

3. J. Upatnieks, C. D. Leonard. Linear Wavefront Reconstruction from Nonlinearly Recorded Holograms.—“Appl. Opt.”, 1971, v. 10, № 10.
4. B. Hill. Some Aspects of a Large Capacity Holographic Memory.—“Appl. Opt.”, 1972, v. 11, № 1.
5. G. Goldman. Recording of Digital Data Masks in Quasi Fourier Holograms.—“Optik”, 1971, v. 34, № 3.
6. Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин. Оптическая голография. М., «Мир», 1973.

*Поступила в редакцию 13 августа 1974 г.*

УДК 621.373.826

**В. М. МАСТИХИН, В. К. САПОЖНИКОВ, М. Г. СЕРБУЛЕНКО,  
К. М. СОБОЛЕВСКИЙ, Ю. Н. ТИЩЕНКО, Д. В. ШЕЛОПУТ**

*(Новосибирск)*

### **К ВЫБОРУ МАТЕРИАЛА И ИССЛЕДОВАНИЮ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОЗВУКОПРОВОДОВ ДЕФЛЕКТОРНЫХ ЯЧЕЕК**

При разработке систем отклонения лазерного излучения, использующих дифракцию света на ультразвуковой волне [1], одной из центральных и привлекающих широкое внимание продолжает оставаться задача создания высококачественных светозвукопроводов для акустооптических дефлекторных ячеек, причем в решении этой задачи сохраняется актуальность выбор материала и критериев контроля. Поэтому в дополнение к [2, 3] представилось целесообразным доложить о некоторых новых результатах, полученных в этой области, а также охарактеризовать специфику применяемых нами методов исследования оптического качества, обеспечивших эффективный контроль создаваемых светозвукопроводов.

Исходя из основных требований к материалу светозвукопровода (он должен обладать достаточно большим коэффициентом акустооптического качества  $M_1$  и  $M_2$ , высокой прозрачностью в области рабочих длин волн света и малым акустическим поглощением на рабочих звуковых частотах [2]), и в результате исследований, выполненных в последний период, можно несколько уточнить перечень наиболее перспективных материалов. Такой перечень приведен в табл. 1, где данные, взятые из [2, 4], дополнены новыми результатами наших исследований.

Как видно из табл. 1, из-за основных параметров несколько ограниченный диапазон применения имеют парамолибдат свинца и КРС-6, которые целесообразно использовать только на относительно низких частотах (из-за большого акустического затухания), а также прустит и КРС-5, применимые только для красной и инфракрасной областей спектра.

Для некоторых применений (там, где требуется максимально возможная прозрачность оптического тракта) может оказаться более предпочтительным иодат лития, несмотря на его небольшой коэффициент акустооптического качества, поскольку просветленные экспериментальные образцы светозвукопровода из йодата лития толщиной около 15 мм обеспечивали пропускание (на длине волны 0,63 мкм) более 97%\*. Кроме того, йодат лития обладает, как известно [5], хорошими пьезо-

\* Просветление экспериментальных образцов светозвукопроводов из йодата лития и других материалов выполнялось инженером Н. Н. Каменевым.

Материал	Область прозрачности (мкм)	Плотность (г/см <sup>3</sup> )	Акустическая волна		Оптическая волна			Оптического качества		
			Тип волны. Направление распространения	Скорость (км/с)	Акустическое затухание (дБ/с·МГц <sup>2</sup> )	Направление поляризации*	Показатель преломления ( $\lambda=0,63$ мкм)	$M_1 \cdot 10^7$ $\frac{\text{см}^2 \cdot \text{с}}{2}$	$M_2 \cdot 10^{18}$ $\frac{\text{с}^3}{2}$	
Молибдат свинца PbMoO <sub>4</sub>	0,42—5,5	6,95	L	3,63	6		2,262	108	36,3	
			[001]				⊥	2,386	113	36,1
Альфа-йодноватая кислота α-HfO <sub>3</sub>	0,3—1,8	5,0	L	2,44	2,5	[100]	1,986	103	86	
			[001]				[010]	1,960	93	80
			[100]					1,986	125	50
Парателлурит TeO <sub>2</sub>	0,35—0,5	6,0	L	4,20	6,5	⊥	2,260	138	34,5	
			[001]					2,412	109	25,6
			S				[110]	0,616	16	
Двойной молибдат свинца Pb <sub>2</sub> MoO <sub>5</sub>	0,4—5	7,1	L	2,96	60	Y=b	2,183	242	127	
			X					2,302	162	65,3
			L							
Z	3,28									
Прустит Ag <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub>	0,6—13,5	5,57	L	2,65	4,5	⊥	2,98	816	390	
[001]										
КРС-5 TiBr—TiJ	0,53—50	7,37	L	1,92	7,5		2,572	1090	1150	
[111]										
КРС-6 TiBr—TiCl	0,4—25	7,19	L	2,28	20		2,314	185	150	
[111]										
Йодат лития LiJO <sub>3</sub>	0,3—6	4,5	L	4,13	1		1,88	25,7	8	
[001]				4,3		001	1,74	41,9	13,0	
[100]										

\* || и ⊥ волновому вектору звука.

