

ВЛИЯНИЕ ДИСЛОКАЦИЙ НА ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД И РАССЕЯНИЕ СВЕТА ВБЛИЗИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В КРИСТАЛЛЕ NH_4Br

М.В.Белоусов, Б.Е.Вольф

Обнаружено аномальное малоугловое рассеяние света при фазовом переходе в кристалле NH_4Br . Показано, что эта аномалия обусловлена дифракцией света на включениях новой фазы, возникающих вблизи дислокаций.

Аномальное рассеяние света (АРС) при фазовом переходе (ФП) наблюдалось во многих кристаллах. Согласно современным представлениям АРС происходит на статических микронеоднородностях, возникающих вблизи ФП. Теоретическое рассмотрение показывает, что микронеоднородности могут появляться вблизи дефектов, играющих роль центров "конденсации" новой фазы [1 – 3]. Косвенным подтверждением этой гипотезы является уменьшение АРС после отжига кристалла [4]. Выделение новой фазы вблизи дислокаций наблюдалось с помощью электронного микроскопа в сплаве Ni_4Mo [5]. В [6, 7] показано, что АРС при $\alpha \rightarrow \beta$ ФП в кварце вызвано появлением микронеоднородностей в виде столбиков диаметром ~ 30 мкм, дающих характерную картину дифракции. Однако природа микронеоднородностей и причина их появления остались невыясненными.

В данной работе впервые обнаружено малоугловое АРС при $\beta \rightarrow \gamma$ ФП в кристаллах NH_4Br и показано, что оно обусловлено включениями новой фазы, возникающими вблизи дислокаций.

При $T_c = 235$ К в кристалле NH_4Br происходит $\beta \rightarrow \gamma$ ФП первого рода, близкий по характеру к ФП второго рода (температурный гистерезис $\sim 0,05 \pm 0,03$ К [8]). Высокотемпературная β -фаза характеризуется ориентационным разупорядочением ионов NH_4^+ , имеет симметрию O_h^1 и оптически изотропна. В γ -фазе происходит антипараллельное упорядочение ионов, кристалл становится одноосным, оптически отрицательным и приобретает симметрию D_{4h}^7 . Оптическая ось может возникнуть вдоль любой из трех осей симметрии C_4 β -фазы. Однако, если в образце создан градиент температуры вдоль C_4 , оптическая ось в γ -фазе возникает именно в этом направлении, которое в дальнейшем будем обозначать [0,0,1].

Монокристаллы NH_4Br хорошего оптического качества были выращены методом испарения при комнатной температуре из раствора в смеси воды и формамида. Существенно, что образцы не подвергались механической обработке. Кристаллы термостатировались с точностью $\pm 0,003$ К. Конструкция криостата позволяла создавать как малый ($\sim 0,1$ К/мм), так и большой (~ 1 К/мм) градиенты температуры в образце. Одновременно с малоугловым рассеянием исследовались поляризованные спектры комбинационного рассеяния света (КРС) и микроструктура образца.

