

07;08

## Коллинеарное взаимодействие двухцветного излучения с одной акустической волной в двуосных кристаллах

© В.М. Котов

Институт радиотехники и электроники РАН,  
141120 Фрязино, Московская область, Россия

(Поступило в Редакцию 8 декабря 1997 г.)

Рассмотрен режим коллинеарного взаимодействия двухцветного оптического излучения в двуосных кристаллах. Показано, что возможность реализации такого взаимодействия обусловлена дисперсией оптических осей двуосного кристалла.

Коллинеарное взаимодействие света и звука широко используется в перестраиваемых фильтрах, наиболее перспективных акустооптических (АО) приборах, ввиду высокой селективности такого вида дифракции [1]. В настоящей работе рассматривается коллинеарное взаимодействие в двуосных кристаллах, когда с одной акустической волной взаимодействуют сразу два оптических луча с разными длинами волн. Такая дифракция может быть осуществлена благодаря дисперсии оптических осей двуосного кристалла.

На рисунке, *a* приведено сечение поверхности волновых векторов двуосного кристалла плоскостью  $OXZ$ , содержащей оптические оси. Двухцветное излучение с волновыми векторами  $\mathbf{k}_1$  и  $\mathbf{k}_2$  распространяется под углом  $\beta$  к оси  $OZ$ . Здесь  $N_1$  и  $N_2$  — направления оптических осей для излучений  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  соответственно. Направление лучей  $\mathbf{k}_1$ ,  $\mathbf{k}_2$  лежит между  $N_1$  и  $N_2$ . При некотором значении угла  $\beta$  выполняется соотношение

$$\mathbf{k}'_1 - \mathbf{k}_1 = \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}'_2 = \mathbf{q}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{k}'_1$  и  $\mathbf{k}'_2$  — дифрагированные лучи,  $\mathbf{q}$  — волновой вектор акустической волны.

Это и есть условие коллинеарной дифракции двухцветного излучения на одной акустической волне. Как будет ясно из дальнейшего, если дисперсия оптических осей отсутствует, то такая дифракция невозможна.

В плоскости, содержащей оптические оси, сечения поверхностей волновых векторов монохроматического излучения описываются выражениями [1]

$$k_x^2 + k_z^2 = k_m^2, \quad \frac{k_x^2}{k_g^2} + \frac{k_z^2}{k_p^2} = 1, \quad (2)$$

где  $k_x$ ,  $k_z$  — проекции волнового вектора света на оси  $OX$  и  $OZ$  соответственно;  $k_m = 2\pi N_m/\lambda$ ;  $k_g = 2\pi N_g/\lambda$ ;  $k_p = 2\pi N_p/\lambda$  ( $N_g$ ,  $N_m$  и  $N_p$  — наибольший, средний и наименьший показатели преломления кристалла).

Пусть показатели преломления для излучения  $\lambda_1$  равны  $N_g$ ,  $N_m$  и  $N_p$ , для  $\lambda_2$  —  $n_g$ ,  $n_m$  и  $n_p$ . Тогда уравнение

(1) с учетом (2) нетрудно преобразовать к виду

$$\begin{aligned} \frac{2\pi}{\lambda_1} \left( N_m - \frac{N_g N_p}{\sqrt{N_p^2 \sin^2 \beta + N_g^2 \cos^2 \beta}} \right) \\ = \frac{2\pi}{\lambda_2} \left( n_m - \frac{n_g n_p}{\sqrt{n_p^2 \sin^2 \beta + n_g^2 \cos^2 \beta}} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Выражение (3) можно привести к уравнению четвертого порядка относительно  $\sin^2 \beta$

$$P_4 \sin^8 \beta + P_3 \sin^6 \beta + P_2 \sin^4 \beta + P_1 \sin^2 \beta + P_0 = 0, \quad (4)$$

где  $P_4 = c_1^2 c_2^2 A_1^4$ ,

$$P_3 = 2c_1 c_2 A_1^2 [B_1^2 c_2 + B_2^2 c_1 - A_1^2 (c_1 + c_2)],$$

$$\begin{aligned} P_2 = [B_1^2 c_2 + B_2^2 c_1 - A_1^2 (c_1 + c_2)]^2 \\ + 2c_1 c_2 A_1^2 (A_1^2 - B_1^2 - B_2^2) - 4B_1^2 B_2^2 c_1 c_2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 = 2[B_1^2 c_2 + B_2^2 c_1 - A_1^2 (c_1 + c_2)] \\ \times (A_1^2 - B_1^2 - B_2^2) + 4B_1^2 B_2^2 (c_1 + c_2), \end{aligned}$$

