

05;07;08;12

©1994

## СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ОБЪЕМНЫХ КРИСТАЛЛОВ ZnSe

*В.К. Комарь, В.А. Корниенко, В.П. Мигаль,  
М.Ш. Файнер, О.Н. Чугай*

Удачное сочетание оптических, механических и тепловых свойств обусловило широкое применение в силовой ИК оптике поли- и монокристаллов селенида цинка. Область применений последних может существенно расширяться при использовании их пьезоэлектрических и акустооптических свойств. Заметим в этой связи, что по величине показателя акустооптического качества

$$M_2 = \frac{n^6 P_{ij}}{\rho v_j^3}$$

( $n$  — показатель преломления,  $P_{ij}$  — упругооптический коэффициент,  $\rho$  — плотность и  $v_j$  — скорость упругой волны) при дифракции света на продольной волне селенид цинка в 13 раз превосходит кварц и в 4.6 раза ниобат лития [1]. Однако применение кристаллов для управления излучением мощных лазеров наталкивается на проблему неоднородности, а также заметных потерь на внутреннее трение и, как следствие, низкой добротности пьезоэлектрических резонаторов больших размеров. В настоящей работе показано, что одним из способов преодоления этих недостатков является выращивание при определенных условиях анизотропных кристаллов ZnSe.

Кристаллические слитки выращивали из расплава под давлением аргона. Из них были изготовлены круглые пластины ( $\varnothing = 50$ ,  $d = 3-9$  мм), плоскости которых ориентированы перпендикулярно оси роста. Колебания пластин возбуждали, приложив переменное электрическое поле и используя прижимные электроды. Визуализацию распределения упругих напряжений в пластинах при пьезоэлектрических резонансах осуществляли оптико-поляризационным методом. Динамическое сопротивление изготовленных из пластин пьезоэлектрических резонаторов измеряли с помощью технологического генератора ТГК-1.

Выращивание кристаллических слитков при наименьших градиентах температуры в области фронта кристал-

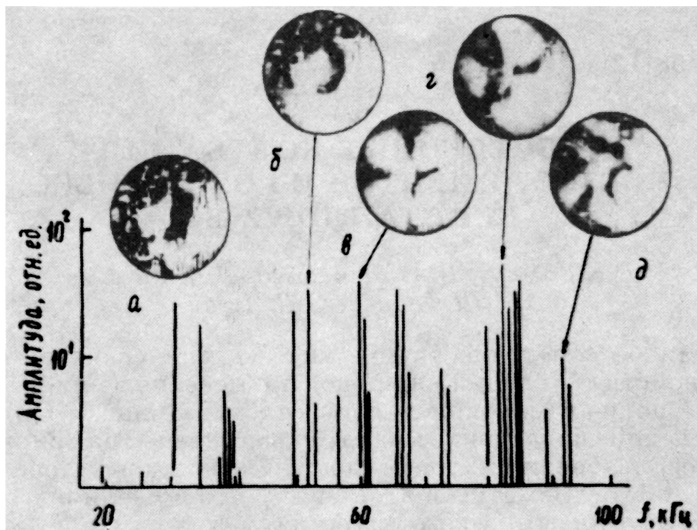


Рис. 1. Спектры резонансных колебаний пластин из селенида цинка.

Вставки — изображения пластин, помещенных между скрещенными линейными поляризаторами, в отсутствие колебаний (а) и при колебаниях, амплитуда которых указана стрелками.

