

- [4] Huang C. Y. et al. Nature, 1987, vol. 328, p. 403—405.  
 [5] Ayub P. et al. J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1987, vol. 20, p. L673—L676.  
 [6] Jhara H. et al. Jap. J. Appl. Phys., 1987, vol. 2b, N 8, p. 1413—1415.  
 [7] Little W. A. Phys. Rev., 1964, vol. 134, N 6A, p. 1416—1424.  
 [8] Гинзбург В. Л. Phys. Lett., 1964, vol. 13, p. 101—110; Проблема высокотемпературной сверхпроводимости / Под ред. В. Л. Гинзбурга и Д. А. Киржниц. М.: Наука, 1977.  
 [9] Miller D. L. et al. Phys. Rev. B, 1976, vol. 13, p. 4834—4844.  
 [10] Gough C. E. et al. Nature, 1987, vol. 326, N 6116, p. 855—857.  
 [11] Anderson P. W. Science, 1987, vol. 235, p. 1196—1201.  
 [12] Emery V. J. Phys. Rev. Lett., 1987, vol. 58, N 26, p. 2794—2797.  
 [13] Мойжес Б. Я., Сунрун С. В. ФТТ, 1988, т. 30, № 3, с. 901—903.  
 [14] Robinson A. L. Science, 1987, vol. 237, p. 1115—1117.  
 [15] Вонсовский С. В. Магнетизм. М.: Наука, 1971. 1032 с.  
 [16] Уайт Р., Джебелл Т. Дальний порядок в твердых телах. М.: Мир, 1982. 448 с.  
 [17] Greene R. L. et al. Sol. St. Commun., 1987, vol. 63, N 5, p. 379—384.  
 [18] Kitaoka Y. J. Phys. Soc. Jap., 1987, vol. 56, N 9, p. 3024—3029.  
 [19] Jonker G. H., van Sauten J. H. Physica, 1950, vol. 16, p. 337—342, 599—604.  
 [20] Zeuer C. Phys. Rev., 1951, vol. 82, p. 403—420.  
 [21] Dou S. X. et al. Appl. Phys. Lett., 1987, vol. 51, N 7, p. 535—537.  
 [22] Wang Huisheng et al. Chinese Phys. Lett., 1988, vol. 5, N 1.  
 [23] Шкловский Б. И., Эфрос А. А. Электрические свойства легированных полупроводников. М.: Наука, 1979. 416 с.  
 [24] Kitazawa K. et al. Preprint, Submitted to Jpn. J. Appl. Phys., 1988.  
 [25] Lendolt Bornstein. Berlin: Springer Verlag, 1962, Bd II, 9 Teil.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
9 февраля 1988 г.

УДК 535.56

Физика твердого тела, том 30, в. 7, 1988  
Solid State Physics, vol. 30, № 7, 1988

## О ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ГИРОТРОПНЫЕ И ПРЕЛОМЛЯЮЩИЕ СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ—СЕГНЕТОЭЛАСТИКОВ

И. В. Бережной, Р. О. Влох

Эффекты пространственной дисперсии связаны в основном с наличием антисимметричной добавки к тензору диэлектрической проницаемости

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_{ij}^0 + i\gamma_{ijk}k_k = \epsilon_{ij}^0 + ie_{ijl}g_{lk}k_k,$$

где  $\gamma_{ijk}$  — антисимметричный полярный тензор второго ранга,  $g_{lk}$  — аксиальный тензор второго ранга (тензор гирации),  $k_k$  — волновой вектор [1]. Изменение действительной части  $\epsilon_{ij}$  может быть вызвано различного рода воздействиями. Так, например, хорошо известные эффекты электро- и упругооптики и электро- и упругогирации описываются соотношениями

$$\Delta Q_{ij} = r_{ijk}E_k + p_{ijkl}X_{kl}, \quad \Delta g_{ij} = \gamma_{ijk}E_k + \beta_{ijkl}x_{kl},$$

где  $\Delta Q_{ij}$  — приращение поляризационных констант;  $X_{kl}$  — механическая деформация;  $E_k$  — напряженность электрического поля;  $r_{ijk}$ ,  $\gamma_{ijk}$  и  $p_{ijkl}$ ,  $\beta_{ijkl}$  — полярные и аксиальные тензоры третьего и четвертого рангов соответственно.