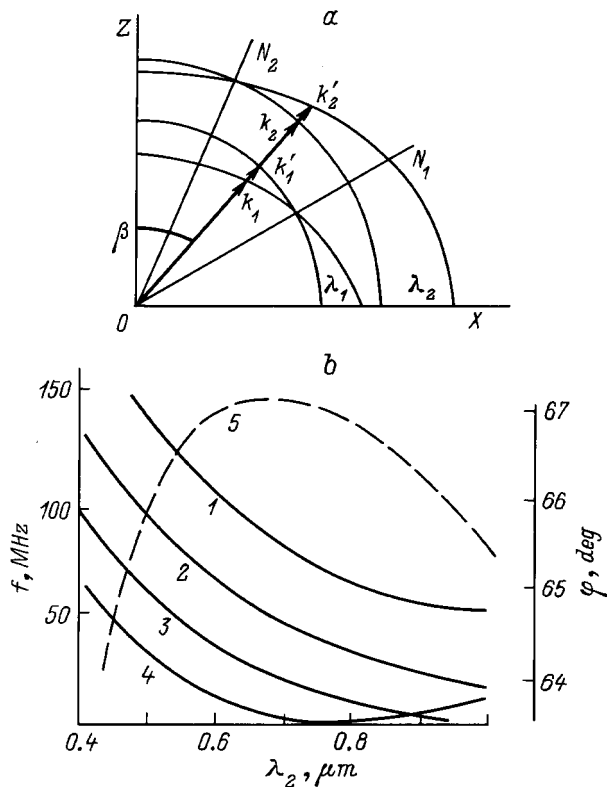
$$P_0 = (A_1^2 - B_1^2 - B_2^2)^2 - 4B_1^2 B_2^2. \quad (5)$$

Здесь

$$\begin{aligned} A_1 = \lambda_2 \lambda_1^{-1} N_m + n_m, \quad B_1 = n_p, \quad B_2 = \lambda_2 \lambda_1^{-1} N_p, \\ c_1 = 1 - (n_p/n_g)^2, \quad c_2 = 1 - (N_p/N_g)^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Задавая значения  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , из (5) определяем угол  $\beta$ , а из (1) — величину волнового вектора  $q$ .

На рисунке, *b* приведены зависимости частоты звука коллинеарной АО дифракции двухцветного излучения от длины волны света  $\lambda$ . Расчеты выполнены на базе двуосного кристалла  $\alpha$ -ННО<sub>3</sub>, показатели преломления которого взяты из [2]. Для простоты полагалось, что дифракция происходит на поперечной акустической волне, скорость которой  $v = 1.85 \cdot 10^5$  см/с не меняется



Коллинеарная дифракция двухцветного оптического излучения в двуосных кристаллах.

при изменении угла  $\beta$ . Зависимости строились следующим образом: задавалась длина волны "опорного" излучения  $\lambda_1$ , а длина волны излучения  $\lambda_2$  менялась в диапазоне 0.4 – 1.0  $\mu\text{m}$ ;  $\lambda_2$  отложена на оси абсцисс. Кривые 1–4 соответствуют значениям  $\lambda_1$ , равным 0.4, 0.5, 0.63 и 0.8  $\mu\text{m}$ . Кривая 5 отражает дисперсию оптических осей монокристалла  $\alpha$ - $\text{NiO}_3$  — зависимость угла  $\varphi$  (правая шкала ординат) между большой главной осью и оптической осью кристалла от длины волны  $\lambda$ . Угол  $\varphi$  вычислялся из [1] на основании данных [2]. Видно, что в диапазоне  $0.4 \leq \lambda \leq 0.63 \mu\text{m}$  угол  $\varphi$  меняется достаточно сильно, что обеспечивает хорошие условия для реализации коллинеарной дифракции двухцветного излучения (кривые 1–3 соответствуют высоким значениям частот звука  $f$ ).

В диапазоне длин волн  $0.63 \leq \lambda \leq 0.8 \mu\text{m}$  угол  $\varphi$  слабо меняется, что ухудшает характеристики АО взаимодействия (кривая 4 описывает низкие значения частоты  $f$  в указанном диапазоне). Другими словами, условия коллинеарного АО взаимодействия двухцветного излучения с одной акустической волной будут наилучшими в двуосных кристаллах с сильной дисперсией оптических осей.

Относительно зависимостей на рисунке,  $b$  необходимо добавить следующее: выражение (3) при  $\lambda_1 = \lambda_2$  выполняется при любых углах  $\beta$ , что приводит к неопределенности частоты звука, на которой происходит дифракция. Однако на рисунке,  $b$  такая неопределенность в соот-

ветствующих точках отсутствует (например, кривая 2, описывающая коллинеарную дифракцию излучений с "опорным" значением  $\lambda_1 = 0.5 \mu\text{m}$ , при  $\lambda_2$ , также равном 0.5  $\mu\text{m}$ , определяет частоту звука  $f = 90 \text{ MHz}$ ). Устранение многозначности частоты связано с тем, что каждая такая точка является аппроксимацией соседних точек, в которых неопределенности нет.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы: в двуосных кристаллах можно реализовать коллинеарное АО взаимодействие двухцветного излучения с одной акустической волной в широком диапазоне длин волн оптического излучения. Такая возможность обусловлена прежде всего дисперсией оптических осей, присущей подавляющему большинству двуосных кристаллов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 96-02-16136-а).

### Список литературы

- [1] Балакий В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985. 280 с.
- [2] Акустические кристаллы / Под ред. М.П. Шаскольской. М.: Наука, 1982. 632 с.