

ОБРАТИМЫЕ И НЕОБРАТИМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ ZnSe, ВЫЗВАННЫЕ ИЗЛУЧЕНИЕМ CO₂-ЛАЗЕРА

© Ю.А.Загоруйко, В.К.Комарь, В.П.Мигаль, О.Н.Чугай

Институт монокристаллов Национальной академии наук Украины,
310001 Харьков, Украина
(Получена 10 июля 1995 г. Принята к печати 2 октября 1995 г.)

Показано, что возникшие в результате лазерного воздействия дефекты структуры и неоднородности, породив электрическое и упругое поля, существенно влияют на характер температурных зависимостей действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости кристаллов ZnSe. Изменение этих зависимостей при термоциклировании характеризует эволюцию внутренних полей.

Благодаря удачному сочетанию оптических, акустических и др. свойств кристаллы халькогенидов цинка широко используются для изготовления элементов проходной оптики [1], являясь также весьма перспективными для создания электрооптических и акустических [2] устройств управления лазерным излучением. Вместе с тем для этих соединений характерны двумерные дефекты структуры и неоднородности, которые, породив неоднородные электрическое и упругое поля, обуславливают значительное увеличение действительной ϵ' и мнимой ϵ'' частей диэлектрической проницаемости ϵ^* при возбуждении [3]. В настоящей работе показано, что возникшие в кристаллах селенида цинка под действием излучения CO₂ лазера дефекты структуры и неоднородности оказывают существенное влияние на зависимости ϵ' и ϵ'' от температуры, которое связано с изменениями электрического и упругого полей в пьезоэлектрическом кристалле.

Исследовались образцы прямоугольной формы, а также оптические элементы в форме диска, изготовленные из кристаллических слитков диаметром 50 мм. Последние были выращены из расплава под давлением аргона и обладали коэффициентом поглощения α на длине волны 10,6 мкм не хуже $3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$. Оптические элементы подвергались воздействию излучения CO₂-лазера, плотность мощности которого плавно повышали от 0,2 до 5 кВт/см². Контроль напряженно-деформированного состояния образцов и дисков производили оптико-поляризационным и теневым методами. Диэлектрические параметры образцов измеряли с помощью мостов переменного тока

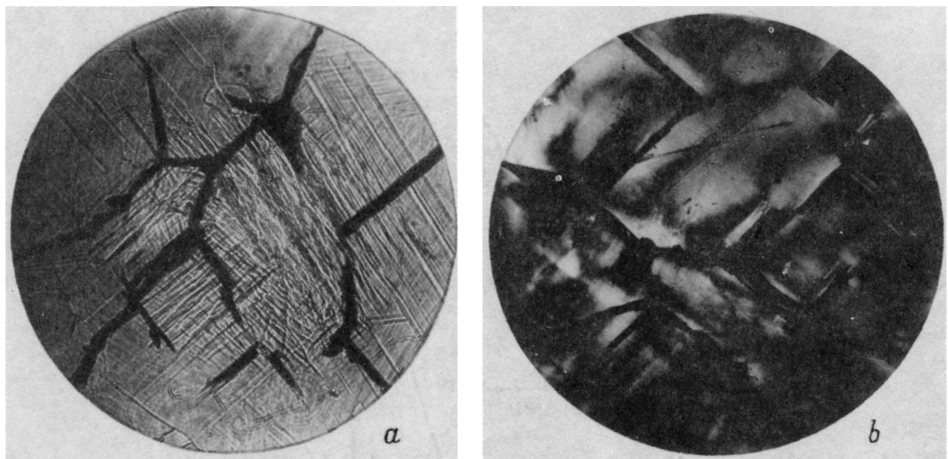


Рис. 1. Изображения оптического элемента диаметром 45 мм, разрушившегося под действием излучения CO_2 -лазера.

P5017 и P589. Часть образцов изготовили из разных областей дисков, подвергнутых воздействию лазерного излучения. Отдельную группу образцов, которые по характеру распределения в них двойного лучепреломления, обусловленного дефектами структуры, можно отнести к пространственно неоднородным.