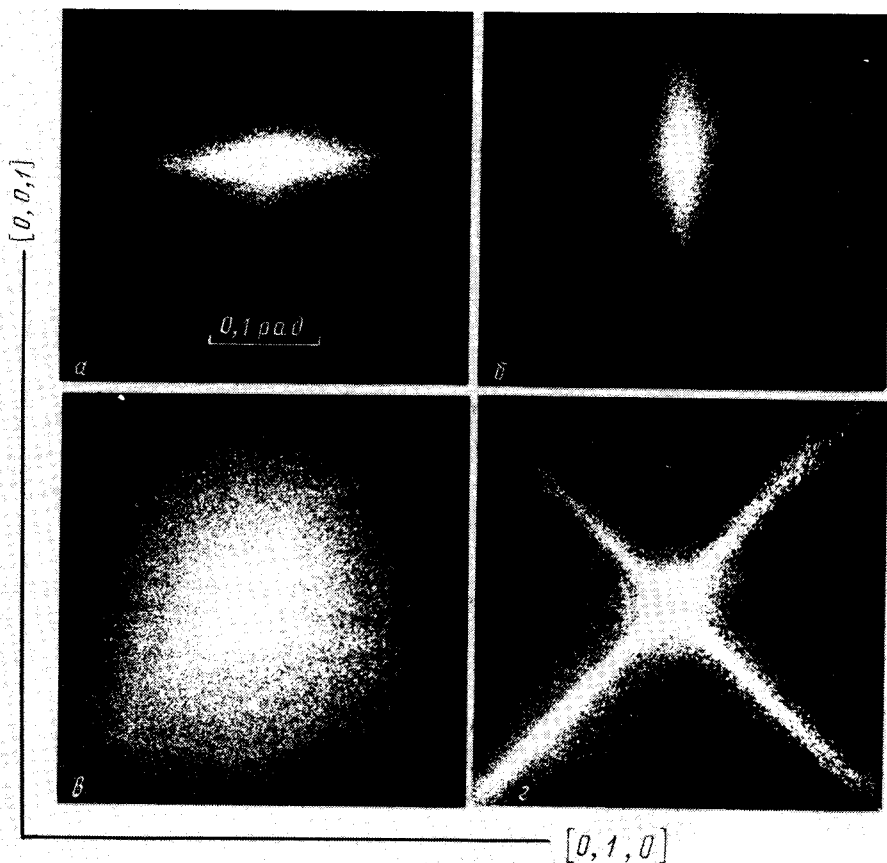


Рис.1. Дифракция света ($\lambda = 514,5$ нм) на микро неоднородностях, возникающих в кристалле NH_4Br . Градиент температуры $\sim 0,1$ К/мм. Поляризация света: $a - E \parallel [0, 1, 0]$; $b, v, z - E \parallel [0, 0, 1]$. $a, b - \beta$ -фаза, $T - T_c \approx 0,3$ К; $v - \text{ФП}$, $T \approx T_c$; $z - \gamma$ -фаза, $T - T_c = -50$ К

Было обнаружено, что при приближении к ФП в γ -фазу ($T - T_c \approx 0,5 \pm 0,3$ К) сечение прошедшего через образец лазерного луча вытягивалось в полосу с угловыми размерами $\sim 0,15$ рад. При $k \parallel [1, 0, 0]$ полоса ориентирована вдоль $[0, 1, 0]$ для $E \parallel [0, 1, 0]$ и $[0, 0, 1]$ для $E \parallel [0, 0, 1]$ (рис. 1, a, b), где k и E – волновой вектор и поляризация падающего света. Для промежуточной поляризации наблюдался крест, являющийся наложением полос. Та же картина была при распространении света вдоль градиента температуры ($k \parallel [0, 0, 1]$). При ФП сечение лазерного луча размывалось (рис.1, v) и в γ -фазе трансформировалось в крест с лучами вдоль $[0, \pm 1, 1]$ (рис.1, z). Эта картина, наблюдаемая только при $k \perp [0, 0, 1]$, мало зависит от поляризации света и сохраняется вплоть до $T \approx 80$ К. Появление γ -фазы и направление возникающей в ней оптической оси контролировалось по спектрам КРС. При исследовании с помощью поляризационного микроскопа было обнаружено, что в γ -фазе возникает "доменная" структура, ориентированная вдоль $[0, \pm 1, \pm 1]$, которая обуславливает наблюдаемую картину мало-

углового рассеяния. Однако оптические свойства и природа микроструктуры γ -фазы в данной работе не обсуждаются.

Фотография микроструктуры β -фазы, возникающей вблизи ФП в γ -фазу и приводящей к АРС, приведена на рис.2. Возникающие микро-неоднородности вытянуты почти вдоль $[1, 0, 0]$, $[0, 1, 0]$ и $[0, 0, 1]$ и образуют неперриодическую трехмерную решетку. При наблюдении без анализатора видны только неоднородности, ориентированные перпендикулярно поляризации падающего света. В свете, поляризованном вдоль микро-неоднородностей, они невидимы. Это говорит о том, что показатель преломления для света, поляризованного вдоль неоднородности совпадает, а для света, поляризованного поперек, отличается от показателя преломления β -фазы. Наблюдаемая микроструктура β -фазы объясняет предпереходную картину АРС.

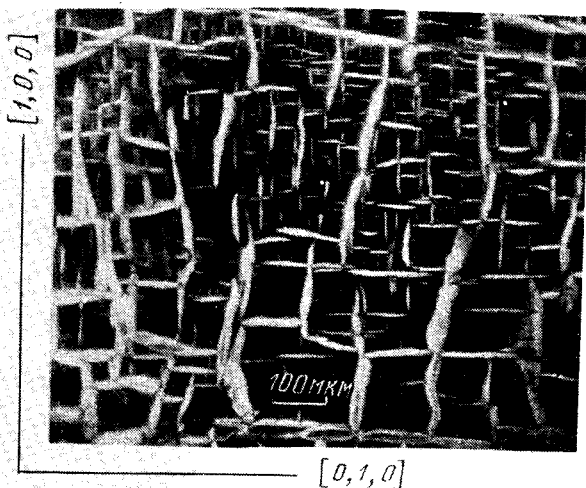


Рис.2. Микроструктура β -фазы NH_4Br , возникающая вблизи ФП в γ -фазу. Наблюдение вдоль градиента температуры ($\sim 0,1 \text{ K/мм}$). Поляризации падающего и анализируемого света ортогональны и направлены под 45° к осям кристалла

В [9] было показано, что в кристаллах NH_4Cl , близких по физическим свойствам к NH_4Br , даже небольшие механические напряжения вызывают появление полос, наблюдаемых в скрещенных поляризаторах и обусловленных дислокационными плоскостями скольжения. Аналогичные особенности мы наблюдали при комнатной температуре в кристаллах NH_4Br ¹⁾. Было замечено, что при приближении к $\beta \rightarrow \gamma$ ФП микро-неоднородности в первую очередь возникали около дислокационных плоскостей скольжения.

