

тщательной настройке параллельности зеркал интерферометра удавалось снизить фон до $\sim 22\%$.

Рассмотренная оптическая схема и результаты исследования ее особенностей явились основой для создания установки, на которой были получены фотошаблоны киноформных линз с расчетными параметрами, приведенными выше. На рис. 10 показан один из фотошаблонов. О качестве первых киноформных линз сообщалось в нашей работе [7]. Разрешение линз близко к теоретическому; дифракционная эффективность, определенная по отношению к световому потоку, прошедшему через линзу, составила для лучших образцов 50% .

ЛИТЕРАТУРА

1. Франсон М. Голография. М., «Мир», 1972.
2. Лизем, Хорш, Джордан. Киноформ.— «Зарубеж. радиоэлектроника», 1969, № 12, с. 41—50.
3. Clair J. J. New methods to synthesize kinoforms.— «Opt. Commun.», 1972, vol. 6, N 2, p. 135—137.
4. Троицкий Ю. В. Отражающий интерферометр на основе согласованной металлической пленки.— «Письма в ЖЭТФ», 1970, т. 11, с. 281—284.
5. Goldina N. D., Troitsky Yu. V. Generation of asymmetric interference fringes in reflected light.— In: Opt. Inf. Proc., N. Y.—L., Plenum Press, 1976.
6. Толанский С. Спектроскопия высокой разрешающей силы. М., ИЛ, 1955, с. 347.
7. Koronkevich V. P., Lenkova G. A., Mikhailtsova I. A., Remesnik V. G., Fateev V. A., Tsukerman V. G. Kinoform optical elements.— In: Opt. Inf. Proc. N. Y.—L., Plenum Press, 1976.

Поступила в редакцию 10 февраля 1977 г.

УДК 534.081.7

**К. И. АВДИЕНКО, В. К. САНОЖНИКОВ, В. И. СЕМЕНОВ,
Д. В. ШЕЛОПУТ**
(Новосибирск)

ФОТОУПРУГИЕ ПОСТОЯННЫЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРС-6

КРС-6 представляет собой устойчивый твердый раствор галогенидов галлия TlCl (70%) и TlBr (30%) [1]. Он имеет кубическую решетку типа CsCl с пространственной группой $\text{Pm } 3m$. Кристалл прозрачен для света с длинами волн от 400 до 30 000 нм. Имея большой коэффициент преломления ($n=2,295$ для $\lambda=0,6328$ мкм) и малую скорость звука, он является перспективным материалом для акустооптики. Однако попытки использовать КРС-6 в акустооптических (АО) устройствах наталкивались на трудности, связанные с плохой воспроизводимостью характеристик АО устройств. Предварительные результаты, полученные авторами данной работы [2], не согласовывались с результатами зарубежных авторов [3, 4], так же как и результаты последних не согласовывались между собой.

В предлагаемой работе мы сообщаем о последних результатах исследования АО характеристик КРС-6, полученных нами на оптически однородных монокристаллах.

В нашем распоряжении имелись промышленные образцы КРС-6 в виде больших буль диаметром до 200 и высотой до 150 мм. Эти були имели большие внутренние напряжения и были блочны и неоднородны по составу. В связи с этим нарушалась оптическая изотропность кристалла и всякие вычисления АО характеристик, связанные с соотношениями, справедливыми для кристаллов с кубической симметрией, могли привести к ошибочным результатам. Были предприняты попытки освободиться от вышеназванных недостатков КРС-6 с помощью следующих процедур. После просмотра були в поляризованном свете из нее вырезались отдельные макроблоки размерами до нескольких сантиметров. Выбранные образцы ориентировались с помощью рентгена и подвергались низко- и высокотемпературному отжигам, которые сопровождали все операции, связанные с резкой, шлифовкой и полировкой образцов.

