

данные по диэлектрическим свойствам, является достаточно обоснованной. Однако для окончательного вывода о существовании НСФ в данной системе необходимо использование прямых методов исследования структуры реальных кристаллов, а именно, изучение рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей.

В заключение авторы выражают благодарность П. П. Сырникову за выращивание кристаллов и Б. А. Струкову за полезное обсуждение.

Л и т е р а т у р а

- [1] *Hatanoto K., Ema K., Hirotsu S.* *Ferroelectrics*, 1981, vol. 36, N 1/4, p. 343.
- [2] *Unruh H. G.* *J. Phys.*, 1983, vol. C16, N 13, p. 3245.
- [3] *Lee P. A., Rice T. M.* *Phys. Rev.*, 1979, vol. 19, N 9, p. 3970—3980.
- [4] *Вихнин В. С.* Кристаллография, 1986, т. 31, № 4, с. 635—638.
- [5] *Вихнин В. С.* ФТТ, 1986, т. 28, № 7, с. 2186—2189; Изв. АН СССР, сер. физ., 1986, т. 50, № 2, с. 340—343.
- [6] *Лебедев Н. И., Леванюк А. П., Сизов А. С.* ЖЭТФ, 1987, т. 92, № 2, с. 248—257.
- [7] *Смоленский Г. А., Сотников А. В., Сырников П. П., Юшин Н. К.* Письма ЖЭТФ, 1983, т. 37, № 1, с. 30—33; Изв. АН СССР, сер. физ., 1983, т. 47, № 3, с. 603—606; Изв. АН СССР, сер. физ., 1985, т. 49, № 2, с. 247—250.
- [8] *Andrews S. R.* *J. Phys.*, 1985, vol. C18, N 7, p. 1357—1376.
- [9] *Надолинская Е. Г., Смоленский Г. А., Шильников А. В., Юшин Н. К.* ФТТ, 1985, т. 27, № 11, с. 3315—3318; ФТТ, 1986, т. 28, № 8, с. 2281—2284.
- [10] *Smolensky G. A., Nadolinskaya E. G., Yushin N. K., Shil'nikov A. V.* *Ferroelectrics*, 1986, vol. 69, N 3/4, p. 275—282.
- [11] *Струков Б. А., Уесу И., Арутюнова В.* Письма ЖЭТФ, 1983, т. 35, № 7, с. 424—427.
- [12] *Леманов В. В., Бржезина Б., Есаян С. Х., Караев А. Д.* ФТТ, 1984, т. 26, № 5, с. 1331—1333.
- [13] *Mashiyama H., Unruh H. G.* *J. Phys.*, 1983, vol. C16, N 16, p. 5009.
- [14] *Вихнин В. С., Зарицкий И. М., Кончиц А. А., Круликовский Б. К.* ФТТ, 1975, т. 17, № 12, с. 3609—3613; *Вихнин В. С., Зарицкий И. М., Кончиц А. А.* ФТТ, 1980, т. 22, № 5, с. 1336—1339.
- [15] *Берсукер И. Б., Полингер В. З.* Вибронные взаимодействия в молекулах и кристаллах. М.: Наука, 1983, 336 с.; *Дейген М. Ф., Глинчук М. Д.* УФН, 1974, т. 114, № 2, с. 185—211; *Берсукер Г. И.* В кн.: Всесоюзная конференция по сегнетоэлектричеству. Тезисы докладов, Киев, изд. КПИ, 1986, с. 157.
- [16] *Вихнин В. С., Сочава Л. С., Толпаров Ю. Н.* ФТТ, 1978, т. 20, № 8, с. 2412—2419; ФТТ, 1984, т. 26, № 9, с. 2661—2668.

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

Поступило в Редакцию
20 августа 1987 г.

УДК 535.5511

Физика твердого тела, том 30, в. 2, 1988
Solid State Physics, vol. 30, N 2, 1988

АКУСТООПТИЧЕСКИЕ И УПРУГИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $\text{NaBi}(\text{WO}_4)_2$ и $\text{LiBi}(\text{MoO}_4)_2$

К. С. Александров, С. И. Бурков, А. В. Замков,
А. Холов, С. Х. Хафизов, Л. А. Шабанова, П. В. Клецов

К кристаллам со структурой шеелита (точечная группа симметрии $4/m$) в последние годы проявился интерес, как к перспективным материалам для акустооптических устройств [^{1, 2}]. Однако до настоящего времени преимущественно исследовались лишь кристаллы $\text{NaBi}(\text{MoO}_4)_2$ и RbMoO_4 данной структуры. В настоящей работе приводятся результаты исследования упругих и акустооптических свойств кристаллов $\text{NaBi}(\text{WO}_4)_2$ и $\text{LiBi}(\text{MoO}_4)_2$ из ряда изоморфных соединений со структурой шеелита с целью определения степени изменения упругих и акустооптических свойств кристаллов данного ряда при замене структурных элементов.