Как будет показано ниже, для существования связи между указанными эффектами необходимо выполнение следующих условий: 1) тензоры  $X_{kl}$ ,  $E_k$ ,  $a_{ij}$  и  $g_{ij}$  должны преобразовываться по одному неприводимому представлению точечной группы симметрии кристалла; 2) тензоры  $r_{ijk}$

Соотношение между электро- и уругооптическими и электро- и уругогирационными константами в кристаллах различных групп симметрии ( $x_{ij} = e_{ijk}E_k$ ,  $e_{ijk}$  — коэффициенты электромеханической связи

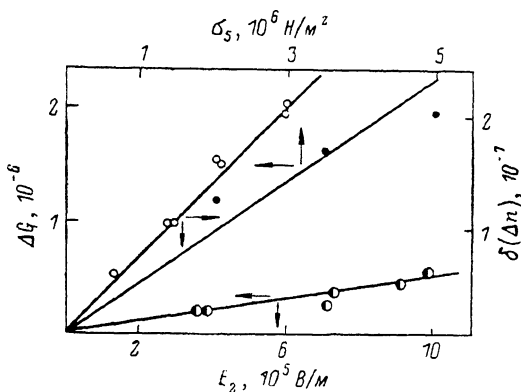
Изменение симметрии при фазовом переходе	Компоненты вектора спонтанной поляризации	Соотношения для компонент тензоров электро- и уругооптики и электро- и уругогирации в парафазе
23 → 222	$P_1, P_2, P_3$	$\beta_{44}/p_{44} = \gamma_{41}/r_{41}$
6 → 2	$P_1, P_2$	$\frac{\beta_{44}e_{41} + \beta_{45}e_{42}}{p_{44}e_{41} + p_{45}e_{42}} = \frac{\gamma_{41}}{r_{41}}$ $\frac{\beta_{44}e_{42} - \beta_{45}e_{41}}{p_{44}e_{42} - p_{45}e_{41}} = \frac{\gamma_{42}}{r_{42}}$
622 → 2	$P_1, P_2$	$\beta_{44}/p_{44} = \gamma_{41}/r_{41}$
32 → 2	$P_1$	$\frac{\beta_{11}e_{11} - \beta_{12}e_{11} + \beta_{14}e_{41}}{p_{11}e_{11} - p_{12}e_{11} + p_{14}e_{41}} = \frac{\gamma_{11}}{r_{11}}$
	$P_2$	$\frac{\beta_{44}e_{41} + \beta_{41}e_{11}}{p_{44}e_{41} + p_{41}e_{11}} = \frac{\gamma_{41}}{r_{41}}$
3 → 1	$P_1, P_2$	$\frac{\beta_{12}e_{11} - \beta_{11}e_{11} - \beta_{14}e_{41} + \beta_{25}e_{51} + \beta_{16}e_{22}}{p_{12}e_{11} - p_{11}e_{11} - p_{14}e_{41} + p_{25}e_{51} + p_{16}e_{22}} = \frac{\gamma_{11}}{r_{11}}$ $\frac{2\beta_{41}e_{11} + \beta_{44}e_{41} + \beta_{45}e_{51} - \beta_{52}e_{22}}{2p_{41}e_{11} + p_{44}e_{41} + p_{45}e_{51} - p_{52}e_{22}} = \frac{\gamma_{41}}{r_{41}}$ $\frac{2\beta_{52}e_{11} + \beta_{45}e_{41} - \beta_{44}e_{51} + \beta_{41}e_{22}}{2p_{52}e_{11} + p_{45}e_{41} - p_{44}e_{51} + p_{41}e_{22}} = \frac{\gamma_{51}}{r_{51}}$ $\frac{2\beta_{16}e_{11} - \beta_{25}e_{41} - \beta_{14}e_{51} + \beta_{68}e_{22}}{2p_{16}e_{11} - p_{25}e_{41} - p_{14}e_{51} + p_{68}e_{22}} = \frac{\gamma_{22}}{r_{22}}$
422 → 2	$P_1, P_2$	$\beta_{44}/p_{44} = \gamma_{41}/r_{41}$
4 → 2	$P_1, P_2$	$\frac{\beta_{44}e_{41} + \beta_{45}e_{42}}{p_{44}e_{41} + p_{45}e_{42}} = \frac{\gamma_{41}}{r_{41}}$ $\frac{\beta_{44}e_{51} - \beta_{45}e_{51}}{p_{44}e_{51} - p_{45}e_{51}} = \frac{\gamma_{51}}{r_{51}}$
$\bar{4}2m \rightarrow 2$	$P_1, P_2$	$\beta_{44}/e_{44} = \gamma_{41}/r_{41}$
$\bar{4} \rightarrow 1$	$P_1$	$\frac{\beta_{44}e_{41} - \beta_{45}e_{51}}{p_{44}e_{41} - p_{45}e_{51}} = \frac{\gamma_{41}}{r_{41}}$ , $\frac{\beta_{45}e_{41} + \beta_{44}e_{51}}{p_{45}e_{41} + p_{44}e_{51}} = \frac{\gamma_{42}}{r_{51}}$
	$P_2$	$\frac{\beta_{44}e_{42} - \beta_{45}e_{52}}{p_{44}e_{42} - p_{45}e_{52}} = \frac{\gamma_{42}}{r_{42}}$ , $\frac{\beta_{45}e_{42} + \beta_{44}e_{52}}{p_{45}e_{42} + p_{44}e_{52}} = \frac{\gamma_{41}}{r_{52}}$
222 → 2	$P_1$ $P_2$ $P_3$	$\beta_{44}/p_{44} = \gamma_{41}/r_{41}$ $\beta_{55}/p_{55} = \gamma_{52}/r_{52}$ $\beta_{68}/p_{68} = \gamma_{63}/r_{63}$
2 → 1, 2    Z	$P_1$	$\frac{\beta_{44}e_{41} + \beta_{45}e_{51}}{p_{44}e_{41} + p_{45}e_{51}} = \frac{\gamma_{41}}{r_{41}}$ , $\frac{\beta_{45}e_{41} + \beta_{55}e_{51}}{p_{54}e_{41} + p_{55}e_{51}} = \frac{\gamma_{51}}{r_{51}}$
	$P_2$	$\frac{\beta_{44}e_{42} + \beta_{45}e_{52}}{p_{44}e_{42} + p_{45}e_{52}} = \frac{\gamma_{42}}{r_{42}}$ , $\frac{\beta_{54}e_{42} + \beta_{55}e_{52}}{p_{54}e_{42} + p_{55}e_{52}} = \frac{\gamma_{52}}{r_{52}}$

