

U (80—100 В) и I_1 (10^{-3} — 10^{-4} Вт/см²), — при котором отсутствует оконтуривание изображения и повышается разрешающая способность модулятора (предельная составляет 65 лин./мм [3]).

В результате исследований установлено, что ПВМС с ОТП и ХНП можно применять для осуществления в масштабе времени 40—400 мс операции оконтуривания изображения, причем делать это проще, чем при использовании ПРИЗа или модулятора на нематическом ЖК, поскольку данная операция реализуется без поляризационной оптики и независимо от ориентации ПВМС относительно записывающего и считывающего света.

Литература

- [1] Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983. 268 с.
- [2] Владимиров Ф. Л. и др. Квант. электр., 1985, т. 12, № 10, с. 2061—2076.
- [3] Васильев А. А., Колпаниц И. Н., Парфенов А. В. Квант. электр., 1983, т. 10, № 6, с. 1079—1088.
- [4] Басяева Л. И., Владимиров Ф. Л., Моричев П. Е. и др. Квант. электр., 1983, т. 10, № 8, с. 1542—1546.
- [5] Мильников В. С., Морозова Е. А. ЖТФ, 1984, т. 54, № 10, с. 1980—1985.
- [6] Блинов Л. М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978, с. 384.

Поступило в Редакцию

26 июня 1986 г.

В окончательной редакции

28 января 1986 г.

Журнал технической физики, т. 58, в. 1, 1988

ОСОБЕННОСТИ КОЛЛИНЕАРНОГО АКУСТООПТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МОЛИБДАТЕ КАЛЬЦИЯ

А. А. Блистанов, Т. Г. Вискуп, М. М. Мазур, Л. Л. Пальцев, В. И. Пустовойт,
С. И. Чижиков, В. В. Шильдин, В. Н. Шорин

Коллинеарные акустооптические перестраиваемые фильтры (АОФ) используются в настоящее время в быстродействующих спектральных приборах различного назначения [1, 2]. Монокристаллы, используемые в АОФ, должны обладать таким сочетанием оптических, акустических, фотоупругих свойств, которое при оптимальном выборе геометрии взаимодействия позволяет реализовать фильтр с заданными выходными параметрами (эффективность, диапазон перестройки, разрешающая способность, контраст и т. д.).

Среди кристаллов, применяемых в коллинеарных АОФ, наиболее перспективными для видимого и ближнего ИК диапазонов является молибдат кальция CaMoO_4 . Однако физические свойства CaMoO_4 и особенности его применения в качестве среды для АОФ не достаточно полно изучены [3]. В настоящей работе рассмотрены возможности применения CaMoO_4 для коллинеарных АОФ видимого и ближнего ИК диапазонов излучения.

CaMoO_4 принадлежит к группе шеелита с точечной группой симметрии $4/m$ и является одноосным оптически отрицательным кристаллом. Монокристаллы CaMoO_4 диаметром 30 и длиной 100 мм выращиваются методом Чохральского из расплава на ориентированную заправку. Наибольшим оптическим качеством обладают кристаллы, полученные из шихты стехиометрического состава, синтезированной из соединений CaCO_3 и MoO_3 марки ОСЧ, прошедшие высокотемпературный послеростовой отжиг при температуре 1350 °С в атмосфере кислорода. Полученные таким способом кристаллы прозрачны в диапазоне длин волн 0.35—4.5 мкм, коэффициент поглощения в видимой части спектра не превышает $3 \cdot 10^{-3}$ см⁻¹. Контраст в скрещенных поляризаторах не хуже $(3 \div 5) \cdot 10^3$ при длине кристалла 70 мм. Одной из важных оптических характеристик, которая определяет частоту коллинеарной анизотропной дифракции, является разность показателей преломления обыкновенной и необыкновенной волн и дисперсия этой величины. Измерения зависимости величины $n_o - n_e$ от частоты оптического излучения проводились интерференционным методом. Плоскопараллельный образец помещался между двумя скрещенными поляризаторами таким образом, что его опти-

ческая ось расположена под углом 45° к главным осям поляризационных призм. В этом случае интенсивность света на выходе оптической схемы зависит от длины волны света

$$J = J_0 \sin^2 [\pi/\lambda \cdot d (n_0 - n_e)], \quad (1)$$

где J_0 — интенсивность падающего излучения; λ — длина волны света; d — длина кристалла по свету; n_0 , n_e — показатели преломления.

