

05:07:08

Инверсные домены в ниобате лития

© А.В. Голенищев-Кутузов, Р.И. Калимуллин

Московский энергетический институт (Казанский филиал)

Поступило в Редакцию 6 мая 1997 г.

Исследовано возникновение периодической структуры инвертированных доменов под одновременным воздействием однородного лазерного облучения и стоячей поверхностной акустической волны. Обсуждены механизмы образования акустоиндуцированной доменной структуры.

Возможность создания в сегнетоэлектриках периодических структур с изменяющимся градиентом или, более того, с переменным по знаку электрическим полем уже давно является предметом экспериментальных исследований и теоретических моделей [1]. Сопоставление различных моделей позволяет высказать предположение, что формирование доменов связано с процессом образования слоев примесных ионов с различной валентностью и, следовательно, с различным электрическим зарядом. Эти слои ионов образуют электрические поля, инверсные по отношению друг к другу по направлениям.

Для проверки высказанного выше предположения были проведены исследования по формированию структур инвертированных доменов в пьезоэлектрическом поле стоячей акустической волны. Поскольку ранее уже наблюдалось перераспределение электронов в ниобате лития полем стоячей поверхностной [2] и объемной акустических волн [3] и были известны величины фотоиндуцированных градиентов электрических полей, то именно такие кристаллы стали объектом наших исследований. Образцы монокристаллов ниобата лития, вырезанные в виде пластин x -среза с размерами $1 \times 15 \times 25$ mm (XYZ), содержащие от 10^{-1} до 10^{-3} at.% ионов железа были отожжены в гелии при 600°C в течение 1.5 h. Методами ЭПР, акустического ЭПР и оптической спектроскопии было обнаружено, что до 30% ионов железа после отжига перешло в двухвалентное состояние. В образце стоячие поверхностные акустические волны (ПАВ) возбуждались вдоль оси Z в частотном интервале 30–35 МГц с помощью двух напыленных встречно-штыревых преобразователей. Облучение YZ поверхности создавалось с помощью

лазерных пучков с длинами волн 0.53 и 0.63 μm и интенсивностями от 50 до 500 $\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$, расширенными с помощью коллиматора. Одновременные акустическое и оптическое воздействия на образец варьировались от секунд до 30 минут при термостатировании образцов в интервале температур 20–160°C.

Идентификация доменов с инвертированной поляризацией достаточно сложна. Обычно употребляемый для этих целей способ травления, помимо экспериментальных трудностей, приводит к частичному разрушению поверхностного слоя. В работе [4] мы достоверно установили только возникновение пространственной модуляции показателя преломления (δn) пьезоэлектрическим полем ПАВ. В последующих экспериментах, рассматриваемых в данной статье, были получены, на наш взгляд, более убедительные доказательства переполяризации.

Известно [5], что для соседних 180° доменов различными по знаку будут только нечетные тензоры, описывающие какие-либо физические свойства, например, пьезоэлектрический (d_{ijk}) и электрооптический (r_{ijk}) тензоры. Следовательно, при приложении к кристаллу электрического поля тензор двулучепреломления за счет электрооптического эффекта будет квазипериодически модулирован, что эквивалентно периодическому изменению знака показателя преломления. Именно на этом принципе основан интерферометрический метод идентификации антипараллельных доменов, успешно примененный для ниобата лития в работах [6,7].

Подобный метод был использован нами и для определения знака доменов. В одно из плеч интерферометра Маха–Цандера (рис. 1) был помещен исследуемый образец, на поверхности которого ранее была сформирована структура инвертированных доменов. Электрическое поле E прикладывалось вдоль оси Z с помощью напыленных на поверхности YZ вблизи границ доменов электродов. При такой геометрии эксперимента изменение фазы для оптического пучка, прошедшего через образец по оси Y , как функции E имеет вид [5]

$$\varphi = -\frac{\pi LV}{\lambda d} z_{33} n_e^3 \frac{(E \cdot P)}{|E \cdot P|},$$

где P — вектор поляризации, L — длина оптического пути, V — напряжение, приложенное к образцу через промежуток d . Когда поле E параллельно поляризации P , изменение фазы будет уменьшаться с ростом поля E и интерференционные кольца будут расширяться. При

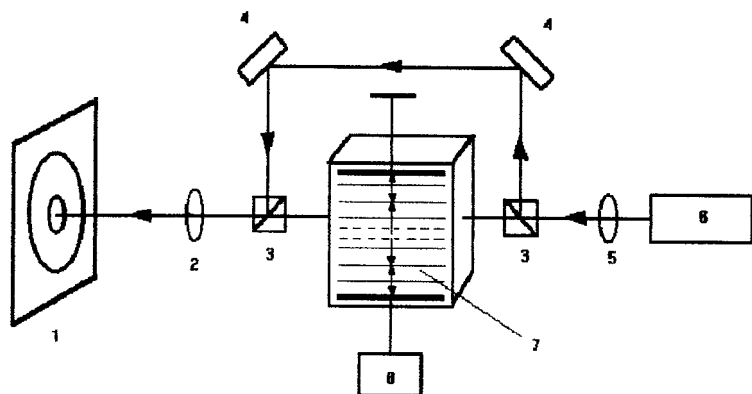


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — экран; 2, 5 — линзы; 3 — расщепители луча; 4 — зеркала; 6 — измерительный лазер; 7 — структура инвертированных доменов; 8 — источник постоянного электрического поля.