На рис. 1 показаны изображения одного из дисков, разрушившихся под действием лазерного излучения. На изображении, полученном теньевым методом (а), хорошо видны полосы скольжения в центральной области диска. Именно в этой области наблюдается наибольшее увеличение оптической разности хода Δ , связанной с остаточными механическими напряжениями. Причем максимальное значение Δ достигает в отдельных окнах 4–5 λ .

В интервале частот 10^2 – $5 \cdot 10^5$ Гц действительная часть диэлектрической проницаемости образцов, которые изготовили из не подвергавшихся лазерному воздействию областей дисков, слабо зависит от частоты, согласуясь по величине (9.3–9.5) с известными данными [4]. При этом коэффициент диэлектрических потерь ϵ'' не превышает 10^{-3} . Последний параметр незначительно изменяется в интервале температур 300–390 К, но быстро увеличивается при дальнейшем повышении температуры. Подобный вид имеет также температурная зависимость ϵ' указанных образцов.

Отличительной чертой образцов, вырезанных из центральной области облученных дисков, является сложный характер температурных зависимостей ϵ' и ϵ'' . Одной из причин тому служит протекание процесса диэлектрической релаксации, обуславливающего максимумы в температурной зависимости действительной части диэлектрической проницаемости. Вместе с тем наблюдение максимумов в зависимости коэффициента диэлектрических потерь от температуры затруднено по причине доминирующего вклада в данный параметр потерь энергии на электропроводность. Это сделало необходимым при анализе особенностей диэлектрической релаксации представление температурных зависимостей ϵ' и ϵ'' в комплексной плоскости, т.е. в виде диаграммы $\epsilon^*(T)$. На рис. 2 такие диаграммы показаны для нескольких, начи-

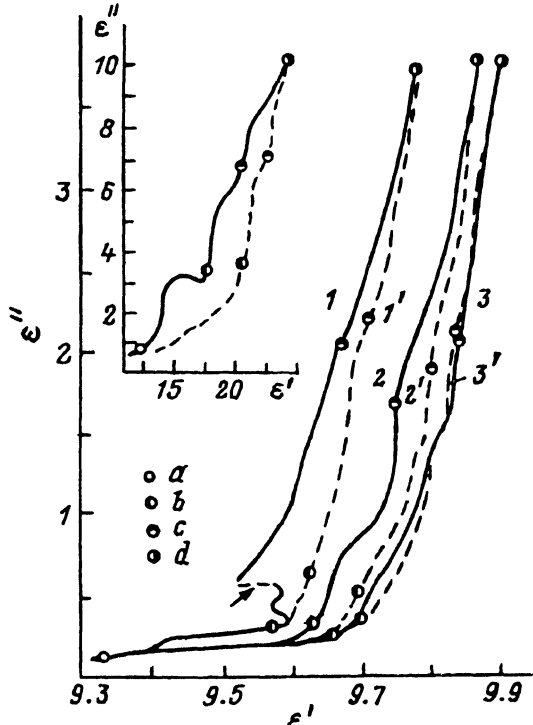


Рис. 2. Типичные диаграммы $\epsilon''(T)$, полученные на образцах из необлученной ($3-3'$) и облученной областей дисков при первом и четвертом измерениях ($1-1'$ и $2-2'$ соответственно); указанные точками значения температуры образца, К: a \circ — 300 (указана только для режима нагрева). b — 350, c — 400, d — 450. Скорость изменения температуры 1.5 К/мин; частота 1 кГц.

ная с первого, циклов повышения и понижения температуры образца. Подчеркнем, что на диаграмме, полученной при первом измерении, наблюдается ярко выраженные дугоподобные участки. Части диаграммы, соответствующие режимам повышения и понижения температуры, существенно отличаются одна от другой (ср. 1 и $1'$). У большинства образцов этой группы при повышении температуры параметр ϵ' испытывал скачок, который на диаграмме $\epsilon''(T)$, естественно, проявляется в виде разрыва (на рис. 2 указан стрелкой). После нескольких циклов нагрев-охлаждение разрыв исчезал, а дугоподобные участки частично сглаживались. Однако даже после десяти и более термоциклов сохранялось типичное для образцов рассматриваемой группы несовпадение частей диаграммы, соответствующих режимам повышения и понижения температуры (ср. $2-2'$ и $3-3'$). Подчеркнем, что дугоподобные участки и несовпадение указанных частей диаграммы $\epsilon''(T)$ свойственны также кристаллам, содержащим ростовые неоднородности (рис. 2, вставка).

