

УДК 548.0:535.0.122

С.В. Иванова

Московский Физический Институт им. П.Н. Лебедева, Россия, 119991 Москва, Ленинский  
проспект 53, E-mail: ivanova@sci.lebedev.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ РАССЕЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В НЕЛИНЕЙНОМ КРИСТАЛЛЕ

### АННОТАЦИЯ

Проведено исследование поведения рассеянного излучения лазера при различных условиях эксперимента. Обнаружено, что след луча в кристалле и на экране в дальнем поле имеет сложную структуру. В зависимости от направления по отношению к кристаллографическим осям и поляризации луча след в кристалле при комнатной температуре имел однородную или спекл-структуру. На экране в дальнем поле – круги, эллипсы или полосы. Изменения картин рассеяния при нагревании кристалла (20 – 600°C) наблюдались в области температур структурных фазовых переходов (300°C и 560°C) и в области температур трансформаций нано-доменных структур (200°C, 240°C и 270°C). Обнаружена область температур, в которой луч распространяется без искажения (300 – 460). В области 460 – 560°C наблюдалась трансформация луча. На основании анализа спектра комбинационного рассеяния, температурных кривых центральной моды [5], картин рассеяния в дальнем поле выше и ниже 300°C и структурных исследований [1 – 4] был сделан вывод о новой несоразмерной фазе выше 300°C.

КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПИК, НАНО-ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА, ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ, НЕСОРАЗМЕРНЫЕ ФАЗЫ

### ВВЕДЕНИЕ

Технологически важный нелинейный кристалл барий натриевого ниобата  $Ba_2NaNb_5O_{15}$  (BSN), имеет высокие нелинейно оптические и электрооптические коэффициенты и сложную систему фазовых превращений при изменении температуры. Кристалл BSN является фоторефрактивным материалом с тетрагональной структурой вольфрамовых бронз. Структура нестабильная и большинство этих материалов испытывает фазовые переходы при изменении температуры. В высшей температурной фазе, выше  $T_C$  (560°C), BSN принадлежит к точечной группе симметрии  $4/mmm$ . При охлаждении в интервале между  $T_C$  and  $T_I$  (300°C) – кристалл тетрагональный (4mm). Спонтанная поляризация появляется в этой фазе вдоль  $c$  – оси. В области  $T_I$  происходит фазовый переход в орторомбическую несоразмерную фазу (mm2). Статистические и динамические характеристики несоразмерных фаз были изучены методами рентгеновского и нейтронного рассеяния между комнатной температурой и 660°C в работе [1]. Были обнаружены две несоразмерные фазы ниже 300°C: почти несоразмерная фаза стабильная до  $T_{II}$  (250°C) и несоразмерная фаза с тем же направлением модуляции. Фазовый переход при  $T_{II}$  прерывный при  $T_I$  непрерывный. Выше  $T_I$  устанавливается стабильная фаза с тетрагональной симметрией.

В работах [2, 3] показано, что несоизмерная структура имеет тетрагональную симметрию в температурной области между 300 и 270°C - тетрагональную фазу  $2q$  и орторомбическую  $1q$  и трансформацию  $2q/1q$  в температурной области, где наблюдается гистерезис параметра модуляции. Температуры трансформации доменов – 300, 260, 230 и 190°C.

Эти экспериментальные результаты указывают, что доменная структура резко изменяется вблизи 230°C, хотя непрерывное изменение в доменной структуре происходит между 300 и 230°C при охлаждении. В работе [4] методом электронной микроскопии была обнаружена несоизмерная модуляция в тетрагональной фазе кристалла BSN (4mm), исчезающая только вблизи сегнетоэлектрического фазового перехода 600°C, в противоречии со структурными исследованиями [1-3].

В предыдущей работе [5] наблюдались аномалии на температурных кривых интенсивности комбинационных линий и центрального пика вблизи 200, 240, 300, 500 и 560°C.

В настоящей работе представлены результаты исследования рассеянного кристаллом BNN излучения при различных условиях эксперимента.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Нелинейные свойства кристаллов были исследованы в температурной области между 20 и 600°C. Образцы размером 3x4x5 мм<sup>3</sup> были вырезаны перпендикулярно полярной с-оси кристалла. Сфокусированный луч аргонового лазера ( $F = 15\text{cm}$ ) ( $\lambda = 514.5\text{ нм}$ ,  $P = 30 - 300\text{ мВт}$ ) распространялся в ориентированном относительно кристаллографических осей образце и регистрировался на экране в дальнем поле (2.5 м). Поляризация падающего излучения была параллельна или перпендикулярна оптической оси кристалла. Образцы помещались в печь в область перетяжки сфокусированного светового луча. Печь имела четыре окна, позволяющих наблюдать картины распространения луча в образце. Спектры регистрировались спектрометром ДФС-12.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе проводились исследования поведения рассеянного кристаллом барий натриевого ниобата излучения при различных направлениях лазерного луча относительно кристаллографических осей и при изменении температуры. Наблюдались круги, эллипсы и полосы в зависимости от направления луча, его поляризации и области температур. Обнаружены особенности поведения рассеянного излучения при комнатной температуре.

