

05;07

**Влияние постоянного электрического поля  
на доменную структуру  
сегнетоэлектрических кристаллов  
скандониобата свинца  $\text{PbSc}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$**

© *И.В. Мардасова, К.Г. Абдулвахидов,  
М.А. Буракова, М.Ф. Куприянов*

Ростовский государственный университет, Ростов-на-Дону  
E-mail: kam@rnd.runnet.ru

*Поступило в Редакцию 24 января 2002 г.*

Поляризационно-оптическим методом изучено влияние постоянного электрического поля на формирование доменной структуры сегнетоэлектрических кристаллов  $\text{PbSc}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ . Показано, что в них реализуются 71- и 180-градусные домены, границы которых представляют собой плоскости типа (100) и (110).

Несмотря на то что скандониобат свинца  $\text{PbSc}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$  (PSN) известен давно [1], доменная структура кристаллов до сих пор остается малоизученной. В некоторой степени этот вопрос затрагивался нами ранее в [2].

Целью настоящей работы является изучение процессов формирования доменной структуры и переключения поляризации постоянным электрическим полем свежесинтезированных кристаллов PSN поляризационно-оптическим методом.

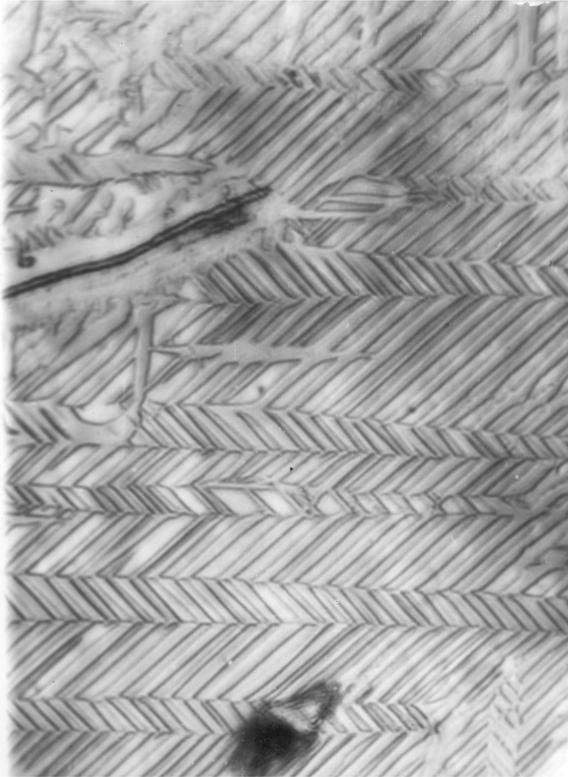
Кристаллы PSN были выращены методом массовой кристаллизации из раствора в расплаве в интервале температур 1200–850°C и имели форму прямоугольного параллелепипеда с линейными размерами

от  $10\ \mu\text{m}$  до  $2\ \text{mm}$ . Доменное строение и процессы переключения поляризации PSN изучались методом визуального наблюдения с помощью приспособления, установленного на предметном столике поляризационного микроскопа и позволяющего прикладывать электрическое поле вдоль различных кристаллографических направлений. В качестве электродов были использованы концентрированный водный раствор LiCl и аквадаг.

При комнатной температуре кристаллы PSN имеют ромбоэдрическую симметрию и поэтому, исходя из принципа симметрии и условия электрической нейтральности границы доменов, отвечающего минимуму энергии кристалла, т.е.  $\mathbf{nP}_1 - \mathbf{nP}_2 = 0$ , где  $\mathbf{P}_1$  и  $\mathbf{P}_2$  — векторы спонтанной поляризации в соседних доменах, а  $\mathbf{n}$  — нормаль к границе между доменами, допустимые углы между векторами спонтанной поляризации  $\mathbf{P}_s$  в соседних доменах для PSN должны составлять порядка  $71$  ( $109$ ) и  $180$  градусов.

Как было отмечено в [3], доменная структура PSN довольно сложна и зависит от условий выращивания и геометрических размеров образцов. Кристаллы с линейными размерами порядка нескольких десятков  $\mu\text{m}$  имеют достаточно четкие границы доменов, которые можно наблюдать в поляризационном микроскопе. Послойное травление толстого кристалла выявило, что доменная структура, соответствующая разной толщине кристалла, имеет разную конфигурацию. По-видимому, это объясняется наличием в этих кристаллах механических напряжений и ростовых дефектов, которые нарушают однородность спонтанной поляризации по объему кристалла при фазовом переходе. Поэтому доменная конфигурация, наблюдаемая в реальном кристалле PSN, является результатом компромисса между симметричными соображениями и энергетическими требованиями, с одной стороны [4], и возмущающим влиянием неоднородных деформаций и ростовых дефектов — с другой стороны [5].