Наблюдаемые на диаграммах $\epsilon''(T)$ дугоподобные участки соответствуют максимумам в температурных зависимостях ϵ' , которые могут обуславливаться группами релаксаторов с различными наиболее вероятными временами релаксации [5]. Возможной причиной данной осо-

ности релаксационной поляризации является внутреннее электрическое поле, тесно связанное в пьезоэлектрическом кристалле с полем механических напряжений. Эти поля возникли в результате лазерного воздействия и являются неоднородными, что вызывает неустойчивость электрической и упругой подсистем кристалла. Повышение и последующее понижение температуры стимулирует эволюцию внутренних полей и тем самым обуславливает необратимые изменения диэлектрических свойств, отчетливо проявляющиеся в диаграммах $\epsilon^*(T)$. С увеличением числа термоциклов эволюция полей, очевидно, замедляется и на передний план выступают обратимые изменения параметров ϵ' и ϵ'' , благодаря чему диаграмма $\epsilon^*(T)$ становится воспроизводимой.

Отметим то обстоятельство, что в основе приведенных диэлектрических свойств лежит тесная взаимосвязь упругой и электрической подсистем неоднородного кристалла-пьезоэлектрика. Следствием этой взаимосвязи могут быть долговременные изменения в результате термоциклирования не только диэлектрических, но и иных параметров, также определяемых электрической и упругой подсистемами кристалла. Данное предположение согласуется с наблюдавшимися ранее [6] остаточными изменениями после нагрева и охлаждения размеров кристаллов $ZnSe(Mg)$, в которых содержатся двумерные дефекты структуры. Остаточные изменения, как оказалось, характерны и для коэффициента поглощения на длине волны 10.6 мкм. Причем величина их определяется начальным значением α . Исследование изменений коэффициента поглощения при многократных тепловых воздействиях, очевидно, представляет самостоятельный интерес и в первую очередь в связи с эффектом накопления [7].

Таким образом, влияние лазерного воздействия на диэлектрические свойства кристаллов селенида цинка определяется двумерными дефектами структуры и другими неоднородностями, породившими неоднородные внутренние электрическое и упругое поля. При термоциклировании происходят ускоренная эволюция этих полей, отчетливо отображаемая в диаграммах $\epsilon^*(T)$, а также остаточные изменения диэлектрических и иных параметров.

Список литературы

- [1] В.С. Голубев, А.Н. Кокора, В.А. Ульянов. Препринт НИЦТЛ АН СССР 86-14 (Троицк Московской обл., 1986).
- [2] Ю.А. Загоруйко, В.К. Комарь, В.П. Мигаль, О.Н. Чугай. Изв. РАН, 57, 180 (1993).
- [3] В.П. Мигаль, А.Л. Рвачев, О.Н. Чугай. ФТП, 19, 1517 (1985).
- [4] J. Strzalkowski, S. Jozhi, C.R. Crowell. Appl. Phys. Lett., 28, 350 (1976).
- [5] Ю.М. Поплавко. Физика диэлектриков (Киев, 1980).
- [6] В.П. Мигаль, О.Н. Чугай. Изв. АН СССР. Неорг. матер. вып. 6, 1315 (1991).
- [7] А.А. Маненков, Г.А. Матюхин, В.С. Нечитайленко, А.М. Прохоров, А.С. Цаприлов. Квант. электрон., 10, 2426 (1983).

Редактор В.В. Чалдышев

Reversible and irreversible changes in dielectric properties for ZnSe crystals induced by CO₂-laser radiation

Yu.A. Zagoruiko, V.K. Komar', V.P. Migal', O.N. Chugai

Institute for Single Crystals, Pr. Lenina 60, Kharkov, the Ukraine

It is shown that laser-induced structure defects and inhomogeneities which generate electric and elastic fields in ZnSe single crystals essentially influence the temperature dependences of the real and imaginary parts of the dielectric permittivity. The changes in these dependences in the process of thermocycling characterize the evolution of internal fields.
