

[6] Da Costa Lamas, Cang S. L., Catcha-Ellis S. // Phys. St. Sol. 1981. V. A68. P. 173—178.

[7] Khasanov S. S., Shekhtman V. Sh. // Ferroelectrics. 1986. V. 67. N 1. P. 371—377.

[8] Парасмян Т. К., Хасанов С. С., Шехтман В. Ш. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 6. С. 1665—1668.

Институт физики твердого тела  
и полупроводников АН БССР  
Минск

Поступило в Редакцию  
5 декабря 1988 г.  
В окончательной редакции  
6 февраля 1989 г.

УДК 537.226

Физика твердого тела, том 31, в. 7, 1989

Solid State Physics, vol. 31, № 7, 1989

## АНОМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КРИСТАЛЛОВ $Rb_2CoCl_4$ , ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПОСТОЯННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ, В ОБЛАСТИ СТРУКТУРНОГО ПЕРЕХОДА НЕСОРАЗМЕРНАЯ—ПОЛЯРНАЯ ФАЗА

*В. В. Гладкий, В. А. Кириков, С. К. Гупта, Б. Бржезина*

Кристалл  $Rb_2CoCl_4$  претерпевает структурные переходы однородная несоразмерная (Н)—соразмерная полярная (С) фаза соответственно при 295 и 192 К [ $l^{-4}$ ]. Спонтанная поляризация возникает вдоль кристаллографической оси  $b$  (Y), где  $b < a < c$  [ $l^2$ ]. Цель работы — исследование влияния на фазовый переход Н-фаза—С-фаза и диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_y$  постоянного поляризующего электрического поля  $E_y$ .

Образцы  $Y$ -среза кристалла имели форму прямоугольных пластин размером  $3.5 \times 3.5 \times 0.7$  и  $3.5 \times 3.5 \times 3$  мм. Электроды наносились на большие грани образцов электропроводящей серебряной пастой. Измерение  $\epsilon_y$  проводилось на частоте 1 кГц.

Температурная зависимость  $\epsilon_y$  исследованных образцов вблизи точки  $T_c$  перехода из Н-фазы в С-фазу в отсутствие поля  $E_y$  является типичной для всех кристаллов группы  $K_2SeO_4$ , имеющих Н-фазу [4, 5]. Зависимости  $\epsilon_y(T)$ , полученные при понижении и повышении температуры, не совпадают в пределах всей области существования Н-фазы. Температурный интервал между максимальными значениями  $\epsilon_y$  в точках  $T_c$  перехода при охлаждении и нагревании кристалла (температурный гистерезис) равен 1.1 К. При включении внешнего постоянного электрического поля  $E_y$  температурные зависимости  $\epsilon_y$  начинают отличаться от таких же зависимостей  $\epsilon_y(T)$  для кристаллов  $Rb_2ZnCl_4$  [5] и приобретают аномальный характер (см. рисунок). При увеличении поля температурный максимум  $\epsilon_y$  уменьшается, не смещаясь по температуре, зависимость  $\epsilon_y(T)$  «размывается», а начиная с  $E_y=4$  кВ/см появляется второй (правый) максимум  $\epsilon_y$ , смещающийся в область более высоких  $T$  по мере увеличения  $E_y$ . На рисунке представлены только кривые  $\epsilon_y(T)$ , измеренные при понижении температуры. При повышении температуры можно наблюдать аналогичные зависимости  $\epsilon_y(T)$ , только смещенные к более высоким температурам на величину температурного гистерезиса  $\epsilon_y$ .

