

УДК 537.226

## ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СТРУКТУРУ ПИРОЭЛЕКТРИКОВ НА ОСНОВЕ $\text{LaBSiO}_5$ И $\text{LaBGeO}_5$

Константинова Т. Е., Дорошкевич А. С., Даниленко И. А., Волкова Г. К.,  
Глазунова В. А., Рюмина Т. А., Васильев М. С.

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины  
г. Донецк, Украина  
[Tatjana@konstant.fti.ac.donetsk.ua](mailto:Tatjana@konstant.fti.ac.donetsk.ua)

Работа посвящена изучению влияния слабого импульсного магнитного поля на процесс кристаллизации стекол сегнетоэлектриков состава  $\text{LaBSiO}_5$  и  $\text{LaBGeO}_5$ . Создано лабораторное оборудование для воздействия импульсного магнитного поля на немагнитные материалы. Установлено, что магнитное поле способствует образованию направленной кристаллической структуры стилвеллитов состава  $\text{LaBSiO}_5$  и  $\text{LaBGeO}_5$  и интенсифицирует релаксацию закалочных напряжений.

### Введение

Проблема исследования пироэлектриков в настоящее время вызывает очень большой интерес в связи с огромными потенциальными возможностями их технического использования. Известно, что пироэлектрики обладают спонтанной поляризацией при быстром изменении температуры в отсутствие электрического поля. В последнее время наиболее перспективным способом получения пироэлектриков считается стеклокерамический. Ведутся активные поиски в направлении создания новых пироэлектриков с заданными свойствами [1-3].

Проблема влияния слабого импульсного магнитного поля (ИМП) на немагнитные материалы в настоящее время еще не достаточно исследована. В научных кругах периодически дебатировался вопрос о влиянии магнитных полей на диамагнитные материалы. По данным одних исследователей это влияние, несомненно, присутствует, по данным других это воздействие отрицается [4-7].

В задачу настоящей работы входило изучение влияния импульсного магнитного поля на характер кристаллизации лантанборгерманатного и лантанборсиликатного стекла с образованием стилвеллита –  $\text{LaBGeO}_5$  и  $\text{LaBSiO}_5$ .

### Экспериментальное оборудование

Для проведения экспериментальных исследований по изучению влияния ИМП на немагнитные материалы было разработано специальное лабораторное оборудование. В основу создания установки заложено предположение о том, что природа эффектов может быть связана с действием вихревого индукционного электрического поля, возникающего при изменении магнитного поля [4]. Это предположение устанавливает определенные требования к форме импульса тока в индукторе. В частности, импульс должен быть униполярным и, следовательно, для создания максимальной инициирующей силы скорость нарастания фронта импульса должна быть значительно больше скорости его убывания.

С учетом указанных критериев была разработана электрическая схема силового блока установки (рис.1). Обеспечить униполярность импульсов и защитить тиристор VD3 от пробоя обратным током удалось, зашунтировав мощным высокочастотным диодом индуктор L. Удлинить задний фронт удалось введением дополнительной зарядно-разрядной цепи R2,C2,VD1. Сдвиг по фазе импульса тока, образующегося в результате разряда конденсатора C2, определяется индуктивностью L и величиной прямого сопротивления диода VD1, образующих LC – цепочку, через которую течет ток разряда. Введением в разрядную цепь дополнительного низкоомного резистора можно увеличить сдвиг фаз, но это приводит к неустойчивой работе схемы и появлению паразитных колебаний. Увеличение емкости C1 и индуктивности L приводит к увеличению длительности переднего фронта. Введение одной дополнительной зарядно-разрядной цепи при оптимальном подборе номиналов элементов позволяет получить соотношение длин переднего и заднего фронтов порядка 1/10. Более удлинить задний фронт и улучшить указанный параметр, вероятно, можно введением дополнительных зарядно-разрядных цепей в электрическую схему.

Для активирования процессов, определяемых тепловой энергией, имеется возможность термостагирования рабочего объема индуктора. Установка на основе приведенной принципиальной схемы опробована и работает стабильно.