На рис. 1 приведены зависимости двулучепреломления от длины волны света для CaMoO_4 в видимой и ближней ИК области (1) и перестроенная характеристика коллинеарного АОФ (2), связывающая частоту звука f и длину света λ выражением (кривая — расчет, точки — эксперимент)

$$f = (n_0 - n_e) v/\lambda, \quad (2)$$

где v — скорость акустической волны. Следует отметить, что вариации $(n_0 - n_e)$ по длине кристалла не превышали 0.1 %.

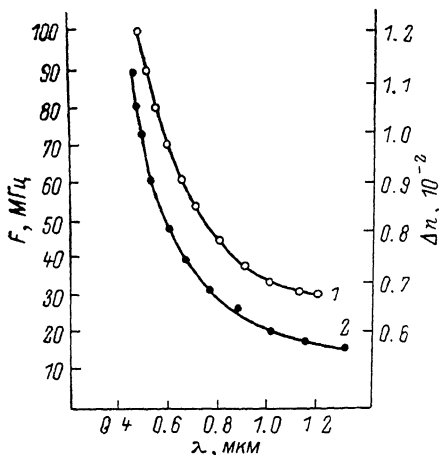


Рис. 1.

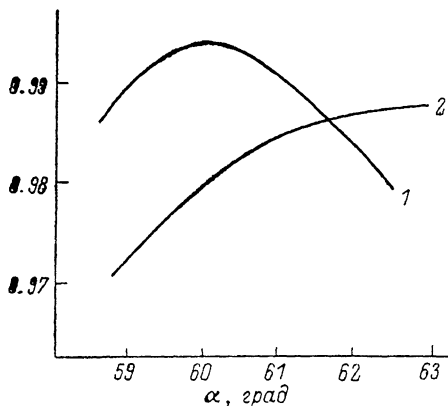


Рис. 2.

Коллинеарный АОФ на монокристалле CoMoO_4 реализуется для света, распространяющегося в плоскости XU кристалла и взаимодействующего со сдвиговой акустической волной, поляризованной вдоль оси Z . При построении коллинеарного АОФ обычно возникает вопрос, каким образом пространственно совместить акустический и световой пучки. Мы использовали традиционный способ, применив оптическую грань АОФ для конверсии продольной акустической волны в сдвиговую с необходимой поляризацией [4].

Для этого из системы уравнений Кристоффеля и граничных условий (равенства нулю нормальных компонент тензора напряжений) рассчитывались коэффициенты отражения звуковых волн по интенсивности. Модули упругости и фотоупругие модули взяты из работы [5]. На рис. 2 показаны зависимости коэффициентов конверсии продольной акустической волны в сдвиговую от угла наклона грани α (1 — продольная волна распространяется вдоль оси Z ; 2 — конвертированная сдвиговая волна, поляризованная вдоль Z , распространяется вдоль оси Y). Углы отклонения направлений распространения сдвиговой волны от оси Y (1) и продольной волны от оси Z (2) представлены на рис. 3. В выбранной конфигурации АОФ к углу α предъявляются следующие требования: с одной стороны, должна обеспечиваться максимальная эффективность конверсии, а с другой — этот угол должен обеспечивать малые потери света на отражение. Особенно важно уменьшать световые потери при большом угле зрения АОФ, когда часть световых лучей может претерпевать полное внутреннее отражение на выходной грани акустооптического фильтра. Используя кривые рис. 2, 3, следует выбрать компромиссные величины коэффициента конверсии и коэффициента пропускания.

