

05:07

Отражение света доменными стенками в одноосном сегнетоэлектрике $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$

© А.А. Грабар

Поступило в Редакцию 12 февраля 1997 г.

Описано возникновение рассеяния света при наблюдении пропускания света при некоторых ориентациях падающего лазерного пучка в полидоменных кристаллах одноосного сегнетоэлектрика титогиподифосфата олова. Это рассеяние, вероятно, связано с наличием отражающего слоя в окрестности 180° доменных границ. Отражающий слой может возникать при появлении заряженных непараллельных доменных стенок.

Форма и ориентация доменной стенки между сегнетоэлектрическими доменами определяется условиями минимизации ее упругой и электростатической энергий. В одноосных сегнетоэлектриках (т.е. имеющих одно направление спонтанной поляризации P_s и только антипараллельные домены) более энергетически выгодными являются стенки, параллельные вектору спонтанной поляризации. Равновесная толщина доменной стенки, определяемая как область изменения параметра порядка от $-P_s$ до $+P_s$, составляет величину порядка нескольких постоянных кристаллической решетки [1]. По сравнению с длиной световой волны λ эта величина меньше на два-три порядка. По этой причине полидоменный одноосный сегнетоэлектрик принято считать оптически однородной средой (по линейному показателю преломления).

Известно [2,3], что в кристаллах с достаточно высокой проводимостью вследствие экранирования подвижными носителями заряда становится возможным существование непараллельных или даже перпендикулярных к P_s доменных стенок (встречные домены). Плотность соответствующего поверхностного заряда $\sigma = 2 \cdot |P_s| \cdot \cos \varphi$, где φ — угол между вектором P_s и нормалью к доменной границе. Данный экранирующий заряд локализуется в пределах некоторого слоя с толщиной порядка дебаевской длины экранирования l_D . Неоднородный заряд в этой области приводит к появлению электрических полей, что, в свою очередь, вызывает локальные изменения показателя преломления вследствие электрооптического эффекта. В кристаллах с высокими

значениями P_s , $\cos \varphi$ проводимости и электрооптических коэффициентов r_{ij} величина этого изменения и толщина слоя могут быть достаточными для отражения, рассеяния либо дифракции света в зависимости от конфигурации доменных границ. Одним из проявлений экранирования встречных доменов может быть объяснен описанный ниже эффект направленного рассеяния света.

Объектом исследований были монокристаллы тиогиподифосфата олова. Это одноосные сегнетоэлектрики-полупроводники, относящиеся к моноклинной сингонии (класс m), с фазовым переходом второго рода $P2_1/n-P_n$ при $T_c = 337$ К [4]. Образцы были получены методом химических транспортных реакций. Данный кристалл прозрачен в спектральном диапазоне 530–800 нм. Его оптические свойства исследовались ранее в [5]. При ориентации использовалась типичная для данных кристаллов установка [6], когда ось X выбирается вдоль кристаллографического направления [100], близкого к P_s , а ось Y является нормалью к плоскости симметрии m .

При изучении пропускания сфокусированного лазерного излучения через образцы $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ было обнаружено, что при определенных ориентациях падающего пучка относительно кристаллографических осей и угле наблюдения около 90° по отношению к направлению пучка яркость светового трека внутри кристалла значительно увеличивается. Данный эффект вызывается не дефектами, поскольку наблюдается во всех, в том числе наиболее оптически совершенных, образцах.

На рис. 1, 2 приведены фотоснимки (в негативном изображении) образцов $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$, полученные при их освещении излучением He–Ne лазера ЛГН-215 мощностью около 40 мВт. Размеры образца $5 \times 7 \times 4$ мм вдоль X , Y , Z соответственно. На снимках луч падает на поверхность, параллельную (010), наблюдение рассеяния — сквозь грань (001). Излучение лазера фокусировалось сферической линзой с фокусным расстоянием $f = 500$ мм (рис. 1) и цилиндрической с $f = 100$ мм (рис. 2). Качественная картина явления имеет следующие особенности.

1. Рассеяние имеет место только в полидоменных образцах. В монодоменизированном образце эффект отсутствует и восстанавливается после полидоменизации (отжига).

