

# ИМПУЛЬСНАЯ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИЯ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ ГЕРМАНАТА СВИНЦА

Мясоедов А.В.

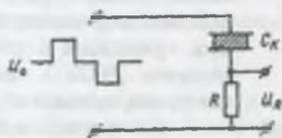
Учреждение Образования «Витебский государственный технологический университет»,  
г. Витебск, республика Беларусь.

В работе с помощью импульсной методики изучались процессы, связанные с изменением направления вектора спонтанной поляризации сегнетоэлектрических кристаллов германата свинца во внешнем постоянном электрическом поле. Определены важнейшие переполяризационные характеристики сегнетоэлектрика германата свинца.

Возможность изменения направления вектора спонтанной поляризации под действием электрического поля – важнейшее свойство сегнетоэлектрических кристаллов. Оно проявляется прежде всего в гистерезисной зависимости поляризации от электрического поля. При рассмотрении петли гистерезиса видно, что процесс изменения направления вектора  $P_{\text{сп}}$  происходит не мгновенно во всем объеме кристалла, находящегося в переменном электрическом поле. Конечный промежуток времени, за который происходит изменение спонтанной поляризации от  $-P_{\text{сп}}$  до  $+P_{\text{сп}}$  называется временем переполяризации  $t_i$ . Хотя эта величина может быть мала по сравнению с периодом изменения синусоидального напряжения, все же попытки количественного описания процесса переполяризации с помощью анализа зависимости  $P(E, t)$  по петле гистерезиса наталкиваются на существенные трудности: каждая точка на гистерезисной кривой есть функция величины амплитудного значения электрического поля, его частоты, а также температуры [1, 2].

Поэтому исследование процессов переполяризации сегнетоэлектрических кристаллов обычно проводят в постоянном электрическом поле, которое достаточно быстро прикладывается к кристаллу. Практически это осуществляется путем подачи на образец прямоугольных импульсов с чередующейся полярностью. Длительность и амплитуда каждого импульса выбираются таким образом, чтобы время нарастания импульса было намного меньше времени переполяризации, и можно считать, что переполяризация происходит в неизменном электрическом поле.

За время действия импульса должна проходить полная переполяризация образца. Интервалы между следующими друг за другом импульсами должны быть достаточно большими, чтобы разогрев образца за счет гистерезисных потерь был по возможности небольшим. Напряжение в виде разнополярных прямоугольных импульсов, регулируемых по амплитуде, частоте следования и длительности, подается на цепочку, состоящую из конденсатора сегнетоэлектрического кристалла, покрытого электродами и малого последовательно соединенного сопротивления.

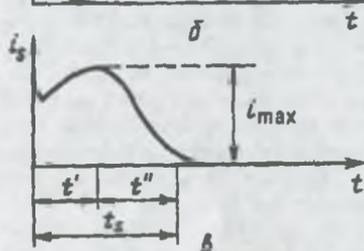
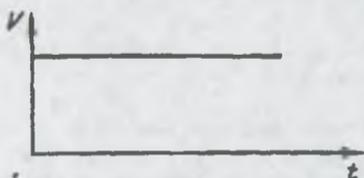


Падение напряжения на сопротивлении  $R$  пропорционально току, протекающему через образец. Величина тока

$$i = \frac{dq}{dt} = S \frac{dP}{dt},$$

где  $S$  – площадь электродов,  $q$  – заряд,  $P$  – поляризация,  $t$  – время. Ток будет разным в зависимости от взаимного направления векторов  $P_{\text{сп}}$  и  $E$ .

Если полярность импульса совпадает с направлением спонтанной поляризации, ток  $i_s$  спадает по экспоненте с постоянной времени  $\tau = RC_n$  и обусловлен только зарядкой емкости



кристалла, связанной с индуцированной поляризацией. Если полярность импульса противоположна  $P_{сп}$ , то форма тока будет более сложной: первый пик тока обусловлен быстро протекающими процессами установления индуцированной поляризации образца. Следующий, более затянутый во времени максимум тока обусловлен изменением тока, связанным с переориентацией спонтанной поляризации.

Время переполаризации  $t_s$  определяется, как время от переднего фронта импульса до спада  $i_s$  примерно до  $0,1 i_{max}$ . Площадь под кривой  $i_s(t)$  равна полному изменению заряда на обкладках сегнетоэлектрического конденсатора  $2P_{сп}S$ :

$$q = \int_0^{t_s} i_s dt = 2P_{сп}S.$$

Время переполаризации  $t_s$  и максимальный ток переполаризации  $i_{max}$  — важнейшие характеристики процесса переполаризации.