Была определена особая роль оптической с – оси. При направлении луча лазера перпендикулярно с – оси и поляризации параллельной этой оси луч в кристалле имеет спекл-структуру (рис.1(2), рис.2 (1)).

При направлениях луча вдоль а – оси, b – оси и в направлении с-оси луч в кристалле имеет однородную структуру (рис.1(1), рис.2 (2), рис.3(1,2)).

При распространении луча вдоль а-оси при любой поляризации луча на экране в дальнем поле наблюдается круг (рис. 1 (1, 2)).

При распространении луча вдоль b – оси и поляризации вдоль с – оси на экране в дальнем поле в плоскости  $a_s$  наблюдаются полосы и эллипсы.

При распространении луча вдоль с – оси и поляризации вдоль а – оси на экране в дальнем поле в плоскости  $b_a$  наблюдаются полосы.

Температурные изменения рассеянного излучения в дальнем поле в широкой области температур (20 – 600°C) (рис.4).

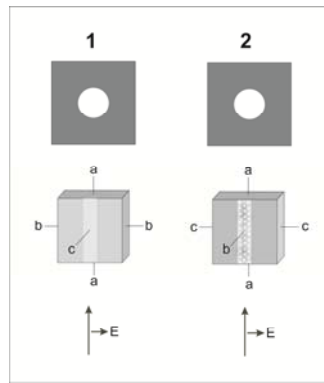


Рис. 1. 1. Направление луча в кристалле параллельно  $a$  – оси, поляризация перпендикулярна  $c$  – оси. След луча в кристалле имеет однородную структуру. На экране в дальнем поле в плоскости  $cb$  круг  
 2. Направление луча в кристалле параллельно  $a$  – оси, поляризация параллельна  $c$  – оси. След луча в кристалле имеет спекл структуру. На экране в дальнем поле в плоскости  $cb$  – круг. Стрелки под рисунками: вверх – направление луча,  $E$  – направление поляризации луча

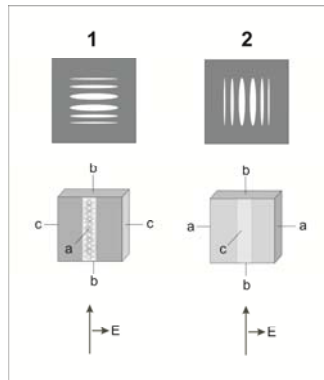


Рис. 2. 1. Направление луча в кристалле параллельно  $b$  – оси, поляризация параллельна  $c$  – оси. След луча в кристалле имеет спекл-структуру. На экране в дальнем поле в плоскости  $ac$  полосы и эллипсы  
 2. Направление луча в кристалле параллельно  $b$  – оси, поляризация параллельна  $a$  – оси. След луча в кристалле имеет однородную структуру. На экране в дальнем поле – полосы и эллипсы. Стрелки под рисунками: вверх – направление луча,  $E$  – направление поляризации луча

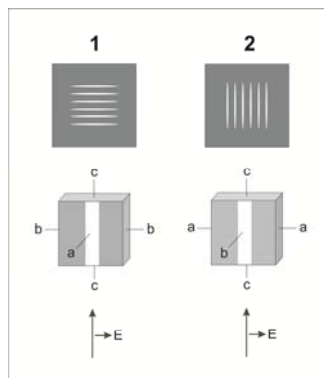


Рис.3. 1. Направление луча в кристалле параллельно  $c$  – оси, поляризация параллельна  $b$  – оси. След луча внутри кристалла имеет однородную структуру. На экране в дальнем поле в плоскости  $ab$  полосы  
 2. Направление луча в кристалле параллельно  $c$ -оси, поляризация параллельна  $a$  – оси. След луча в кристалле имеет однородную структуру. На экране в дальнем поле в плоскости  $ba$  – полосы. Стрелки под рисунками: вверх – направление луча,  $E$  – направление поляризации луча

Картина рассеяния на экране в дальнем поле представляет систему полос, кругов, эллипсов, изменяющихся в определенной последовательности в зависимости от температурной области исследования кристалла (рис.4).

Обнаружены следующие области изменения рассеяния луча: От комнатной температуры до 200°C наблюдались штрихи, от 200 до 270°C - эллипсы; от 290 до 460°C круги. От 300 до 460 – область неискаженного прохождения луча.

