

05;07;08;12

Влияние акустической обработки на фотопроводимость кристаллов селенида цинка

© И.А. Клименко, В.П. Мигаль

Харьковский государственный
аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского

Поступило в Редакцию 3 февраля 1999 г.

Показано, что акустическая обработка пьезоэлектрических кристаллов селенида цинка посредством возбуждения сильных собственных упругих колебаний позволяет целенаправленно изменять их фотоэлектрические и другие свойства. Необратимые изменения напряженно-деформированного состояния кристаллов при такой обработке обуславливают особенности спектральных зависимостей диэлектрической проницаемости $\varepsilon'(\lambda)$ и коэффициента диэлектрических потерь $\varepsilon''(\lambda)$. Эти зависимости, представленные в виде диаграмм $\varepsilon^*(\lambda)$ на комплексной плоскости, а также спектр собственных упругих колебаний, позволяют контролировать процесс обработки.

Выращенные из расплава объемные пьезоэлектрические кристаллы селенида цинка характеризуются многообразием дефектов структуры — носителей деформации и ростовыми неоднородностями, которые формируют в них сложное напряженно-деформированное состояние. Последнее существенно влияет на их оптические, фотоэлектрические и другие свойства. В частности, определяет индивидуальный характер низкочастотного спектра упругих собственных колебаний [1–2], а также обуславливает различие спектральных и температурных зависимостей диэлектрической проницаемости ε' и коэффициента диэлектрических потерь ε'' . Поэтому представление указанных зависимостей в виде диаграмм $\varepsilon^*(\lambda)$ и $\varepsilon^*(T)$ на комплексной плоскости отражает самосогласованные изменения электрического и упругого полей кристалла при внешних воздействиях [3–4]. Отметим, что необратимые изменения этих пространственно-неоднородных полей в селениде цинка трудно существенно уменьшить термообработкой. В настоящей работе показано, что одним из эффективных способов изменения сложного напряженно-деформированного состояния пьезоэлектрических кристаллов является

обработка их сильным переменным электрическим полем на частотах определенных собственных упругих колебаний, которая позволяет целенаправленно изменять фотоэлектрические, диэлектрические и другие свойства.

Исследовались ориентированные образцы в форме прямоугольного параллелепипеда (со сторонами $10 \times 8 \times 8$ мм и $12 \times 12 \times 11$ мм), изготовленные из кристаллических слитков диаметром до 50 мм. Последние были выращены из расплава методом Бриджмена под давлением аргона. После химико-механической полировки на противоположные грани образцов наносились омические индий-галлиевые контакты. Акустическую обработку производили посредством возбуждения в образцах упругих собственных колебаний переменным электрическим полем. Напряженность поля 100–800 В/см. Обработка осуществлялась последовательным возбуждением от 1 до 5 низкочастотных собственных упругих колебаний. Длительность акустической обработки определяли по скорости уменьшения при обработке интенсивности света, прошедшего через систему поляризатор–кристалл–анализатор. Крутильные колебания возбуждали с помощью четырех электродов. Для этого создавали в образце квадрупольное электрическое поле. Топограммы колебаний визуализировали оптико-поляризационным методом. Наличие оптических неоднородностей в образцах выявляли прямотеневым методом (метод светящейся точки). Диэлектрические параметры определяли с помощью моста переменного тока на частоте 1 кГц.

Для исследований были отобраны две группы образцов. Первую группу образовали оптически наиболее совершенные кристаллы, коэффициент поглощения которых на длине волны $10.6 \mu\text{m}$ не хуже $3.3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$. Измеренная на частоте 1 кГц диэлектрическая проницаемость образцов находится в пределах 9.1–9.4 и почти не зависит от кристаллографического направления. Их спектр собственных упругих колебаний содержит ряд сильных колебаний, количество которых преобладает над побочными. В образцах второй группы выявлено многообразие оптических неоднородностей, созданных двумерными дефектами структуры (двойники вращения, полосы скольжения, двойниковые ламели и др.). Они создают полосы переменного двойного лучепреломления, которые случайным образом распределены в направлении [111]. В этом направлении диэлектрическая проницаемость имеет наименьшие значения (10.4–11.4), а в других направлениях ее значения находятся в диапазоне 12–18. Кроме того, методом фигур травления в

