

Рис. 3. Скорость  $v_{рк}$  в кристаллах NaCl;  $0 < dU/dt \leq 1.5 \cdot 10^8$  (1)  $1.5 \cdot 10^8 < dU/dt \leq 3 \cdot 10^8$  (2),  $dU/dt > 3 \cdot 10^8$  В/с (3).

### Литература

- [1] Вершинин Ю. Н., Зотов Ю. А. ФТТ, 1975, т. 17, № 3, с. 826—834; там же, 1975, т. 17, № 12, с. 3487—3494.
- [2] Вершинин Ю. Н. Докл. Всемирного электротехнического конгресса. М., 1977, с. 1—18.
- [3] Вершинин Ю. Н. ДАН СССР, 1984, т. 279, № 4, с. 880—884.
- [4] Воробьев А. А., Воробьев Г. А. Электрический пробой и разрушение твердых диэлектриков. М.: Высшая школа, 1966. 224 с.
- [5] Кузнецов Ю. И. Автореф. канд. дис. Томск, 1975. 28 с.
- [6] Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. 1007 с.
- [7] Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. 686 с.
- [8] Физика высоких плотностей энергии / Под ред. П. Кальдиролы, Г. Кнопфеля (пер. с англ.). М.: Мир, 1974. 483 с.

Уральский научный центр  
Институт электрофизики АН СССР  
Свердловск

Поступило в Редакцию  
20 октября 1987 г.

## КОМПЕНСАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДРЕЙФА УГЛА ДИФРАКЦИИ В НЕКОЛЛИНЕАРНОМ АКУСТООПТИЧЕСКОМ ФИЛЬТРЕ

В. М. Епихин, Ю. К. Калинин

В настоящее время перестраиваемые акустооптические фильтры (АОФ) применяются в различных оптических устройствах для селекции из широкого спектрального диапазона излучения узкой линии и изменения ее длины волны в соответствии с частотой управляющего сигнала [1-2].

Одна из особенностей неколлинеарной геометрии акустооптического взаимодействия, обусловленная неселективной дисперсией света, заключается в зависимости пространственного положения продифрагировавшего луча от длины волны излучения. При работе фильтра в широком спектральном диапазоне это может привести к «сползанию» пучка продифрагировавшего излучения за пределы чувствительной площадки приемника и уменьшению регистрируемого сигнала. В данной работе показана возможность эффективного подавления этого нежелательного эффекта без использования внешних компенсирующих элементов только за счет выбора угла наклона выходной грани фильтра. Приведены результаты расчета параметров таких фильтров на кристалле парателлурита ( $\text{TeO}_2$ ).

На рис. 1 приведена схема неколлинеарного АОФ на одноосном положительном (для определенности) кристалле. Необыкновенный луч  $K_e$  падает нормально на входную грань.

В кристалле вследствие анизотропии луч изменяет траекторию, отклоняясь на угол  $\Delta$  от первоначального направления. Согласно [4],

$$\Delta = \theta_e - \arctg(\eta^2 \operatorname{tg} \theta_e), \quad (1)$$

где  $\theta_e$  — угол между векторами  $\mathbf{K}_e$  и  $\mathbf{Z}$ ,  $\eta = n_o(\lambda)/n_e(\lambda)$ ,  $n_o$  и  $n_e$  — коэффициенты преломления для обычного и необыкновенного лучей соответственно.

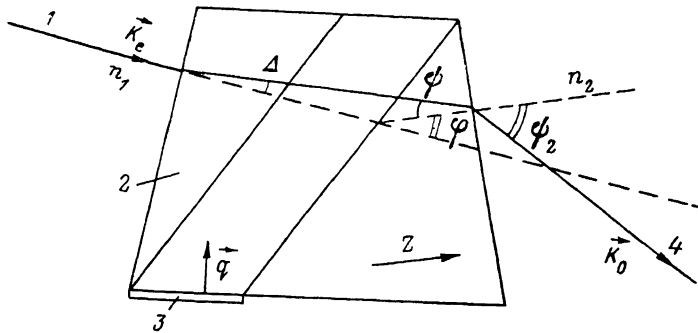


Рис. 1. Схема неколлинеарного АОФ.