Нами были изготовлены АОФ, конструкция которых представлена на рис. 4. При угле $\alpha = 61.7^\circ$ коэффициент конверсии равен 0.986 и поперечная волна распространяется точно по оси Y , т. е. строго выполняется условие реализации режима акустооптического фильтра

$$|\partial k(\varphi, \beta)|/\partial \varphi = 0, \quad (3)$$

где k — волновой вектор звуковой волны; φ — угол, определяющий направление распространения падающей (или дифрагированной) световой волны; β — угол, определяющий направ-

ление распространения звуковой волны. Однако при таком угле α угол зрения АОФ ограничен полным внутренним отражением до величин $\sim 4^\circ$ для $\lambda=0.45$ мкм и $\sim 9^\circ$ для $\lambda=0.9$ мкм. При угле $\alpha=63^\circ$ акустическая волна, взаимодействующая со светом, направлена под углом 1.5° к оси Y , что приводит к сносу звукового пучка. Условие (4) при $\alpha=63^\circ$ выполнено не точно, что приводит к угловой асимметрии в аппаратной функции. Угол зрения этого АОФ, ограниченный полным внутренним отражением, равен $\sim 9^\circ$ для $\lambda=0.45$ мкм и $\sim 14^\circ$ для $\lambda=0.9$ мкм. (Оценки основаны на величине коэффициентов преломления, приведенной в работе [6]).

У АОФ для спектрометров должны отсутствовать паразитные окна пропускания. Подавление паразитных окон пропускания АОФ достигается следующими конструктивными решениями: конверсия акустических волн происходит на выходной грани АОФ, что позволяет избежать сателлита аппаратной функции из-за изотропной дифракции на продольной акустической волне, распространяющейся вдоль Z ; входная грань АОФ срезана под таким углом, что отраженная акустическая волна не взаимодействует со светом, а затем эта акустическая волна поглощается на боковой грани АОФ. Необходимый угол наклона входной грани определяется следующим образом. Так как падающая световая волна АОФ поляризована по оси X , а дифрагированная по оси Z , то эффективная упругооптическая константа запишется в виде

$$P_{\alpha\phi} = -P_{45} \cos \theta + P_{55} \sin \theta, \quad (4)$$

где θ — угол между осью Y и отраженной сдвиговой волной. Чтобы свет со звуком не взаимодействовал, необходимо, чтобы $P_{\alpha\phi}=0$, а так как $P_{45}=P_{55}$, то отсюда следует $\theta=45^\circ$. Т. е. угол наклона входной грани нашего АОФ был взят равным 22.5° .

В качестве ультразвукового преобразователя использовалась пластина ниобата лития среза $Y+36^\circ$, приклеенная к светозвукопроводу цианакрилатным клеем. Электроды были изготовлены напылением серебра с подслоем хрома.

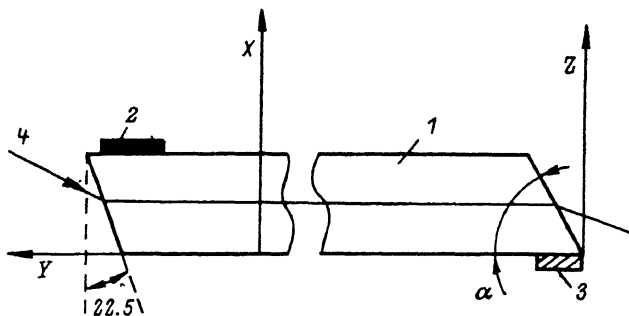


Рис. 4.

1 — светозвукопровод, 2 — поглотитель ультразвуковой волны, 3 — пьезопреобразователь, 4 — свет.

Аппаратную функцию АОФ на СаМоО_4 измеряли при фиксированной длине волны оптического излучения $\lambda=0.63$ мкм медленным $df/dt < 10^4$ Гц/с сканированием частоты радиопульса, подаваемого на ультразвуковой преобразователь. Были измерены аппаратные функции АОФ при различных плотностях акустической мощности и разных законах задания частоты акустической волны вдоль звукопровода. На рис. 5 представлены аппаратные функции АОФ: 1 — при моночастотном заполнении, 2 — при последовательном двухчастотном заполнении с $\Delta f=120$ кГц, 3 — при линейном изменении частоты $df/dt=9 \cdot 10^9$ Гц/с; $P=28$ Вт/см².

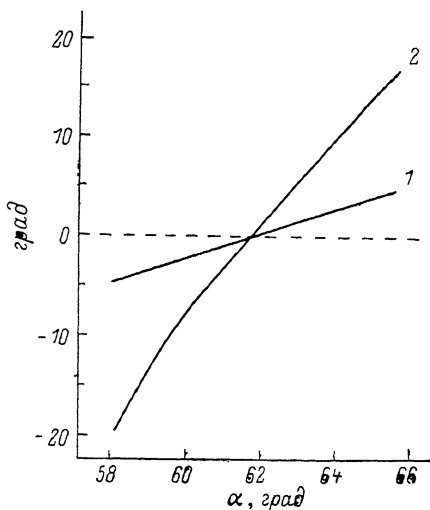


Рис. 3.

