

# ВЛИЯНИЕ ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН НА АКУСТООПТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ГИРОТРОПНЫХ КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

© Г.В.Кулак, В.Н.Ковчур

Мозырский государственный педагогический институт

247760 Мозырь, Белоруссия

(Поступило в Редакцию 6 февраля 1995 г.)

Для целей оптимизации акустооптических (АО) устройств, а также экспериментального определения параметров акустических кристаллов (фотоупругих постоянных, коэффициентов затухания ультразвуковых волн, модулей упругости и т. д.) необходимо знать особенности брэгговской дифракции света на ультразвуке (УЗ) в различных средах [1,2]. К настоящему времени известно несколько работ [3-5], посвященных изучению влияния затухания УЗ волн на поляризационные и энергетические характеристики дифрагированного света. Однако в [3] рассмотрение ограничено малой мощностью УЗ волны, а в [4,5] не исследовано влияние затухания ультразвука на АО дифракцию в гиротропных средах. Если в одноосных и двуосных кристаллах гиротропия проявляется лишь для направлений распространения света, близких к оптическим осям [6,7], то в изотропной среде и в кубических кристаллах ее необходимо принимать во внимание при любой геометрии взаимодействия световых пучков с УЗ волной [8].

В настоящей работе изучено влияние УЗ затухания на особенности неколлинеарной брэгговской АО дифракции в гиротропных кубических кристаллах.

Выберем систему координат  $XYZ$  так, что в направлении оси  $OX$  распространяется плоская УЗ волна, а под углом  $\varphi_0$  к оси  $OZ$  падает световая волна, поляризованная под углом  $\psi$  к плоскости дифракции  $XZ$ . Затухающая УЗ волна с вектором смещения  $U = U_0 \exp[(-\alpha x) + i(Kx - \Omega t)]$  ( $K = \Omega/v$ ,  $\Omega$  — циклическая частота,  $v$  — фазовая скорость ультразвука,  $\alpha$  — коэффициент затухания УЗ волны) занимает пространство между плоскостями  $z = 0$  и  $z = l$ . УЗ волна создает периодическое в пространстве и времени изменение тензора диэлектрической проницаемости  $(\Delta\epsilon_{ij})$ , которое связано с упругими деформациями  $U_{ik} = (1/2)(\nabla_k U_i + \nabla_i U_k)$  и фотоупругими постоянными  $p_{ijkl}$  соотношениями  $\Delta\epsilon_{ik} = -\epsilon^2 p_{ikmn} U_{mn}$ , где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость невозмущенной среды.

Для расчета комплексных векторных амплитуд дифрагированных полей будем исходить из уравнений Максвелла и материальных уравнений [9,10] гиротропного диэлектрика, из которых следует волновое уравнение для напряженности поля световой волны в области, занятой ультразвуком, приведенное в [8].

С использованием результатов работ [4,8] эффективность дифракции  $\eta$  на выходной грани  $z = l$  области АО взаимодействия для свето-

вого пучка шириной  $d$  можно представить в виде

$$\eta = (1/d) \int_0^d \left\{ \left[ \left( R \sin a_1 l + \bar{R} \sin a_2 l \right) \sin \psi + Q (\cos a_2 l - \cos a_1 l) \cos \psi \right]^2 + \left[ \left( R \sin a_1 l + \bar{R} \sin a_2 l \right) \cos \psi - Q (\cos a_2 l - \cos a_1 l) \sin \psi \right]^2 \right\} dx, \quad (1)$$

где

$$R = \frac{\kappa_{\parallel} \left( 2\rho^2 + \kappa_{\parallel}^2 - a_2^2 + \rho^2 \kappa_{\perp} / \kappa_{\parallel} \right)}{a_1 (a_1^2 - a_2^2)}, \quad Q = \frac{\rho (\kappa_{\parallel} + \kappa_{\perp})}{a_1^2 - a_2^2}, \quad (2)$$

$$a_{1,2} = \left\{ \left( \rho^2 + (1/2) \kappa_{\parallel}^2 + (1/2) \kappa_{\perp}^2 \right) + \left[ \left( \rho^2 + (1/2) \kappa_{\parallel}^2 + (1/2) \kappa_{\perp}^2 \right)^2 - (\rho^2 - \kappa_{\parallel} \kappa_{\perp})^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/2},$$

причем  $\kappa_{\parallel, \perp} = \exp(-\alpha x) (\pi n^3 / (2\lambda_0)) p_{ef}^{\parallel, \perp} \sqrt{2I_a / (\sigma v^3)}$  ( $n$  — показатель преломления материала звукопровода,  $\sigma$  — плотность кристалла,  $\lambda_0$  — длина световой волны в вакууме,  $v$  — фазовая скорость УЗ волны,  $I_a$  — интенсивность ультразвука,  $p_{ef}^{\parallel, \perp}$  — эффективные фотоупругие постоянные).

