

Proceedings of the
International meeting



volume I

Ordering in Minerals and Alloys

16-th International meeting

12-17 of September 2013
Rostov-on-Don - Tuapse, Russia

Упорядочение в минералах и сплавах
16-й международный симпозиум

12-17 сентября 2013
г.Ростов-на-Дону - Туапсе, Россия

При поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований
и ООО "Брукер"

РОЛЬ НАНОСЕКУНДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ ДОМЕНОВ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

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

Казанский государственный энергетический университет
Россия, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51
e-mail: kalru@newmail.ru

The contributions of pyroelectric and photovoltaic effects in the formation of induced domains in the lithium niobate type oxide ferroelectrics, irradiated by nanosecond focused laser beams, are considered. The formation of inverted domains in the radiation area is generated by the combined action of the pyroelectric and photovoltaic fields under increase of temperature. It is shown that the most stable domains are formed in lithium niobate samples containing the impurity ions Fe^{2+} and Fe^{3+} .

Рассмотрен вклад пирозлектрического и фотовольтаического эффектов в формирование индуцированных доменов в оксидных сегнетоэлектриках типа ниобата лития при облучении кристаллов наносекундными сфокусированными лазерными пучками. Установлено, что формирование инвертированных доменов в области облучения происходит при комбинированном воздействии генерируемых пирозлектрического и фотовольтаического полей в условиях резкого повышения температуры. Показано, что наиболее устойчивые домены возникают в образцах ниобата лития, содержащих примесные ионы Fe^{2+} и Fe^{3+} .

В последние два десятилетия было разработано несколько способов формирования отдельных доменов и периодических доменных структур (ПДС) с помощью лазерных пучков, что явилось основой для формирования наиболее совершенных фотонных и фононных кристаллов [1–3]. Обычно для этих целей ранее применялось либо непрерывное излучение, либо достаточно длительные (10^{-6} – 10^{-1} с) импульсы. В этих экспериментах было обнаружено нагревание образцов при облучении, что приводило к уменьшению коэрцитивного поля E_c [4, 5]. Однако в последние годы появились работы, в которых формирование доменов и ПДС выполнялось с помощью сверхкоротких (10^{-9} – 10^{-8} с) мощных импульсов статического электрического поля или лазера [6, 7]. Более того, появились работы [8–11], где индуцируемый лазером пирозлектрический эффект рассматривался как способ излучения электронных, рентгеновских и нейтронных пучков. Следует отметить тенденцию использования в исследованиях стехиометрических образцов ниобата лития, хотя они и весьма сложны в изготовлении, но обладают при этом значительно меньшими значениями E_c . Однако до сих пор нет единой модели формирования доменов в подобных образцах лазерным способом [12, 13]. В последних работах [10, 11] использовались конгруэнтные образцы ниобата лития, допированные ионами железа, однако в них не обращалось внимания на соотношение концентраций ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} , в то время как именно ионы Fe^{2+} имеют полосу поглощения вблизи 500 нм, а также являются ян-теллеровскими ионами с сильными градиентами внутрикристаллических электрических полей.

Нами было выполнено более подробное изучение влияния примесных ионов железа на формирование доменов одним мощным лазерным импульсом с $\lambda = 530$ нм на основе предварительных исследований по достижению максимальных значений фоторефрактивного эффекта в оксидных сегнетоэлектриках [14]. Нами была выбрана оптимальная общая концентрация ионов железа 10^{23} м^{-3} с соотношением $C_{\text{Fe}^{2+}}/C_{\text{Fe}^{3+}} \approx 0,3$.

К главным особенностям полученных результатов по воздействию коротких и мощных лазерных импульсов на допированные железом образцы ниобата лития можно отнести обнаружение ряда фотоиндуцированных процессов, происходящих за время воздействия одиночного импульса ($\tau_n \leq 10$ нс):

– процесс возникновения и спада пирозлектрического тока и напряжения;

- возникновение фотовольтаического поля, достаточного для локальной переполаризации образца;
- возникновение и спад импульсного повышения температуры облучаемого объема с градиентом $\Delta T/\Delta t \approx 10^7$ К/с;
- возникновение локального домена в области лазерного облучения – С-поверхности образца на глубину до 10 мкм за счет одновременного воздействия импульсного нагрева и фотовольтаического поля.

