

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith W. D., Land C. E. Scattering-mode ferroelectric-photoconductor image storage and display devices.— Appl. Phys. Lett., 1972, v. 20, N 4, p. 169.
2. Drake M. D. PLZT matrix-type block data composers.— Appl. Opt., 1974, v. 13, N 2, p. 347.
3. А. с. 805239 (СССР). Управляемый транспарант/Б. В. Ульянов, Э. М. Яшин, В. А. Жаботинский.— Оpubл. в Б. И., 1981, № 6.
4. Ready J. F., Brinda R. J. Switching speed of electrically controlled scattering in PLZT.— J. Appl. Phys., 1973, v. 44, N 11, p. 5185.
5. Pat. 3. 702.724 (USA). Ferroelectric ceramic plate electrooptical light scattering device and method/C. E. Land, W. D. Smith.— Publ. 14. XI, 72.
6. Ульянов Б. В., Черис И. Л. Расчет краевого поля в оптоэлектронных устройствах на основе керамики ЦТСЛ.— Автометрия, 1981, № 3.

Поступила в редакцию 5 января 1984 г.

УДК 535.24 : 534

В. И. ЕФАНОВ, Е. С. КОВАЛЕНКО

(Томск)

ДВУМЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ СВЕТА ВОЛНОВОДНЫМИ АКУСТИЧЕСКИМИ МОДАМИ ПЛАСТИНЫ

Основной задачей при разработке акустооптических (АО) дефлекторов и АО-устройств ввода радиосигналов в системы оптической обработки информации является получение высокой разрешающей способности, увеличение которой достигается в основном применением звукопроводов больших размеров с малой скоростью звука. При этом число разрешимых элементов N , как правило, не превышает 10^3 , что явно недостаточно, например, для обработки радиосигналов с большой базой.

В акустоэлектронных устройствах нашли применение нормальные волны (в частности, волны Лэмба), распространяющиеся в пластинах [1]. Возможность использования дисперсии нормальных волн в АО-устройствах была впервые рассмотрена в [2]. Однако выбранная геометрия АО-взаимодействия и одновременное возбуждение мод нескольких порядков не позволили получить практических результатов, необходимых для создания АО-устройств с высокой разрешающей способностью.

При исследовании дифракции света на акустических модах высших порядков, распространяющихся в

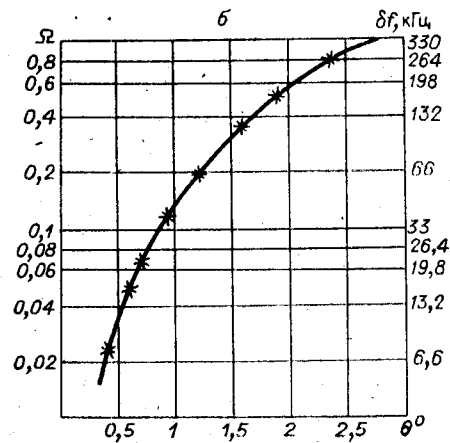
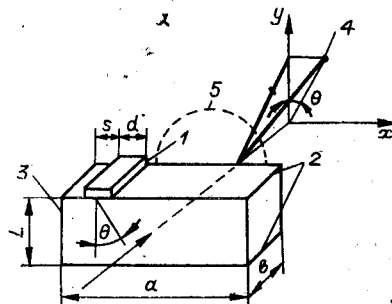


Рис. 1. Волноводный АОМ:

a — геометрия акустооптического взаимодействия, b — зависимость разрешающей способности от угла θ : 1 — преобразователь радиосигнала в акустический, 2 — базисные плоскости пластины, 3 — грань, перпендикулярная базисным плоскостям, 4 — дифракционный максимум, 5 — линза.

плоскопараллельной пластине толщиной L из LiNbO_3 (геометрия АО-взаимодействия изображена на рис. 1, а), нами было обнаружено, что при определенном размере d преобразователя I и его местоположений дифракционный максимум I (ДМ) при изменении частоты последовательно сканирует по оси x (быстро) и по оси y (медленно), формируя картину раstra. Если частота радиосигнала совпадает с критической частотой $F_m = mv/2L$ моды, то волновой вектор звука \mathbf{K} перпендикулярен базисным плоскостям пластины 2 и ДМ расположен на оси y . При изменении частоты на Δf волновой вектор поворачивается на угол $\theta = \text{Re } \gamma_m / K$, где γ_m — постоянная распространения волноводной моды. При этом ДМ движется по оси x , и, когда $\Delta f = f_m = v/2L$, условия зарождения выполняются для $(m+1)$ -моды, а ДМ вновь на оси y , причем смещается по ней на расстояние Δy .

