

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 537.224.33

И. Б. ТРОФИМОВ

(Москва)

О МЕХАНИЗМЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ
В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ТВЕРДОМ РАСТВОРЕ
СИСТЕМЫ ЦТСЛ
В РЕЖИМЕ ПРОДОЛЬНОГО ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Введение. В настоящее время наиболее глубоко исследован и широко применен поперечный электрооптический эффект (ЭОЭ) или эффект управляемого двулучепреломления в сегнетоэлектрическом поликристаллическом твердом растворе системы ЦТСЛ $X/Y/Z$ * [1—5]. По сравнению с поперечным электрооптическим эффектом применение твердого раствора ЦТСЛ в режиме продольного электрооптического эффекта приводит практически к полному использованию поверхности рабочего материала, сокращению на порядок управляющего напряжения и возможности получения любых конфигураций электродных структур активируемого элемента.

В связи с этим группой авторов, в том числе и автором настоящей работы [6—8], впервые были проведены исследования управляемого двулучепреломления в незажатых образцах поликристаллического твердого раствора системы ЦТСЛ в режиме продольного электрооптического эффекта.

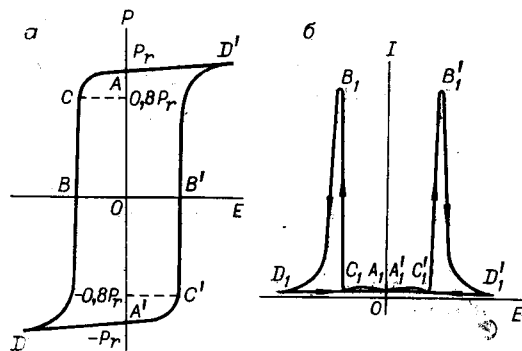
Методика эксперимента. Привилегией мелкозернистых сегнетоэлектрических твердых растворов является эффект управляемого двулучепреломления [9]. Для крупнозернистых материалов характерен эффект управляемого рассеяния света.

Объект исследования настоящей работы — прозрачный поликристаллический мелкозернистый твердый раствор типа ЦТСЛ 8/65/35. Материал приготовлен методом горячего прессования в Институте физики Р/ВДГУ под руководством Е. Г. Фесенко. Полученный твердый раствор обладает хорошими пьезосвойствами (коэффициент электромеханической связи $k_p = 0,65$, пьезомодуль $d_{31} = 215 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н).

В исследовании использовались термически деполяризованные (ТД) образцы, которые предварительно переводились в электрически поляризованное состояние (ЭП). Образцы имели форму дисков диаметром 15 мм и толщиной 200 мкм. Клиновидность образцов находилась в пределах 30 мкм. На противоположные поверхности дисков были нанесены прозрачные электроды на основе пленки $In_2O_3 - SnO_2$. Исследования проводились поляризационно-оптическим методом при комнатной температуре на частотах 0,05 Гц и ниже. Во время эксперимента образцы находились в незажатом состоянии. В качестве источника света использовались либо He-Ne-лазер с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм, либо галогенная лампа накаливания. Экспериментальная установка позволяла закорачивать электроды исследуемых образцов. Регистрация данных проводилась с помощью фотумножителя и двухкоординатных самонишущих потенциометров. Вид и степень поляризации света на выходе исследуемого образца определялись по методике, описанной в книге [10].

Результаты эксперимента. Если образец находится в ЭП-состоянии (точки A , A' и A_1, A'_1), то на выходе поляризационно-оптической системы светопропускание отсутствует (см. рисунок). Поворот исследуемого образца вокруг направления луча в плоскости, перпендикулярной этому направлению, не приводит к изменению уровня интенсивности. Введение пластинки $\lambda/4$ между образцом и анализатором также не дает изменения величины интенсивности на выходе системы. Переход образца из ЭП-состояния в ЭД (электрически деполяризованное)-состояние сопровождается резким скачкообразным изменением интенсивности пропускания под действием

* В зарубежной литературе PLZT $X/Y/Z$, где буквы слева направо обозначают Pb, La, Zr, Ti, X — содержание La в ат. %, Y — содержание $PbZrO_3$, Z — содержание $PbTiO_3$ в % соответственно.



Зависимости поляризации и интенсивности индуцированного светопропускания от напряженности электрического поля:

а — зависимость $P(E)$,
б — зависимость $I(E)$.