В области от 460°C до сегнетоэлектрического фазового перехода ( $T_C = 560^\circ\text{C}$ ) наблюдается деформация пятна рассеянного излучения: круг разбивается на полосы, количество полос увеличивается, затем уменьшается и картина скачком превращается в круг при температуре Кюри.

При сравнении поведения картин рассеяния в области 200 – 300°C и 460 – 545°C можно наблюдать сходство в поведении рассеянного излучения.

В работе [4] было проведено детальное изучение структуры кристалла в области сегнетоэлектрического фазового перехода методом электронной микроскопии и обнаружены сателлиты, характеризующие несоразмерную фазу. Опираясь на эти работы и наши данные можно сделать вывод о несоразмерной структуре новой фазы.

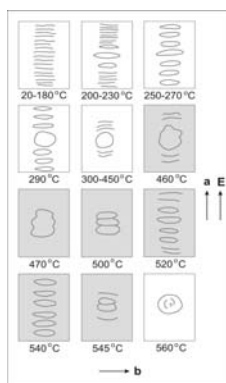


Рис. 4. Температурная зависимость картин рассеяния в дальнем поле; лазерный луч распространяется вдоль с-оси, поляризация луча вдоль а-оси. Изменения картин происходят в температурных областях: 20 – 200°C, 200 – 250, 250 – 270°C, 290 – 450°C, 460 – 54°C – область новой несоразмерной фазы, 560°C – температура сегнетоэлектрического фазового перехода. Стрелками обозначены направления кристаллографических осей а и b; E – направление поляризации луча

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проводились исследования поведения рассеянного кристаллом барий натриевого ниобата излучения при разных экспериментальных условиях. Были проведены эксперименты при комнатной температуре при различных направлениях лазерного луча относительно кристаллографических осей. Были выявлены особенности поведения рассеянного излучения по отношению к кристаллографическим осям. Обнаружена особая роль оптической с – оси при распространении луча в кристалле. След луча с поляризацией перпендикулярной оптической с – оси кристалла имеет однородную структуру; след луча с поляризацией параллельной этой оси имеет спекл-структуру.

На основании анализа спектров комбинационного рассеяния, температурных кривых центральной моды [5], картин рассеяния в дальнем поле выше и ниже 300°C и структурных исследований [1-4] сделан вывод об обнаружении новой несоразмерной фазы в области 460 – 560°C.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Schneck J., Toledano J.C., Joffrin C., Aubree J., B. Joukoff B., and Gabelotaud A.** Neutron scattering study of the tetragonal-to-incommensurate ferroelastic transition in barium sodium niobate // Phys. Rev. B, 1976. V. 25. P. 1766-1785.
2. **Mori S., Yamomoto N., Koyama Y., Uesu Y.** Evolution of ferroelastic domain structure in an incommensurate phase of barium sodium niobate // Phys. Rev. B 52, 1995. P. 6158-6161.
3. **Kiat J. M., Calvarin G, J. Schneck J.** Coexistence of the 1q incommensurate phases and memory effect in barium sodium niobate // Phys. Rev. B 49, 1994. P. 776-785.
4. **Xiao-qing Pan, Mei-shen Hu, Ming-hui Yao, Duan. Feng.** Tem study of the incommensurate phase and related phase transitions in barium sodium niobate // Phys. Stat. Sol., 1985. V. 92. P. 57-61.
5. **Ivanova S.V.**, Analysis of Quasielastic Light Scattering in Nanodomain Crystal Near Phase Transitions, XII International Conference on Nanostructured Materials, (NANO 2014), July 13-18, Moscow. Abstract. P. 150.

S.V. Ivanova.

*P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Russia,  
119991, Moscow, Leninskii Pr., 53, E-mail: ivanova@sci.lebedev.ru*

## INVESTIGATION OF ANISOTROPY OF LIGHT SCATTERING ILLUMINATION IN NONLINEAR CRYSTAL

*It was performed the investigation of the behavior of laser beam scattering at different conditions: within of the crystal, on the screen in far field. In dependence on direction and polarization of the laser beam the track of the beam within of crystal has the homogenous or speckle structure; on the screen in far field - rounds, ellipses or stripes forms. The changes of light scattering at heating of crystal have observed near 300°C u 560°C (structural phase transitions) and near 200°C, 240°C and 270°C (temperature of transformation of nanodomain structures)]. It was observed the changes of light scattering patterns in range of 460 – 560°C. Investigations of the temperature behavior of Raman scattering lines and central peak was performed in work of [5]. On the basis of analysis of the temperature behavior of the Raman scattering spectra, central peak, patterns of light scattering in far field above and' below 300°C and structural investigations of [1 – 4] have been made conclusion about new incommensurate phase above 300°C.*

RAMAN-SCATTERING SPECTRA, CENTRAL PEAK, NANO-DOMAIN STRUCTURA,  
PHASE TRANSITIONS, INCOMMENSURATE PHASES