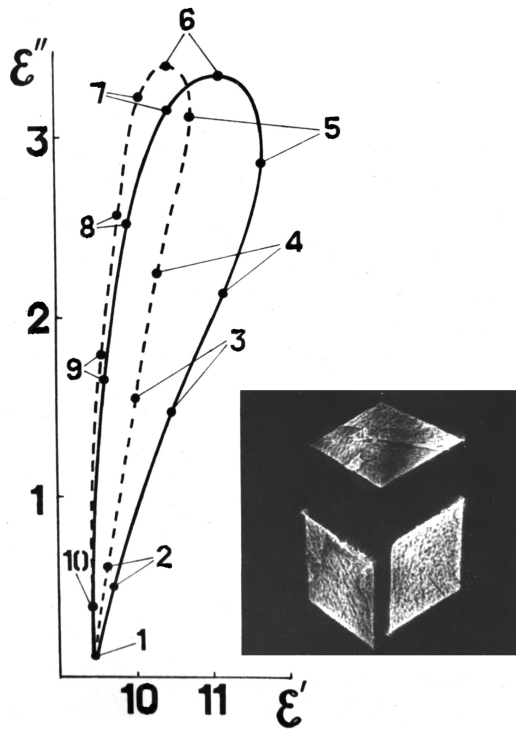


Рис. 1. Диаграммы $\epsilon^*(\lambda)$ для селенида цинка (E параллельно $[111]$, $T = 293$ К):
 1 — 0.450, 2 — 0.475, 3 — 0.480, 4 — 0.490, 5 — 0.500, 6 — 0.510, 7 — 0.525,
 8 — 0.550, 9 — 0.580, 10 — 0.600 μm .

этих образцах выявлены прослойки, содержащие субструктуру. Спектр собственных упругих колебаний характеризуется сложной структурой побочных резонансов, количество и распределение которых по спектру является индивидуальными характеристиками образца [2]. Особенности трехмерного изображения теневой картины образцов ("деформация" изображения поверхностей образца и др.) приведены на вставках рис. 1 и 2. Они свидетельствуют о сложности процессов развития при росте пластической деформации. Отметим, что в теневой картине более деформированных образцов второй группы видны "следы" пластических

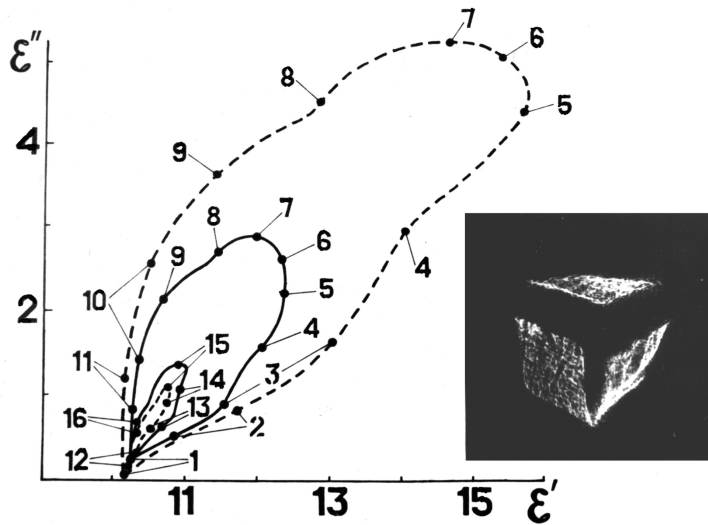


Рис. 2. Диаграммы $\varepsilon^*(\lambda)$ для селенида цинка (E параллельно $[111]$, $T = 293$ К): 1 — 0.450, 2 — 0.475, 3 — 0.480, 4 — 0.490, 5 — 0.500, 6 — 0.510, 7 — 0.525, 8 — 0.550, 9 — 0.580, 10 — 0.600, 11 — 0.650, 12 — 0.700, 13 — 0.800, 14 — 0.900, 15 — 1.000, 16 — 1.200 μm .

поворотов. Размытое изображение поверхностей образцов свидетельствует о макроскопических флуктуациях показателя преломления (см. вставку рис. 2).

