alpha/2$ относительно опорной волны, где α – угол между записывающими голограмму пучками.

Схема экспериментальной установки представлена на рис.1. Запись и восстановление динамической голограммы осуществлялись излучением второй гармоники лазера на иттрий-алюминиевом гранате ($\lambda=532$ нм, $\tau=30$ нс), попадающим в полосу поглощения красителя родамина 6Ж. Диафрагма диаметром 3 мм вырезала пространственно-однородную часть излучения. Зеркала 3, 7 и 8 формировали сигнальную и опорную волны. С помощью зеркала 4 считывающая волна направлялась в нелинейную среду. Зеркало 4 могло перемещаться, что позволяло изменять угол считываания. Угол $\alpha \approx 30$ мрад между направлением распространения опорного и сигнального пучков обеспечивал перекрытие взаимодействующих волн по всей длине кюветы с раствором красителя ($L=0,45$ см). Интенсивность опорной волны контролировалась при помощи измерителя энергии лазерного излучения 9. Для измерения энергетической эффективности многоволнового взаимодействия (отношения интенсивностей линзированного I_D и считывающего I_L пучков) использовалась регистрирующая система 6 на основе фотодиодов, работающих в режиме фотопреобразователя, и импульсных цифровых вольтметров.

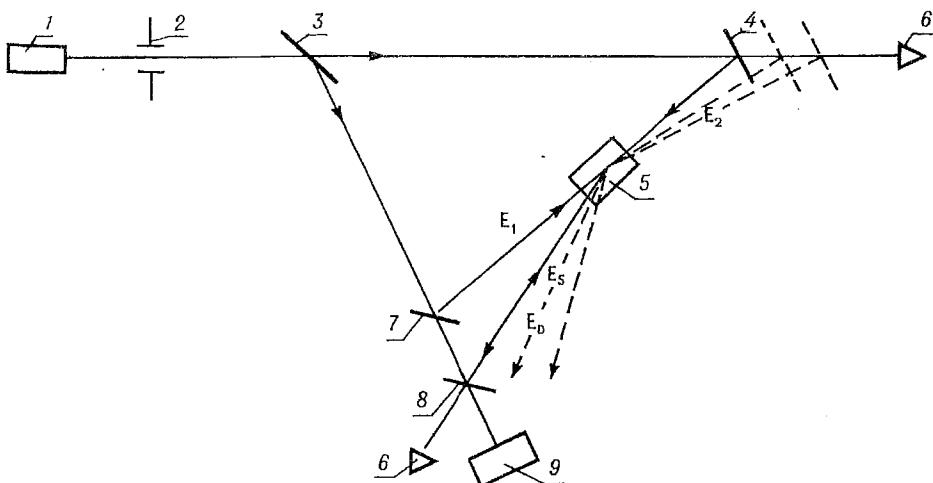


Рис.1. Схема экспериментальной установки:

1 – YAG-лазер; 2 – диафрагма; 3,4,7,8 – глухие и полупрозрачные зеркала; 5 – кювета с красителем, 6 – система регистрации; 9 – измеритель энергии лазерного излучения

Зависимость дифракционной эффективности динамической голограммы $\xi = I_d/I_2$ от угла между считывающей и опорной волнами β представлена на рис.2. При встречном распространении считывающей волны ($\beta=0$) был реализован классический случай обращения волнового фронта при четырехволновом взаимодействии. Второй максимум в зависимости дифракционной эффективности от угла считывания наблюдался при угле $\beta \approx \alpha/2$ и отвечал условию фазового синхронизма $k_d = 2k_1 - 2k_s + k_2$ для шестиволнового смещения. Как уже отмечалось, он обусловлен проявлением нелинейности пятого порядка ($P \sim \chi^{(5)}(E_1 E_s^*)^2 E_2$). Третий максимум в области углов $\beta \approx \alpha$ (условие фазового синхронизма $k_d = 3k_1 - 3k_s + k_2$) определял восьмиволновое смещение на нелинейности седьмого порядка $P \sim \chi^{(7)}(E_1 E_s^*)^3 E_2$.

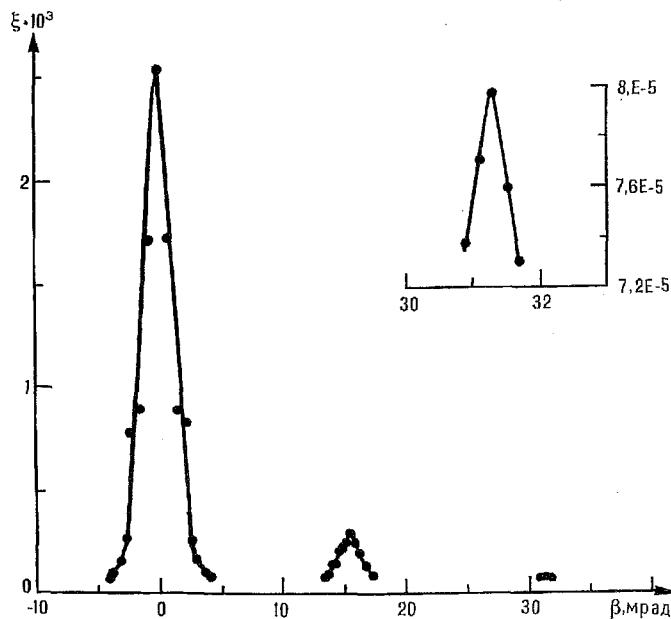


Рис.2. Зависимость дифракционной эффективности ξ от угла между считывающей и опорной волнами для родамина-6Ж при интенсивности записывающих голограмму волн $I_1=2I_s=0,6 \text{ МВт/см}^2$, оптической плотности среды $k_0 L=1,2$