1 — падающий необыкновенный e-луч, 2 — светозвукопровод, 3 — излучатель звука, 4 — продифрагировавший обычный o-луч. Оптическая ось Z лежит в плоскости рисунка.

Для оптимального фильтра, в котором выполнено условие большой угловой апертуры (касательные к дисперсионным кривым в точках их пересечения с волновыми векторами падающего и продифрагировавшего излучения параллельны) [5], углы  $\theta_e$  и  $\theta_o$  между векторами  $\mathbf{K}_e$  и  $\mathbf{Z}$ ,  $\mathbf{K}_o$  и  $\mathbf{Z}$  соответственно связаны соотношением

$$\theta_o = \arctg(\eta^2 \operatorname{tg} \theta_e), \quad (2)$$

т. е. продифрагировавший o-луч распространяется в кристалле точно по той же траектории, что и падающий. При выходе из кристалла o-луч преломляется под углом  $\psi_2$  к нормали для выходной грани фильтра. Из рис. 1 получаем условие неизменности угла  $\psi_2$  в спектральном диапазоне  $\lambda_1 - \lambda_2$

$$\sin \psi_2 = n_o \sin \psi_1 = n_o \sin [\varphi - \theta_e + \arctg(\eta^2 \operatorname{tg} \theta_e)] = \text{const}. \quad (3)$$

Считая угол  $\theta_e$  не зависящим от  $\lambda$  и дифференцируя обе части уравнения (3) по  $\lambda$ , находим

$$\varphi = \Delta + \psi_1,$$

где  $\Delta$  — угол наклона выходной грани фильтра для традиционного случая, когда она ортоговальна продифрагировавшему лучу [6],

$$\psi_1 = -\arctg \left[ \frac{2n_o \operatorname{tg} \theta_e \eta \eta'}{n_o' (1 + \eta^4 \operatorname{tg}^2 \theta_e)} \right], \quad (4)$$

$\eta'(\lambda^*) = d\eta/d\lambda$ ,  $n_o' = dn_o/d\lambda$ ,  $\lambda_1 < \lambda^* < \lambda_2$ ;  $\psi_1$  — дополнительный угол наклона для компенсации спектральной дрейфа угла дифракции.

При этом в первом приближении  $\psi_2$  не зависит от  $\lambda$  в окрестности точки  $\lambda^*$ . Из (4) видно, что в случае нормальной дисперсии, как это имеет место для  $\text{TeO}_2$ ,  $dn_o/d\lambda < 0$ ,  $d\eta/d\lambda > 0$  и  $\psi_1 > 0$ .

Для общего случая, когда условие оптимума (2) выполнено в произвольной точке  $\lambda^{**}$  ( $\lambda^{**} \neq \lambda^*$ ,  $\lambda_1 \leq \lambda^* \leq \lambda_2$ ,  $\lambda_1 \leq \lambda^{**} \leq \lambda_2$ ), необходимо анализировать спектральную зависимость угловой координаты  $\psi_2$  o-луча в воздухе за выходной гранью кристалла при различных углах ее наклона  $\varphi$ . При этом можно воспользоваться соотношениями, приведенными в [7]. Очевидно, интервал изменения угла дифракции  $\Delta\psi_2$  при изменении длины волны излучения в диапазоне  $\lambda_1 - \lambda_2$  будет минимален при выполнении равенства

$$\psi_2(\lambda_1) = \psi_2(\lambda_2). \quad (5)$$

Параметры вариантов оптимального АОФ на  $\text{TeO}_2$

Номер фильтра	$\gamma$ , град	$\theta_e$ , град
1	10	23.40
2	10	79.91
3	5	11.46
4	5	85.24
5	18.9	57.35

Примечание.  $\gamma$  — угол между волновым вектором звуковой волны  $q$  и осью [110], лежащей в плоскости рис. 1.

На рис. 2, *a* представлены расчетные зависимости угловой координаты  $\psi_2$  *o*-луча для некоторых типичных вариантов АОФ на  $\text{TeO}_2$  [8] (их параметры даны в таблице) при выполнении условия (5). Коэффициенты преломления  $n_o(\lambda)$  и  $n_e(\lambda)$  рассчитывались по двухосцилляторной модели, рассмотренной в [9]. Условие оптимума (2) было выполнено для всех типов фильтров (1—5) в точке  $\lambda^* = 0.6328$  мкм, соответствующей середине рассматриваемого спектрального диапазона.