Волна сверху соответствует замене  $a_1 \leftrightarrow a_2$ , а волна снизу — замене  $\kappa_{\parallel} \leftrightarrow \kappa_{\perp}$ .

Численные расчеты с использованием выражений (1), (2) проводились для случая АО дифракции излучения He-Ne лазера ( $\lambda_0 = 0.6328$  мкм) на продольной УЗ волне, распространяющейся вдоль кристаллографической оси [111] гиротропного кубического кристалла германата висмута ( $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ) [2].

Для частного случая АО дифракции на продольный УЗ волне, когда  $\mathbf{K} \parallel \{100\}$  и плоскость дифракции совпадает с кристаллографической, следует положить  $p_{ef}^{\parallel} = p_{11}$ ,  $p_{ef}^{\perp} = p_{12}$ . При дифракции на продольной УЗ волне с волновым вектором  $\mathbf{K} \parallel \{111\}$  следует положить  $p_{ef}^{\parallel} = (1/3)(p_{11} + p_{12} + p_{21} + 4p_{44})$ ,  $p_{ef}^{\perp} = (1/3)(p_{11} + p_{12} + p_{21} - 2p_{44})$ . В случае дифракции на сдвиговой УЗ волне, распространяющейся вдоль оси [100] и поляризованной вдоль направления [010], в выражениях (2) следует положить  $\kappa_{\parallel} = -\kappa_{\perp}$ , причем  $p_{ef}^{\parallel} = p_{ef}^{\perp} = p_{44}$ .

На рис. 1 представлена зависимость эффективности дифракции  $\eta$  от интенсивности ультразвука  $I_a$  при различных значениях коэффициента затухания УЗ волны  $\alpha$ . Из рисунка следует, что при увеличении  $\alpha$  максимум эффективности дифракции смещается в сторону больших акустических мощностей, а высота дифракционного максимума остается неизменной. Данные особенности АО взаимодействия связаны с анизотропией фотоупругости ( $p_{ef}^{\parallel} > p_{ef}^{\perp}$ ) и сильным вращением плоскости

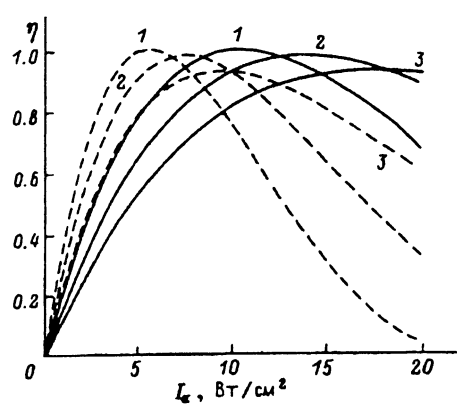


Рис. 1. Зависимость эффективности дифракции  $\eta$  от интенсивности ультразвука  $I_a$  при различных значениях коэффициента затухания УЗ волны.

1 —  $\alpha = 0$ , 2 — 1, 3 — 2  $\text{см}^{-1}$ ;  $\rho = 0$  (штриховые кривые), 3.9  $\text{см}^{-1}$  (сплошные).

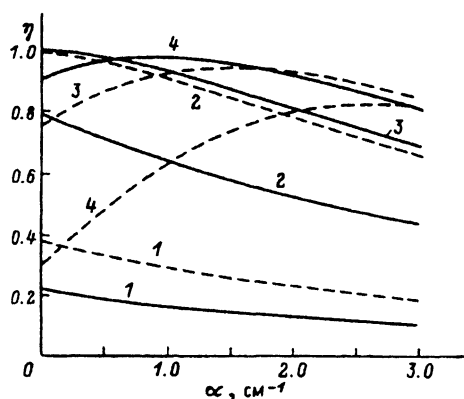


Рис. 2. Зависимость эффективности дифракции  $\eta$  от коэффициента затухания ультразвука  $\alpha$  при отсутствии (штриховые линии) и наличии (сплошные линии) гиротропии для различных интенсивностей УЗ волны  $I_a$ .

1 —  $I_a = 1$ , 2 — 5, 3 — 10, 4 — 15  $\text{ВТ/см}^2$ .

поляризации в кристаллах  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  ( $\rho \approx 22$  град/мм). Следует отметить, что для падающей световой волны  $p$ -поляризации ( $\psi = 0$ ) максимальное значение дифракционной эффективности при наличии гиротропии достигается при несколько больших акустических мощностях, чем при "выключенной" гиротропии кристалла ( $\rho = 0$ ).