лизации и скорости его перемещения обеспечивает их высокое оптическое качество. Так, коэффициент поглощения на длине волны 10.6 мкм достигает величин  $1-2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ , которые сопоставимы с теоретическим пределом для селенида цинка ( $0.4 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$  [2]). Вместе с тем на вырезанных из таких слитков пластинах в исследованном интервале частот 15–200 кГц наблюдается сравнительно большое число резонансных колебаний (ср. рис. 1 и 3), сопоставимых по амплитуде с основными, т.е. наиболее сильными модами колебаний. Среди последних надежной идентификации оптико-поляризационным методом поддается лишь первая гармоника радиальных колебаний (вставка в на рис. 1) [3]. Отметим, что распределение упругих напряжений, возникающих при резонансных колебаниях пластины, зачастую несимметрично относительно ее центра (вставки б, г и д). По-видимому, это связано с неоднородностью упругого поля пластин, обусловленной границами блочности, дефектами упаковки и др. дефектами структуры, которые типичны для выращенных из расплава кристаллов ZnSe [4].

В некоторых пластинах остаточные механические напряжения, образовавшиеся при росте, занимают обширную область. Одна из таких областей на вставке а рис. 2 указана стрелкой. Механически напряженная область, охватывая зачастую один или несколько блоков, “задает” ряд

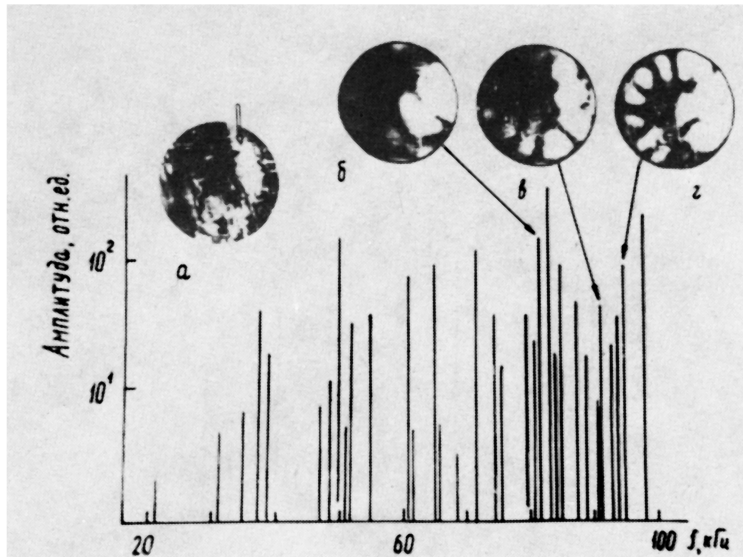


Рис. 2. Обозначения, как и на рис. 1.

собственных колебаний. Об этом свидетельствует распределение упругих напряжений, возникающих при колебаниях (см. вставки б, в и з на рис. 2). В данном случае механически напряженную область можно уподобить резонатору “повышенной активности”, встроенному в матрицу кристалла-пьезоэлемента. Возможной причиной этой аномалии является различие локальных значений механических и пьезоэлектрических параметров, поскольку вырезанные из указанной области образцы обладают по сравнению с остальными на 10–40% большей диэлектрической проницаемостью.

Как видим, остаточные механические напряжения оказывают существенное влияние на собственные колебания пластин из селенида цинка. Поэтому следовало ожидать, что создание при росте однородного напряженно-деформированного состояния кристаллического слитка позволит улучшить характеристики пьезоэлементов.

С целью проверки этого предположения была разработана технология выращивания слитков в условиях аксиального градиента температуры 30–50 К/см в области фронта кристаллизации. Отличительной чертой слитков, полученных при указанных тепловых условиях, а также определенной скорости перемещения фронта кристаллизации, является наличие наведенной симметрии. Подтверждением тому служит наблюдение в пластинах в сходящемся поляризованном свете коноскопической картины (вставка а на рис. 3), характерной для одноосного кристалла при распространении

