

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОСЛОЙНО ЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ TGS-TGS+Cr

А.Л. Толстихина¹, Б.С. Роцин¹, И.Ф. Кашиевич², В.Н. Шут³, С.Е. Мозжаров³

¹Москва, Институт кристаллографии имени А.В. Шубникова РАН

²Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова

³Витебск, ВГТУ

В последние два десятилетия, под влиянием успеха теории полупроводниковых сверхрешеток и квазисинхронизма (ГВГ), сегнетоэлектрическая сверхрешетка стала актуальной темой в материаловедении и фотоэлектронике. Сегнетоэлектрические сверхрешетки могут состоять из двух видов сегнетоэлектрических материалов или из сегнетоэлектрических и не сегнетоэлектрических материалов, составленных поочередно слой за слоем, образуя так называемые гетероструктуры. Однако большинство из них состоит из материала того же типа, такого как монокристаллы, в котором доменная структура модулируется, например, периодическим внешним воздействием или изменением концентрации легирующих примесей. Сегнетоэлектрических кристаллы со структурой сверхрешетки состоят из модулированных доменов микронного размера, контролируемых современными методами.

Такое внимание к указанным материалам связано с тем, что все физические свойства, связанные с тензором третьего ранга в сверхрешетке, будут модулироваться доменами, тогда как свойства, связанные с тензорами четного ранга, остаются постоянными. Именно модулированные физические свойства делают такой материал особенно благоприятным для применения в нелинейной оптике и акустике. Свойства, описываемые тензором нечетного ранга, например, нелинейно-оптические коэффициенты, электрооптические коэффициенты и пьезоэлектрические коэффициенты, больше не являются постоянными в кристалле: вместо этого они меняют свой знак с положительного домена на отрицательный. Следовательно, они становятся периодическими функциями пространственных координат.

Принципиальная возможность получать регулярные доменные структуры имеется в любых сегнетоэлектриках, т.к. полидоменная структура более выгодная. Но реально сегнетоэлектрические сверхрешетки с регулярной доменной структурой, которые находят практической применение в нелинейной оптике, получены только на высокотемпературных кристаллах ниобата и танталата лития [1].

В этом плане создание регулярной доменной ламинарной структуры со 180 - градусными доменами на сегнетоэлектрических кристаллах, выращиваемых из растворов, представляет научный и практический интерес. Такие кристаллы могут служить как модельными объектами для фундаментальных исследований, так и функциональным материалом для практической реализации.

Целью работы явилось получение слоистых сегнетоэлектрических монокристаллов триглицинсульфата, легированных хромом, и исследование профильного распределения примесей хрома по объему кристаллов.

Материал и методы. Объектом исследования служили сегнетоэлектрические кристаллы триглицинсульфата (TGS) с периодическим профильным распределением примеси ионов хрома (TGS - TGS+Cr). Для визуализации примесной структуры и оценки ее параметров была использована оптическая и рентгенотопографическая микроскопия (РТ). Пространственное распределение примеси изучалось методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и было выполнено в Институте кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований профильного распределения примеси ионов хрома в кристаллах TGS-TGS+Cr РФА методом представлены на рисунке 1б.