В результате решения задачи о возбуждении нормальных волн в пьезопластинах [3] было получено выражение для амплитуды m -й волноводной моды A , модуль которой в приближении изотропной среды имеет вид

$$A = \frac{\mathcal{F}}{c} \frac{d^2}{L} \frac{\sqrt{\sin^2 \mathcal{H} \mathcal{E} \text{ch}^2 \mathcal{L} \mathcal{E} + \cos^2 \mathcal{H} \mathcal{E} \text{sh}^2 \mathcal{L} \mathcal{E}}}{\mathcal{E}^2 (\mathcal{H}^2 + \mathcal{L}^2)}, \quad (1)$$

где \mathcal{F} — плотность возбуждающей силы; c — модуль упругости; $\mathcal{E} = \pi d / \sqrt{\Lambda_0 L}$, Λ_0 — длина ультразвуковой волны (УЗВ) на центральной частоте F_0 диапазона ΔF , а \mathcal{H} и \mathcal{L} определяются выражениями

$$\mathcal{H}^2 = 1/2(\sqrt{\Omega^2 + (\alpha + \beta\Omega)^2} + \Omega), \quad \mathcal{L}^2 = 1/2(\sqrt{\Omega^2 + (\alpha + \beta\Omega)^2} - \Omega),$$

здесь $\Omega = \Delta f / f_m$ — нормированная частота ($0 \leq \Omega \leq 1$); $\alpha = \alpha' L / \pi$ характеризует потери УЗВ на распространение (α' — коэффициент затухания); величина β характеризует потери на отражение от базисных плоскостей и при малых углах θ с большой точностью может быть определена по формуле $\beta = \Lambda / \pi L (2v_s / v_L)^2$, где v_L и v_s — скорости продольной и трансформированной при отражении сдвиговой волны. Из анализа выражения (1) следует, что для последовательного возбуждения мод высших порядков размер преобразователя d на центральной частоте диапазона должен удовлетворять условию

$$d = \sqrt{\Lambda_0 L} / 2. \quad (2)$$

Амплитуда моды сильно зависит от Ω . Можно показать, что при расположении преобразователя на расстоянии $s = 0,2d$ от грани 3 (с коэффициентом отражения УЗВ $R = 1$), строго перпендикулярной базисным плоскостям, неравномерность амплитуды моды в частотном интервале Ω и полосе частот $\Delta F = 0,5F_0$ не превышает 3 дБ.

Зависимость Ω от угла θ , а следовательно, и разрешающей способности δf_x по частоте носит квадратичный характер $\Omega = L\theta^2 / \Lambda$ при α и $\beta \ll 1$. Учет конечности α и β приводит к тому, что даже на критической частоте θ имеет конечное значение $\theta' = \sqrt{\alpha' \Lambda / \pi}$, что может вызывать уширение размера ДМ по оси x .

Расчет предельного числа разрешимых элементов по критерию Рэлея показывает, что разрешающая способность зависит только от потерь энергии УЗВ, определяется по формуле

$$N_1 = \frac{1}{2\pi\beta} \ln \frac{\alpha + \beta}{\alpha} \quad (3)$$

и достигается только при длине звукопровода $a_1 = \sqrt{\Lambda L} / \pi (\alpha + \beta)$ (длина затухания поля в e раз при $\Omega = 1$). Применяемый на практике размер звукопровода в несколько раз меньше. При $a < a_1$ число разрешимых элементов с достаточной точностью может быть рассчитано по формуле