Влияние отжига на равномерность распределения химического состава контролировалось по распределению таллия на поверхности образца методом рентгеноспектрального микроанализа. В результате подобранных режимов отжига содержание Тl на поверхности образцов колебалось от 70 до 72% (весовых), в то время как до отжига оно изменялось от 66 до 77%. Среднее двулучепреломление в кристалле, наведенное механическими напряжениями до отжига и после него, составляло 10^{-2} — 10^{-3} и 10^{-4} — 10^{-5} соответственно. Это свидетельствует о том, что в результате отжига химический состав кристалла становится более однородным, а механические напряжения уменьшаются. Из подготовленных таким образом образцов для исследования АО характеристик отбирались лишь такие, которые сохраняли поляризацию падающего линейно-поляризованного света неизменной.

Было приготовлено три образца: два ориентированных по направлениям [100], [010], [001] и один с ориентациями осей по [111], [110] и [112]. Образцы имели форму прямоугольных параллелепипедов с размерами сторон $10 \times 15 \times 20$ мм. Поверхности образцов полировались по 13-му классу, их непараллельность $\leq 30'$. Точность ориентации плоскостей не хуже 1° . Образцы имели пропускание $\geq 40\%$ для света с $\lambda = 0,6328$ мкм.

При механическом поджатии оптическая изотропность кристалла снова нарушалась. В связи с этим сборка измерительной АО ячейки имела следующие особенности. Исследуемый образец КРС-6 приклеивался к эталону (плавленый кварц) с помощью переохлажденного салола без механического поджатия. Кристаллизация салола начиналась после внесения в жидкий салол кристаллической затравки.

Затухание ультразвуковых волн при комнатной температуре при изменении частоты звука от 30 до 120 МГц для сдвиговых и до 205 МГц для продольных волн определялось методом оптического зондирования звукового пучка на образцах с ориентацией [100], [010] и [001]. Коэффициент затухания упругих волн на данной частоте определялся по формуле

$$\alpha = (10/\Delta l) \lg(I_1/I_2), \quad (1)$$

где I_1 и I_2 — интенсивность света, дифрагированного на упругой волне в двух точках образца, расположенных на расстоянии Δl друг от друга.

Для учета дифракционной расходимости звукового пучка применялась прямоугольная апертура зондирующего светового пучка высотой, значительно большей высоты звукового пучка. Точность измерения составляла 10%. Полученная зависимость затухания от частоты звука представлена на рис. 1. В логарифмической шкале эта зависимость

имеет линейный вид. Тангенс наклона этой прямой равен 2,05, что свидетельствует квадратичной зависимости затухания от частоты.

Скорость упругих волн с КРС-6 определялась по углу дифракции

$$v = (\lambda f / \varphi), \quad (2)$$

где λ — длина волны света, f — частота звука, φ — дифракционный угол в радианах. Точность измерений не хуже 1%. Рабочая частота $f = 140$ МГц контролировалась резонансным частотомером Ч2-2-11. Результаты экспериментально измеренных значений скорости упругих волн в направлениях [100], [110] и [111], а также вычисленные на основании этих данных значения скорости упругих постоянных КРС-6 в сопоставлении с аналогичными результатами работ [3, 4] представлены в табл. 1, 2.

Критерий АО качества

$$M_2 = (n^6 p^2) / (\rho v^3) \quad (3)$$

(n — коэффициент преломления материала, p — эффективная фотоупругая постоянная, ρ — плотность кристалла, v — скорость упругой волны в данном направлении кристалла) определялся модифицированным методом Диксона — методом трех импульсов [5]. Оптическая схема измерительной установки изображена на рис. 2. Упругая волна от пьезопреобразователя распространяется по эталону и на границе эталон — образец частично отражается и частично проходит в образец. На рисунке эти волны обозначены индексами 1, 2 и 3 соответственно; критерий M_2 образца относительно эталона рассчитывался по формуле

$$\frac{(M_2)_{\text{обр}}}{(M_2)_{\text{эт}}} = \frac{I_3}{I_1 - I_2} \frac{T_{\text{эт}}}{T_{\text{обр}}} l^{\alpha \Delta l}, \quad (4)$$

