

на частотах 37.8, 43.2, 49.0 см⁻¹ [1]. Однако в отличие от моды ν_0 все они «вымерзают» при низких температурах вследствие опустошения возбужденных уровней. Высокая добротность и интенсивность моды 29.2 см⁻¹ при низких температурах позволяют развить субмиллиметровый метод контроля концентрации межзельного кислорода в монокристаллическом кремнии. По нашим оценкам, при температуре жидкого гелия линия поглощения ν_0 методом ЛОВ спектроскопии может быть зарегистрирована уже при концентрации межзельного кислорода $\sim 10^{16}$ см⁻³, а при субгелиевых температурах можно, по-видимому, спуститься до еще более низких значений.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Bosomworth D. R., Hayes W., Spray A. R. L., Watkins G. // Proc. R. Soc. London. 1970. V. A 317. P. 133—152.
 [2] Волков А. А., Гончаров Ю. Г., Козлов Г. В., Лебедев С. П., Малыц В. И. // Электронная техника, сер. 1. 1984. № 11 (371). С. 38—41.
 [3] Chen G. S., Schoroder D. K. // Appl. Phys. 1987. V. A4. P. 257—262; 1988. V. 53. N 24. P. 2391—2393.
 [4] Yamada-Haneta H., Oyawa T., Muraishi // J. Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 24. P. 2391—2393.

Институт общей физики АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
9 февраля 1989 г.

УДК 537.94

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

ДВУПРЕЛОМЛЯЮЩИЕ И ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $(\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2)_2\text{CuCl}_4$

О. Г. Влох, В. М. Варикаш, З. А. Боброва, В. Б. Капустянык,
И. И. Половинко, С. А. Сеедла

Кристаллы группы $(\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2)_2\text{VCl}_4$ (сокращенно $(\text{DMA})_2\text{VCl}_4$) претерпевают сложную последовательность фазовых переходов, зависящую как от сорта ионов $\text{B}(\text{Zn}, \text{Co}, \text{Cu})$ [1-4], так и от модификации, в которой они вырастают [5]. Представляет интерес кристалл $(\text{DMA})_2\text{CuCl}_4$, обладающий при комнатной температуре пространственной группой симметрии $P_{n\text{т}}$ и проявляющий сегнетоэлектрические свойства в температурной области $T_c = 279.5 \text{ K} \div T_1 = 253 \text{ K}$ [1]. Результаты исследований температурных зависимостей относительного линейного расширения и диэлектрической проницаемости указывают на то, что оба фазовых перехода являются переходами первого рода, причем при T_c — несобственный [2, 4].

В настоящей работе методом Сенармона [6] изучены температурные зависимости приращения оптического двупреломления δ (Δn) (с точностью $\pm 2 \cdot 10^{-7}$) кристалла $(\text{DMA})_2\text{CuCl}_4$, а также эффективного электрооптического коэффициента $r_{22}^0 = n_0^3 (r_{12} - r_{32})$ в области фазовых переходов. Образцы для измерений ориентировались согласно [4], а температура стабилизировалась с точностью не хуже $\pm 0.01 \text{ K}$. Влияние линейного расширения учитывалось по данным [2].

Как будет показано ниже, двупреломляющие свойства кристаллов $(\text{DMA})_2\text{CuCl}_4$ зависят от их предыстории. Поэтому на рис. 1 показаны температурные зависимости δ (Δn) для трех главных срезов образцов, отожженных в параэлектрической фазе ($T = 350 \text{ K}$) на протяжении 12 ч, что гарантировало повторимость результатов. Как видно из рис. 1, кроме уже известных ранее переходов при T_1 и T_c , обнаружен еще один фазовый переход при $T_i = 296 \text{ K}$. В области $T > T_i + 5 \text{ K}$ зависимости δ (Δn_i) =

$=f(T)$ линейны, что характерно для параэлектрической фазы. Нелинейность температурных зависимостей физических свойств с приближением к T_1 наблюдалась и в других кристаллах группы A_2BX_4 [7] и объясняется флуктуациями параметра порядка. При T_i наблюдается излом, а при T_c и T_1 — скачки, величины которых для a -среза равны соответственно 1.5×10^{-4} и $9.4 \cdot 10^{-4}$. Экстраполируя линейную зависимость $\delta(\Delta n_c) = f(T)$ из параэлектрической в низкотемпературную область, определим из соотношения $\delta(\Delta n_s) \sim (T_i - T)^{2\beta}$ величину критического индекса $\beta = 0.45 \pm 0.03$ для температурной области $288 < T < 296$ К. При изменении направления температурного хода проявляется температурный гистерезис

