

УДК 535.551

ФОТОУПРУГИЕ СВОЙСТВА ГАЛОГЕНИДОВ СВИНЦА В СРЕДНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ

К. С. Александров, Г. О. Андрианов, Ч. Барта,¹
А. В. Замков, В. В. Леманов, А. Триска¹

Исследованы оптические и упругие свойства кристаллов PbCl_2 и PbBr_2 , а также их фотоупругие свойства на длине волны 10.6 мкм. Рассчитаны значения упругих и фотоупругих коэффициентов. Показано, что акустооптическая добротность кристаллов PbBr_2 на длине волны 10.6 мкм превышает добротность германия при хорошей прозрачности в области от 0.4 до 28 мкм.

Систематические исследования фотоупругих свойств кристаллов представляют интерес для выяснения механизмов акустооптического взаимодействия. Кроме того, такие исследования позволяют находить материалы, перспективные для создания акустооптических устройств управления оптическим излучением.

В настоящей работе приводятся результаты исследования фотоупругих свойств кристаллов галогенидов свинца (PbCl_2 , PbBr_2) на длине волны 10.6 мкм. В видимом диапазоне эти кристаллы исследовались в работах [1, 2], предварительные данные для кристаллов PbCl_2 для среднего ИК диапазона сообщались в [3].

Кристаллы галогенидов свинца (ромбическая сингония, точечная группа D_{2h}) выращивались методом Бриджмена с использованием сырья специальной очистки (99.9999 %). Температура поддерживалась с точностью 0.2 °C, скорость роста составляла 5 мм/ч. Температурное поле в кристаллизаторе устанавливалось таким образом, чтобы в расплаве отсутствовала конвекция и не было нежелательных колебаний температуры на границе раздела кристалл—расплав. В процессе роста поддерживался практически нулевой радиальный температурный градиент, а в процессе отжига, который продолжался 24 ч, — нулевой аксиальный градиент.

Нами были измерены спектры пропускания кристаллов (рис. 1), показатели преломления на длине волны 10.6 мкм методом призмы (табл. 1), скорости v , затухания упругих волн на частоте 150 МГц и акустооптическая добротность M_2 на длине волны 10.6 мкм. Кроме того, рассчитаны характерные частоты для анизотропного акустооптического взаимодействия в PbBr_2 .

Таблица 1

Коэффициенты преломления (для 10.6 мкм) и упругие постоянные
(в Па)

	ρ , г/см ³	n_a	n_b	n_c	C_{11}	C_{22}	C_{33}	C_{44}	C_{55}	C_{66}
PbCl_2	5.85	2.074	2.062	2.110	40.5	48.2	43.0	9.1	20.0	5.7
PbBr_2	6.62	2.252	2.285	2.348	31.1	34.9	35.1	10.2	18.6	3.1

¹ Институт физики ЧСАН, г. Прага.

Для измерения акустооптической добротности использовался метод Диксона—Коэна [4] с кристаллом германия в качестве эталона. Источником света служил CO_2 лазер с длительностью импульсов 10^{-4} с и мощностью 5 Вт. Интенсивность дифрагированного света измерялась компенсационным методом. Отношение сигнал—шум в большинстве случаев было не хуже 10^3 , и лишь при самых малых константах взаимодействия это отношение уменьшалось до 10. В качестве приемника оптического

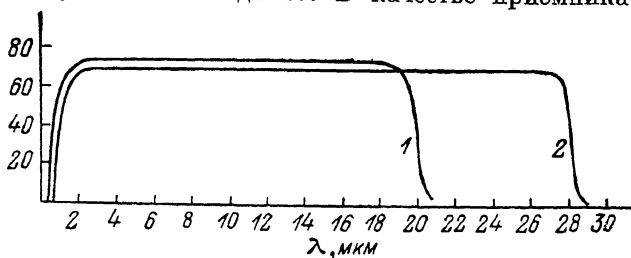


Рис. 1. Спектры пропускания PbCl_2 (1) и PbBr_2 (2).

излучения использовалось фотосопротивление КРТ, охлаждаемое жидким азотом. Поляризация падающего и дифрагированного света контролировалась решеткой-поляризатором типа РПИ-4-01. Кристаллографические оси X (a), Y (b), Z (c) образцов выбраны таким образом, чтобы для постоянных решетки выполнялось соотношение $b > a > c$. Все измерения проводились при комнатной температуре.