Для контрольного опыта были использованы свежие образцы чрезвычайно осторожно вынутые из раствора и установленные в криостат. При комнатной температуре в них полностью отсутствовали какие-либо оптические неоднородности. При первом прохождении через ФП в этих кристаллах не наблюдалось предпереходной микроструктуры, а граница β - и γ -фаз была очень резкой (рис.3). При наблюдении без анализатора межфазовая граница видна, если $E \perp [0, 0, 1]$; при $E \parallel [0, 0, 1]$ межфазовая граница невидима. Это свидетельствует о подобии оптических свойств γ -фазы и микро-неоднородностей, возникающих в β -фазе вблизи ФП и позволяет считать их включениями γ -фазы.

¹⁾ Авторы благодарны О.Ф.Вывенко за консультацию.

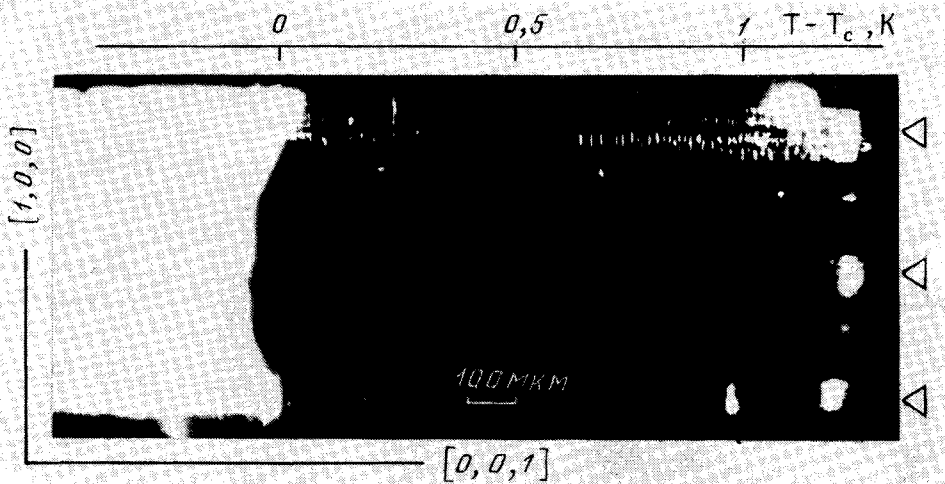


Рис.3. Граница фаз в совершенном кристалле. Поляризация света – аналогично рис.2. Градиент температуры ≈ 1 К/мм. Светлая область – γ -фаза, темная – β -фаза. Светлые штрихи – включения γ -фазы, расположенные вдоль дислокационных плоскостей скольжения. Места приложения источников дислокаций указаны треугольниками

Для проверки предположения о возникновении новой фазы вблизи дислокаций был проведен следующий опыт. В совершенный кристалл при $T \approx T_c$ прикосновением лезвия бритвы были введены дислокационные плоскости скольжения, вдоль которых сразу же возникли включения новой фазы (рис.3). Отметим, что среднее расстояние между включениями уменьшается при приближении к источнику дислокаций, хотя температура образца при этом возрастает. Интересно, что в образцах, подвергшихся механической обработке (шлифовка и полировка), микроструктуры ни в β -, ни в γ -фазе не наблюдались. Граница фаз была очень размытой и просветление кристалла в скрещенных поляризаторах начиналось за несколько градусов до ФП, что согласуется с результатами измерения двулучепреломления [8].

Можно предположить, что наблюдавшиеся в NH_4Vg проявления влияния дислокаций на ФП имеют общий характер.

Авторы благодарны А.А.Каплянскому, А.П.Леванюку, А.А.Собянину и В.А.Соловьеву за полезное обсуждение.

Ленинградский государственный
университет им. А.А.Жданова
Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе

Поступила в редакцию
5 февраля 1980 г.

Литература

- [1] F. J. Bartis. Phys. Lett., 43 A, 61, 1973.
[2] А.П.Леванюк, В.В.Осипов, А.А.Сигов, А.А.Собянин. ЖЭТФ, 76, 345, 1979.

- [3] И.М.Дубровский, М.А.Кривоглаз. ЖЭТФ, 77, 1017, 1979.
- [4] E.Courrens. Phys. Rev. Lett., 41, 1171, 1978.
- [5] С.Н.Золотарев, И.Б.Сидоров, Ю.А.Сканов, В.А.Соловьев. ФТТ, 20, 755, 1978.
- [6] G.Dolino, J.P.Bachheimer. Phys. Stat. Sol. (a), 41, 673, 1977.
- [7] О.А.Шустин, Т.Г.Черневич, С.А.Иванов, И.Я.Яковлев. Письма в ЖЭТФ, 27, 349, 1978.
- [8] I.H.Brunskill, I.R.Jahn, H.Dachs. Sol. St. Comm., 16, 835, 1975.
- [9] J.P.Pique, G.Dolino, M.Vallade. J. de Phys., 38, 1527, 1977.
-