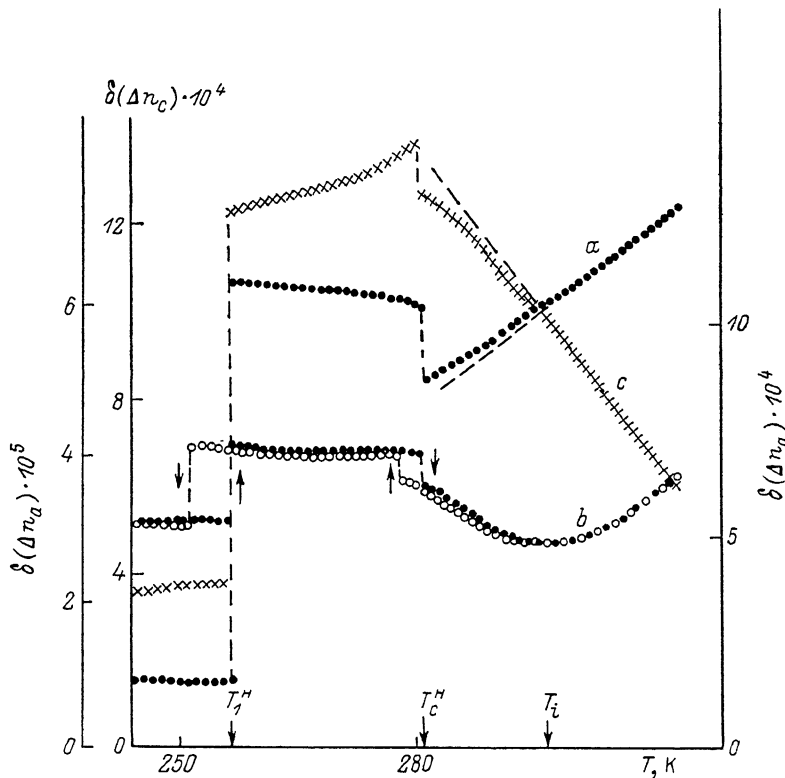


Рис. 1. Температурная зависимость двупреломления для кристаллов $(NH_2(CH_3)_2)_2CuCl_4$.

зис $\delta(\Delta n)$ в области фазовых переходов T_c и T_1 (рис. 1). Кроме этого, положение T_i сильно зависит от предыстории образцов. На рис. 2 представлены температурные зависимости $\delta(\Delta n)$, полученные после выдерживания кристаллов $(DMA)_2CuCl_4$ при $T = 350$ и 285 К. Интересно отметить, что после выдерживания образцов в параэлектрической фазе ($T > T_c$) температура перехода T_i сдвигается в сторону высоких температур, а при выдерживании ниже T_i — в сторону низких температур.

На рис. 3 представлены температурные зависимости коэффициента линейного электрооптического эффекта r_{22}^0 в процессе нагревания и охлаждения образца. При приближении к T_c со стороны низких температур величина r_{22}^0 резко возрастает и так же резко уменьшается при $T > T_c$. При обратном изменении температуры r_{22}^0 в окрестности T_c изменяется более плавно и в максимуме имеет меньшее значение. Выше T_c наблюдается квадратичный электрооптический эффект. На вставку к рис. 3 представлена электрооптическая петля гистерезиса, полученная в сегнетоэлектрической фазе при $T = 279$ К. Определенное из этой петли значение коэрцитивного поля $E_c = 6.5 \cdot 10^5$ кВ/см хорошо совпадает с результатом, полученным в [4].

Описанные результаты получают логическое объяснение, если допустить, что кристаллы $(DMA)_2CuCl_4$ в температурной области $T_i \div T_c$ обладают несоразмерной (НС) структурой. Действительно, для исследуемой модификации кристалла симметрия парафазы P_{uzm} , что характерно для кристаллов семейства A_2BX_4 , проявляющих НС фазовые переходы. Величина критического индекса β для $(DMA)_2CuCl_4$ отличается от классического значения теории Ландау ($\beta = 0.5$) для фазовых переходов второго рода [8], что также характерно для НС фазовых переходов. Гистерезис двупреломления, наблюдаемый при $T < T_i$, объясняется возникновением структурных солитонов, которые могут существовать не только в НС, но и в прилегающих к ней соразмерных фазах.