Зависимость эффективности дифракции  $\eta$  от коэффициента затухания ультразвука  $\alpha$  представлена на рис. 2. Из рисунка следует, что для данного коэффициента затухания  $\alpha$  существует оптимальное значение интенсивности ультразвука, при котором достигается максимальное значение эффективности АО взаимодействия. Аналогичные особенности АО дифракции обсуждались в [1] для негиротропного диэлектрика. Расчеты, результаты которых приведены на рис. 1 и 2, проведены для волны  $p$ -поляризации ( $\psi = 0$ ) и для длины взаимодействия света и звука  $l = 1.5$  см при ширине светового пучка  $d = 0.3$  см.

На рис. 3 представлена зависимость эффективности АО дифракции  $\eta$  от азимута поляризации падающего света  $\psi$ . Из рисунка сле-

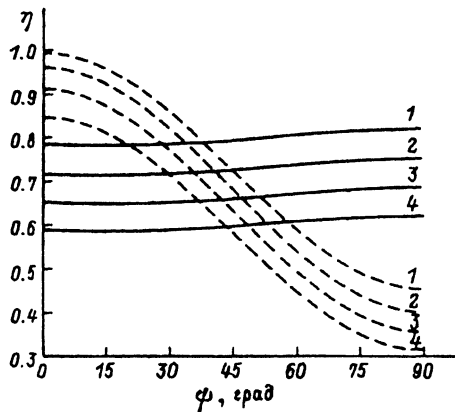


Рис. 3. Зависимость эффективности дифракции  $\eta$  от азимута поляризации падающего света  $\psi$  для акустической мощности  $I_a = 5 \text{ ВТ/см}^2$  при различных коэффициентах затухания.

$\alpha$ : 1 — 0, 2 — 0.5, 3 — 1, 4 — 1.5  $\text{см}^{-1}$ ; причем длина АО взаимодействия  $l = 1.5$  см, ширина светового пучка  $d = 0.3$  см;  $\rho = 0$  (штриховые кривые), 3.9  $\text{см}^{-1}$  (сплошные).

дует, что при отсутствии гиротропии дифракционная эффективность  $\eta$  осциллирует с изменением  $\psi$ . При "включении" гиротропии и увеличении азимута поляризации  $\psi$  изменение эффективности дифракции незначительно.

Авторы выражают благодарность В.Н.Белому за обсуждение результатов работы.

### Список литературы

- [1] Балахший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М., 1985. 280 с.
- [2] Акустические кристаллы. Справочник // Блистанов А.А., Бондаренко В.С., Чкалова В.В. и др. / Под ред. Шаскольской М.П. М., 1986. 629 с.
- [3] Глинский А.А. // Опт. и спектр. 1984. Т. 56. Вып. 8. С. 966-967.
- [4] Пилипович В.А., Щербак Ю.М. // Изв. АН БССР. Сер. физ. 1975. № 4. С. 100-104.
- [5] Белый В.Н., Войтенко Н.Г., Кулак Г.В. // ЖПС. 1992. Т. 56. № 5-6. С. 831-836.
- [6] Сорока В.В. // ФТТ. 1977. Т. 19. Вып. 11. С. 3327-3331.
- [7] Кулак Г.В. // Опт. и спектр. 1994. Т. 76. Вып. 6. С. 1027-1029.
- [8] Белый В.Н., Кулак Г.В. // ЖПС. 1991. Т. 54. № 5. С. 803-808.
- [9] Бокунь Б.В., Сердюков А.Н., Федоров Ф.И. // Кристаллография. 1970. Т. 5. № 5. С. 1002-1006.
- [10] Федоров Ф.И. Теория гиротропии. Минск, 1976. 456 с.

07;12

Журнал технической физики, т. 66, в. 9, 1996

## ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РАСТЕНИЯХ

© В.Х.Шпунт, В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
194021 Санкт-Петербург, Россия  
(Поступило в Редакцию 23 июня 1995 г.)

Возбуждения при химических реакциях в ряде случаев вызывают биолюминесценцию, которая несет информацию о процессах, протекающих в клетках на молекулярном уровне <sup>[1-6]</sup>. В связи с обнаружением яркой фотолуминесценции зеленых листьев <sup>[7]</sup> возникла возможность привлечения излучательной рекомбинации при фотовозбуждении наряду с биолюминесценцией <sup>[1]</sup> для изучения и диагностики разнообразных процессов жизнедеятельности в растениях. В предлагаемой работе раскрыты физические основы новой возможности выявления закономерности в биологическом мире.

Использованная в работе методика измерений спектров фотолуминесценции подобна описанной в <sup>[7]</sup>. Для возбуждения ФЛ применялось излучение гелий-неонового (ЛГ-75), аргонового (ILA 120-1) и гелий-кадмиевого (ЛПМ-11) лазеров, мощность возбуждающего излучения контролировалась в пределах 5-50 мВт/см<sup>2</sup> и не вызывала видимых изменений в объектах исследований. Для измерений были выбраны листья *Fragaria vesca* L., находившиеся в биологическом контакте с