

- [4] Шпенник О.Б., Советер В.В., Завилопуло А.Н., Запесочный И.П., Контрош Е.Э. // ЖЭТФ. 1976. Т. 42. Вып. 2. С. 42–48.
 [5] Brunt J.N.H., King G.C., Read F.H. // J. Phys. B. 1977. Vol. 10. N 3. P. 433–448.
 [6] Newman D.S., Zubeck M., King G.C. // J. Phys. B. 1983. Vol. 16. N 12. P. 2247–2263.
 [7] Fabrikant I.I., Shpenik O.B., Snegursky A.V., Zavilopulo A.N. // Phys. Rep. 1988. Vol. 159. N 1,2. P. 1–97.

Институт ядерных исследований
 Ужгородское отделение

Поступило в Редакцию
 19 июля 1991 г.
 В окончательной редакции
 17 декабря 1991 г.

07;08
 © 1993 г.

Журнал технической физики, т. 63, в. 1, 1993

КОМБИНИРОВАННОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ 2×2

В.М.Котюв

Переключающие устройства световых каналов — один из важных элементов в системах волоконно-оптических линий связи, обработки информации и т.д.

В [1,2] рассмотрены акустооптические (АО) брэгговские переключатели 2×2 , в которых используется анизотропная дифракция света на звуке. В данной работе исследуются АО переключатели 2×2 , где используется как анизотропная, так и изотропная дифракция (комбинированное переключение оптических каналов). Такое переключение имеет ряд особенностей, выгодно отличающих эту ситуацию от [1,2].

Будем рассматривать АО переключение в одноосном гиротропном положительном кристалле, индикатрисы которого описываются, согласно [3], с учетом [4]

$$n_1 = n_0(1 - \delta),$$

$$n_2 \left[\frac{\cos^2 \Theta_2}{n_0^2(1 + \delta)^2} + \frac{\sin^2 \Theta_2}{n_e^2} \right] = 1, \quad (1)$$

где n_1 и n_2 — показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно, n_0 и n_e — главные показатели преломления кристалла, δ — параметр гиротропии, Θ_2 — угол между волновым вектором необыкновенного луча и оптической осью кристалла.

Пусть переключение осуществляется при помощи двух акустических пучков с волновыми векторами \mathbf{q}_1 и \mathbf{q}_2 по схеме, предложенной в [1,2]: оба пучка направлены ортогонально оптической оси кристалла и образуют параллелограмм. На рис. 1 приведена векторная диаграмма такого взаимодействия. Акустические пучки \mathbf{q}_1 и \mathbf{q}_2 лежат в плоскости Q , ортогональной оптической оси OZ кристалла. Эта плоскость пересекает оптические индикатрисы кристалла по окружностям S_1 и S_2 (обыкновенных и необыкновенных лучей соответственно). Входные оптические лучи с волновыми векторами \mathbf{K}_1 и \mathbf{K}_2 (соответственно необыкновенный и обыкновенный) дифрагируют на звуковых волнах \mathbf{q}_1 и \mathbf{q}_2 в направления \mathbf{K}_3

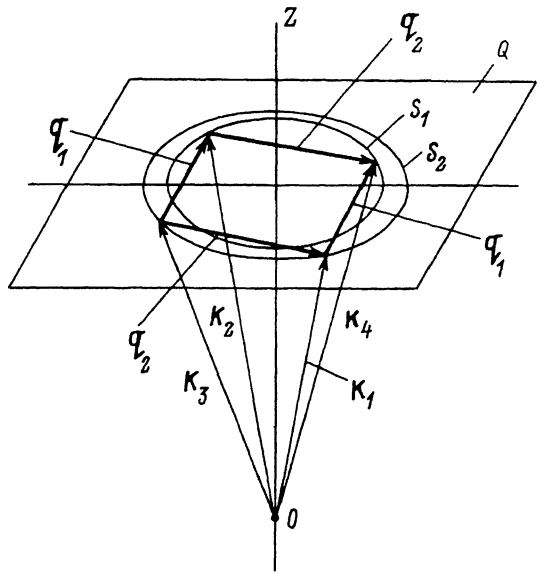


Рис. 1. Векторная диаграмма комбинированного переключения оптических каналов.

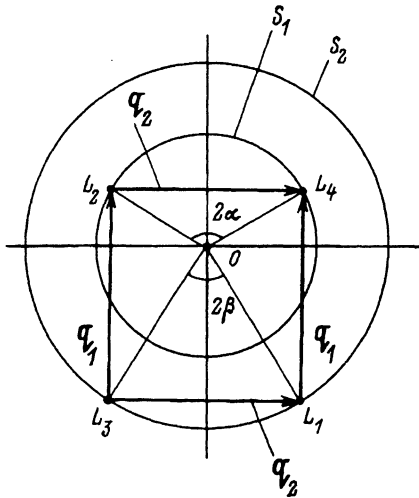


Рис. 2. Векторная диаграмма. Вид со стороны оптической оси.

и K_4 , причем при дифракции на q_1 луч K_1 дифрагирует в K_4 , а K_2 — в K_3 (анизотропная дифракция), а на q_2 выходные лучи меняются местами (изотропная дифракция). Такое взаимодействие, как нетрудно показать, реализуется только в случае, когда концы оптических векторов лежат на вершинах прямоугольника. Поясним это с помощью рис. 2, где показан «вид сверху» на плоскость Q . Точки L_1, L_2, L_3 и L_4 — концы оптических векторов K_1, K_2, K_3 и K_4 соответственно на плоскости Q . Точка O — «след» оптической оси на этой плоскости, отрезки OL_1, OL_2, OL_3 и OL_4 — проекции оптических векторов на Q .