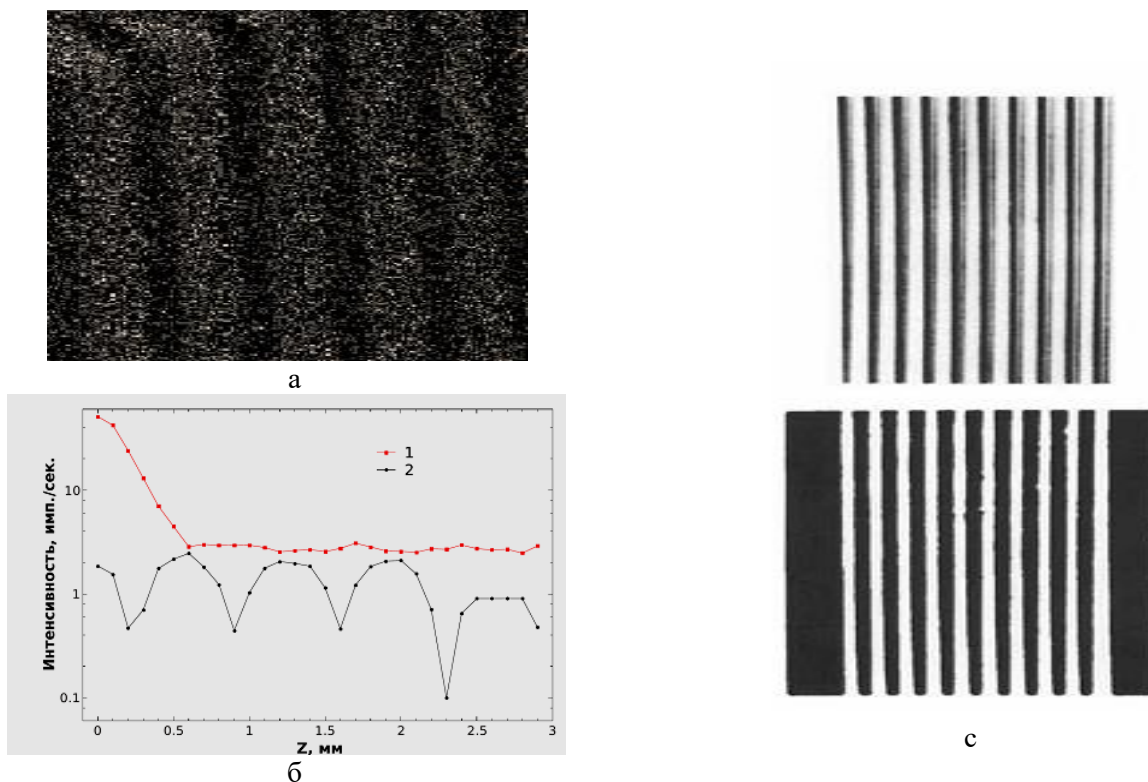


Рисунок 1 – Изображения полосчатых кристаллов TGS–TGS+Cr, РТ анализ (а) и результаты исследований профильного распределения примеси ионов хрома в кристаллах TGS-TGS+Cr РФА методом (б).

Поверхностные примесные полосы вращательного роста кристалла ниобата лития (вверху) и соответствующие внутренние ламинарные сегнетоэлектрические доменные структуры (внизу) (с). [по 1].

В работе [1] было установлено, что в местах где градиент концентрации меняет знак образуются доменные стенки, причем там, где градиент начинает возрастать образуются отрицательные домены, при отрицательном градиенте - положительные домены (см. рисунок 2а). Кроме того, структура доменных стенок является разной - происходит чередование гладких стенок и с изрезанной структурой. Резкий минимум концентрации примеси соответствовал гладкой стенке, а растянутый максимум - изрезанной, рыхлой.

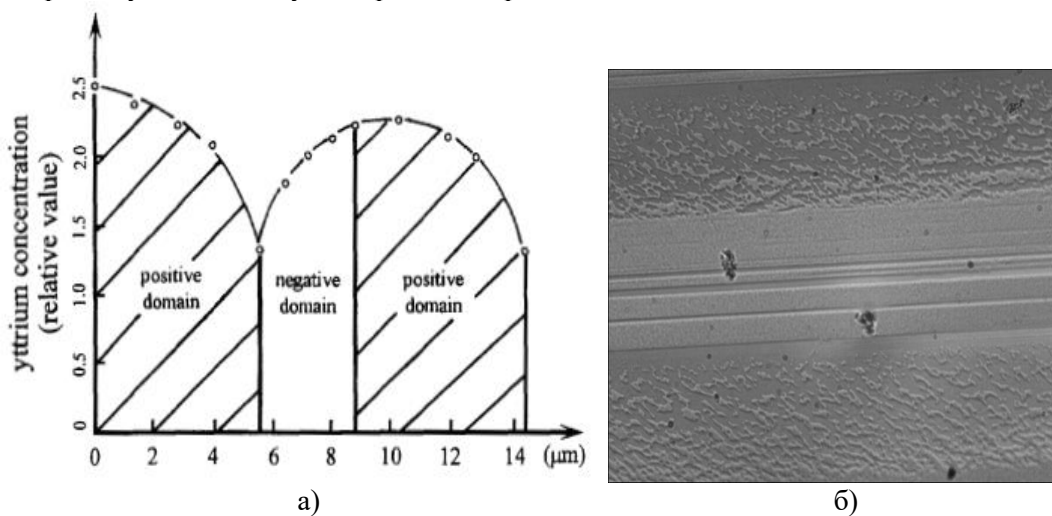


Рисунок 2 – Распределение концентрации иттрия и структуры сегнетоэлектрических доменов во вращательных структурах [по 1] (а) и фрагмент доменной структуры кристалла TGS-TGS+Cr с различным типом доменных стенок (оптическая микроскопия НЖК метод).