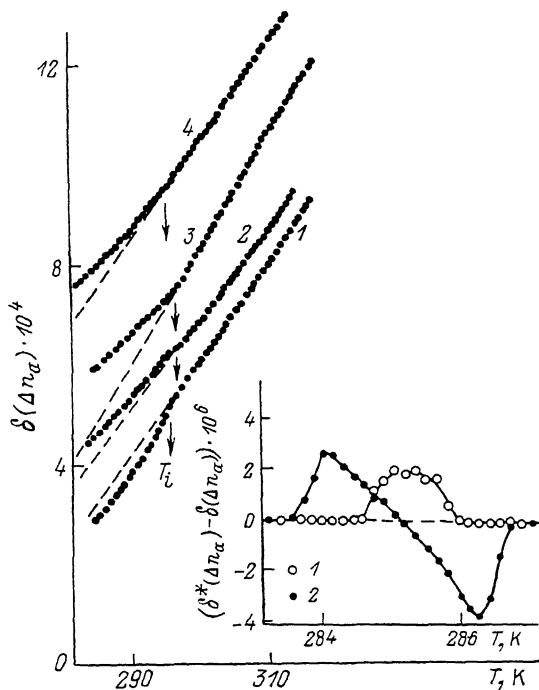


Рис. 2. Температурная зависимость $\delta(\Delta n)$ для образцов кристалла $(NH_2(CH_3)_2)_2CuCl_4$: свежевырезанные (1), выдержанные в парафазе на протяжении 3 (2) и 12 ч (3) и в области между T_c и T_i (4).

На вставке — зависимость формы и величины аномалии эффекта термооптической памяти от времени выдерживания: 9 (1) и 25 ч (2).

При приложении статического электрического поля солитоны деформируются таким образом, что соразмерные области с поляризацией, направленной по полю, преобладают над областями с противоположно направленной поляризацией. Эффективный электрооптический коэффициент r_{22}^0 запишется [9] как

$$r_{22}^0 = 2\epsilon_0(\epsilon_b - 1) R_{22}^* P_1^{qc}, \quad (1)$$

где $R_{22}^* = (R_{1122} - (n_1/n_3)_{3322}^3)$ — эффективный коэффициент квадратического электрооптического эффекта; P_1^{dc} — поляризация солитонной решетки, индуцированная статическим электрическим полем E_1^{dc} . В простейшей модели P_1^{dc} можно представить в виде

$$P_1^{dc} = P_0 n_s (\Delta x / x_0), \quad (2)$$

где P_0 — амплитуда волны спонтанной поляризации в НС структуре, n_s — плотность солитонов, Δx — разница в длине между областями с положительной и отрицательной поляризациями, x_0 — междусолитонное

расстояние без приложенного статического электрического поля. Для малых напряжений поля E можно считать n_s независимым от E , так что

$$\Delta x/x_0 = P^s E, \quad (3)$$

где P^s — поляризуемость солитонной решетки. Объединяя (1)–(3), коэффициент r_{22}^0 запишем в виде

$$r_{22}^0 = 2\varepsilon_0 (\varepsilon_b - 1) R_{22}^* P_0 n_s P^s E. \quad (4)$$

Полагая, как и в [10], что R_{22}^* и P_0 не зависят от температуры, аномальное поведение r_{22}^0 при T_c следует, по-видимому, связать с поведением ε_b , а гистерезис — с процессами зарождения и исчезновения солитонной структуры [11].

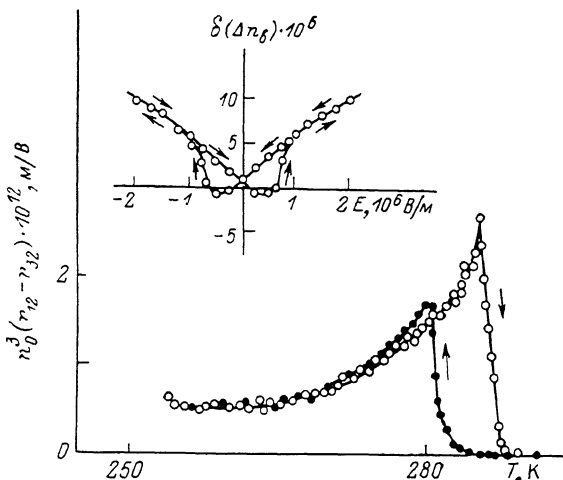


Рис. 3. Температурная зависимость электрооптического коэффициента $r_{22}^0 = n_0^3 (r_{12} - r_{32})$.

Как отмечалось в ряде работ [12, 13], для НС структур характерен эффект термооптической памяти. Аналогичное явление наблюдалось и в кристаллах $(DMA)_2CuCl_4$. Образец выдерживался при температуре $T_{ст} = 285.2$ К. Впоследствии на температурной зависимости $\delta(\Delta n)$ в точке стабилизации возникает аномалия (вставка к рис. 2). Ее величина и форма подобны обнаруженным ранее в других кристаллах семейства A_2BX_4 [12, 13].

Следовательно, в температурной области $T_i \div T_c$ кристалла $(DMA)_2CuCl_4$ наблюдаются термический гистерезис и эффект термооптической памяти. Переход при T_i описывается критическим индексом $\beta = 0.45$. При T_c имеет место аномалия эффективного электрооптического коэффициента r_{22}^0 , которая объясняется в рамках модели структурных солитонов. Вышеописанные свойства характерны для несоразмерно-модулированных фаз кристаллов семейства A_2BX_4 . Поэтому существует большая вероятность того, что в интервале 296–279.5 К кристалл $(DMA)_2CuCl_4$ обладает несоразмерной фазой. Однако для окончательного ответа на этот вопрос необходимы рентгеноструктурные исследования.