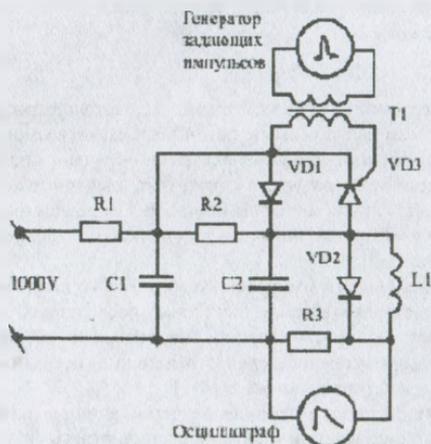


Рис.1. Принципиальная электрическая схема силового блока установки.

Униполярные импульсы тока (рис.2) имеют следующие характеристики:

Длительность переднего фронта, .....	30мкс.
Отношение длительности переднего фронта к длительности заднего .....	8-10
Частота следования импульсов .....	0.1 - 5Гц.

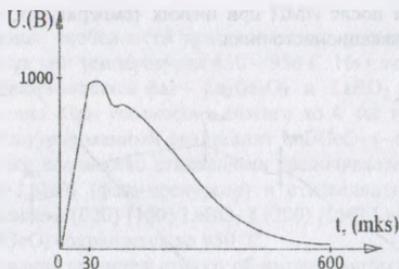


Рис.2. Форма импульса в индукторе.

Установка позволяет получать слабые импульсные магнитные поля [8] напряженностью  $10^5 - 10^6$  А/м., проводить обработку небольших образцов в вакууме при температурах до  $1000^\circ\text{C}$ .

### Методика проведения эксперимента

Аморфные образцы состава  $\text{LaBSiO}_5$  и  $\text{LaBGeO}_5$ , изготовленные в виде пластин, были разделены на две партии. Одна партия была подвержена действию ИМП, а другая - использовалась в качестве контрольной. Обработка ИМП проводилась при температуре  $120^\circ\text{C}$ . Термические режимы для обеих партий были одинаковыми. Часть обработанных образцов исследовалась непосредственно после действия ИМП, часть - после некоторой выдержки с целью выявить изменения, связанные с возможной релаксацией. Для выявления особенностей кристаллизации образцы подвергались отжигу в температурном интервале  $850 - 950^\circ\text{C}$  течение 1 часа. Измельченные образцы исследовались методами дифференциально-термического (ДТА), рентгеноструктурного анализа (РСА), оптической (ОМ) и электронной микроскопии (ТЭМ).

### Результаты исследований

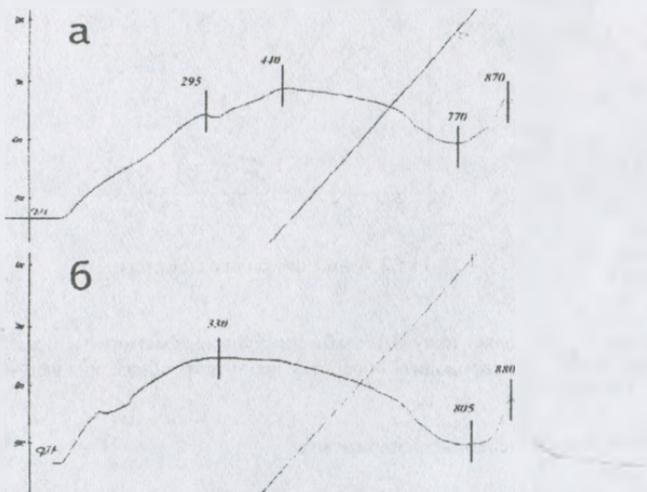
Дифференциально-термический анализ обеих партий состава  $\text{LaBSiO}_5$  выявил в них ряд существенных различий (рис.3). Из анализа особых точек на кривых ДТА можно сделать вывод о смещении.

После обработки ИМП наблюдается смещение температуры начала кристаллизации (по сравнению с контрольными) в стеклах состава  $\text{LaBSiO}_5$  в область более низких температур от  $755^\circ\text{C}$  до  $700^\circ\text{C}$ , хотя температура стеклования  $T_g$  отличается незначительно.

Анализ структуры полученных стекол методами ОМ и ТЭМ показал существенные различия между обработанными ИМП и необработанными партиями образцов. В стеклах, отожженных после обработки ИМП при температуре  $850^\circ\text{C}$  в течение одного часа наблюдался эффект помутнения, обусловленного образованием полосчатых областей закристаллизовавшегося стекла, состоящих из анизотропных кристаллитов, размером до  $1\text{ мкм}$  (ОМ). ТЭМ выявила внутри таких частиц осколочной и игольчатой формы наличие наноразмерных кристаллитов неизомеричной формы размерами до  $20\text{ нм}$ .

