

- [1] Ефанов А. В., Энтин М. В. // ФТП. 1988. Т. 22. № 3. С. 386—389.  
 [2] Захарченя Б. П., Мирлин Д. Н., Перель В. И., Решина И. И. // УФН. 1982. Т. 136. № 3. С. 459—499.  
 [3] Альперович В. Л., Минаев А. О., Терехов А. С. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. № 11. С. 610—612.  
 [4] Альперович В. Л., Минаев А. О., Терехов А. С. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. № 1. С. 19—21.  
 [5] Альперович В. Л., Минаев А. О., Мощенко С. П., Терехов А. С. // ПТЭ. 1988. № 4. С. 172—174.  
 [6] Альперович В. Л., Белиничер В. И., Мощенко С. П., Терехов А. С. // Тез. докл. X Всес. конф. по физике полупроводников. Минск, 1985. С. 73—74.  
 [7] Белиничер В. И., Браславец А. В., Терехов А. С. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 2. С. 342—347.  
 [8] Nahory R. E. // Phys. Rev. 1969. V. 178. N 3. P. 1293—1295.

Институт физики полупроводников  
 СО АН СССР  
 Новосибирск

Поступило в Редакцию  
 14 декабря 1989 г.

УДК 534.321

© Физика твердого тела, том 32, № 7, 1990  
 Solid State Physics, vol. 32, N 7, 1990

## ПАМЯТЬ УПРУГОСТИ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7$ : ЭФФЕКТ НЕСОИЗМЕРИМОЙ МОДУЛЯЦИИ?

*В. Н. Анисимова, А. П. Леванюк, Е. Д. Якушкин*

Эффекты памяти характерны для различного рода модулированных систем — проводников с волнами зарядовой плотности, полярных диэлектриков с несоизмеримой фазой [1, 2]. Эти эффекты объясняются обычно взаимодействием подвижных дефектов вещества с волной несоизмеримой модуляции. В несоизмеримой фазе полярных диэлектриков эффекты памяти (так же как и гистерезисные явления) наблюдаются, например, на температурных зависимостях диэлектрической восприимчивости, показателя преломления [2]. При измерениях других макроскопических величин должны, вообще говоря, проявляться подобные же эффекты. Вопрос заключается только в том, насколько оптимальны условия для их экспериментального обнаружения.

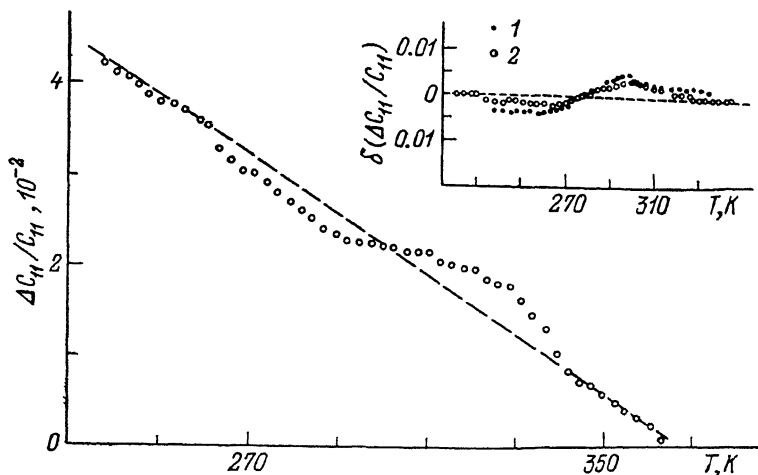
Полярный кристалл тетраборат лития (ТБЛ) известен главным образом как перспективный материал для пьезо- и пирозлектрических применений (см., например, [3]). В недавно проведенных рентгенографических исследованиях этого кристалла была обнаружена несоизмеримая модуляция [4]. Позднее утверждалось, что несоизмеримость возникает в результате определенной термообработки кристалла [5].

Нами исследовалась температурная зависимость относительного изменения модуля упругости  $\Delta C_{11}/C_{11}$  кристалла ТБЛ. Измерения соответствующей скорости звука проведены эхо-импульсным методом на частоте 10 МГц при относительной точности  $10^{-5}$ . Все экспериментальные точки получены в режиме стабилизации температуры.

Основной результат приведен на рисунке. Штриховая прямая отвечает линейной аппроксимации в предположении монотонной температурной зависимости модуля упругости. Температурный коэффициент аппроксимации  $\alpha = 1/C_{11} (dC_{11}/dT)$  составляет  $3 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ . Из этого рисунка видно, что в интервале нескольких десятков градусов наблюдается значительное отклонение от прямой, при этом изменяется величина температурного коэффициента и даже имеется область, где значение  $dC_{11}/dT$  близко к нулю. Середина этой области приходится приблизительно на 300 К, т. е. на ком-

натную температуру. Наблюдаемая аномалия не означает смягчения решетки, а имеет характер запоминания величины модуля упругости. Значение 300 К при этом соответствует той температуре  $T^*$ , при которой кристалл находился достаточно продолжительное время до начала измерений.

Естественно, что для эффектов памяти существенны такие характеристики, как время «записи» и способ стирания. Из экспериментов можно заключить, что эффект памяти упругости более ярко выражен в кристаллах, не прошедших какой-либо термообработки, и постепенно стирается с каждым последующим циклом изменения температуры. Полного стирания памяти в  $T^* \approx 300$  К, однако, не происходит даже после десяти таких циклов, проведенных за время порядка нескольких недель. При этом в каждом цикле измерений кристалл находился в течение нескольких часов при  $T \leq 400$  К. На вставке к рисунку приведены зависимости  $\delta(\Delta C_{11}/C_{11})$



Температурная зависимость изменения модуля упругости в кристалле ТБЛ.