Как было отмечено в [2], приложение постоянного поля порядка  $1.5\ \text{kV/cm}$  приводит к разбиению исходных доменов на более мелкие, размытию их границ и исчезновению доменов с границами, ориентированными коллинеарно полю, укрупнению за счет бокового движения и прорастанию доменов с  $71$ -градусными стенками, перпендикулярными направлению поля  $\mathbf{E}$ . Со стороны электродов были обнаружены острые доменные клинья, ориентированные под углом порядка  $45$  градусов к направлению приложенного поля  $\mathbf{E}$ , пред-



71- и 180-градусная доменная структура  $\text{PbSc}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ . Постоянное электрическое поле направлено сверху вниз; увеличение  $\times 170$ .

ставляющие собой 180-градусные домены. Встречаясь с доменными стенками, ориентированными перпендикулярно направлению поля  $E$ , они преломляются на них снова под углом 45 градусов. Увеличение приложенного поля до 3–4 kV/cm приводит к прорастанию сквозь кристалл доменов с границами, перпендикулярными полю  $E$ , но после снятия поля наблюдается тенденция к частичному восстановлению исходной доменной структуры. Выдержка кристалла под полем порядка 5–8 kV/cm в течение 10–30 min фиксирует положе-

ния 71-градусных доменных границ, перпендикулярных направлению поля  $E$ , и 180-градусных доменных границ, расположенных под углом 45 градусов к направлению поля  $E$ . Все домены с границами, параллельными направлению действия поля, исчезают из поля зрения (см. рисунок). Однако первый же перевод кристалла в парафазу и обратно частично восстанавливает исходную доменную структуру. Травление кристаллов после воздействия поля выявило, что домены с положительными концами векторов спонтанной поляризации  $P_s$ , выходящие на поверхность кристалла, травятся быстрее, чем домены с отрицательными концами  $P_s$ , и в поляризационном микроскопе они имеют едва отличающийся от соседних доменов матовый цвет. Следует отметить, что не все участки кристалла в одинаковой степени участвуют в процессе переполяризации. В зависимости от степени дефектности участков кристалла получаемая конфигурация доменов на разных участках различается по форме. Примечательным является тот факт, что в момент приложения поля доменные границы, перпендикулярные направлению поля, которые совершали колебательные движения около некоторого среднего положения, имели пилообразную форму и затем как бы скачком расширились вбок под действием приложенного поля. Повышение значения приложенного поля до 9–10 kV/cm приводит к образованию под электродами микротрещин, областей, напоминающих блочную структуру, а также к нагреву и переводу в парафазу или к электрическому пробою кристалла. Следует отметить, что в PSN отсутствуют крупные области монодоменного состояния, характерные, например, для  $BaTiO_3$ . Ширины доменов, измеренные с помощью объект-микрометра, имеют разброс: для 71-градусных доменов порядка 3–5  $\mu m$ , а для 180-градусных доменов — 13–15  $\mu m$ .

Таким образом, установлено, что приложение постоянного электрического поля к монокристаллам PSN приводит к формированию 71- и 180-градусных доменных структур, границами которых являются плоскости типа (100) и (110), а пороговые значения электрических полей, при которых начинается формирование такой структуры, для каждого кристалла различаются и зависят от степени его совершенства и однородности.

## Список литературы

- [1] *Смоленский Г.А., Боков В.А., Исупов В.А.* и др. Физика сегнетоэлектрических явлений. Л.: Наука, 1985. 396 с.
- [2] *Абдулвахидов К.Г., Куприянов М.Ф.* // Кристаллография. 1996. Т. 41. № 6. С. 1066–1071.
- [3] *Абдулвахидов К.Г., Мардасова И.В., Мясникова Т.П.* и др. // ФТТ. 2001. Т. 43. В. 3. С. 489–494.
- [4] *Желудев И.С., Шувалов Л.А.* // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1957. Т. XXI. № 2. С. 264–274.
- [5] *Иона Ф., Ширане Д.* Сегнетоэлектрические кристаллы. М.: Мир, 1965. 556 с.