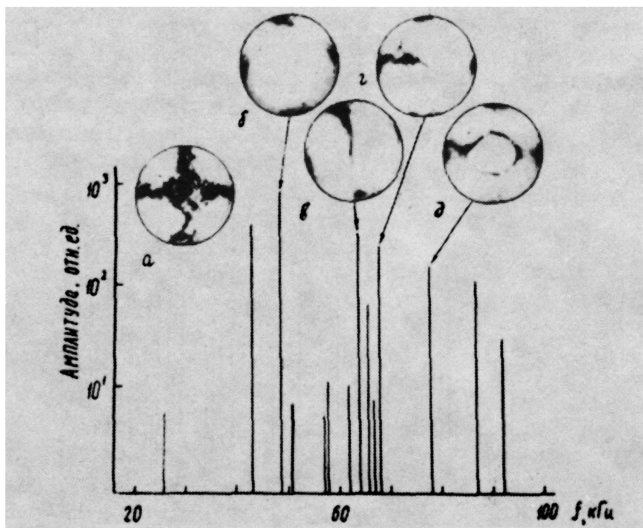


Рис. 3. Обозначения, как и на рис. 1.

нии линейно поляризованного света вдоль оптической оси [5]. Подчеркнем, что кристаллы ZnSe со структурой сфалерита ( $\bar{4}3m$ ) являются кубическими и оптической осью не обладают. В рассматриваемых кристаллах обнаружена также анизотропия температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), при которой физически выделенное направление совпадает с оптической осью (направлением роста слитка). Ранее [6] анизотропия ТКЛР наблюдалась на поликристаллах селенида цинка, подвергнутых деформационному прессованию.

Характерной особенностью пластин, обладающих наведенной симметрией, служит доминирование в спектре собственных колебаний основных колебаний над побочными (ср. рис. 1 и 3). Благодаря этому наиболее сильные резонансные колебания оказываются достаточно разнесенными по частоте. Помимо повышенной добротности, их отличает симметричное относительно центра пластины распределение упругих напряжений (см. вставки рис. 3). Перечисленные особенности могут объясняться целым рядом причин, среди которых укажем на изменение тензора пьезоэлектрических модулей (включая появление новых модулей) вследствие возникновения наведенной симметрии и уменьшение потерь на внутреннее трение. Существенно, что добротность наиболее сильных резонансных колебаний незначительно изменяется в результате уменьшения толщины и диаметра пластины, благодаря чему возможна подгонка ее рабочей частоты.



Из ряда пластин, обладающих наведенной симметрией, изготовили невакуумированные пьезоэлектрические резонаторы, снабдив их серебряными электродами и поместив на ножевые опоры. В интервале частот 60–100 кГц динамическое сопротивление и добротность отдельных резонаторов достигают  $9 \cdot 10^3$  Ом и  $1.4 \cdot 10^4$  соответственно. Укажем на близость к приведенным параметрам невакуумированных кварцевых резонаторов [7].

Таким образом, выращенные анизотропные кристаллы ZnSe обладают сочетанием оптических и акустических свойств, позволяющим изготавливать пьезоэлектрические резонаторы, которые могут быть использованы для измерения проходящей мощности и модуляции излучения технологических CO<sub>2</sub> лазеров.

### Список литературы

- [1] Андреев И.А., Иванов Г.А., Величко И.А., Мельников В.В. // Тез. докл. Всесоюз. конф. "Материалы для оптоэлектроники". Ужгород, 1980. С. 153–155.
- [2] Deutch T.F. // J. Phys. Chem. Sol. 1973. V. 84. N 12. P. 2091–2104.
- [3] Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. 1957. 726 с.
- [4] Terashima K., Takena M. // J. Cryst. Growth. 1991. V. 110. N 3. P. 623–625.
- [5] Меланхолин Н.М. Методы исследования оптических свойств кристаллов. М., 1970. 156 с.
- [6] Мигаль В.П., Ульянов В.А., Чугай О.Н. // ОМП. 1988. В. 3. С. 24–25.
- [7] Смагин А.Г., Ярославский М.И. Пьезоэлектричество кварца и кварцевые резонаторы. М., 1970. 488 с.

Институт монокристаллов  
Киев, Украина

Поступило в Редакцию  
12 февраля 1994 г.