антипараллельности E и P фаза φ будет возрастать и кольца будут смещаться с ростом поля E .

Именно такое изменение в структуре поведения интерференционных колец наблюдалось при сканировании сфокусированным ($\phi \approx 20 \mu\text{m}$) пучком малоэнергетического гелий-неонового лазера вдоль поверхности XZ в области формирования доменной структуры. Расширение и сжатие интерференционных колец при перемещении пучка от домена к домену при полях, соответствующих повороту фазы от 0 до 180° , наблюдалось только в экспериментах в температурном интервале $120\text{--}160^\circ\text{C}$ и при относительной амплитуде акустической деформации ПАВ не менее 10^{-4} (рис. 2). При $T < 120^\circ\text{C}$ изменение фазы в электрическом поле по всему сечению сканирования имело одинаковый знак. Таким образом, полученные нами интерферометрические результаты вполне соответствуют данным работы [4].

Вторым доказательством возникновения структуры инвертированных доменов в акустическом поле является наблюдение отражения ПАВ от доменов. Нами исследовалось прохождение ПАВ, возбужденных и детектируемых широкополосными преобразователями. Было установлено, что индуцированная структура обладает резонансными свойствами

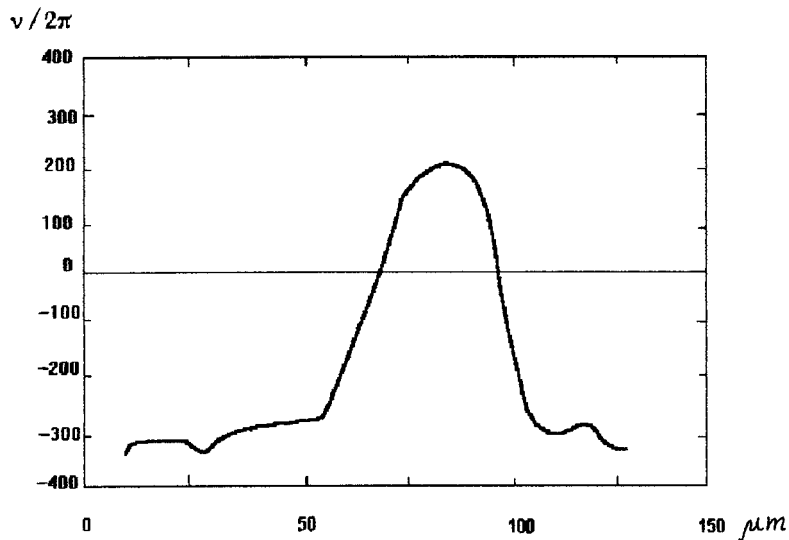


Рис. 2. Зависимость фазы приложенного напряжения от положения сканирующего оптического пучка.

в диапазоне частот 62–67 МГц, что соответствует периоду наведенной структуры. В последующих экспериментах наблюдалась генерация ПАВ с помощью приложенного к напыленным электродам переменного электрического поля.

Наконец, еще одним доказательством является ”нестираемость” инвертированной структуры при нагревании до 500°С. Большая температура нагрева не применялась, поскольку при $T > 500^\circ\text{C}$ нарушается оптическое качество поверхности. Обычная оптически индуцированная фоторефрактивная структура стирается уже при температуре выше 180–200°С.

Механизм образования инвертированных доменов может быть понят на основе представления ниобата лития как ”замороженного” сегнетоэлектрика. Как следует из [8], значения приложенного электрического поля E_s , необходимого для переполаризации, сильно зависят от температуры. Нами установлено, что поле E_s при 140°С составляет

$2 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot \text{mm}^{-1}$. Сопоставимость значений этих полей, а также кратность размеров доменов длине стоячей волны подтверждает предположение, что пьезоэлектрическое поле является причиной образования инверсных доменов.

Этот механизм, по-видимому, является доминирующим и при образовании инверсных доменов с помощью других методов, например за счет электрических полей, обусловленных градиентным распределением легирующих примесей или градиентным распределением дефектных центров.

Измеренные после охлаждения величины электрических полей в доменах соответствуют значениям электрических зарядов, возникших при захвате фотовозбужденных электронов соответствующими центрами. Величина внутридоменных полей пропорциональна времени и интенсивности оптического облучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований; грант 96-02-18229.

Список литературы

- [1] Лайнс М., Гласс А. // Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981. 736 с.
- [2] Berg N., Undelson B., Lee J. // Appl. Phys. Lett. 1977. V. 31. N 9. P. 555–557.
- [3] Владимирцев Ю.В., Голенищев-Кутузов А.В. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 15. С. 809–810.
- [4] Быстров О.В., Голенищев-Кутузов А.В. // Письма в ЖЭТФ. 1995. Т. 61. № 2. С. 128–130.
- [5] Yariv A. Quantum Electronics, Wiley, New York, 1975. P. 335–338.
- [6] Chen Q., Stancil D. // Appl. Opt. 1994. V. 33. N 3. P. 7496–7498.
- [7] Zhu Y., Ming N. // J. Phys. Cond. Matter. 1992. V. 4. P. 8073–8081.
- [8] Kovalevitch V., Shuvalov L., Volk T. // Phys. Stat. Sol. 1978. V. 45. P. 249–252.