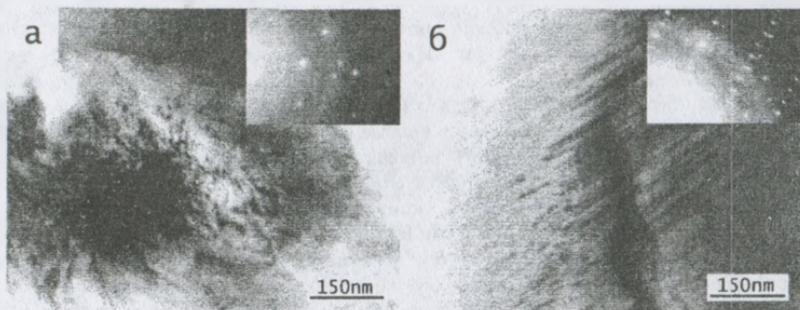
Стекла, не подвергнутые действию ИМП, остались прозрачными без признаков кристаллизации. Эти результаты указывают на необратимость изменений, которые

прошли в образцах после ИМП при низких температурах, что также подтверждается особенностями релаксационного пика.



**Рис.3.** Результаты ДТА -исследований, а) без действия ИМП, б) после воздействия ИМП.

Анализ стекол  $\text{LaBGeO}_5$ , отожженных при температурах 850 – 950°C методами РФА показал, что обработка ИМП при температуре 120 С стилвеллитов  $\text{LaB}(\text{Si},\text{Ge})\text{O}_5$  изменяет характер кристаллизации. Это проявляется в ориентированной кристаллизации фазы-прекурсора –  $\text{LaBO}_3$ , легированной Si или Ge и образовании на его основе текстурированного стилвеллита (рис. 4).



**Рис.4.** ТЭМ – изображение образцов  $\text{LaBGeO}_5$ , а) без действия ИМП; б) после действия ИМП. Вытянутые рефлексы свидетельствуют о наличии текстуры.

РФА выявил следующие особенности кристаллизации стекол  $\text{LaBGeO}_5$ , обработанных ИМП и отожженных при температурах 850 – 950 С. На начальной стадии, при 850 С 1 час, кристаллы образовавшихся фаз –  $\text{La}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$  и  $\text{LaBO}_3$  (~90%) – растут не хаотически, а ориентированно. При увеличении отжига до 4 час на ориентированном  $\text{LaBO}_3$  кристаллизуется текстурированный стилвеллит  $\text{LaBGeO}_5$  (~60%), причем с увеличением времени выдержки количество стилвеллита увеличивается. Обнаружено, что кристаллические решетки  $\text{LaBO}_3$  (фаза-прекурсор) и стилвеллита  $\text{LaBGeO}_5$  связаны ориентационным соотношением: (020) [100]  $\text{LaBO}_3$  || (200) [010]  $\text{LaBGeO}_5$ . Текстурированность стилвеллита  $\text{LaBGeO}_5$  сохраняется до 950 °С.

Данные РСА исследований свидетельствуют об интенсификации процессов релаксации закалочных напряжений под действием ИМП в стеклах состава, соответствующего стехиометрии стилвеллита.

### Обсуждение результатов

Известно, что магнитное поле практически не взаимодействует с немагнитными веществами, и, следовательно, не может являться непосредственной причиной наблюдаемых эффектов. Однако, вероятно опосредованное действие меняющего магнитного поля. По нашему мнению, эффект воздействия ИМП осуществляется следующим образом. Изменяющееся магнитное поле  $\mathbf{B}$ , согласно первому уравнению Максвелла, индуцирует в образце вихревое электрическое поле  $\mathbf{E}$ .