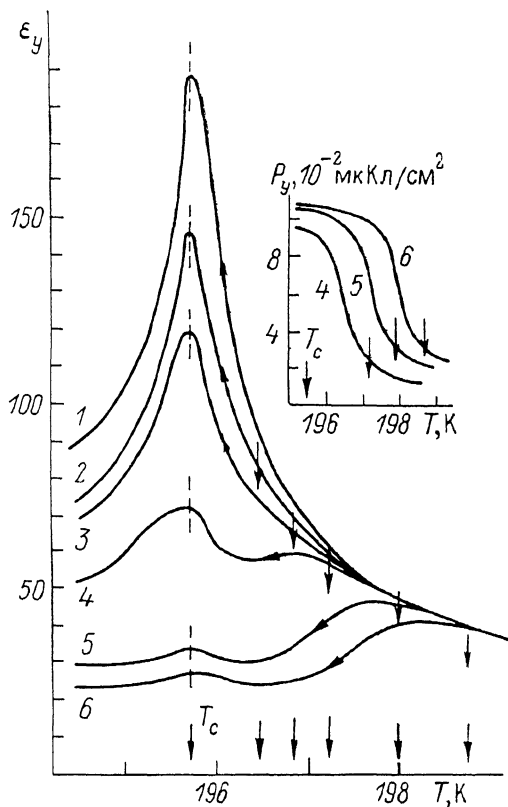
Точка  $T_c$  фазового перехода в  $Rb_2CoCl_4$ , совпадающая с  $T$  максимума  $\epsilon_y$  при  $E_y=0$ , смещается в область больших  $T$  при увеличении поля  $E_y$ . Свидетельством этому является смещение температурных зависимостей поляризации  $P_y$ , измеренных на тех же образцах электрометрическим

методом при различных значениях  $E_y$  (вставка на рисунке). Коэффициент смещения  $T_c$  по этим данным для  $P_y$  равен  $K_E = dT_c/dE_y = 0.38 \text{ К} \cdot \text{кВ}^{-1} \cdot \text{см}$ . Тогда точка перехода  $T_c$  в поле  $E_y \neq 0$ , по-видимому, равна  $(T_c)_{E_y \neq 0} = T_c + K_E E$ . На рисунке эти точки перехода  $(T_c)_{E_y \neq 0}$  на кривых  $\epsilon_y(T)$  для различных  $E_y \neq 0$  указаны стрелками. Видно, что если температура левого максимума  $\epsilon_y$  (см. рисунок, кривые 4—6) совпадает с  $T_c$  для  $E_y = 0$ , то температуры правых максимумов  $\epsilon_y$  находятся несколько левее точек  $(T_c)_{E_y = 0}$  (отмечены стрелками) для соответствующих значений  $E_y \neq 0$ .

Таким образом, приведенные выше результаты аномального поведения  $\epsilon_y$ , по-видимому, свидетельствуют о том, что в образцах  $\text{Rb}_2\text{CoCl}_4$  при индуцировании электрическим полем  $E_y$  полярной фазы в температурной области между точками фазового перехода  $T_c$  (при  $E_y = 0$ ) и  $(T_c)_{E_y \neq 0}$  (при некотором  $E_y \neq 0$ ) может реализоваться состояние, отличное от состояния в полярной фазе при  $T < (T_c)_{E_y = 0}$ , поскольку эта область отделена от остальной температурной шкалы аномалиями (максимумами)  $\epsilon_y$ . Существенно отметить, что аномальная температурная зависимость  $\epsilon_y$  наблюдалась не на всех исследованных нами образцах  $\text{Rb}_2\text{CoCl}_4$ . На некоторых образцах зависимости  $\epsilon_y$  имели обычный вид с одним температурным

Температурная зависимость диэлектрической проницаемости  $\epsilon_y$  кристалла  $\text{Rb}_2\text{CoCl}_4$ , поляризованного постоянным электрическим полем  $E_y$ .

1 —  $E_y = 0$ , 2 — 3.4, 3 — 4, 4 — 4.5, 5 — 6, 6 — 8 кВ/см.



максимумом  $\epsilon_y$ , смещающимся линейно по электрическому полю на ту же величину, что и правый максимум  $\epsilon_y$  на рисунке. Измерения, проведенные на образцах разной толщины, показали также, что на появление двух максимумов  $\epsilon_y$  не влияет форма или размеры образца, т. е. этот эффект не является размерным.

