

АНИЗОТРОПНАЯ ДВУХЛУЧЕВАЯ БРЭГГОВСКАЯ ДИФРАКЦИЯ В МОНОКРИСТАЛЛЕ TeO_2

С. Н. Антонов, В. М. Котов, Б. Б. Пантенков

В работе [1, 2] были найдены условия двухлучевой брэгговской акустооптической (АО) дифракции, заключающейся в одновременном выполнении условий синхронизма для двух оптических лучей на двух акустических волнах. В частности, было показано, что в условиях оптической анизотропии и в неравенстве частот акустических волн угол между волновыми векторами этих волн не равен $\pi/2$. При реализации устройства (управляемого ответвителя оптических каналов) в условиях анизотропной дифракции на кристалле TeO_2 необходимо использовать два кристалла, склеенных так, чтобы их кристаллографические направления $[110]$ составляли угол, отличный от $\pi/2$ [2]. В то же время в TeO_2 направления $[110]$ и $[1\bar{1}0]$ идентичны по своим АО свойствам и при распространении вдоль них акустических волн достигается максимальная эффективность АО взаимодействия.

Таким образом, практически интересно найти условия существования анизотропной двухлучевой брэгговской дифракции в TeO_2 при возбуждении сдвиговых акустических колебаний с граней $\{110\}$ и $\{1\bar{1}0\}$.

Пусть грани кристалла TeO_2 строго перпендикулярны осям $[001]$, $[110]$ и $[1\bar{1}0]$, причем свет распространяется вблизи оси $[001]$, а акустические колебания возбуждаются вдоль направлений $[110]$ и $[1\bar{1}0]$. Анализ условий взаимодействия будем проводить с помощью векторной диаграммы (рис. 1), где Z — оптическая ось кристалла, \mathbf{K}_1^0 и \mathbf{K}_2^0 — векторы падающих на кристалл световых лучей, причем поляризация первого соответствует обычному лучу, второго — необычному. Отметим, что в силу гиротропии кристалла в общем случае поляризация собственных волн эллиптическая. Волновые векторы акустических волн обозначены \mathbf{q}_1 и \mathbf{q}_2 .

Одновременное выполнение брэгговских условий приводит к следующим актам взаимодействия:

$$\mathbf{K}_3^0 + \mathbf{q}_2 = \mathbf{K}_3^{\text{н}}, \quad \mathbf{K}_3^0 + \mathbf{q}_1 = \mathbf{K}_4^{\text{н}}, \quad \mathbf{K}_1^{\text{н}} - \mathbf{q}_2 = \mathbf{K}_4^0, \quad \mathbf{K}_1^{\text{н}} - \mathbf{q}_1 = \mathbf{K}_3^0, \quad (1)$$

где \mathbf{K}_3^0 , \mathbf{K}_4^0 , $\mathbf{K}_3^{\text{н}}$, $\mathbf{K}_4^{\text{н}}$ — волновые векторы дифрагированных лучей. Верхние индексы обозначают тип моды оптических колебаний.

Потребуем далее, чтобы дифрагированные лучи на выходе из кристалла попарно образовали два выходных пучка: \mathbf{K}_3^0 и \mathbf{K}_4^0 — один пучок, $\mathbf{K}_3^{\text{н}}$ и $\mathbf{K}_4^{\text{н}}$ — другой. Для этого, согласно закону Снеллиуса, необходимо, чтобы \mathbf{K}_3^0 , \mathbf{K}_4^0 и ось Z принадлежали одной плоскости (аналогично $\mathbf{K}_3^{\text{н}}$, $\mathbf{K}_4^{\text{н}}$ и Z). Кроме этого, должны быть выполнены условия

$$\mathbf{K}_3^0 \sin \theta_1 = \mathbf{K}_3^{\text{н}} \sin \theta_2, \quad \mathbf{K}_4^0 \sin \theta_1 = \mathbf{K}_4^{\text{н}} \sin \theta_2, \quad (2)$$

где θ_1 и θ_2 — углы между векторами $\mathbf{K}_1^{\text{н}}$ и \mathbf{K}_3^0 и оптической осью соответственно. Совместное решение (1)–(2) приводит к основным соотношениям для анизотропной двухлучевой брэгговской дифракции

$$\sin \varphi_1 = \frac{d}{q_1}, \quad \sin \varphi_2 = \frac{d}{q_2}, \quad (3)$$

где φ_1 и φ_2 — углы наклона векторов \mathbf{q}_1 и \mathbf{q}_2 к плоскости, ортогональной оптической оси соответственно; d — разность между проекциями $\mathbf{K}_1^{\text{н}}$ и \mathbf{K}_3^0 на оптическую ось Z (рис. 1), которая в случае использования TeO_2 , согласно [3], равна:

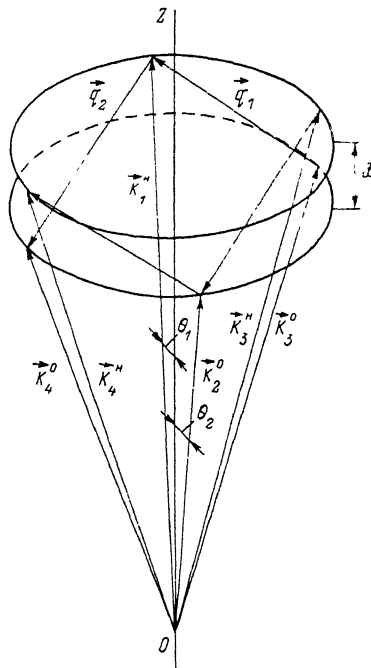


Рис. 1. Векторная диаграмма взаимодействия. S_1 и S_2 — сечения индикатрисс необыкновенного и обыкновенного лучей плоскостями, перпендикулярными оптической оси, соответственно.