свойствами, что делает его в таких случаях интересным материалом в связи с возможностью хорошего акустического согласования пластинчатого пьезопреобразователя из йодата лития со светозвукопроводом из такого же материала, наряду со значительным упрощением согласования пьезопреобразователя с электрическими цепями [благодаря его низкой диэлектрической проницаемости (табл. 2)].

Принимая во внимание приводимые сравнительные характеристики (см. табл. 1), необходимо, однако, при выборе материала для светозвукопровода учитывать также и такие немаловажные требования, как химическая стойкость и механическая прочность, наличие отработанной технологии выращивания кристаллов, стабильность параметров. Так, например, такой по многим параметрам, казалось бы, перспективный материал, как альфа-йодноватая кислота, очень сложно применять в устройствах из-за его гигроскопичности и химической активности: он нуждается в защите от окружающей среды, и эта защита к тому же должна быть инертной (не должна вступать с ним в химическое взаимодействие).

Для использования в акустооптических дефлекторах, работающих на длине волны 0,63 мкм и предназначенных для голограммных запо-

Таблица 2

Материал	Плотность (г/см <sup>3</sup> )	Ориентация	Тип волны	Скорость УЗ волны (10 <sup>-5</sup> см/с)	Диэлектри- ческая пос- тоянная	Коэффициент электромеха- нической связи	Акустический импеданс (10 <sup>-6</sup> кг/м <sup>2</sup> с)
Ниобат лития LiNbO <sub>3</sub>	4,64	Z	L	6,86	29	0,18 ÷ 0,26	32,8
		Y	L	3,94	108	0,30	18,4
		Y	L	7,2	39	0,5	33,4
		X	S	4,8	44	0,68	22,6
Йодат лития LiJO <sub>3</sub>	4,49	Z	L	4,12	6	0,5	18,5
		X, Y	S	2,52	7	0,6	11,3

минающих устройств (ГЗУ) [6], анализ свойств акустооптических материалов дал нам основание выбрать в качестве материалов для светозвукопроводов монокристаллы галогенидов таллия — КРС-5 и КРС-6 (см. табл. 1), выращивание которых освоено отечественной промышленностью. Практически были получены кристаллы КРС-5, которые на длине волн 0,63 мкм пропускали около 50% света при длине образца в 10 мм, а при применении просветляющих покрытий — до 80%; образцы КРС-6 с просветляющими покрытиями пропускали при тех же условиях до 90%. Следует, однако, оговориться, что эти данные были получены на отобранных образцах кристаллов, которые и доводились до высокого оптического качества специальной термической обработкой. Недостатком кристаллов КРС-5 и КРС-6 является то, что они очень «капризны» при механической обработке.

На важнейшие параметры акустооптического дефлектора оказывают серьезное (а в ряде случаев и решающее) влияние оптические свойства светозвукопроводов. Так, в частности, от коэффициента пропускания светозвукопровода непосредственно зависит мощность отклоненного светового пучка. От внутреннего состояния образца, наличия в нем напряжений, неоднородностей, а также от плоскостности поверхности зависит число разрешимых положений светового луча и, кроме того, степень его когерентности, так как эти внутренние и поверхностные неоднородности увеличивают угол расходимости прошедшего через материал светового пучка. Поэтому контроль всех этих факторов во многом предопределяет конечный результат.

В связи с отсутствием ГОСТа и ТУ на оптическое качество материалов для светозвукопровода оказалось необходимым имеющиеся гостированные методики измерения для оптического стекла модифицировать применительно к решаемой задаче, чтобы обеспечить экспериментальное определение коэффициента разрешения светозвукопровода.

Под коэффициентом разрешения (физически он представляет собой коэффициент увеличения расходимости оптического пучка) понимается отношение предела разрешения, измеренного на данной установке с образцом, к пределу разрешения установки.

При определении предела разрешения материала светозвукопровода или дефлекторной ячейки за основу были приняты существующие визуальные методы определения предела разрешения для оптического стекла (ГОСТ 35118-69) и для телескопических систем (ГОСТ 15114-69). В качестве место-объекта использовались штриховые миры абсолютного контраста. При этом предел разрешения оптической системы исследуемого объекта есть наименьшее угловое расстояние между серединами двух соседних светлых (или темных) штрихов используемой миры, которые видны еще через систему раздельно при достаточном увеличении изображения.