2. Эффект наблюдается только при некоторых определенных взаимных ориентациях светового пучка и точки наблюдения. Эти направления всегда составляют значительный угол с полярной осью X и не наблюдаются, если падающий пучок либо направление наблюдения

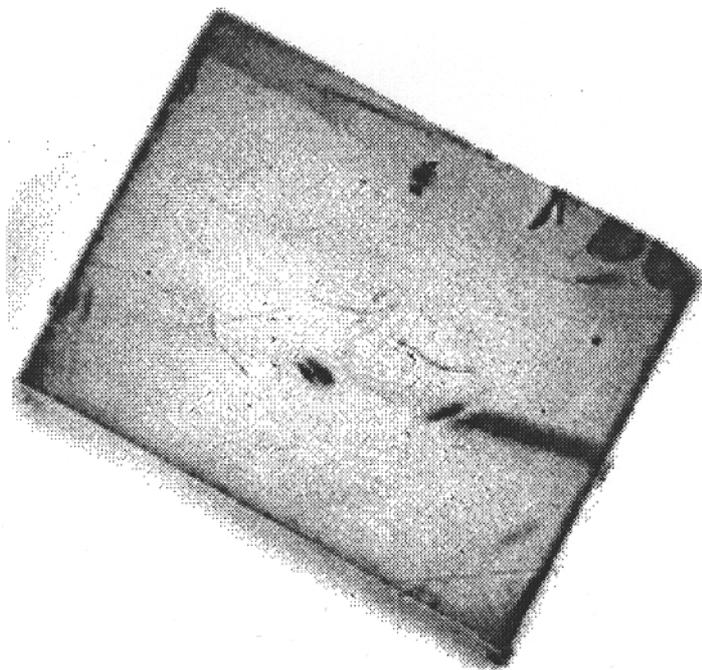


Рис. 1. Рассеяние сфокусированного сферической линзой светового пучка гелий-неонового лазера в частично поляризованном образце $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ (негативное изображение). Трек рассеяния наблюдается в полидоменной области. Падающий луч проходит сквозь грань (010), наблюдение перпендикулярно (001).

близки к ней. Картина наблюдается также, если направления светового пучка и наблюдения поменять местами. При повороте кристалла вокруг направления наблюдения угол "блеска" изменяется. При этом апертура угла рассеяния достаточно мала в плоскости, перпендикулярной направлению падающего пучка (несколько градусов), и составляет десятки градусов в плоскости его распространения.

3. Если образец поляризовать таким образом, что в монодоменном состоянии находится часть объема, трек рассеяния наблюдается только в незаполяризованной его области (рис. 1). В целом трек неоднороден и при перемещении образца наблюдаются рассеивающие (светящиеся)

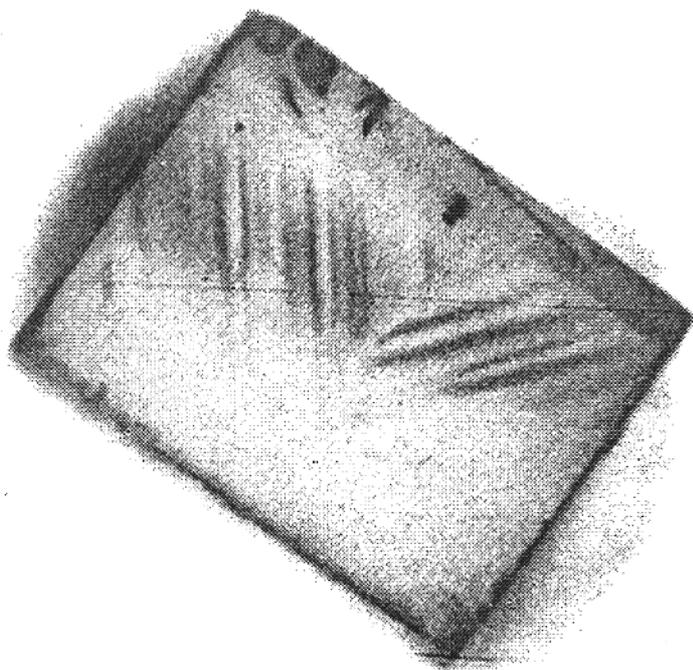


Рис. 2. Картина рассеяния сфокусированного цилиндрической линзой светового пучка гелий-неонового лазера в полидоменизированном образце $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$. Ориентация та же, что и на рис. 1.

и нерассеивающие (темные) области, имеющие чаще всего вид полос. При освещении широким пучком (рис. 2) отчетливо наблюдается паркетобразная структура с полосами, расположенными под значительным углом к полярному направлению.

4. При нагревании кристалла до температуры фазового перехода интенсивность рассеяния постепенно уменьшается и за 5–10 К до перехода практически исчезает. В параэлектрической фазе рассеяния также отсутствует. При понижении температуры и возвращении в сегнетофазу картина рассеяния восстанавливается.

5. При переключении образца внешним постоянным электрическим полем (до $500 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$) наблюдается "включение" и "выключение"

отдельных участков трека внутри кристалла (полное переключение освещенного образца требует приложения поля выше его пробойного значения).