где I_1 и I_2 — интенсивность света, дифрагированного в эталоне на прямой звуковой волне и волне, отраженной от границы эталон — образец; I_3 — интенсивность света, дифрагированного на прямой звуковой волне в исследуемом образце на расстоянии Δl от границы раздела; $T_{\text{эт}}$ и

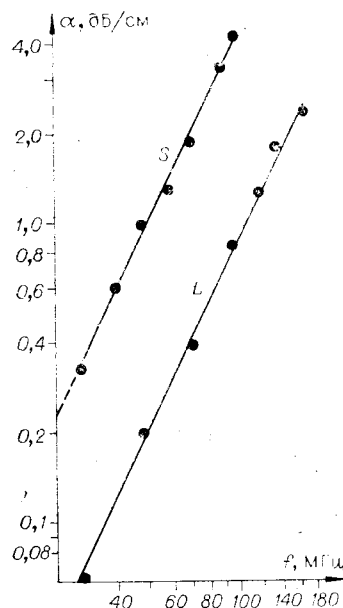


Рис. 1. Частотная зависимость затухания продольных (L) и сдвиговых (S) упругих волн в монокристалле КРС-6 при комнатной температуре.

Таблица 1

Значения акустических скоростей в монокристалле КРС-6

Направление распространения	Мода	$v \cdot 10^5$, см/с
[100]	L	2,33
[110]	L	2,20
[111]	L	2,15
[100]	S	1,02

Таблица 2

Значения упругих постоянных монокристалла КРС-6

$C_{ij} \cdot 10^{11}$ дин/см ²	Наши результаты	[4]	[5]
C_{11}	3,92	3,84	3,95
C_{12}	1,52	—	1,63
C_{44}	0,75	0,825	0,65

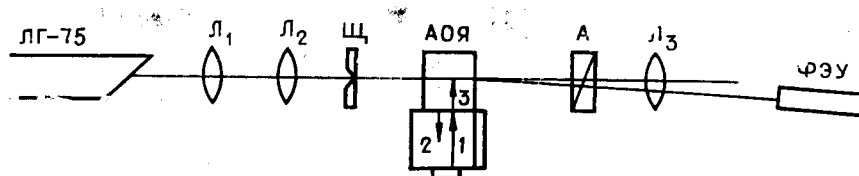


Рис. 2. Схема оптической установки для измерения критерия качества: Л₁, Л₂, Л₃ — линзы, Щ — щель (апертура света), А — анализатор, АОЯ — измерительная ячейка.

$T_{обр}$ — коэффициенты пропускания света эталоном и образцом; α — коэффициент затухания упругой волны в исследуемом образце.

В формуле (4) отсутствует коэффициент, учитывающий потери звука в акустической связке между эталоном и образцом. Была проведена оценка погрешности, к которой приводит пренебрежение этими потерями. Оценочные измерения проводились на АО ячейке, в которой как эталоном, так и образцом являлись идентичные образцы плавленого кварца.

Выяснилось, что средняя ошибка измерения дифракционной интенсивности при различных сборках АО ячейки достигает 5% при рабочей частоте $f=30$ МГц. С ростом частоты эта ошибка возрастала и, например, на частоте 65 МГц достигала 23%.

В связи с полученными результатами измерения критерия АО качества проводились на частоте 30 МГц.

Результаты, полученные при измерении M_2 КРС-6 на образцах различных ориентаций, представлены в табл. 3. По значениям M_2 и результатам табл. 1 рассчитаны значения фотоупругих постоянных монокристалла КРС-6 (табл. 4).

Относительный знак фотоупругих постоянных p_{11} и p_{12} был установлен при измерении эффективности дифракции света, поляризованного в направлении [110], на продольной звуковой волне, распространяющейся в направлении [100]. Эффективная фотоупругая постоянная при этой геометрии АО взаимодействия имеет вид

$$p_{эф} = (p_{11} + p_{12})/2. \quad (5)$$

Знаки фотоупругих постоянных p_{11} и p_{12} оказались одинаковыми.