В зависимости от мощности короткого лазерного импульса во временном интервале до 10 нс достигались практически предельные значения температуры ($\geq 10^3$ К), напряженности фотовольтаического поля ($E_{ph} \approx 3 \cdot 10^7$ В/м), верхний предел которых ограничивался внутренним электрическим пробоем или разрушением образца. Полученные значения $\Delta T/\Delta t$ и E_{ph} во временном интервале τ_n практически совпадают с данными работы [15], однако подобные значения плотности пирозлектрического тока J_{piro} были получены нами при меньшем (до 30%) значении мощности P лазерного пучка, поскольку J_{piro} пропорциональна коэффициенту оптического поглощения α . Для ранее исследованных образцов с низким отношением $C_{Fe^{2+}}/C_{Fe^{3+}}$ пирозлектрическое поле в несколько раз превышало фотовольтаическое. Это совершенно закономерно, поскольку $C_{Fe^{2+}}$ в них была в 3–5 раз меньше, чем в наших образцах.

Таким образом можно полагать, что в образцах ниобата лития с общей концентрацией ионов железа 10^{23} м⁻³ и оптимальным соотношением $C_{Fe^{2+}}/C_{Fe^{3+}} \approx 0,3$ локальная переполаризация при столь коротком лазерном импульсе возникает за счет индуцированного фотовольтаического поля, образованного градиентами полей ян-теллеровских ионов Fe^{2+} и направленного навстречу полю E_c . Наносекундный процесс формирования доменов подтверждается и более ранней работой [14], в которой наблюдалось изменение показателя преломления в кристаллах ниобата лития, допированных железом, под действием одного лазерного импульса с $\tau_n = 20$ нс. В обоих случаях роль повышения температуры в области облучения до 400–600°C сводилась к значительному уменьшению (в несколько раз) E_c . По сравнению с изложенными выше результатами по изучению фотоиндуцированных процессов в допированных образцах в ранее использовавшихся беспримесных кристаллах ниобата лития время формирования доменов было значительно больше (более чем на порядок).

В настоящее время для беспримесных кристаллов пока не предложена единая модель оптического формирования доменов, однако в наиболее продвинутой модели [5] предполагается более долгий по времени термодиффузионный процесс перемещения ионов лития по вакансиям. В нашем же случае «перескок» электронов от ионов Fe^{2+} к Fe^{3+} обеспечивают наносекундный процесс формирования доменов.

Список литературы

- [1] F. Kahman, R. Pankrath // R. Rupp. Opt. Commun., (1994), 107, 6.
- [2] S. Chao, W. Davis, D. Tuschel et al. // Appl. Phys. Lett., (1995), 67, 1066.
- [3] А.В. Голенищев-Кутузов, Р.И. Калимуллин // ФТТ, (1998), 40, 531.
- [4] M. Hone, P. Townesend // Appl. Phys. Lett., (1995), 66, 2667.
- [5] H. Steigewald, M. Lilienblum, F. von Cube et al. // Phys. Rev. B, (2010), 82, 214105.
- [6] E.A. Mingaliev, Y.Y. Shur, D.K. Kuznetsov, V.A. Lebedev. 11th Intern. Symp. On Ferroelectric Domains, Ekaterinburg. Abstract Book, 2012, P. 196.
- [7] D.K. Kuznetsov, E.A. Mingaliev, Y.Y. Shur. ibid, P. 196.
- [8] D. Brownridge // Nature, (1992), 358, 287.
- [9] B. Naranjo, J. Gimzewski, S. Putterman // Nature, (2005), 434, 1115.
- [10] K. Kitamura, H. Hatano, S. Takekawa et al. // Appl. Phys. Lett., (2010), 97, 082963.
- [11] K. Kitamura, O.A. Louchev, H. Hatano. S. Wada. 11th Intern. Symp. On Ferroelectric Domains, Ekaterinburg. Abstract Book, 2012, P. 31.
- [12] W. Wang, Y. Kong, H. Liu et al. // J. Appl. Phys., (2009), 105, 043105.
- [13] H. Zeng, Y. Kong, H. Liu et al. // J. Appl. Phys., (2010), 107, 063514.
- [14] В.А. Голенищев-Кутузов, А.В. Голенищев-Кутузов, Р.И. Калимуллин, А.А. Потапов // Изв. РАН. Сер. Физ., (2013), 77, 326.
- [15] M. Simon, F. Jermann, E. Kratzig. Optical Mater., 1995, 4, 286.