Наиболее вероятной причиной рассеяния представляется существование отражающего слоя в окрестности 180° -ных доменных границ. Анализ распределения электрического поля в приповерхностном экранирующем слое сегнетоэлектрика приведен в [2], где для сегнетополупроводников (SbSI, BaTiO₃) получена оценка падения напряжения $U \approx 1$ V при $l_D \approx 10^{-2}$ cm. При этом отмечается, что напряженность поля в данном слое может достигать 10^4 – 10^6 V · cm⁻¹. Близкие к SbSI параметры характеризуют и Sn₂P₂S₆ при комнатной температуре ($P_s = 15$ mC/cm², диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_{11} = 200$ – 250 [4,6], проводимость $\sim 10^{-10}$ Ω⁻¹ · cm⁻¹ [7]). Если принять значение напряженности поля в экранирующем слое $E \sim 10^6$ V · cm⁻¹, то при эффективном значении электрооптического коэффициента $r_{\text{эфф}} = 70$ pm · V⁻¹ и показателе преломления $n \approx 3.0$ (при $\lambda = 632.8$ nm) [5] индуцированное изменение последнего может составить: $\delta n = n^3 r_{\text{эфф}} E / 2 \approx 10^{-3}$, что соответствует коэффициенту отражения $R = (\delta n / 2n)^2 \approx 3 \cdot 10^{-8}$ для случая нормального падения. При средней равновесной ширине доменов порядка 50 μm [8] "суммарный" коэффициент отражения на 1 cm пути луча может достичь величины порядка 10^{-6} – 10^{-5} . Отметим, что подобные эффекты вблизи границ встречных доменов могут быть вызваны и другими явлениями. Так, согласно [9], в высокоомном LiNbO₃ при быстром охлаждении образуются области изменения показателя преломления толщиной порядка 1 μm, индуцированные пирозарядом и наблюдаемые на просвет в поляризационном микроскопе.

Таким образом, наблюдаемое явление направленного рассеяния, вероятно, связано с отражением световой волны заряженными доменными стенками, что возможно только при наличии в исследуемых кристаллах доменных границ, непараллельных к оси спонтанной поляризации. Данное предположение противоречит сделанному ранее [8] заключению о равновесной форме доменов в Sn₂P₂S₆ в форме цилиндров, вытянутых вдоль P_s . Выводы работы [8] основывались на наблюдениях доменов на поверхностях образца с использованием метода жидких кристаллов, тогда как картина в объеме может быть более сложной. Результаты, полученные путем исследования распределения P_s в объеме голографическим методом [10], качественно согласуются с предположением о наличии непараллельных к P_s доменных стенок. Более детальное изуче-

ние направленного рассеяния света в образцах с различной кристаллографической ориентацией может дать дополнительную информацию о конфигурации доменных границ.

Описанный выше эффект позволяет предложить новый метод исследования доменной структуры одноосных сегнетоэлектриков типа $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$, дает возможность весьма простого и удобного метода тестирования степени униполярности образцов, а также требует учета подобных явлений при измерениях оптических параметров полидоменных сегнетополупроводниковых кристаллов.

Список литературы

- [1] Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981.
- [2] Фридкин В.М. Сегнетоэлектрики-полупроводники. М.: Наука, 1976.
- [3] Фесенко Е.Г., Гавриляченко В.Г., Семенчев А.Ф. Доменная структура многоосных сегнетоэлектрических кристаллов. Ростов-на Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1990.
- [4] Carpentier C.D., Nitsche R. // Mat. Res. Bull. 1974. V. 9. N 8. P. 1097–1100.
- [5] Грабар А.А., Высочанский Ю.М., Перечинский С.И., Сало Л.А., Гурзан М.И., Сливка В.Ю. // ФТТ 1984. Т. 26. В. 11. С. 3469–3472.
- [6] Высочанский Ю.М., Сливка В.Ю. Сегнетоэлектрики семейства $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$. Свойства в окрестности точки Лифшица. Львов: Ориана-Нова, 1994.
- [7] Тербан В.П., Семак А.Д., Грабар А.А. // Материалы оптоэлектроники. Киев: Техника, 1992. С. 103–107.
- [8] Высочанский Ю.М., Майор М.М., Перечинский С.И., Тихомирова Н.А. // Кристаллография. 1992. Т. 37. В. 1. С. 171–176.
- [9] Otko A.I., Stasyuk I.V. // Ferroelectrics. 1995. V. 172. P. 207–215.
- [10] Грабар А.А., Берча А.И., Стойка И.М. Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 24. С. 72–76.