Для образцов первой группы наиболее эффективной оказалась обработка посредством последовательного возбуждения сильным переменным электрическим полем 3–5 наиболее сильных низкочастотных собственных колебаний. На рис. 1 приведены типичные для образцов этой группы диаграммы $\varepsilon^*(\lambda)$ до и после акустической обработки (сплошные и штриховые линии), построенные на основе спектральных зависимостей $\varepsilon'(\lambda)$ и $\varepsilon''(\lambda)$. Как видим, после обработки образцов уменьшается приращение диэлектрической проницаемости на свету, что приводит к уменьшению площади охватываемой кривой $\varepsilon^*(\lambda)$. Отметим, что аналогичные изменения в диаграммах выявлены и для других направлений внешнего поля.

Эффективность акустической обработки образцов второй группы существенно зависит от кристаллографической ориентации образца, типа возбуждаемых упругих колебаний, напряженности внешнего электрического поля. Она может уменьшать или увеличивать диэлектрические параметры, коэффициент поглощения на длине волны $10.6 \mu\text{m}$ и др. параметры, что подтверждает их тесную связь с напряженно-деформированным состоянием кристалла. Наиболее существенные необратимые изменения в спектрах $\varepsilon'(\lambda)$ и $\varepsilon''(\lambda)$ выявлены после обработки образцов квадрупольным электрическим переменным полем на частоте крутильных собственных колебаний, когда внешнее электрическое поле перпендикулярно направлению [111]. Сопоставление диаграмм $\varepsilon^*(\lambda)$, полученных до и после акустической обработки (сплошная и штриховая линии рис. 2) показывает, что после обработки диапазон изменений ε' и ε'' при фотовозбуждении из области $0.47\text{--}0.62 \mu\text{m}$ увеличился почти в два раза, а площадь, охватываемая кривой на диаграмме $\varepsilon^*(\lambda)$, увеличилась почти в 4 раза. Также существенно уменьшилась фоточувствительность в ИК области спектра. Изменение вида диаграмм после акустической обработки свидетельствует о перестройке релаксационных процессов. Очевидно, что при сильных крутильных колебаниях в кристаллах происходят самосогласованные изменения внутреннего упругого и электрического полей, создаваемых в основном двумерными дефектами структуры. Это подтверждают: а) уменьшение локального двойного лучепреломления в некоторых полосах двойного лучепреломления; б) уменьшение коэффициента диэлектрических потерь; в) повышение симметричности оптико-поляризационных топограмм и выравнивание контраста узловых линий на них, что свидетельствует о повышении однородности образцов. Отметим также, что после обработки уменьшилось количество побочных резонансов в спектре собственных колебаний. Высокую эффективность акустической обработки кубических кристаллов селенида цинка в квадрупольном электрическом поле можно связать с тем, что направление [111], перпендикулярное плоскостям двойникования и скольжения, является избранным.

Существенное влияние акустической обработки кристаллов на процессы переноса неравновесных носителей заряда и перезарядки сложных центров подтверждает важную роль упругих полей дефектов структуры в формировании фотоэлектрических, диэлектрических и других свойств. Отметим также, что в отличие от обработки кристаллов в поле бегущей ультразвуковой волны [5] возможность возбуждать в образцах

собственные колебания различных типов позволяет целенаправленно и избирательно изменять напряженно-деформированное состояние кристалла. Диаграммы $\varepsilon^*(\lambda)$ и оптико-поляризационные топограммы, а также спектр собственных упругих колебаний позволяют эффективно контролировать процесс обработки. Этот метод обработки особенно перспективен для материалов, выращиваемых в экстремальных условиях, поскольку для них другие методы обработки мало эффективны.

Авторы благодарны фонду фундаментальных исследований при Миннауки Украины за финансовую поддержку работы.

Список литературы

- [1] *Комарь В.К., Мигаль В.П., Корниенко В.А.* и др. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 10. С. 71–76.
- [2] *Комарь В.К., Мигаль В.П., Чугай О.Н.* // Неорганические материалы. 1998. Т. 34. № 7. С. 800–803.
- [3] *Загоруйко Ю.А., Комарь В.К., Мигаль В.П.* и др. // ФТП. 1995. Т. 29. № 6. С. 1065–1070.
- [4] *Загоруйко Ю.А., Комарь В.К., Мигаль В.П.* и др. // ФТП. 1996. Т. 30. № 6. С. 1046–1051.
- [5] *Островский И.В., Лысенко В.Н.* // ФТТ. 1982. Т. 24. № 4. С. 1206–1208.