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\iint \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}. \quad (1)$$

Оценки величины электрического поля для цилиндрического образца диаметром 15 мм, возникающего у цилиндрической поверхности, если ИМП направлено вдоль оси цилиндра показывают:

$$\mathbf{E} = \frac{\mu_0 \Delta H}{\Delta t} \cdot \frac{\pi \cdot R^2}{2\pi \cdot R} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 10^6}{30 \cdot 10^{-6}} \cdot (7.5 \cdot 10^{-3}) \approx 100 \frac{\text{V}}{\text{m}}. \quad (2)$$

Поскольку материал является пьезоэлектриком, некоторые его упорядоченные объемы (кластеры), возможно, уже имеют собственный дипольный момент  $\mathbf{p}$ . Под влиянием индуцированного электрического поля, возможно также и возрастание этого момента (происходит рост поляризуемости материала в электрическом поле). Действие электрического поля проявляется в развороте дипольных моментов выстроиться вдоль силовых линий поля, являющихся окружностями, под действием вращающего момента сил  $\mathbf{M} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$ . Такой разворот дипольных образований повлечет за собой появление дополнительных механических напряжений в образце, максимальных на его боковой поверхности. Именно эти напряжения ответственны за увеличение релаксационного пика на ДТА – кривой. Произошедшее некоторое упорядочение электрических моментов, по всей вероятности сопровождается некоторым структурным упорядочением, что приводит к более раннему началу кристаллизации и ориентированному росту кристаллов стилвеллита, и как следствие, будет способствовать формированию текстуры.

### Резюме

Разработано лабораторное оборудование для воздействия ИМП на немагнитные материалы. Установлено, что импульсное магнитное поле способствует созданию некоторого предварительного упорядочения, которое при последующей кристаллизации

проявляется в образовании наноразмерных кристаллитов и приводит к формированию текстурированного стилвеллита состава  $\text{LaBSiO}_5$  и  $\text{LaBGeO}_5$ .

### Список литературы

1. Ю.И. Головин, «Магнитопластичность твердых тел», М., «Машиностроение-1», 1998, с.9 – 92.
2. Y. Takahashi, Y. Benino, T. Fujiwara, and T. Komatsu, «Second harmonic generation in transparent surface crystallized glasses with stilwellite-type  $\text{LaBGeO}_5$ »/ Journal of applied physics, volume 89, number 10, 15 may 2001.
3. Y. Takahashi, Y. Benino, V. V. Dimitrov & T. Komatsu, «Transparent optical nonlinear crystallised glasses with ferroelectric  $\text{LaBGeO}_5$ »/ Phys. Chem. Glasses, 2000, 41 (5), 225-228.
4. С.А. Дембовский, Е.А. Чечеткина, С.А. Козохин, «Аномальное влияние слабых магнитных полей на диамагнитные стеклообразные полупроводники», Письма в ЖЭТФ, 1985, том 41, вып. 2, стр. 74 – 76.
5. Стефанович С.Ю., Милль Б.В., Буташин А.В. «Сегнетоэлектричество и фазовые переходы в стилвеллите  $\text{LaBGeO}_5$ », Кристаллография, 1992, том 37, вып.4, с.965-970.
6. Дистлер Г.И., Каневский В.М. и др., «О влиянии слабого магнитного поля на реальную структуру твердых тел», Доклады АН СССР, 1983, т.268, №3, с.591-593.
7. Власов В.П., Каневский В.М., Пурцхвандзе А.А., «Оже-электронная спектроскопия полупроводниковых кристаллов после воздействия импульсного магнитного поля», ФТТ, 1991, т.33, №7, с.2194-2197
8. А.М. Кугушев, Н.С. Голубева «Основы радиоэлектроники», М., «Энергия», 1969г., 880с., с.29 – 50.

УДК 621.793:620.172

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОНАПРЯЖЕНИЙ В СТРУКТУРЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОАЗОИСТОЙ СТАЛИ С КАРБОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ, ПОЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКОЙ

Наркевич Н. А., Гальченко Н. К., Мионов Ю. П., Белюк С. И.

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г.Томск, Россия*

Проблема повышения стойкости и увеличения ресурса работы высокоответственных деталей машин и оборудования из конструкционных материалов в условиях высокотемпературных воздействий, агрессивных сред, трения решается различными способами. Одним из наиболее распространенных из них является нанесение на рабочие и изнашиваемые поверхности деталей покрытий методами наплавки. Метод электронно-лучевой наплавки имеет ряд преимуществ перед другими, а использование в качестве наплавочного материала композиционного порошка на основе высокоазотистой стали позволяет формировать покрытие с высокой стойкостью против абразивного изнашивания [1]. Одним из недостатков всех методов наплавки, в том числе, и электронно-лучевой, является растрескивание, поводка и коробление наплавляемых деталей, обу-