и  $\gamma_{ijk}$ , а также  $p_{ijkl}$  и  $\beta_{ijkl}$  должны иметь одинаковый вид; 3) кристалл должен находиться в параэлектрической—параэластической фазе.

При выполнении первого условия величины  $a_{ij}$  и  $g_{ij}$  будут тензорно связанными с соответствующими полевыми величинами. Необходимость второго условия связана с тем, что приложение к кристаллу электрического поля или механического напряжения должно вызывать одинакового типа изменение индикатрисы и гирационной поверхности. Так, например, для кристаллов, обладающих точечной группой симметрии 222, величины  $\Delta a_5$ ,  $\Delta g_5$ ,  $X_5$  и  $E_2$  связаны следующим образом:

$$\Delta Q_5 = r_{52}E_2, \quad \Delta g_5 = \gamma_{52}E_2, \quad \Delta Q_5 = p_{55}X_5, \quad \Delta g_5 = \beta_{55}X_5,$$

т. е. действие электрического поля и деформации приводит к повороту индикатрисы и гирационной поверхности вокруг оси  $Y$ . Если исследуемый кристалл претерпевает сегнетоэлектрический—сегнетоэластический фазовый переход, то для электрически и механически свободного образца безразлично, описывается ли изменившаяся при фазовом переходе гирация и двупреломление через спонтанную деформацию или через спонтанную поляризацию. Так как коэффициенты электро- и упругооптического и электро- и упругогирационного эффектов должны равняться тем же



Зависимости приращения двупреломления и скалярного параметра гирации от механического напряжения и электрического поля в кристаллах  $\text{NaNH}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  ( $T=287$  К,  $\lambda=632.8$  нм,  $k_{\parallel} \langle 101 \rangle$ ).

коэффициентам индуцированных эффектов в парафазе, то при температурах  $T > T_c$  будут выполняться соотношения

$$\Delta Q_{ij} = r_{ijk} E_k = p_{ijkl} X_{kl}, \quad \Delta g_{ij} = \gamma_{ijk} E_k = \beta_{ijkl} X_{kl}.$$

В этом и состоит сущность третьего условия, исходя из которого можно получить уравнения

$$\beta_{ijkl} / p_{ijkl} = \gamma_{ijk} / r_{ijk}. \quad (1)$$

В таблице представлено это соотношение для различных групп симметрии.

Выполняемость соотношения (1) была экспериментально установлена в кристаллах аммониевой сегнетовой соли  $\text{NaNH}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , претерпевающих сегнетоэлектрический—сегнетоэластический фазовый переход с изменением симметрии  $222 \rightarrow 2$  при  $T_c=110$  К. Исследование приращения двупреломления и гирационных констант производилось по методу Сенармона и характеристических углов [2] соответственно. Величина пьезооптического коэффициента совпадает с ранее исследованной в работе [3]. Рассчитанные из линейных зависимостей (см. рисунок) компоненты тензоров пьезо- и электрогирации и электрооптики равны  $\beta'_{55}=4.6 \cdot 10^{-13}$  м<sup>2</sup>/Н,  $\gamma_{52}=5.5 \cdot 10^{-13}$  м/В,  $r_{52}=2.1 \cdot 10^{-12}$  м/В соответственно. Соотношение констант  $\beta'_{55}/\pi_{55}=\gamma_{52}/r_{52}$  согласуется с выводами симметричного анализа и для кристаллов аммониевой сегнетовой соли равно 0.22.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Влох О. Г. Явления пространственной дисперсии в параметрической кристаллооптике, Львов: Выща школа, 1984. 156 с.  
 [2] Бережной И. В. Межвед. сб. «Оптика анизотропных сред». М., 1987, с. 77—79.  
 [3] Иванов Н. Р., Хусраев Д., Шувалов Л. А., Щагина Н. М. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1979, т. 43, № 8, с. 1691—1701.