Таблица 3

Значения критерия АО качества M_2 монокристалла КРС-6

Направление распространения	Упругая волна		Световая волна		M_2 относительно плавленого кварца
	Мода		Направление распространения	Поляризация	
[100]	L		[001]	[100]	128
[100]	L		[001]	[010]	97
[100]	L		[001]	[110]	121
[100]	S		[001]	[100]	590
				или [010]	
[110]	L		[111]	[110]	328
				или [112]	
[111]	L		[112]	[111]	475

Относительный знак p_{44} был определен по измерениям эффективной фотоупругой постоянной, которая при дифракции света, распространяющегося по направлению [111], на продольной звуковой волне с волновым вектором по [110] определяется следующим выражением:

$$p_{эф} = (p_{11} + p_{12} + 2p_{44})/2. \quad (6)$$

Таблица 4

Значения фотоупругих постоянных монокристалла КРС-6

p_{ij}	Наши результаты	[4]	[5]
p_{11}	0,28	0,914	$0,28 \pm 0,005$
p_{12}	0,24	0,66	$0,25 \pm 0,005$
p_{44}	0,18	0,855	$0,14 \pm 0,005$

Отсюда легко с учетом уравнения (5) определяется знак p_{44} . Установлено, что все фотоупругие постоянные монокристалла КРС-6 имеют один знак. Для сравнения в табл. 4 приведены значения фотоупругих постоянных из работ [3, 4]. Как видно из таблицы, наши данные по фотоупругим постоянным довольно хорошо совпадают с результатами работы [4].

Проведенные исследования показали, что кристалл КРС-6 обладает сравнительно высокой АО добротностью как на продольных, так и на поперечных волнах.

В заключение считаем своим долгом поблагодарить С. В. Богданова за полезные дискуссии в процессе работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Научные труды Гиредмета. Т. 29. М., «Металлургия», 1970.
2. Богданов С. В., Шелопут Д. В., Мاستихин В. М., Сапожников В. К., Авдиенко К. И., Семенов В. И., Дарвойд Т. И., Лисицкий И. С. Акустооптические свойства кристаллов галогенидов таллия.— В кн.: Тезисы докладов Координационного совещания по акустооптике. Томск, изд. ТИАСУР, 1975.
3. Uchida N. Direct measurement of photoelastic coefficients by ultrasonic light diffraction techniques.— "Jap. J. Appl. Phys.", 1969, vol. 8, p. 329.
4. Rivoallan L. et Favre F. Propriétés optiques, élastiques et élasto-optiques du KPS6.— "Opt. Comm.", 1974, vol. 11, p. 3.
5. Клuzдин В. В., Кулаков С. Б., Разживин Б. П., Ульянов Г. К. Возможность применения тяжелых флинтос для ультразвуковых модуляторов света.— «ОМП», 1972, т. 1, с. 3.

Поступила в редакцию 3 мая 1976 г.;
окончательный вариант — 21 сентября 1976 г.

УДК 62-503 : 535.2

А. Г. ПОЛЕЩУК
(Новосибирск)

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФОРМЫ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ТЕНЕВЫМ ПРИБОРОМ С ВЫЧИТАНИЕМ

При визуализации слабых фазовых неоднородностей теневым прибором обычно получают информацию только о квадрате производной $\left| \frac{\partial \psi(x, y)}{\partial x} \right|^2$ исследуемого волнового фронта $\psi(x, y)$. Неопределенность знака производной обуславливает невозможность определения истинной формы волнового фронта или его отклонения от эталонного. Это является принципиально важным при исследовании прецизионных астрономических зеркал, синтезированных голографических оптических элементов (киноформов), газовых потоков малой плотности и тому подобных объектов.

В настоящей работе описывается оптико-электронное устройство, позволяющее получать информацию об истинной форме волнового фронта, прошедшего исследуемую фазовую неоднородность. Упрощенная схема устройства изображена на рис. 1.

В передней фокальной плоскости объектива O_1 симметрично по отношению к оптической оси расположены два точечных взаимно некогерентных источника света S_1 и S_2 . Коллимирующий объектив O_1 фор-