электрического поля (участки CB , $C'B'$ и C_1B_1 , $C'_1B'_1$). Переполяризация образца из положения в точке A в положение в точке C , а также из A' в C' согласуется с участками A_1C_1 и $A'_1C'_1$ на кривой $I(E)$ и практически не приводит к изменению интенсивности. При достижении уровня поляризации $P \approx 0,8 P_r$ в точке C (или C') изменение интенсивности происходит скачкообразно (участки C_1B_1 и $C'_1B'_1$). В точках B_1 и B'_1 интенсивность достигает своего максимального значения. С изменением знака поляризации интенсивность сначала резко падает, но затем несколько медленнее убывает (участки B_1D_1 и $B'_1D'_1$ кривой $I(E)$). Возвращение образца в состояние с $P = |-P_r|$ фактически не сопровождается изменением интенсивности (участки D_1A_1 и $D'_1A'_1$).

Обсуждение результатов экспериментов. В ЭП-состоянии в образце твердого раствора ЦТСЛ 8/65/35 большая часть доменов из числа возможных ориентаций располагается в направлениях, ближайших к направлению поляризуемого поля. При этом результирующий вектор поляризации P направлен параллельно вектору напряженности поля E . Это преимущественное направление принимается за направление интегральной оптической оси в исследуемом образце. Для ромбоэдрического твердого раствора ЦТСЛ 8/65/35 интегральная оптическая индикатриса представляет собой эллипсоид вращения, круговое сечение которого лежит в плоскости, перпендикулярной оптической оси. Поэтому в ЭП-состоянии при распространении световой волны вдоль интегральной оптической оси образца двулучепреломление не наблюдается.

В образце, находящемся в ЭП-состоянии, наряду с крупными доменами, ориентированными по полю, всегда имеется некоторое количество зажатых между ними мелких доменов, ориентированных в соответствии с ромбоэдрической модификацией состава ЦТСЛ 8/65/35 под углами 180 , 71 и 109° по отношению к выбранному направлению [11]. Оптические характеристики 180 -градусных доменов одинаковы. Поэтому наибольший интерес представляют 71 - и 109 -градусные домены. Поскольку размер и количество зажатых доменов весьма малы, то ощутимого вклада в создание оптической анизотропии в продольном направлении они не вносят (точки A_1 , A'_1).

При переходе образца из ЭП в ЭД-состояние вектор внешнего электрического поля E направлен встречно вектору поляризации P . В этом случае в силу обратного пьезоэффекта, с одной стороны, в образце возникают деформации сжатия по толщине и радиальная деформация растяжения [12], с другой — одновременно происходит разориентация крупных ориентированных по полю доменов и рост мелких 71 - и 109 -градусных прежде зажатых доменов за счет первых [13]. По мере увеличения напряженности поля процессы деформации и разориентации происходят более интенсивно. Начиная с уровня $|P| \approx 0,8 P_r$ (в точках C и C'), эти процессы происходят лавинообразно, а их взаимодействие приводит к резкому увеличению двулучепреломления. Последнее может иметь место в случае индуцирования однонаправленной преимущественной 90 -градусной (по отношению к свету) ориентации доменов в процессе переполяризации твердого раствора.

По нашему мнению, одним из наиболее вероятных факторов, приводящих к возникновению преимущественной однонаправленной 90 -градусной ориентации доменов, является наличие градиента напряженности поля в одном из направлений, перпендикулярных лучу света. Градиент напряженности, по-видимому, может возникнуть, например, в случае клиновидности образца. При монотонном увеличении напряжения, подаваемого на образец, в направлении клина происходит поперечное (по отношению к свету) движение фронта напряженности поля переключения и вместе с тем рост радиальной деформации в одном из направлений, перпендикулярных лучу света. Это можно интерпретировать как возникновение однонаправленной 90 -градусной составляющей напряженности электрического поля и соответствующую

щего ей 90-градусного вектора поляризации. Таким образом, в процессе переполаризации образца создается поперечная составляющая ориентации ранее зажатых в ЭП-состоянии доменов, приводящая к возникновению двулучепреломления. Величина поперечной поляризации достигает максимума при $P=0$. При деполяризации образца от $|P| \simeq 0,8 P$, до $P=0$ интенсивность изменяется скачком (участки C_1B_1 и $C'_1B'_1$), что обусловлено резким увеличением двулучепреломления, принимающего максимальное значение при $P=0$. Как видно из рисунка, изменение интенсивности носит пороговый характер.