Как упоминалось в [3], в используемой нами резольвиметрической установке коллиматор, зрительная труба и регулируемый столик являются элементами гониометра. Так как гониометр позволяет поворачивать зрительную трубу относительно коллиматора, то установка дает возможность оценивать коэффициент разрешения не только всего исследуемого образца, но и отдельно каждой из его поверхностей. Наряду с обычными измерениями, на установке можно также проводить измерения на работающей дефлекторной ячейке в дифрагированном свете (применяя монохроматический источник света). При проведении измерений в первую очередь подбирается штриховая мира в соответствии с пределом разрешения установки при данной рабочей апертуре. Затем по обычной методике (ГОСТ 3518-69) измеряется предел разрешения системы, находится величина предела разрешения установки в секундах дуги. Далее, не перефокусируя установку, ставят образец на столик гониометра и аналогично находят предел разрешения образца. После этого вычисляют коэффициент разрешения образца в соответствии с определением.

Измеренный таким образом коэффициент разрешения количественно дает оценку интегрально по всей рабочей апертуре в видимом свете увеличения угла расходимости луча, прошедшего через объект. Поэтому в первом приближении в формулу для определения практического разрешения ( $N_{\text{практ}}$ ) акустооптического дефлектора [3] коэффициент разрешения  $K_c$  можно ввести следующим образом:

$$N_{\text{практ}} = \frac{N_p}{2K_c},$$

где  $N_p$  — разрешение дефлектора, рассчитанное по Релею.

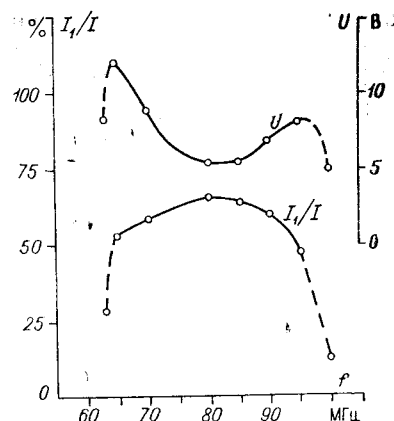
Необходимо иметь в виду, что при работе в когерентном монохроматическом свете пучок дифрагирует на местных неоднородностях, царапинах поверхности и т. п. преимущественно по каким-то направлениям, и, следовательно, расходимость его по периметру неодинакова (имеются направления с преимущественным рассеянием). Эта специфика учитывается особо [7].

Измерения на резольвиметрической установке и определяемый с ее помощью коэффициент разрешения ( $K_c$ ) дают оценку, интегральную по площади апертуры, и, следовательно, коэффициент  $K_c$  как критерий оптического качества светозвукопровода носит несколько частный характер. Тем не менее он вполне обеспечивает предварительную оценку оптической пригодности материала для дефлектора.

В процессе создания отклоняющей системы для ГЗУ были разработаны [3] несколько макетов дефлекторных ячеек. В качестве светозвукопроводов использовались различные материалы: жидкие (вода, *n*-гексан), стекла (в том числе халькогенидные), кристаллы (прустит, КРС-5, КРС-6, молибдат свинца).

Наиболее перспективным из имеющихся в нашем распоряжении акустооптических материалов для длины волны 0,63 мкм оказался КРС-5: ячейки со светозвукопроводом из КРС-5 в сочетании с пьезообразователем из иодата лития обеспечили лучшие характеристики. Укажем характеристики этих двух однокоординатных ячеек, предназначенных для использования в двухкоординатной системе отклонения [7], которая создавалась в предположении, что отклоненный по двум координатам пучок лазера должен иметь не менее 10—15% интенсивности по отношению ко входящему пучку (не включая потери в оптической схеме). Просветленные образцы светозвукопроводов из КРС-5 имели пропускание 70%. Однослойное просветление из  $MgF_2$  было нанесено вакуумным напылением с контролем толщины в процессе напыления. Полоса частот рассчитывалась в предположении, что минимальная ди-

фракционная эффективность каждой ячейки должна быть не менее 50% на краях диапазона при подводимой электрической мощности порядка одного ватта (при первых испытаниях ячеек применялись генераторы ГЗ-19А). На рисунке даны частотные зависимости дифракционной эффективности  $I_1/I$  и электрического напряжения  $U$ , подаваемого на ячейку, для одной из дефлекторных ячеек из КРС-5. Как видно из рисунка, напряжение  $U$  было подобрано таким образом, что дифракционная эффективность в рабочей полосе частот была (по возможности) выравненной на уровне 50%.