Таблица 2
Фотоупругие коэффициенты
и акустооптическая добротность (10^{-18} СГС)

		Индексы					
		11	21	31	12	22	32
PbCl_2	p_{ij}	0.190	0.250	0.167	0.244	0.246	0.163
	M_2	27	45	23	34	34	17
PbBr_2	p_{ij}	0.331	0.288	0.232	0.156	0.265	0.160
	M_2	212	175	134	40	125	53

Таблица 2 (продолжение)

		Индексы					
		13	23	33	44	55	66
PbCl_2	p_{ij}	0.195	0.263	0.154	0.084	0.065	0.040
	M_2	25	47	18	78	9	23
PbBr_2	p_{ij}	0.184	0.314	0.165	0.058	0.070	0.070
	M_2	55	174	56	45	27	335

Рассчитанные из экспериментальных данных значения упругих и фотоупругих коэффициентов приведены в табл. 1, 2. При расчетах использовались значения фотоупругих коэффициентов германия из работы [5]. Затухание упругих волн в зависимости от направления распространения и поляризации звука на частоте 150 МГц меняется от 0.2 до 1.0 дБ/мкс. Затухание в обоих кристаллах в целом отличается незначительно. Точность измерения показателей преломления составляла 0.5 %, а упругих

и фотоупругих коэффициентов 1.5 и 2 % соответственно. Отметим, что данные по упругим модулям в пределах ошибок опыта согласуются с данными работы [6], кроме значений C_{11} и C_{66} для PbBr_2 , которые отличаются примерно на 4 %.

Как видно из рис. 1 и табл. 2, исследованные кристаллы, особенно PbBr_2 , являются эффективными акустооптическими материалами для среднего ИК диапазона. Кристаллы прозрачны в широком диапазоне длин волн света от видимой области до примерно 20 мкм для PbCl_2 и 28 мкм для PbBr_2 (край поглощения для PbCl_2 сдвинут по сравнению с PbBr_2 пропорционально корню квадратному из отношения масс). Из табл. 2 следует, что для PbBr_2 акустооптическая добротность во многих

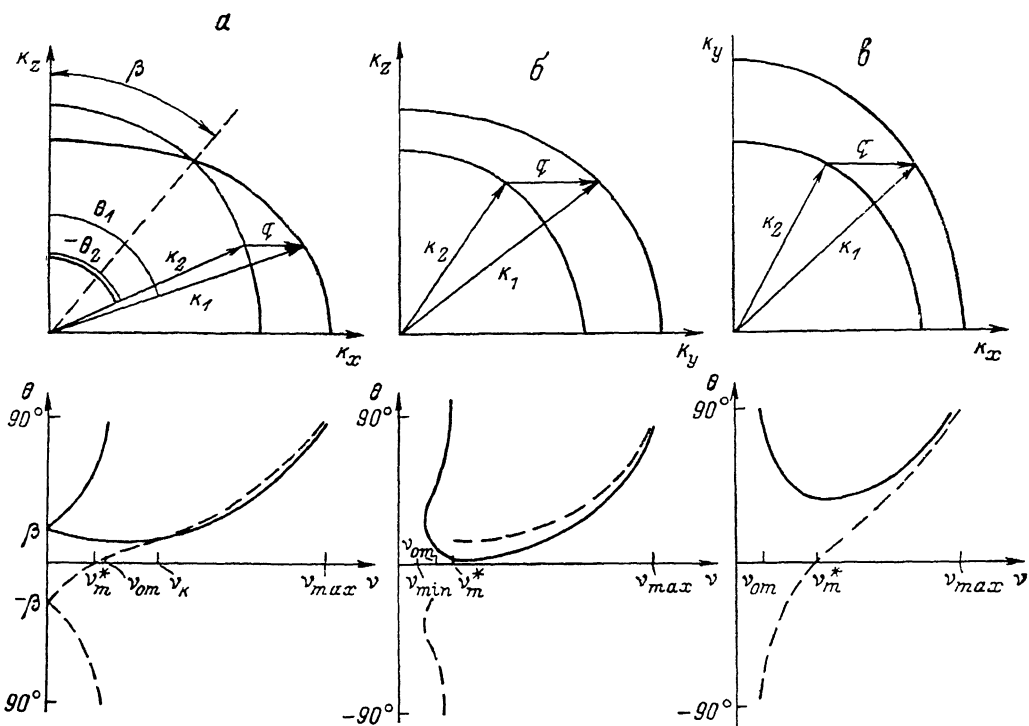


Рис. 2. Сечение поверхности волновых векторов плоскостью рассеяния в оптически двуосном кристалле и зависимости углов падения (θ_1 — сплошные линии) и рассеяния (θ_2 — штриховые линии) света от частоты упругой волны для плоскостей рассеяния (ZX) (а), (ZY) (б), (YX) (в).

случаях превышает максимальную акустооптическую добротность германия, который считается одним из наиболее перспективных акустооптических материалов для ИК диапазона. Так, например, для фотоупругого коэффициента p_{66} акустооптическая добротность M_2 для PbBr_2 в 2.5 раза превышает максимальное значение M_2 германия. Однако в отличие от германия галогениды свинца являются оптически анизотропными материалами, что значительно расширяет возможности их использования в акустооптике. Из табл. 1 следует, что при длине волны 10.6 мкм оптические оси лежат в плоскости (ZY) для PbCl_2 и в плоскости (ZX) для PbBr_2 . Угол между оптическими осями и осью Z составляет 66° для PbCl_2 и 37° для PbBr_2 .