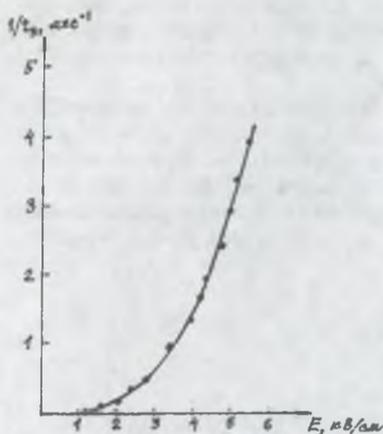
Из анализа данных следует, что аналитическая форма зависимости  $1/t_s$  от напряженности электрического поля  $E$  имеет вид:

$$1/t_s = (1/t_0)e^{-a/E}$$

Монокристаллы германата свинца тригонального габитуса размерами до нескольких сантиметров были выращены из расплава смесей  $x \text{ PbO} (1-x) \text{ GeO}_2$  с  $x \approx 0,625$  методом Чохральского [3]. Окраска кристаллов была светло-желтой. Направление вытягивания [0001]. Производился отжиг кристаллов при температуре  $650^\circ\text{C}$  с медленным охлаждением до комнатной температуры. Кристалл разрезался на пластины перпендикулярно оси  $c$ , производилась ориентация с помощью рентгеновского аппарата ДРОН-3, на  $c$ -срезы наносились электроды, толщина образцов  $0,05 \text{ см}$ .

На кристалл с импульсного генератора подавались прямоугольные разнополярные импульсы.

Форма подаваемых на кристалл импульсов контролировалась с помощью осциллографа. Амплитуду и длительность импульса изменялась в пределах  $0-100 \text{ В}$  и  $10-1200 \text{ мкс}$ , соответственно. Амплитуда импульса измерялась пиковым вольтметром, а длительность — с помощью меток времени на осциллографе. Напряжение, пропорциональное току переполаризации, снималось с сопротивления  $R$  и подавалось на осциллограф. Частота повторения импульсов задавалась на генераторе.



На рисунке представлена зависимость обратной величины времени переполяризации  $1/t_5$ , от внешнего электрического поля  $E$  кристаллах сегнетоэлектрического кристалла германата свинца  $Pb_5Ge_3O_{11}$ .

Полученные результаты близки к значениям, приводящиеся в [4].

#### Список литературы

1. Иона Ф., Ширане Д. Сегнетоэлектрические кристаллы. М., 1965.
2. Смоленский Г.А., Крайник Н.Н. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. М., 1968.
3. Мясоедов А.В., Сушинская А.А. Вестник ВГТУ, 2010, № 18, 132-136.
4. Панченко Т.В., Волнянский М.Д., Моля В.Г., Дуда В.М. ФТТ, 1977, 19, № 8, 1238- 1244.

## ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРА

Новиков В.А.

*Самарский государственный технический университет,  
Самара, Россия.  
[vladislav\\_novvi@mail.ru](mailto:vladislav_novvi@mail.ru)*

При оценке физико-механических свойств поверхности материала, синтезированного или модифицированного в плазме газового разряда, может быть применён метод фрактального анализа. Связь фрактальных свойств поверхности с физико-механическими описывается в ряде работ, посвященных изучению процессов формирования полимерных покрытий, их свойств и морфологии [1-4]. Известны исследования фрактальной размерности поверхностей плазменнополимеризованных плёнок стирола и октаметилтрисилоксана и её связи с режимами полимеризации [1]; плёнок оксида титана при различных методах формирования и её связи с фотокаталитическими свойствами [2]; тонких плёнок на основе Со и её связи с поверхностной энергией [3]. Корреляция между параметрами ионной бомбардировки углеродных плёнок и их фрактальными свойствами изучалась в работе [4].

В этих работах приводится большое количество способов реализации конкретных методов фрактального анализа, использующих в качестве данных профилограммы поверхностей [5], изображений растровой электронной микроскопии [1, 6, 7], сканирующей зондовой микроскопии [2-4]. В настоящей работе предлагается один из методов вычисления фрактальной размерности поверхностных микроструктур по цифровым изображениям. Метод реализован в виде вычислительной программы, позволяющей достаточно оперативно проводить фрактальный анализ изображений.

#### Теоретическая часть

Применяемые для исследования морфологии поверхности покрытий методы фрактального анализа в качестве исходных данных используют профилограммы поверхности, изображений растровой электронной, сканирующей зондовой и оптической микроскопии. Полученные фрактальные размерности шероховатых или геометрически неоднородных поверхностей представляет собой количественную меру степени самоподобия структурных элементов различных размеров. Для их определения использовался метод, предложенный Мандельбротом. В соответствии с этим методом, шероховатые поверхности разделяются горизонтальными плоскостями на различных уровнях, в результате чего в плоскости сечения появляются острова. Эти острова обладают суммарной площадью  $S$  и общим периметром  $L$ . График зависимости значения периметра  $L$  от значения площади  $A$