Упругие свойства исследовались на импульсной ультразвуковой установке, подобной [3] (частота 10 МГц). Для определения полного тензора модулей упругости измерения продольных и сдвиговых фазовых скоростей объемных акустических волн (ОАВ) проводились в направлениях [100], [001], [110], [101] и $[n_1n_20]$, где $n_1 = \cos 20^\circ$, $n_2 = \cos 70^\circ$. Ошибка измерения скорости составляла не более 0.1 %. Направление $[n_1n_20]$ использовалось для уточнения значений и знаков c_{ij} . Упругие постоянные, найденные из измеренных скоростей, приведены в табл. 1.

Таблица 1
Матрица упругих постоянных

| Кристалл | $10^3 \rho, \text{г/м}^3$ | $c_{ij}, 10^9 \text{ Н/м}^2$ | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|------------------------------|----------|-------|----------|----------|----------|--------|
| | | | c_{33} | | c_{66} | c_{12} | c_{16} | |
| NaBi(WO ₄) ₂ | 7.58 | 114.11 | 94.02 | 22.63 | 31.30 | 40.02 | 34.59 | -13.49 |
| LiBi(MoO ₄) ₂ | 5.66 | 94.67 | 67.87 | 15.91 | 23.23 | 40.03 | 29.55 | -9.17 |

Измерения акустооптических свойств NaBi(WO₄)₂ проводились на продольных упругих волнах частотой 150 МГц, распространяющихся в направлениях [100] и [001]. Показатели преломления, необходимые для расчета фотоупругих постоянных, определялись методом призмы с помощью оптического гониометра ГС-5. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2
Акустооптические и фотоупругие характеристики

| Направление распространения звука | Направление поляризации света | NaBi(WO ₄) ₂ | | | NaBi(MoO ₄) ₂ | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|--------------------------------------|---|-------|
| | | n | $M_2 \cdot 10^{18} \cdot c^{3/2}$ | P | n [°] | $\frac{M_2 \cdot 10^{18}}{c^{3/2}}$ [°] | P^* |
| [001] | [001] | 2.124 | 20.0 | 0.269 | 2.205 | 23.7 | 0.267 |
| | [100] | 2.195 | 17.2 | 0.226 | 2.303 | 22.6 | 0.229 |
| [100] | [001] | | 8.62 | 0.208 | | 10.1 | 0.175 |
| | [010] | | 10.0 | 0.202 | | 12.5 | 0.194 |
| | [100] | | 9.50 | 0.197 | | 17.6 | 0.230 |

Примечание. * Расчет производился из значений M_2 [°] с учетом уточненных данных по v и n из [4].

Анизотропия фотоупругих свойств в NaBi(WO₄)₂ характерна для молибдатов-шеелитов NaBi(MoO₄)₂ и PbMoO₄ [1, 2]: наибольшее значение имеет компонента P_{33} . Фотоупругие постоянные P_{33} , P_{13} , P_{12} вольфрамата и молибдата натрия-висмута совпадают в пределах экспериментальной ошибки. P_{ij} для NaBi(MoO₄)₂ рассчитывались из значений M_2 [°] с учетом уточненных данных по показателям преломления n и фазовой скорости ОАВ v из [4]. Таким образом, замена ионов Mo на W в этих структурах приводит к небольшому понижению P_{11} и увеличению P_{31} .