Как известно, в оптически анизотропных кристаллах возникают новые коэффициенты фотоупругости, связанные с поворотами элементов объема при распространении в кристалле упругой волны [7]. Для ромбических кристаллов такими новыми компонентами являются p_{41} , p_{55} , p_{66} . Эти компоненты могут быть непосредственно измерены акустооптическим методом. Так, интенсивность анизотропной дифракции в плоскости (YX)

Таблица 3

Характерные частоты упругих волн при анизотропной дифракции света в двухосных кристаллах [8] с оптическими осями в плоскости (ZX)

	ν_{\min}	ν_m^*	ν_{om}	ν_k	ν_{\max}
(ZX), $\mathbf{q} \parallel X$	—	$\frac{v}{\lambda_0} (n_y^2 - n_x^2)^{1/2}$	$\frac{v}{\lambda_0} (n_x - n_y)$	$\frac{2v}{\lambda_0} \sin \Gamma$	$\frac{v}{\lambda_0} (n_y + n_x)$
(ZY), $\mathbf{q} \parallel Y$	$\frac{v}{\lambda_0 n_y} [(n_y^2 - n_x^2) \times (n_x^2 - n_z^2)]^{1/2}$	$\frac{v}{\lambda_0} \frac{n_x}{n_y} (n_y^2 - n_x^2)^{1/2}$	$\frac{v}{\lambda_0} (n_x - n_z)$	—	$\frac{v}{\lambda_0} (n_x + n_z)$
(YX), $\mathbf{q} \parallel X$	—	$\frac{v}{\lambda_0} (n_z^2 - n_x^2)^{1/2}$	$\frac{v}{\lambda_0} (n_x - n_y)$	—	$\frac{v}{\lambda_0} (n_x + n_y)$

на поперечной волне вдоль Y , поляризованной по Z , определяется компонентой p_{44} , а интенсивность анизотропной дифракции в плоскости (ZX) на поперечной волне вдоль Z , поляризованной по Y , определяется компонентой p_{44} . Непосредственные измерения для PbCl_2 дают

$$p_{44} - p_{44} = 0.054 - 0.069 = 0.015.$$

С другой стороны, из работы [7] следует

$$p_{44} - p_{44} = 1/n_b^2 - 1/n_c^2 = 0.01,$$

что разумно согласуется с экспериментом.

Поскольку галогениды свинца являются оптически двухосными кристаллами, геометрия акустооптического взаимодействия оказывается для них более сложной, чем в одноосных кристаллах. На рис. 2, $a-e$ приведены сечения поверхностей волновых векторов плоскостями рассеяния и зависимости углов падения и дифракции от частоты упругих волн. На диаграммах указаны характерные частоты упругих волн. Формулы для расчета этих частот сведены в табл. 3. Численные значения характерных частот для бромида свинца приведены в табл. 4. Частоты ν_{om} и ν_{\max} соответствуют коллинеарному взаимодействию при рассеянии света вперед и назад; при частоте ν_m^* волновой вектор света \mathbf{k} перпендикулярен волновому вектору упругих волн \mathbf{q} , а частота ν_k соответствует направлению векторов \mathbf{k}_1 и \mathbf{k}_2 вдоль оптических осей кристалла.

Зависимости, приведенные на рис. 2, $a-e$, дают возможность выбора оптимальной геометрии для акустооптических устройств управления оптическим излучением (модуляторы, дефлекторы, монохроматоры и др.).

Л и т е р а т у р а

- [1] Замков А. В., Коков И. Т., Анистратов А. Т. // Кристаллография. 1979. Т. 24. № 3. С. 617—618.
- [2] Zamkov A. V., Kokov I. T., Anistratov A. T. // Phys. St. Sol. (a). 1983. V. 79. P. K177—180.
- [3] Александров К. С., Андрианов Г. О., Дьяконов А. М. и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. № 12. С. 737—740.
- [4] Dixon R. W., Cohen M. G. // Appl. Phys. Lett. 1966. V. 9. P. 205—208.
- [5] Feldman A., Waxler R. M., Horowitz D. // J. Appl. Phys. 1978. V. 49. N 4. P. 2589—2590.
- [6] Александров К. С., Бурков С. И., Сорокин Б. П., Шабанов Л. А. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 1. С. 227—232.
- [7] Nelson D. F., Lax M. // Phys. Rev. B. 1973. V. 3. N 8. P. 2778—2794.
- [8] Lemanov V. V. // Ferroelectrics. 1974. V. 7. P. 11—16.

Таблица 4

Значения характерных частот, в МГц
(длина волны света 10.6 мкм)

	ZX	ZY	YX
ν_{\min}	—	11	—
ν_m^*	28	50	45
ν_{om}	11	12	4
ν_k	200		
ν_{\max}	700	500	330