Список литературы

- [1] Боброва З. А., Варикаш В. М., Акимова Н. Е. // Тез. докл. IV Всес. школы-семинара «Сегнетоэластики». 1988. С. 169–171.
- [2] Боброва З. А., Варикаш В. М. // ДАН БССР. 1986. Т. 30. № 6. С. 510–512.
- [3] Васильев В. Е., Рудяк В. М., Боброва З. А., Варикаш В. М. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 5. С. 1539–1540.
- [4] Боброва З. А., Варикаш В. М., Баранов А. И., Шувалов Л. А. // Кристаллография. 1987. Т. 32. № 1. С. 255–256.

- [5] Олещук А. Ю., Петренко П. А., Боброва З. А., Малиновский Т. И. // См. [1]. С. 66—68.
- [6] Нарасимхамурти Т. Фотоупругие и электрооптические свойства кристаллов. М.: Мир, 1984. 295 с.
- [7] Navlíček I., Ivanov N. R., Fousek J. // Czech. J. of Physics. 1986. V. B36. N 12. P. 1451—1454.
- [8] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1976. 584 с.
- [9] Романюк Н. А., Мыцык Б. Г. // Оптика анизотропных сред. М., 1985. С. 155—159.
- [10] Sanctuary R., Gunter P. // Phys. St. Sol. (a). 1984. V. 84. N 1. P. 103—111.
- [11] Van Kleef R. P., Rasing T. H., Stoelinga J. H. M., Wyder P. // Sol. St. Comm. 1981. V. 39. N 2. P. 433—437.
- [12] Влох О. Г., Каминский Б. В., Кытык А. В., Половинко И. И., Свелеба С. А. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 11. С. 3436—3438.
- [13] Jamet J. P. // Phase Transitions. 1988. V. 11. N 2. P. 335—371.

Львовский государственный
университет им. Ив. Франко
Львов

Поступило в редакцию
24 ноября 1988 г.
В окончательной редакции
14 февраля 1989 г.

УДК 539.292

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

НАМАГНИЧЕННОСТЬ И ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Р. Лайхо,¹ Е. Суннонен,¹ Ю. П. Степанов, М. П. Власенко, Л. С. Власенко

Во многих работах, посвященных исследованию высокотемпературных сверхпроводников ВТСП методом ЭПР, сообщалось о наблюдении при температурах ниже критической сильного изменения поглощения микро-

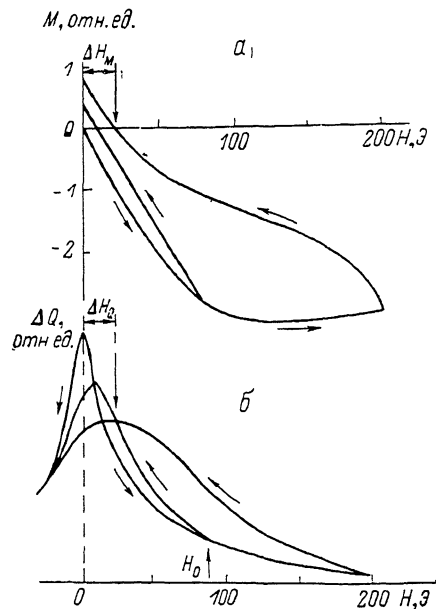


Рис. 1.

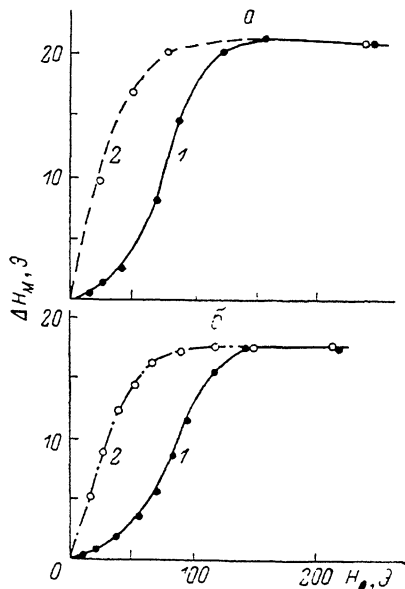


Рис. 2.

волновой мощности при сканировании магнитного поля через нулевое значение (см., например, [1-4]). Сигнал изменения поглощения имеет вид, подобный линии магнитного резонанса, но знак его противоположен знаку

¹ Физическая лаборатория Вихури университета г. Турку, Финляндия.