Авторами был выполнен расчет на ЭВМ анизотропии характеристик ОАВ (фазовых v и групповых скоростей, векторов поляризации ОАВ) кристаллов NaBi(WO₄)₂ и LiBi(MoO₄)₂. Для расчета использованы упругие постоянные c_{ij} из табл. 1. Отметим, что в данных кристаллах также выполняются соотношения между c_{ij} , $c_{11} > c_{33} > c_{12} > c_{13} > c_{66} > c_{44}$, как и в NaBi(MoO₄)₂ [5]. Угловые зависимости фазовых скоростей углов отклонения векторов поляризации θ° и углов отклонения потока энергии γ° от волновой нормали в плоскостях (001) и (010) представлены на рис. 1, 2. В плоскости (001) одна из сдвиговых волн является чистой модой в обоих

кристаллах, что обусловлено их тетрагональной симметрией. Направления, в которых две другие волны в этой плоскости являются чистыми, составляют угол 25.1° и 70.1° с осью [100]. Этим же направлениям соответствуют максимальные и минимальные значения фазовых скоростей ОАВ в плоскости (001). Кроме того, в той же плоскости (001) у обоих кристаллов существуют по две акустические оси конического типа соответственно под углами 60.5° и 81.1° для $\text{NaBi}(\text{WO}_4)_2$ и 69.4° и 72° для $\text{LiBi}(\text{MoO}_4)_2$ с осью [100]. Расположение этих акустических осей опреде-

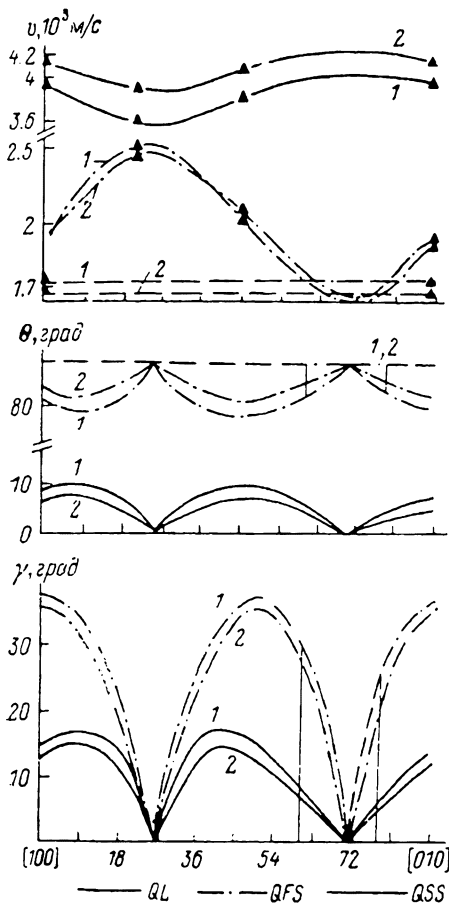


Рис. 1. Анизотропия характеристик ОАВ в плоскости (001) для кристаллов: 1 — $\text{NaBi}(\text{WO}_4)_2$, 2 — $\text{LiBi}(\text{MoO}_4)_2$.

v — фазовые скорости, θ° — углы отклонения векторов поляризации, γ° — углы отклонения потока энергии от волновой нормали. Здесь и на рис. 2 QL — квазипродольная, QFS — быстрая квазисдвиговая, QSS — медленная квазисдвиговая волны.

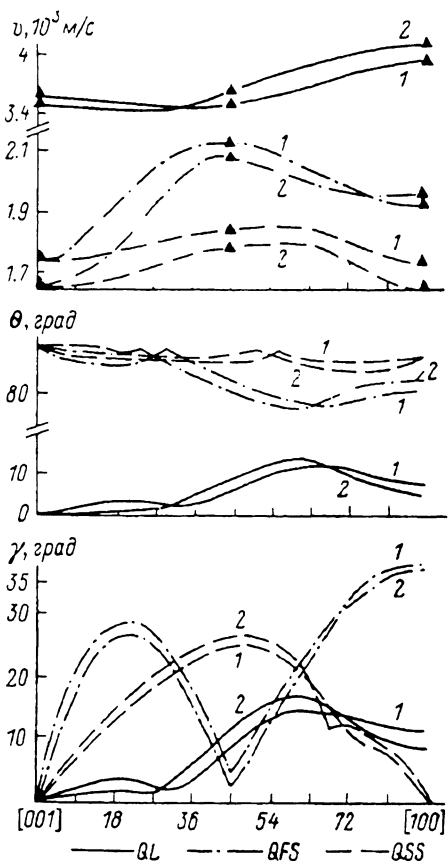


Рис. 2. Анизотропия характеристик ОАВ в плоскости (010) для кристаллов: 1 — $\text{NaBi}(\text{WO}_4)_2$, 2 — $\text{LiBi}(\text{MoO}_4)_2$.

v — фазовая скорость, θ° — углы отклонения векторов поляризации, γ° — углы отклонения потока энергии от волновой нормали.