Пусть Θ_1 и Θ_2 — углы между оптической осью OZ и векторами обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно. Тогда

$$K_1 \sin \Theta_1 = OL_2 = OL_4 = A,$$

$$K_2 \sin \Theta_2 = 0L_1 = 0L_3 = B, \quad (2)$$

где $K_1 = 2\pi n_1 \lambda_0^{-1}$, $K_2 = 2\pi n_2 \lambda_0^{-1}$, λ_0 — длина волны света.

На основании рис. 2 можно записать

$$A \sin \alpha = B \sin \beta = 0.5 \cdot q_2,$$

$$A \cos \alpha + B \cos \beta = q_1, \quad (3)$$

где q_1 и q_2 — величины волновых векторов \mathbf{q}_1 и \mathbf{q}_2 , углы α и β показаны на рисунке.

Связь между A и B дается выражением [4]

$$B^2 \left(\frac{n_0}{n_e} \right)^2 = A^2 + K_1^2 \cdot 4\delta. \quad (4)$$

Решая систему (3), с учетом (4) получим

$$B^4 - 2B^2 R + Q = 0, \quad (5)$$

где

$$R = \left[q_1^2 \left(\frac{n_0^2}{n_e^2} + 1 \right) + K_1^2 4\delta \left(\frac{n_0^2}{n_e^2} - 1 \right) \right] \cdot \left(\frac{n_0^2}{n_e^2} - 1 \right)^{-2},$$

$$Q = [q_1^2 (q_1^2 + q_2^2) + K_1^2 4\delta (2q_1^2 + K_1^2 4\delta)] \cdot \left(\frac{n_0^2}{n_e^2} - 1 \right)^{-2}. \quad (6)$$

(5) имеет решение при условии

$$R^2 - Q \geq 0, \quad (7)$$

которое после несложных преобразований переходит в

$$q_1^2 - \frac{q_2^2}{4} \left(\frac{n_0}{n_e} - \frac{n_e}{n_0} \right)^2 \geq K_1^2 4\delta \left(\frac{n_e^2}{n_0^2} - 1 \right). \quad (8)$$

Это неравенство выполняется при сколь угодно малой частоте продольного звука ($q_2 \rightarrow 0$), однако для поперечного звука q_1 это неверно. При $q_2 = 0$ имеем

$$q_1^2 \geq K_1^2 \cdot 4\delta \left(\frac{n_e^2}{n_0^2} - 1 \right). \quad (9)$$

Оптимальный режим переключения, когда достигается максимальная угловая „развязка“ между оптическими каналами, как легко видеть из рис. 2, реализуется при $q_1 = q_2$. При этом частоты звука так же достаточно сильно разнесены из-за разности скоростей поперечных и продольных волн. При $q_1 = q_2$ из (8) имеем

$$q_1^2 \geq K_1^2 \cdot 4\delta \left(\frac{n_e^2}{n_0^2} - 1 \right) \left[1 - 0.25 \left(\frac{n_0}{n_e} - \frac{n_e}{n_0} \right)^2 \right]^{-1}. \quad (10)$$

В частности, для TeO_2 на длине волны $\lambda_0 = 0.63 \cdot 10^{-4}$ см $n_0 = 2.26$, $n_e = 2.41$, $\delta = 0.643 \cdot 10^{-4}$, при скорости звука $v = 0.6 \cdot 10^5$ см/с имеем $f \geq 12.8$ МГц.

Переключение оптических каналов было экспериментально осуществлено на базе конструкции, описанной в [2]. В качестве АО материала был выбран монокристалл TeO_2 с размерами $8 \times 8 \times 10$ мм вдоль направлений $[110]$, $[1\bar{1}0]$ и $[001]$ соответственно. Отметим, что в [1,2] переключение 2×2 осуществить на одном монокристалле TeO_2 в принципе невозможно. В [5] приведена схема, где такой вариант возможен, однако при этом эффективность дифракции не может превысить 50%. К грани $\{110\}$ приклеивался пьезопреобразователь из LiNbO_3 , генерирующий сдвиговую волну с направлением сдвига вдоль $[1\bar{1}0]$ и частотой ~ 20 МГц, а вдоль $[1\bar{1}0]$ генерировалась продольная волна пьезопреобразователем из того же материала с частотой ~ 150 МГц (5-я гармоника преобразователя). Скорость продольной волны $v_L = 4.66 \cdot 10^5$ см/с, поперечной $v_S = 0.6 \cdot 10^5$ см/с. На поперечной волне осуществлялась анизотропная дифракция (эффективность которой при $P_{\text{эл}} = 0.5$ Вт составила 90%), а на продольной — изотропная (с эффективностью $\sim 35\%$ при $P_{\text{эл}} = 1$ Вт). Реальная „развязка“ между каналами составила 40 дБ (что на 40 дБ хуже по сравнению с теоретической). Это можно объяснить рассеянием внутри кристалла, неоднородностями звукового и оптического полей, несовершенством „просветляющих“ покрытий.

В целом теоретические расчеты показывают, что предложенное переключение по ряду параметров („развязка“ между каналами, возможность реализации переключения на базе одного АО кристалла) превосходит аналогичную схему, предложенную в [1,2], и может найти самое широкое применение на практике.

Список литературы

- [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. Vol. 43. N 11. P. 4489–4495.
- [4] Антонов С.Н., Котов В.М. Препринт ИРЭ АН СССР. № 3 (554). М., 1991.
- [5] Антонов С.Н., Котов В.М., Пантенков Б.Б. // ЖТФ. 1988. Т 58. Вып. 11. С. 2275–2276.

Институт радиотехники и электроники
Фрязинская часть

Поступило в Редакцию
26 июля 1991 г.