Участие в процессе дифракции нелинейностей высших порядков подтверждают также зависимости дифракционной эффективности ξ от интенсивности записывающих голограмму волн (рис.3). Пунктирной кривой на рис.3а представлена зависимость оптической плотности этанольного раствора красителя родамин-6Ж от интенсивности распространяющегося в среде излучения. В условиях эксперимента интенсивность насыщения слоя красителя составила $\sim 0,4 \text{ МВт/см}^2$. При интенсивностях волн в среде, превышающих интенсивность насыщения, нелинейность красителя определяется поглощением с возбужденного энергетического уровня. Причем используемые в эксперименте интенсивности далеки от интенсивности насыщения возбужденного канала. Как и следовало ожидать в этом случае, зависимость дифракционной эффективности от интенсивности при $\beta=0$ описывается квадратичной параболой, а при $\beta \approx 15$ мрад — параболой четвертого порядка (см. вставки на рис.3).

Таким образом, на примере красителя родамин-6Ж продемонстрированы возможности реализации многоволновых взаимодействий в резонансных средах за счет эффекта насыщения поглощения. Следует заметить, что дифрактированные пучки в рассмотренных выше случаях отличаются не только направлением распространения, но и фазой волны, что позволяет осуществлять одновременную реализацию различных операций по преобразованию

волновых фронтов. Рассмотренный подход может быть также использован для определения нелинейно-оптических характеристик среды и измерения нелинейностей высших порядков.

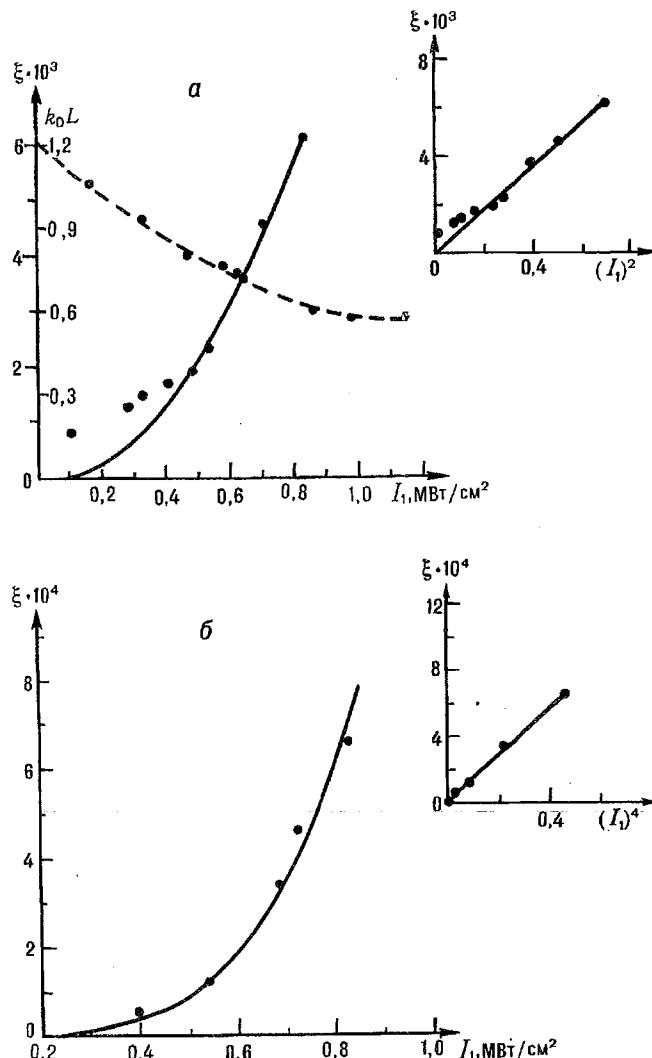


Рис.3. Зависимость дифракционной эффективности ξ от интенсивности записывающих голограмму волн $I_1 = 2I_s$ при угле считывания $\beta = 0$ (а), $\beta \approx 15$ мрад (б) и кривая просветления раствора красителя (пунктирная линия)

1. Tabosa J.W.R., Cesar C.L., Ducloy M., Rios Leite J.R. // Optics Commun. 1988. Vol.67. №3. P.240.
2. Blouin A., Denariez-Roberge M.-M. // IEEE Journ. Quantum Electron. 1993. Vol.29. №1. P.227.
3. Fiorini C., Charra F., Nunzi J.M. // Journ. Opt. Soc. Amer. B. 1994. Vol.11. №12. P.2347.
4. Карпук С.М., Рубанов А.С., Толстик А.Л. // Квантовая электроника. 1997. Т.24. №1. С.52.
5. Они же // Оптика и спектроскопия. 1996. Т.80. №2. С.313.
6. Tolstik A.L. // Photoconversion: Science and Technologies. Proc. SPIE. 1998. Vol.3580. P.73.

Поступила в редакцию 09.11.98.