ляется параметром $k = c_{44} - k_1$, где $k_1 = \frac{1}{2} (c_{11} + c_{66} - \sqrt{(c_{11} - c_{66} + 4c_{16})^2 - 4(c_{16} - c_{12} - c_{66})^2})$. Случай $k < 0$ соответствует исследованным нами кристаллам. В то же время можно представить себе ситуацию, когда для кристаллов этой же структуры при определенной комбинации упругих постоянных будет выполняться соотношение $k \approx 0$. Тогда упомянутые акустические оси конического типа сольются в одну касательного типа. Если $k > 0$, то произойдет полное снятие вырождения, т. е. в кристаллах со структурой шеелита в плоскости (001) возможно существование либо двух акустических осей конического типа, либо одной касательного типа, либо ни одной в зависимости от соотношений между модулями упругости c_{ij} кристалла.

В плоскости (010) нет направленных чистых мод, исключая направления [100] и [001] (рис. 2). В кристалле $\text{NaBi}(\text{WO}_4)_2$ обнаружена акустическая ось, лежащая в плоскости, которая составляет с плоскостью (010) угол 25.5° , под углом 24.4° с осью [001].

Направления акустических осей данных кристаллов не являются чистыми модами, кроме акустической оси вдоль оси [001].

Авторы благодарны Н. Б. Левчук за техническую помощь.

Л и т е р а т у р а

- [1] Акимов С. В., Столпакова Т. М., Дудник Е. Ф., Синяков Е. В. ФТТ, 1977, т. 19, № 9, с. 1832—1833.
- [2] Акустические кристаллы / Под ред. М. П. Шаскольской. М.: Наука, 1982. 632 с.
- [3] Александров К. С., Спиринов Б. И., Запайщиков В. М., Рецкова Л. М. Ультразвук. техн., 1967, т. 5, с. 53—57.
- [4] Авакянц Л. П., Бондаренко В. С., Киселёв Д. Ф., Молодцов В. В., Чкалова В. В., Фирсова М. М. ФТТ, 1986, т. 28, № 2, с. 617—620.
- [5] Антоненко А. М., Столпакова Т. М. УФЖ, 1984, т. 29, № 4, с. 612—614.

Институт физики им. Л. В. Киренского СО АН СССР
Красноярск
Красноярский государственный университет
Красноярск
Физико-технический институт
им. С. У. Умарова АН ТаджССР
Душанбе

Поступило в Редакцию
20 августа 1987 г.

УДК 538.935

Физика твердого тела, том 30, в. 2, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 2, 1988

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СПИНОВАЯ ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ В ОРТОФЕРРИТАХ

А. П. Агафонов, А. С. Москвин

Редкоземельные ортоферриты RF_6O_3 — орторомбические слабые ферромагнетики (пространственная группа D_{2h}^{16}) — являются удобными модельными объектами для исследования различных спин-переориентационных (СП) фазовых переходов [1]. Характерная для всех ортоферритов высокотемпературная слабоферромагнитная конфигурация Γ_4 (G_x, A_y, F_z) при понижении температуры в ряде ортоферритов ($R=\text{Sm}, \text{Er}, \text{Nd}, \dots$) сменяется другой слабоферромагнитной конфигурацией Γ_2 (F_x, C_y, G_z) (СП переход $\Gamma_4-\Gamma_2$), а в $\text{D}_y\text{F}_6\text{O}_3$ — антиферромагнитной конфигурацией Γ_1 (A_x, G_y, C_z) (СП переход Морина $\Gamma_4-\Gamma_1$). СП переходы могут быть как переходами первого рода, так и плавными переходами второго рода с образованием промежуточных угловых фаз типа $\Gamma_{24}, \Gamma_{14}, \Gamma_{12}$.

В замещенных ортоферритах типа $\text{D}_y\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3, \text{TmFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ экспериментально обнаружены новые спонтанные СП переходы, сопровождаемые пространственной ориентацией вектора антиферромагнетизма G [2, 3] (магнитная конфигурация Γ_{124}).

В отсутствие внешнего магнитного поля энергия магнитной анизотропии RFeO_3 может быть представлена с учетом анизотропии второго и четвертого порядков как функция полярного θ и азимутального φ углов вектора антиферромагнетизма G в виде [1]

$$\Phi_{\text{ан}} = K_1 \sin^2 \theta (1 + \alpha \sin^2 \varphi) + K_2 \sin^4 \theta (1 + \beta \sin^2 \varphi + \gamma \sin^4 \varphi).$$