$$d = \frac{\frac{2\pi}{\lambda_0} n_0 (1 + \delta) \cos \Theta_2}{1 - \sin^2 \Theta_2 \left[1 - \frac{n_0^2}{n_e^2} (1 + \delta)^2 \right]} \left\{ 1 - \frac{1 - \delta}{1 + \delta} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \Theta_2 (1 + \delta)^2 \left[\frac{n_0^2}{n_e^2} - \frac{1}{(1 - \delta)^2} \right]} \right\}. \quad (4)$$

Здесь n_0 и n_e — главные показатели преломления кристалла на длине волны света λ_0 , δ — параметр гиротропии.

Угол β между q_1 и q_2 , строго говоря, не равен $\pi/2$ и определяется как

$$\cos \beta = \frac{d^2}{q_1 q_2}, \quad (5)$$

что после разложения в ряд Тейлора приводит к соотношению

$$\beta \approx \frac{\pi}{2} - \frac{d^2}{q_1 q_2}. \quad (6)$$

Практически отличие β от $\pi/2$ перекрывается расходимостью звуковых волн, что и определяет возможность реализации двухлучевой анизотропной брэгговской дифракции при распространении акустических колебаний вдоль направлений $[110]$ и $[1\bar{1}0]$ в TeO_2 .

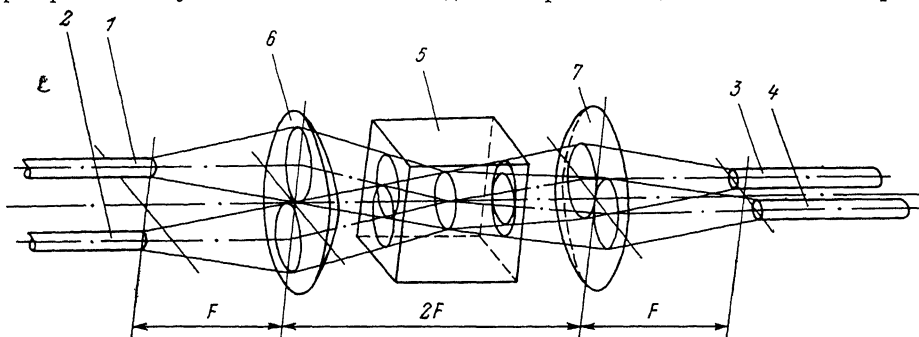


Рис. 2. Оптическая схема устройства.

1, 2 и 3, 4 — входные и выходные оптические волокна соответственно; 5 — монокристалл TeO_2 ; 6, 7 — фокусирующие линзы; F — фокусное расстояние линз.

На основе теоретических данных был изготовлен АО ответвитель, объединенный с волоконными световодами (рис. 2). Устройство демонстрировалось на Международной выставке «Связь-86» [4]. Два пьезопреобразователя сдвиговых волн из LiNbO_3 приклеивались к торцевым граням кристалла TeO_2 , имеющего вид прямоугольного параллелепипеда. Частоты акустических волн составили 57 и 38 МГц. Длина волны оптического излучения равнялась 0.63 мкм. Параметры взаимодействия были следующие: $\Theta_1 = 53.1'$, $\Theta_2 = 53.04'$, $\varphi_1 = 55.7'$, $\varphi_2 = 83.4'$, $\beta = 89.9^\circ$, $d = 93.9 \text{ см}^{-1}$ (все углы даны в кристалле). Необходимые значения углов Θ_1 и Θ_2 обеспечивались ориентацией торцов волокон относительно линз устройства. Нужные величины углов φ_1 и φ_2 достигались ориентацией кристалла относительно оси симметрии АО ответвителя. Остановимся на последнем обстоятельстве более подробно. Предложенный теоретический алгоритм соответствует совпадению оси симметрии устройства и оптической оси кристалла, при этом, однако, величины углов φ_1 и φ_2 не могут быть «перекрыты» расходимостью акустических волн. В то же время при наклоне оптической осина угол порядка 2° относительно оси симметрии можно обеспечить необходимые значения φ_1 и φ_2 при практической справедливости расчета, так как поведение индикатрисс при этом мало отличается от сфер.

Созданное устройство при управляющей мощности ~ 0.5 Вт обеспечивало суммарные оптические потери не более 6 дБ и развязку между каналами ~ 50 дБ.

Литература

- [1] Антонов С. Н., Гуляев Ю. В., Котов В. М., Поручиков П. В. РИЭ, 1987, т. 32, № 3, с. 623—628.
- [2] Антонов С. Н., Котов В. М. Препринт ИРЭ АН СССР, № 6 (465). М., 1987.
- [3] Warner A. W., White D. L., Bonner W. A. J. Appl. Phys., 1972, v. 43, N 1, p. 4489—4495.
- [4] Акустический коммутатор. Проспект Международной выставки «Связь-86» (советские экспонаты). М.: Внешторгиздат, 1986, с. 199.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
12 июля 1987 г.