С изменением знака поляризации векторы поля E и поляризации P становятся согласно ориентированными. Знак деформаций меняется на противоположный, а процессы разориентации сменяются процессами противоположной ориентации доменов. Эффективное двулучепреломление начинает убывать, и соответственно падает интенсивность (участки B_1D_1 и $B'_1D'_1$).

Выводы

1. Доказано и качественно объяснено возникновение индуцированного двулучепреломления в мелкозернистом поликристаллическом растворе ЦТСЛ 8/65/35 в режиме продольного электрооптического эффекта.

2. Изменение интенсивности индуцированного пропускания носит пороговый характер, что обусловлено скачкообразным изменением индуцированного двулучепреломления.

3. Двулучепреломление в образце, по-видимому, обусловлено возникновением поперечной составляющей поляризации под действием обратного пьезоэффекта в образце с переменной толщиной. Это может иметь место, например, при клиновидности образца, в котором происходит движение фронта напряженности электрического поля перпендикулярно лучу света.

Автор приносит искреннюю благодарность Л. А. Шувалову, К. И. Брицуну за ценные указания при просмотре рукописи и Б. В. Ульянову за критические замечания при обсуждении основных моментов настоящей работы, а также Е. Г. Фесенко за любезно предоставленные образцы твердого раствора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Thacher P. D., Land C. E. *Ceramics Electrooptic Properties and Devices*.—WESCON Technic Papers, 1971, Session 31/2, p. 1—11.
2. Land C. E. *Recent Development in Electrooptic Ceramics*.—Int. J. Nond. Test., 1970, vol. 1, p. 315.
3. Landry M. J., Mc. Carthy A. E. *Transmission Switching Characteristics of PLZT Shutters*.—Appl. Optics, 1973, vol. 12, N 10, p. 2312.
4. Клогиньш Э. Э., Круминь А. Э., Ауза В. Я. и др. Распределение электрического поля в электрооптическом модуляторе света с планарными электродами.—Ученые записки ЛГУ им. П. Стучки. Электрооптическая сегнетокерамика. Рига, 1975, т. 230, с. 247—277.
5. Cuttchen J. T., Harris J. O., Laguna G. R. *PLZT Electrooptic Shutters: Applications*.—Appl. Optics, 1975, vol. 14, N 8, p. 1866.
6. Трофимов И. Б., Харитонов В. С. Индуцированное светопропускание в прозрачной керамике при продольном электрооптическом эффекте.—В кн.: Новые пьезо- и сегнетоматериалы и их применение. М.: изд. МДНТП, 1975, с. 16.
7. Брицун К. И., Токарева Н. В., Трофимов И. Б. и др. Пороговый продольный электрооптический эффект памяти в керамике ЦТСЛ.—*Электронная техника. Сер. Материалы*, 1977, вып. 3, с. 86.
8. Брицун К. И., Трофимов И. Б., Токарева Н. В., Фесенко Е. Г. Некоторые аспекты применения порогового продольного электрооптического эффекта памяти в керамике ЦТСЛ.—В кн.: *Электрооптическая сегнетокерамика*. Рига: изд. ЛГУ им. П. Стучки, 1977, с. 208.
9. Land C. E., Thacher P. D. *Ferroelectric Ceramic Electrooptics Materials and Devices*.—Proc. IEEE, 1969, vol. 57, N 5, p. 751.
10. Дитчберн Р. *Физическая оптика*. М.: Мир, 1965.
11. Шувалов Л. А. Диэлектрические и пьезоэлектрические свойства поляризованной керамики $BaTiO_3$ в разных сегнетоэлектрических фазах.—*Кристаллография*, 1957, т. 2, вып. 1, с. 119.
12. Кэди У. *Пьезоэлектричество и его практическое применение*. М.: ИЛ, 1949.
13. Land C. E., Thacher P. D., Haertling G. H. *Electrooptic Ceramic*.—Appl. Sol. St. Sci., 1974, vol. 4, p. 137—233.

Поступило в редакцию 28 марта 1979 г.;
окончательный вариант — 24 июля 1979 г.