Аналогичные результаты получены и для кристаллов TGS - TGS+Cr (см. рисунок 26). Механизм этого явления до конца не изучен. Поэтому в дальнейшем планируется провести практическое изучение и теоретические расчеты по влиянию градиента примеси на формирование доменной структуры и разработать рекомендации по получению РДС в сегнетоэлектрических кристаллах, выращиваемых из растворов.

Заключение. Выявлена корреляция образования регулярной доменной структуры и характера распределения примеси для слоистых кристаллов TGS-TGS+Cr. Формирование доменных стенок происходит преимущественно на участках, соответствующих изменению градиента концентрации примеси, причем в местах изменения знака с положительного на отрицательный формируются гладкие стенки, а с отрицательного на положительный граница доменов имеет изрезанный, неровный контур.

1. Shi-Ning Zhu, Yong-Yuan Zhu, Nai-Ben Ming. Ferroelectric Superlattice: Materials and Applications. Review// Phase Transitions. (2000). – Vol. 72. – P. 239–298.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОЛИНОМОВ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО И КОМПЛЕКСНОГО АРГУМЕНТА

*Ю.В. Трубников, М.М. Чернявский
Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова*

Почти 170 лет прошло со времени создания П.Л. Чебышевым теории полиномов, наименее уклоняющихся от нуля (экстремальных полиномов). Такие полиномы находят самые широкие приложения в различных вопросах математического анализа и, что может быть самым важным, применяются для конструирования оптимальных итерационных процессов. Исследования в этом направлении теории функций продолжили известные математики: А.Н. Коркин, Е.И. Золотарев, А.А. Марков, Г.Ф. Вороной, А.М. Ляпунов, В.А. Стеклов, Д.А. Граве, М.А. Красносельский, П.П. Забрейко.

Цель настоящей работы – провести сравнительный анализ свойств полиномов Чебышева первого рода и экстремальных полиномов, заданных на квадрате комплексной плоскости.

Материал и методы. Материалом исследования являются полиномы Чебышева первого рода и экстремальные в чебышевской метрике полиномы комплексного аргумента. Методы исследования – метод аналогии и методы математического и функционального анализа с использованием системы компьютерной математики *Maple 2019*.

Результаты и их обсуждение. Напомним, что основной теоремой в теории равномерных приближений, дающей необходимые и достаточные условия того, чтобы для заданной на $[a, b]$ непрерывной функции $f(x)$ некоторый полином $P_n(x)$ был полиномом ее наилучшего приближения степени n , является теорема П.Л. Чебышева (1854).

Теорема 1 (П.Л. Чебышев (1854)). Пусть на отрезке $[a, b]$ задана непрерывная функция $f(x)$. Тогда для того, чтобы некоторый полином $P_n^*(x)$ степени не выше n был полиномом, наименее уклоняющимся от $f(x)$, необходимо и достаточно, чтобы на $[a, b]$ нашлась, по крайней мере, одна система из $n+2$ точек x_j $a \leq x_1 < x_2 < \dots < x_{n+2} \leq b$, в которых разность $f(x) - P_n^*(x) = r_n(x)$ 1. поочередно принимает значения разных знаков; 2. достигает по модулю наибольшего на $[a, b]$ значения, т.е. в точках x_j ($1 \leq j \leq n+2$) должны выполняться условия:

$$r_n(x_1) = -r_n(x_2) = \dots = (-1)^{n+1} r_n(x_{n+2}) = \pm \|r_n\|_C. \quad (1)$$

Систему точек x_j ($1 \leq j \leq n+2$), в которых имеют место равенства (1), называют альтернансом или же чебышевским альтернансом.