На вставке — кривые двух циклов измерений, 1 — первый цикл, 2 — один из последующих циклов.

$C_{11}) = \Delta C_{11}/C_{11} - \alpha T$  для двух циклов измерений, причем первый цикл проведен на «свежем» образце кристалла ТБЛ. В этом случае значение  $dC_{11}/dT$  в интервале  $300 \pm 15$  К равно нулю в пределах указанной точности измерений.

На тех же образцах кристалла, которые использовались нами при измерениях модуля упругости, были проведены рентгенографические исследования. Было установлено, что и без специальной термообработки в кристалле ТБЛ наблюдаются спутанные рефлексы вблизи брэгговских пиков, свидетельствующие о несоизмеримой сверхструктуре кристалла. Период обнаруженной модуляции и направление ее волнового вектора  $q$  отличаются от обнаруженных ранее [7]. Реальная картина модуляции кристалла ТБЛ, по-видимому, достаточно сложна и требует отдельного рассмотрения.<sup>1</sup>

Очевидно, что для кристалла с несоизмеримой фазой температура  $T^*$  удовлетворяет условию  $T_c < T^* < T_i$  ( $T_i$ ,  $T_c$  — температуры перехода в модулированную и однородную фазы соответственно), а повышение температуры до  $T > T_i$  должно приводить к полному стиранию эффекта памяти [2]. Проведенные нами диэлектрические измерения показали, что в интервале температур 80—400 К отсутствуют какие-либо изменения диэлектрической восприимчивости, которые можно было бы связать с фазовыми переходами. Таким образом, температура  $T_i$  в кристалле ТБЛ, по-видимому, существенно выше 400 К, а температура  $T_c$  ниже 80 К. Эффект памяти в этом случае не наблюдается потому, что температурный

<sup>1</sup> Рентгенографические исследования по просьбе авторов выполнены Б. И. Островским и А. Ю. Задонским в Институте кристаллографии АН СССР.

коэффициент диэлектрической восприимчивости в интервале 200—400 К (интервал измерения упругих свойств) имеет порядок  $10^{-4}$ , а относительная точность измерения составляет  $10^{-3}$ .

Представляется естественным связать обнаруженный эффект запоминания модуля упругости в кристалле ТБЛ с наличием в нем несоизмеримой модуляции. Можно предположить, что температурная зависимость модуля упругости кристалла существенным образом определяется температурной зависимостью волнового вектора модуляции  $C_{ij} = C_{ij}(T, \mathbf{q}(T))$ . Это предположение представляется разумным, поскольку в данном случае температура  $T^*$  значительно ниже  $T_i$  (вблизи  $T_i$  температурная зависимость модуля упругости определяется главным образом поведением амплитуды параметра порядка). Соответствующий температурный коэффициент имеет вид  $dC/dT = (\partial C/\partial T)_p + (\partial C/\partial q)(\partial q/\partial T)$ . Из полученных нами экспериментальных результатов в рамках сделанного предположения следует, что первый член этого выражения для кристалла ТБЛ достаточно мал, а температурное поведение модуля упругости определяется главным образом вторым членом. В окрестности  $T^*$  волновой вектор модуляции может быть фиксирован из-за перераспределения диффундирующих дефектов ( $\partial_i/\partial T \sim 0$ ), и модуль упругости кристалла оказывается при этом практически не зависящим от температуры.

Запоминание свойств кристалла, длительно хранящегося при комнатной температуре, имеет, по-видимому, общий характер. По существу такой же природы эффект наблюдался ранее при исследовании фотогальванического тока в кристалле с несоизмеримой сверхструктурой ниобате бария—натрия [6]. То обстоятельство, что память упругости не наблюдалась в других кристаллах с несоизмеримой модуляцией, можно объяснить оптимальностью значений соответствующих констант именно кристалла ТБЛ.

Авторы благодарны Я. В. Бураку и В. В. Зарецкому за предоставленные монокристаллы и С. Х. Есяну за указание на последнюю из цитируемых работ.

#### Список литературы

- [1] Gruner G. // Rev. Mod. Phys. 1988. V. 60. N 4. P. 1129—1181.
- [2] Jamet J. P. // Phase Transitions. 1988. V. 11. P. 335—371.
- [3] Bhalla A. S., Cross L. E., Whatmore R. W. // Jap. J. Appl. Phys. 1985. V. 24. Suppl. 24—2. P. 727—729.
- [4] Зарецкий В. В., Бурак Я. В. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. № 4. С. 198—201.
- [5] Жигадо Н. Д., Зарецкий В. В. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. № 9. С. 498—500.
- [6] Есян С. Х., Ивченко Е. Л., Кавецкий А. Г. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 9. С. 2746—2752.

Институт кристаллографии АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
22 августа 1989 г.  
В окончательной редакции  
28 декабря 1989 г.

УДК 531.625.537.226.4

© Физика твердого тела, том 32, № 7, 1990  
Solid State Physics, vol. 32, N 7, 1990

## КВАДРАТИЧНЫЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $(\text{Bi}, \text{La})\text{FeO}_3$

В. А. Мурашов, Д. Н. Раков, Н. А. Экономов,  
А. К. Звездин, И. С. Дубенко

Кристаллы  $\text{BiFeO}_3$  и твердых растворов  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$  ( $x=0\div 0.24$ ) являются сегнетомагнетиками [1] — веществами, сочетающими магнитное упорядочение с сегнетоэлектричеством. Ромбоэдрическое искаженный перовскит  $\text{BiFeO}_3$  (пр. гр.  $R3c$ ) является антиферромагнетиком G-типа