Как видно из приведенных результатов, полоса пропускания АОФ на CaMoO_4 может регулироваться способом возбуждения ультразвукового пучка. При этом максимум пропускания может поддерживаться близким к единице выбором мощности радиосигнала. При полосе пропускания 20 \AA (кривая 3) световой поток, пропускаемый через АОФ на CaMoO_4 с угловой апертурой 9° , превышает в 200 раз поток через кварцевый АОФ [7].

Таким образом, в работе описаны синтез кристаллов CaMoO_4 и исследование спектральной зависимости двулучепреломления, получены перестроенные характеристики коллинеарного АОФ из этого материала в широком спектральном диапазоне. Разработаны, созданы и исследованы АОФ на CaMoO_4 и продемонстрированы их существенные преимущества по сравнению с коллинеарным АОФ из кварца.

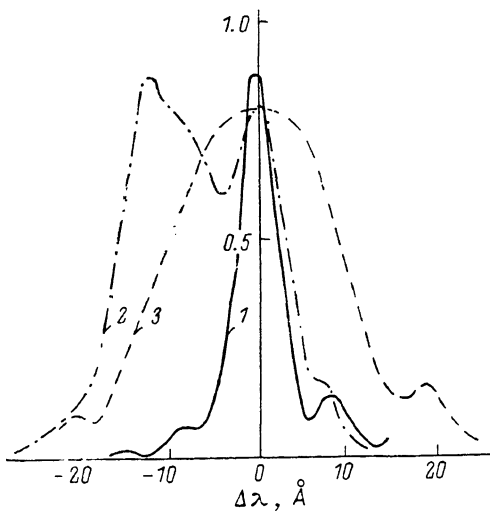


Рис. 5.

Литература

- [1] Балакиши В. И., Парыгин В. Н., Чирков Л. Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985. 280 с.
- [2] Chang I. C. IEEE Trans., 1976, v. SU-23, N 1, p. 3—19.
- [3] Harris S. E., Nich S. T. K., Fiegelson R. S. Appl. Phys. Lett., 1970, v. 17, N 5, p. 223—225.
- [4] Taylor D. J., Harris S. E., Nich S. T. K., Hansch T. W. Appl. Phys. Lett., 1971, v. 19, N 8, p. 269—271.
- [5] Авакяц Л. П., Антипов В. В., Киселев Д. Ф. и др. ФТП, 1982, т. 24, № 10, с. 3171.
- [6] Vod W. L. J. Appl. Phys., 1965, v. 36, N 5, p. 1674—1677.
- [7] Визен Ф. Л., Захаров В. М., Калинников Ю. К. и др. ПТЭ, 1979, № 6, с. 170.

Поступило в Редакцию
2 июля 1986 г.

Журнал технической физики, т. 58, в. 1, 1988

БРЭГГОВСКАЯ ВЫСОКОАПЕРТУРНАЯ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

М. И. Старшин

Вопрос о целесообразности применения двумерных клиновидных пучков света в брэгговских системах визуализации [1, 2] в условиях существенно трехмерной структуры объектного ультразвукового поля никогда не ставился, хотя было известно [2], что в этом случае сам процесс образования изображения, основу которого составляет взаимодействие между цилиндрической волной света и сферической волной ультразвука, сопровождается появлением aberrаций, возрастающих при увеличении апертуры участвующих во взаимодействии волн, и эти собственные aberrации акустооптического взаимодействия существенно снижают разрешающую способность по сравнению с дифракционным пределом [3], практически ограничивая ее величиной порядка 10λ (λ — длина волны ультразвука).

Целью данной работы является изложение нового подхода к организации процесса формирования изображения в брэгговских системах, который существенно снижает собственные aberrации акустооптического взаимодействия, ориентирован на использование высокоапертурных аксиально-симметричных пучков света и позволяет достигнуть высокой разрешающей способности ($\sim \lambda$) при визуализации объектов с существенно трехмерной структурой соответствующих им объектных ультразвуковых полей.