Расщепление температурного максимума  $\epsilon_y$  на два в поле  $E_y \neq 0$ , во многом аналогичное приведенному на рисунке, наблюдалось ранее в кристаллах  $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$  [6] и  $\text{Rb}_2\text{ZnBr}_4$  [7]. Кроме того, недавно в [8] сообщалось, что в образцах сегнетоэлектриков  $[\text{N}(\text{CH}_3)_4]_2\text{XCl}_4$  ( $\text{X} = \text{Co}, \text{Zn}, \text{Fe}$ ), имеющих аналогичные структуру и промежуточную по температуре Н-фазу, в поле  $E = 20 \text{ кВ/см}$  в интервале температур между  $T_c$  и  $(T_c)_{E \neq 0}$  наблюдается сосуществование сверхструктурных рентгеновских отражений от доменов соразмерной фазы и от несоизмерной модуляции. На основании этих наблюдений предполагается, что поле  $E$  вызывает образование субмикроскопических областей соразмерной фазы на фоне структуры Н-фазы. Возможно, что обнаруженные нами для кристаллов  $\text{Rb}_2\text{CoCl}_4$  температурные аномалии  $\epsilon_y$  в поле  $E_y \neq 0$  также обусловлены

аналогичными причинами и в интервале температур, линейно зависящем от  $E_q$ , индуцируется новое состояние с неоднородной структурой, отличное от структуры соразмерной и несоизмеримой фаз, причем, по-видимому, реализация этого состояния существенно зависит от дефектности образца. Косвенным подтверждением существенной роли дефектов является меньшее аномальное значение диэлектрической проницаемости для образцов, в которых наблюдаются два температурных максимума.

#### Список литературы

- [1] Sawada S., Shiroishi Y., Yamamoto A. // *Ferroelectrics*. 1978. V. 21. N 1/2/3/4. P. 413—415.
- [2] Gesi K. // *J. Phys. Soc. Jap.* 1985. V. 54. N 7. P. 2401—2403.
- [3] Vanek P., Brezina B., Navrankova M., Biros J. // *Phys. St. Sol. (a)*. 1986. V. 95. P. K101—K103.
- [4] Бржезина Б., Ванек П., Есаян С. Х., Караев А. Д., Леманов В. В. // *ФТТ*. 1986. Т. 28. № 9. С. 2802—2807.
- [5] Hamano K., Ikeda Y., Fujimoto T., Ema K., Hirotsu S. // *J. Phys. Soc. Jap.* 1980. V. 49. N 6. P. 2278—2286.
- [6] Кroupa J., Ivanov N. R., Fousek J. // *Ferroelectrics*. 1988. V. 79. Pt II. N 1/2/3/4. P. 287—290.
- [7] Strukov B. A., Kobayashi J., Uesu Y. // *Ferroelectrics*. 1985. V. 64. Pt II. N 1/2/3. P. 57—64.
- [8] Kobayashi J., Ozeki M., Kimura T., Tsutsumi Y., Tsukiji N., Shinbori E., Nakatsugawa H. // *Ferroelectrics Lett.* 1988. V. 8. N 2. P. 41—48.

Институт кристаллографии АН СССР  
Москва  
Физический институт АН ЧССР  
Прага

Поступило в Редакцию  
6 февраля 1989 г.

УДК 539.21

*Физика твердого тела, том 31, в. 7, 1989*  
*Solid State Physics, vol. 31, № 7, 1989*

## ПРИМЕСНАЯ КИСЛОРОДНАЯ МОДА В СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ СПЕКТРАХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

А. А. Волков, Ю. Г. Гончаров, В. П. Калинушкин,  
Г. В. Козлов, А. М. Прохоров

При низких температурах ( $T < 50$  К) в дальних ИК спектрах монокристаллического кремния в районе  $29 \text{ см}^{-1}$  наблюдается линия поглощения, связанная с колебаниями примесного кислорода [1].

Параметры примесной моды

$T, \text{ К}$	$\nu_0, \text{ см}^{-1}$	$G, \text{ см}^{-1}$	$\Delta\varepsilon$
20	29.2	2.7	0.00072
10	29.2	1	0.00085
5	29.2	0.9	0.0009

Целью настоящей работы явилось изучение температурного поведения параметров этой моды. Сложность задачи связана с большой добротностью моды. Так, для ее неискаженной регистрации в области температуры жидкого гелия требуется спектральное разрешение лучше  $0.01 \text{ см}^{-1}$ . Такой возможностью на субмиллиметровых волнах обладает ЛЮВ спектроскопия [2]; с ее использованием и выполнено данное исследование.

В качестве объекта исследований был выбран бездислокационный кремний, выращенный методом Чохральского и легированный бором ( $\rho \sim 10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ), диаметром  $\approx 100$  мм. Концентрация кислорода, определен-