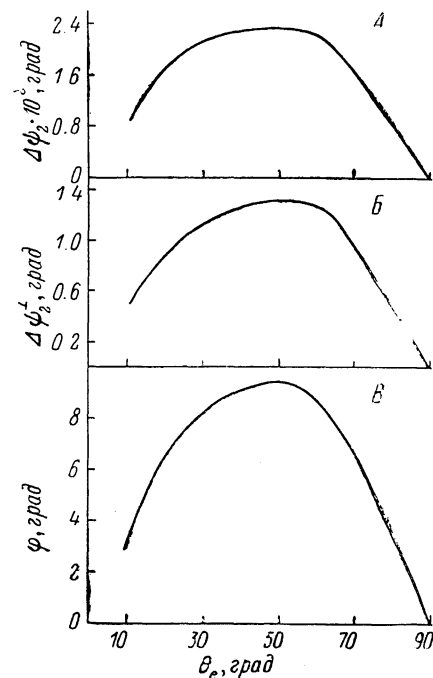
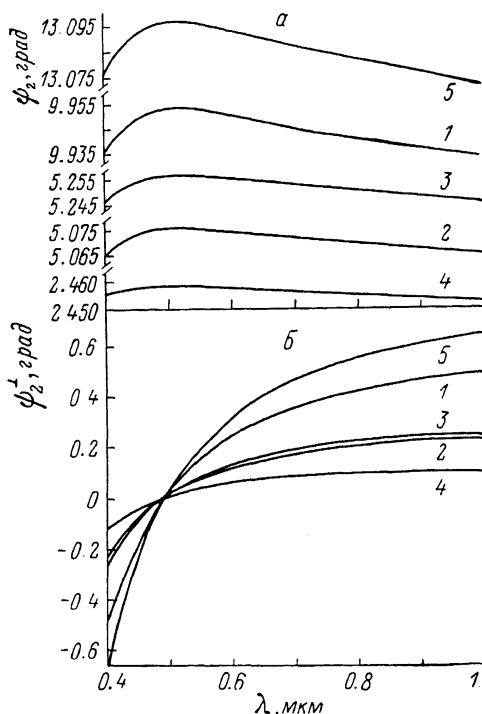


Рис. 2. Спектральные зависимости угловой координаты  $\psi_2$  для АОФ, параметры которых приведены в таблице.

Рис. 3.

*a* — с компенсацией спектрального дрейфа угла дифракции ( $\varphi = \Delta + \psi_1$ ), *б* — выходная грань фильтра ортогональна продифрагировавшему лучу ( $\varphi = \Delta$ ). Номер кривой соответствует порядковому номеру в таблице.

Из полученных графиков видно, что условие (5) определяет точку  $\lambda^{**}$ , в которой  $d\psi_2/d\lambda = 0$ . Для сравнения на рис. 2, *б* приведены графики зависимости  $\psi_2^{\pm}(\lambda)$  для традиционного случая  $\varphi = \Delta(\lambda^{**})$ .

На рис. 3, *а* представлен график зависимости величины спектрального дрейфа угловой координаты *o*-луча

$$\Delta\psi_2(\theta_e) = [\max(\psi_2) - \min(\psi_2)], \quad 0.4 \leq \lambda \leq 1.0 \text{ (мкм)}$$

от параметра оптимального фильтра  $\theta_e$ . Аналогичный график для традиционного случая

$$\Delta\psi_2^{\pm}(\theta_e) = [\max(\psi_2^{\pm}) - \min(\psi_2^{\pm})], \quad 0.4 \leq \lambda \leq 1.0 \text{ (мкм)}$$

приведен на рис. 3, *б*. Из сравнения графиков видно, что  $\Delta\psi_2/\Delta\psi_2^{\pm} \sim 10^{-2}$ . Таким образом, предложенный способ весьма эффективен по крайней мере в оптическом и ближнем ИК диапазонах.

