

по k с весом $\exp(-k^2/2mt)$). Точное вычисление j_p затруднительно, однако оценка легко может быть получена заменой $k \rightarrow k_r$.

Сравнивая характерную величину токов, полученную в этой работе — (10), (16), с результатами [1], видим, что токи имеют один и тот же порядок величины. Модели примесей, использованные в настоящей работе, позволяют рассчитать эффект в кристалле без центра симметрии, не обладающем полярной осью. В соответствии с [4] здесь необходим учет октупольного момента для электрона на примеси. Фототок можно также получить в явном виде, но формулы имеют более громоздкий вид.

Авторы благодарят В. К. Малиновского за полезное обсуждение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белиничер В. И., Малиновский В. К., Канаев И. Ф., Стурман Б. И. Фотоиндуцированные токи в сегнетоэлектриках.— «Автометрия», 1976, № 4, с. 23; Белиничер В. И., Малиновский В. К., Стурман Б. И. Фотогальванический эффект в кристаллах с полярной осью.— «ЖЭТФ», 1977, т. 73, с. 692.
2. Glass A. M., Von der Linde D., Negran T. J. High-voltage bulk photovoltaic effect and photorefractive process in LiNbO_3 .— "Appl. Phys. Lett.", 1974, vol. 25, p. 233; Glass A. M., Von der Linde D., Negran T. J. Excited state polarization and bulk photovoltaic effect.— "J. Electron Materials", 1975, vol. 4, p. 915.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. П. Квантовая механика. М., ФМ, 1974.
4. Baskin E. M., Blokh M. D., Entin M. V., Magarill L. I. Current quadratic in field and photogalvanic effect in crystals without inversion center.— "Phys. Stat. Sol. B", 1977, vol. 83, p. 97.

Поступила в редакцию 17 августа 1977 г.

УДК 548.3 : 534.01

К. С. АЛЕКСАНДРОВ, А. Т. АНИСТРАТОВ, Б. В. БЕЗНОСИКОВ

(Красноярск)

АКУСТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ABCl_3

При выборе материалов для акустооптических систем управления лазерными пучками обычно руководствуются критериями качества [1], определяемыми показателем преломления, фотоупругой постоянной, плотностью и скоростью распространения упругой волны. Среди известных к настоящему времени кристаллов наибольшей эффективностью обладают окисные соединения: молибдат свинца, йодоватая кислота и парателлурит [2]. Однако диапазон прозрачности перечисленных соединений ограничен, а получение крупных и бездефектных монокристаллов — довольно сложная технологическая проблема. Эти обстоятельства значительно сужают область применений окисных кристаллов и стимулируют поиск новых акустооптических материалов.

В последние годы в нашей лаборатории выращен ряд хлоридов принадлежащих довольно обширному семейству, с общей формулой ABCl_3 (А — одновалентный, В — двухвалентный металлы) [3]. На отдельных представителях этого ряда были проведены измерения границ прозрачности, дисперсии показателей преломления в видимой области [4], температурных зависимостей двупреломления [5] и скоростей распространения упругих волн [6, 7]. Изучалось влияние малых добавок Са, Sr, Cd на температуры фазовых переходов и свойства кристаллов [5]. Представляет интерес, опираясь на эти данные, проанализировать основные тенденции изменений характеристик, определяющих критерии акустооптической эффективности семейства ABCl_3 , с целью выявления кристаллов, потенциально перспективных для использования в практических устройствах.

Таблица 1

Оптические характеристики кристаллов $ABCl_3$

Кристалл	Симметрия	ρ , г·см ⁻³	n_{\max} ($\lambda=0,59$ мкм)	Область прозрачно- сти, мкм
CsSrCl ₃	$m\bar{3}m$ при $T > 385$ К	3,34	1,5648	0,211—22,7
RbCaCl ₃	mmm	2,71	1,5752	0,175—19,0
CsCaCl ₃	$m\bar{3}m$ при $T > 95$ К	3,51	1,6050	0,190—21,0
RbMnCl ₃	$6/mmm$	2,09	1,7062	0,278—20,4
KMnCl ₃	$4mm$	3,0	1,7099	0,267—21,7
CsMnCl ₃	$\bar{3}m$	3,48	1,7242	0,282—21,7
KCdCl ₃	mmm	3,80	1,7347	0,244—24,1
RbCdCl ₃	$m\bar{3}m$ при $T > 387$ К	4,11*	1,7380	0,275—22,0
CsCdCl ₃	$6/mmm$	3,33	1,7520	0,260—22,5
CsNiCl ₃	$6/mmm$	4,11	1,7646	0,302
TiNiCl ₃	$6/mmm$	4,46*	1,90	0,395
TiMnCl ₃	$m\bar{3}m$ при $T > 296$ К	4,86	1,9285	0,279—20,8
TiCdCl ₃	ромбическая	4,60*	1,93	0,412
CsPbCl ₃	$m\bar{3}m$ при $T > 320$ К	4,23	1,9442	0,432—24,4
TiPbCl ₃	ромбическая	5,08*	2,0	0,462
PbMoO ₄	$4/m$	6,95	2,384	0,4—5,5
TeO ₂	422	6,0	2,260	0,36—5,0

* Рентгеновская плотность.