$$N_x = a / \sqrt{\Lambda L}. \quad (4)$$

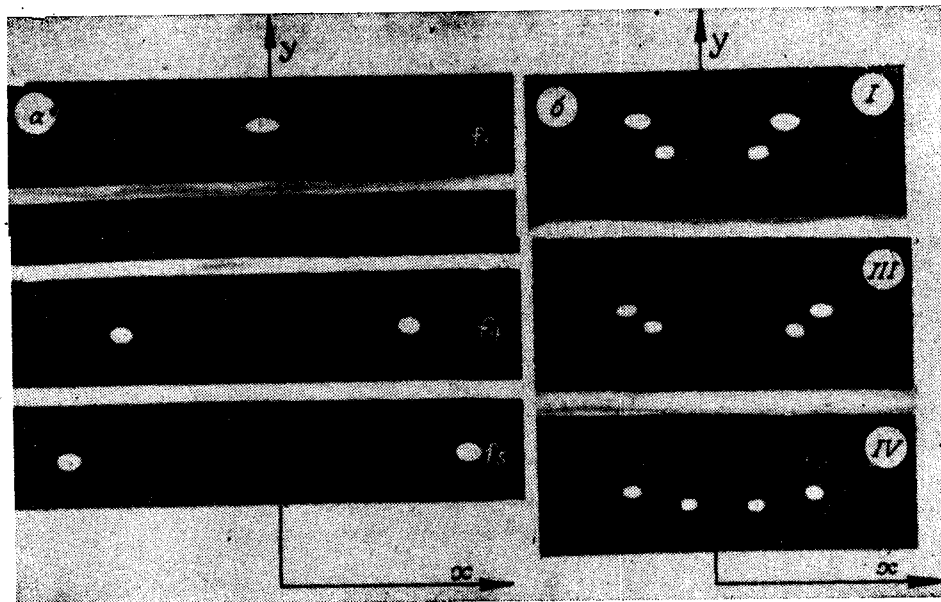


Рис. 2. Распределение дифрагированного поля в фокальной плоскости линзы: а — изменения положения дифракционного максимума по оси x при изменении частоты $f_1=306145$ кГц; $f_2=306165$ кГц; $f_3=306195$ кГц; $f_4=306299$; $f_5=306358$; б — положение дифракционных максимумов при наличии двух радиосигналов f_1 и f_2 с разностью частот: I — 2982; II — 1633; III — 1064; IV — 1039 кГц.

Число разрешимых элементов по оси y определяется как обычно, а общее число разрешимых элементов при $\Delta F = 0,5F_0$ равно

$$N = 0,5 a \sqrt{\frac{LF_0^3}{v^3}} \quad (5)$$

Средняя на частотном интервале Ω разрешающая способность по оси x

$$\delta f_x = f_m/N_x = v\sqrt{N}/L/2a. \quad (6)$$

Численные оценки показывают, что если в качестве звукопровода использовать кристаллы LiNbO_3 размерами $L \times a = 10 \times 24$ мм², с поверхности X -среза которого ($v_L = 6,6 \times 10^5$ см/с, $v_s = 4,07 \cdot 10^5$ см/с, $\alpha' = 0,15$ дБ/см · ГГц²) осуществляется возбуждение акустических мод в диапазоне $\Delta F = 0,2$ ГГц с центральной частотой $F_0 = 0,5$ ГГц, то число разрешимых элементов $N_1 = 90$ (при $a_1 = 5,3$ см), $N_x = 66$, $N_y = 300$, $N = 2 \cdot 10^4$; разрешающая способность $\delta f_x = 5$ кГц, при этом $d = 180$ мкм, $\theta = 2^\circ$, $\theta' = 4,6'$, а $\alpha = 1,4 \cdot 10^{-3}$, $\beta = 0,78 \cdot 10^{-3}$.

Экспериментальные исследования показали, что при выбранных выше размерах звукопровода и при $F_0 = 0,3$ ГГц с $\Delta F = 0,1$ ГГц средняя по частотному интервалу Ω разрешающая способность $\delta f_x = 15$ кГц. На рис. 1, б приведена зависимость δf от угла θ . Число разрешимых элементов при отсчете по нулевому уровню $N_x = 24$. Возбуждение продольной УЗВ осуществлялось с поверхности x -среза LiNbO_3 , тангенциальной компонентой электрического поля торцевого преобразователя ($d = 280$ мкм), выполненного методом вакуумного напыления меди через маску. На рис. 2, а представлено изменение положения ДМ в фокальной плоскости линзы 5 по оси x , а на рис. 2, б — положение ДМ при нали-

чи на входе двух непрерывных радиосигналов при постепенном сближении их частот.

Проведенные эксперименты полностью подтвердили теоретические расчеты и показали, что дифракция света на акустических модах может быть применена для создания, с одной стороны, двухкоординатных дефлекторов с большим числом разрешимых элементов, с другой — волноводных АОМ, используемых в качестве устройств ввода радиосигналов в системы оптической обработки. Применение волноводных АОМ позволяет представлять радиосигналы с большой базой в форме раstra и тем самым реализует одно из главных достоинств оптических систем обработки — их двумерный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровков О. В., Кучеров И. Я. Нормальные упругие волны в пластинах кристаллов C_{3v} . — УФЖ, 1972, т. 17, № 12, с. 1980—1988.
2. Коцаренко Н. Я., Фалько Г. Л. Рассеяние света в фотоупругих пластинах поперечными акустическими волнами. — Радиотехника и электроника, 1975, т. 20, № 12, с. 2519—2533.
3. Ефанов В. И., Коваленко Е. С. Возбуждение нормальных волн в анизотропных пьезопластинах и исследование их методом дифракции света. — В кн.: Материалы XII Всесоюз. конф. по акустоэлектронике и квантовой акустике. Саратов: СГУ, 1983, ч. 1, с. 338.

Поступила в редакцию 16 января 1984 г.