На рис. 3, *в* показана зависимость угла наклона выходной грани  $\varphi$  для произвольного оптимального фильтра, характеризуемого углом  $\theta_e$ .

Экспериментально измеренные значения величин  $\psi_2$  и  $\Delta\psi_2$  для АОФ с параметрами  $\theta_e = 16.8^\circ$ ,  $\gamma = 7.2^\circ$ ,  $\varphi = 5.20^\circ$  отличались от рассчитанных не более чем на 20 %.

## Выводы

1. Показано, что, выбирая угол наклона выходной грани фильтра, можно без использования внешних компенсирующих устройств уменьшить величину спектрального дрейфа продифрагированного луча в  $\sim 100$  раз по сравнению с традиционным вариантом расположения выходной грани ортогонально продифрагированному лучу. При этом спектральный дрейф угла дифракции в фильтре компенсируется спектральным дрейфом угла преломления продифрагированного излучения на наклонной выходной грани.

2. Для семейства оптимальных фильтров на  $\text{TeO}_2$  рассчитана зависимость угла наклона выходной грани, обеспечивающего минимальный пространственный дрейф продифрагированного луча в спектральном диапазоне 0.4—1 мкм, от параметров фильтра.

## Литература

- [1] *Магдич Л. Н., Молчанов В. Я.* Акустооптические устройства и их приложение. М.: Сов. радио, 1978. 110 с.
- [2] *Chang I. C.* Acoustooptic tunable filters. *Opt. Engineering*, 1981, v. 20, N 6, p. 824—829.
- [3] *Балажский В. И., Парыгин В. Н., Чирков Л. Е.* Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985. 280 с.
- [4] *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. 620 с.
- [5] *Chang I. C.* *Appl. Phys. Lett.*, 1974, v. 25, N 7, p. 370—372.
- [6] *Feichtner J. D., Gottlieb M., Conroy J. J.* *Appl. Phys. Lett.*, 1979, v. 34, N 1, p. 1—3.
- [7] *Епихин В. М., Визен Ф. Л., Галь В. В., Калинин Ю. К.* ЖТФ, 1984, т. 54, № 12, с. 2410—2414.
- [8] *Епихин В. М., Визен Ф. Л., Никитин Н. В., Калинин Ю. К.* ЖТФ, 1982, т. 52, № 12, с. 2405—2410.
- [9] *Uchida N.* *Phys. Rev.*, B, 1971, v. 4, N 10, p. 3736—3745.

Научно-производственное объединение  
Всесоюзный научно-исследовательский  
институт физико-технических  
и радиотехнических измерений  
Московская обл.

Поступило в Редакцию  
20 октября 1987 г.

## МАГНИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ АМОРФНОЕ СОСТОЯНИЕ—КРИСТАЛЛ В ПЛЕНКАХ $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$

*И. Ф. Грибанов, В. Д. Окунев, З. А. Самойленко*

Интерес к фазовому переходу аморфное состояние—кристалл в пленках  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  обусловлен перспективой его использования для записи информации [1]. Изменения структуры и электропроводности пленок  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  при их кристаллизации описаны в работе [2]. В данном сообщении приводятся результаты исследований влияния перехода аморфное состояние—кристалл на магнитные свойства пленок.

Изучались стеклообразные пленки  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  толщиной 50—60 мкм, выращенные на подложках из покровного стекла методом катодного распыления [3]. Отжиг пленок проводился в вакууме  $10^{-5}$  Тор.

Ранее нами установлено, что в аморфных пленках полностью подавляется ферромагнитная фаза, присущая кристаллическому материалу, и возникает низкотемпературное сперомагнитное состояние (температура «замерзания»  $T_f = 24$  К), характеризующееся хаотическим распределением локализованных атомных магнитных моментов, т. е. отсутствием крупных сильно скоррелированных групп спинов [3]. Этот вывод подтвердился при изучении влияния на дифференциальную восприимчивость постоянного магнитного поля  $H$ , приложенного параллельно слабому переменному измерительному полю ( $h \approx 20$  Э,  $\nu = 1$  кГц): постоянное поле относительно небольшой напряженности (до 1 кЭ) практически не изменяет температурный ход дифференциальной восприимчивости и положение максимума при  $T_f$ .