Монокристаллы $ABCl_3$ выращивались в ампулах из кварцевого стекла диаметром 10÷30 мм в вертикальных трубчатых печах методом Бриджмена. Шихта готовилась из смеси хлоридов ACl и BCl_2 , предварительно обезвоженных и высушенных в потоке хлора. Приготовление шихты и зарядка ампул проводились в условиях, исключающих попадание влаги. Градиент температуры в зоне кристаллизации составлял от 4 до 17 град·см⁻¹, скорость опускания ампулы — 1,6 мм·ч⁻¹.

Основные кристаллографические и оптические характеристики рассматриваемых хлоридов приведены в табл. 1. Кристаллы $CsCaCl_3$, $CsSrCl_3$, $RbCdCl_3$, $TiMnCl_3$ и $CsPbCl_3$ в соответствующих интервалах температур имеют кубическую симметрию; $KMnCl_3$, $CsMnCl_3$, $CsCdCl_3$, $TiNiCl_3$ и $CsNiCl_3$ оптически одноосны. Остальные кристаллы обладают ромбической симметрией [3]. Границы прозрачности наших кристаллов по сравнению с окисными соединениями [2] значительно шире и простираются от 0,2 до ~25 мкм.

Показатели преломления возрастают с увеличением плотности, подчиняясь соотношению Гладстона — Дэйла [8]:

$$(n - 1)/\rho = K = \sum_i m_i K_i, \quad (1)$$

где K — удельная рефракция; K_i — удельные рефракции компонент, вес которых выражается в процентах m_i (рис. 1, а). Наибольших значений показатели преломления достигают у $TiMnCl_3$ и $CsPbCl_3$. С помощью рис. 1, а по известной плотности можно предсказать показатель преломления новых представителей нашего семейства. Такие оценки сделаны для $TiNiCl_3$, $TiCdCl_3$ и $TiPbCl_3$ (см. табл. 1).

Показатель преломления и коротковолновая граница прозрачности λ_0 связаны между собой. Как показали Дидоменико и Уэмпл, для окислов при увеличении показателя преломления λ_0 смещается в сторону длинных волн [1]. Эта тенденция сохраняется и для хлоридов $ABCl_3$ (см. рис. 1, б). Величина λ_0 для $RbCaCl_3$, $CsCaCl_3$, $TiNiCl_3$, $CsNiCl_3$, $TiCdCl_3$ и $TiPbCl_3$ оценена по данным рис. 1, б.

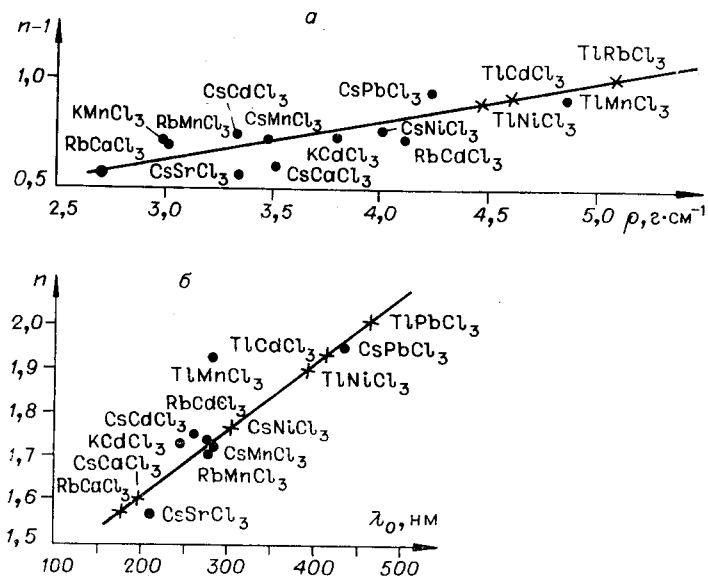


Рис. 1. Зависимость показателя преломления от плотности (а) и коротковолновой границы прозрачности (б).