Приведенные экспериментальные данные были получены при питании дефлекторных ячеек электрическим сигналом в импульсном режиме с частотой 1000 Гц, со скважностью 2, поскольку при питании непрерывной мощностью наблюдались тепловые эффекты расплывания светового пучка. Предварительно можно заметить, что эти эффекты, вероятно, не связаны с физическими характеристиками светозвукопровода\*, так как на предыдущих ячейках, выполненных из того же материала, при подаче большей электрической мощности и при большей дифракционной эффективности эти эффекты не наблюдались.

Коэффициенты разрешения ( $K_c$ ) светозвукопроводов охарактеризованных двух однокоординатных ячеек составили 2,12 и 2,66\*\*.

Таким образом, анализируя имевшиеся в нашем распоряжении акустооптические материалы по параметрам, определяющим их пригодность в качестве светозвукопроводов акустооптических дефлекторных ячеек, мы убедились, что, наряду с традиционными характеристиками, важное значение имеет оптическая однородность. Для выбора материала светозвукопровода по этому параметру, предопределяющего разрешение готовой дефлекторной ячейки, целесообразно использовать модифицированные гостированные методики, которые позволяют также непосредственно контролировать разрешение ячейки после ее изготовления. Учет как основных, так и этого дополнительного критерия позволил нам создать работоспособные дефлекторные ячейки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгин. Методы модуляции и сканирования света. М., «Наука», 1970.
2. С. В. Богданов, Д. В. Шелопут. Современное состояние акустооптики.— В кн.: Оптические устройства для хранения и обработки информации. Новосибирск, Изд. ИАЭ СО АН СССР, 1974.
3. С. В. Богданов и др. О некоторых возможностях построения и исследования акустооптических дефлекторов для голограммных запоминающих устройств.— В кн.: Оптические устройства для хранения и обработки информации. Новосибирск, Изд. ИАЭ СО АН СССР, 1974.
4. Утида, Ниидзэки. Материалы и методы акустооптического отклонения.— «ТИИЭР», 1973, т. 61, № 8.
5. С. В. Гордеева и др. Исследование пьезоэлектрических свойств монокристаллов подата лития.— В кн.: Оптические устройства для хранения и обработки информации. Новосибирск, Изд. ИАЭ СО АН СССР, 1974.

\* По-видимому, подобное явление вызвано плохим акустическим согласованием преобразователя, а не тепловыми константами материала.

\*\* Коэффициенты разрешения в когерентном свете измеренные методом сканирования узкой щелью, составили 2 и 2,05 [7].

6. И. С. Гибин и др. Программируемое голограммное ЗУ с записью и считыванием информации.— «Автометрия», 1975, № 3.  
7. С. В. Богданов и др. Двухосевый голограммный регистратор.

УДК 621.382.8 : 681.327

Г. Л. КОГАН, Е. Ф. ПЕН

(Новосибирск)

## К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОТОМАТРИЦ ДЛЯ ГОЛОГРАММНЫХ ЗУ

В [1—6] показано, что параметры основных элементов голограммных ЗУ (транспарант данных, матрица голограмм, фотоматрица, объективы и другие) взаимосвязаны и не могут быть выбраны произвольно.

Чаще всего оптимизация параметров оптических систем голограммных ЗУ (ГЗУ) производится с целью обеспечения максимальной плотности записи информации. При этом принимаются во внимание геометрические, абберационные и дифракционные ограничения, шумы и нелинейные свойства регистрирующей среды и другие ограничения технического характера.

Недостатки известных работ состоят в том, что в процессе оптимизации параметров ГЗУ не учитываются особенности и режимы работы фотоматриц, являющихся важными элементами ГЗУ. Исключение составляет работа [5], в которой выбор параметров ГЗУ производится в предположении, что фотоматрица преобразует воспринимаемый световой поток в электрический сигнал линейным образом (например, фотоматрица с токовым отсчетом) [7]. Однако в общем случае это преобразование является нелинейным, что справедливо, в частности, для применяемых в ГЗУ интегральных (интегрально-гибридных) фотоматриц, работающих в режиме накопления заряда [8].

Целью данной работы является определение оптимальных геометрических параметров интегральных фотоматриц (размера фотодиодов, расстояния между ними), а также параметров оптических элементов ГЗУ с учетом нелинейного характера преобразования воспринимаемого светового потока в электрический сигнал.

I. Найдем зависимость светового потока, воспринимаемого фотоприемником, от его собственных размеров и параметров оптической системы ГЗУ.

Пусть при записи и восстановлении голограммы используется опорный пучок света с гауссовым распределением интенсивности

$$I_R(u, v) = \exp \left[ -\frac{8}{D_R^2} (u^2 + v^2) \right],$$

где  $u, v$  — координаты в плоскости голограммы,  $D_R$  — диаметр опор-