Скорости распространения упругих волн измерены лишь для четырех кристаллов рассматриваемого семейства: CsPbCl_3 , TlMnCl_3 , CsCaCl_3 и RbMnCl_3 [7, 8]. Однако, используя качественные соображения Пиноу [1] о связи средней скорости продольных упругих волн с плотностью и средним атомным весом \bar{M} , можно оценить величины \bar{v} для остальных представителей ABCl_3 . На рис. 2 построена зависимость \bar{v}/ρ в логарифмическом масштабе от \bar{M} , по данным которой найдены значения \bar{v} наших хлоридов (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Акустические и акустооптические характеристики кристаллов ABCl_3

Кристалл	M	\bar{M}	$\bar{v} \times 10^5, \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$	$M_2 = \frac{\rho^2 n^6}{\rho v^3} \times 10^{10}, \text{ ед. CGS}$
KMnCl_3	200,387	40,07	4,92	2,8
RbCaCl_3	231,906	46,381	3,821	4,0
RbMnCl_3	246,764	49,35	4,150	4,4
KCdCl_3	257,849	51,56	4,864	2,5
CsCaCl_3	279,344	55,87	4,299	2,4
CsMnCl_3	294,20	58,84	4,002	4,7
CsNiCl_3	297,96	59,59	4,644	3,0
RbCdCl_3	304,226	60,84	4,521	3,0
CsSrCl_3	326,88	65,37	3,440	4,3
CsCdCl_3	351,664	70,33	2,997	13,0
TlMnCl_3	365,597	73,11	3,135	13,7
TlNiCl_3	369,359	73,87	3,478	10,0
TlCdCl_3	423,059	84,61	2,760	21,3
CsPbCl_3	446,464	89,29	2,650	94,0
TlPbCl_3	517,859	103,57	2,641	27,3
PbMoO_4			3,56	23,7
TeO_2			4,20	525

Таким образом, с увеличением \bar{M} средняя скорость продольных упругих волн в кристаллах $ABCl_3$ уменьшается.

Упругооптические коэффициенты рассматриваемых кристаллов до настоящего времени не измерялись. Известны лишь средние значения этих коэффициентов для $TlMnCl_3$ и $CsPbCl_3$, которые соответственно равны 0,2 и 0,37 [5]. Эти данные дают основания предположить, что для остальных хлоридов величины $\bar{\rho}$ будут не ниже 0,2, и оценить минимальные значения коэффициента акустооптического качества:

$$\bar{M}_2 = n^6 \bar{\rho}^2 / \rho \bar{v}^3. \quad (2)$$

Результаты оценки приведены в табл. 2, из которой видно, что акустооптическая эффективность $TlCdCl_3$ и $TlPbCl_3$ практически такая же, как и у молибдата свинца [2], а в $CsPbCl_3$ — в четыре раза выше.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что в семействе кристаллов $ABCl_3$ имеется, по крайней мере, три представителя — $TlCdCl_3$, $TlPbCl_3$ и $CsPbCl_3$, потенциально перспективных для использования в практических устройствах акустооптики. Особенно интересен хлорид цезия-свинца, который, обладая достаточно высокой эффективностью, может быть получен в виде крупных кристаллов кубической модификации при комнатной температуре за счет введения небольших добавок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pinnow D. A. Guide lines for the selection of acoustooptic materials.— "IEEE J. Quant. Electron.", 1970, vol. QE-6, p. 223.
2. Рез И. С. О некоторых кристаллохимических основах поиска эффективных материалов для рабочих тел элементов систем оптической обработки информации.— В кн.: Свойства материалов, применяемых в устройствах оптоэлектроники. Красноярск, изд. ИФ СО АН СССР, 1975.
3. Александров К. С., Безносиков Б. В. Кристаллохимия и фазовые переходы в галогенидах со структурой перовскита.— В кн.: Фазовые переходы в кристаллах. Красноярск, 1975.
4. Анистратов А. Т., Попов Е. А., Безносиков Б. В., Коков И. Т. Оптическая дисперсия показателей преломления двойных галогенидов фтора и хлора типа ABX_3 .— «Опт. и спектр.», 1975, т. 39, с. 692.
5. Мельникова С. В., Александров К. С., Анистратов А. Т., Безносиков Б. В. Двупреломление и структурные фазовые переходы в кристаллах типа $ABCl_3$.— «ФТТ», 1977, т. 19, с. 34.
6. Александров К. С., Крупный А. И., Зиненко В. И., Безносиков Б. В. Упругие свойства $CsPbCl_3$.— «Кристаллография», 1972, т. 17, с. 595.
7. Александров К. С., Анистратов А. Т., Крупный А. И., Позднякова Л. А., Мельникова С. В., Безносиков Б. В. Рентгеновские, оптические и ультразвуковые исследования фазовых переходов в $TlMnCl_3$.— «ФТТ», 1975, т. 17, с. 735.
8. Бацанов С. С. Структурная рефрактометрия. М., изд. МГУ, 1959.

Поступила в редакцию 17 мая 1977 г.

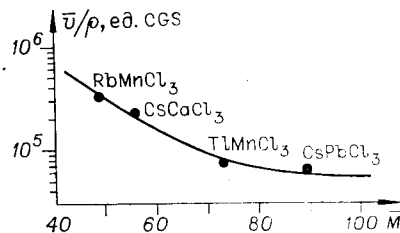


Рис. 2. Зависимость величины \bar{v}/ρ от среднего атомного веса.