

УДК 537.94

© 1992

АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВОЙ P, T ДИАГРАММЫ КРИСТАЛЛОВ Cs_2HgCl_4

А. В. Китык, В. П. Сопрунюк, О. Г. Влох,
И. Д. Олексеюк, С. А. Пирога

Ультразвуковым эхо-импульсным методом изучена фазовая P, T диаграмма несоразмерного сегнетоэластика Cs_2HgCl_4 . Обнаружен ряд тройных точек на P, T диаграмме этого кристалла, в том числе тройная точка, в которой исчезает несоразмерная фаза. Аномальное поведение скоростей ультразвуковых волн в области фазовых переходов и тройной точки обсуждается в рамках феноменологической теории.

Сравнительно недавно в кристаллах Cs_2HgCl_4 с понижением температуры была обнаружена последовательность ряда структурных фазовых переходов (ФП), включающая в себя переходы в несоразмерную фазу (НФ) [1-4]. При комнатной температуре Cs_2HgCl_4 характеризуется структурой типа $\beta-K_2SO_4$ с пространственной группой симметрии $Pnma$ и четырьмя формульными единицами в элементарной ячейке [5]. Согласно данным ЯКР [1], диэлектрических и калориметрических [2-4], акустических и оптических [6] исследований, при $T_1 = 220$ К эти кристаллы претерпевают ФП II рода из исходной парафазы (ПФ) в НФ и далее еще пять ФП при температурах $T_c = 195$, $T_1 = 184$, $T_2 = 172$, $T_3 = 166$ и $T_4 = 163$ К. В рамках указанных исследований также показано, что фазы, существующие в интервале температур $T_c - T_1$ и $T_1 - T_2$, являются соответственно несобственной сегнетоэлектрической и сегнетоэластической. В целом природа ФП в кристаллах Cs_2HgCl_4 во многом далека от полной ясности. Причиной этого является отсутствие каких-либо прямых структурных исследований НФ, а также последующих низкотемпературных фаз. Вместе с тем в работе [6] на основании обнаруженного сходства поведения температурных зависимостей оптического двупреломления и скоростей ультразвуковых волн (УЗВ) в области несоразмерных ФП в Cs_2HgCl_4 и изоструктурных им соединений Cs_2HgBr_4 и Cs_2CdBr_4 было высказано предположение об общем механизме ФП в этих кристаллах. Как известно [7], кристаллы Cs_2HgBr_4 и Cs_2CdBr_4 обладают последовательностью фазовых переходов: ПФ \rightarrow НФ \rightarrow соразмерная сегнетоэластическая фаза. Группа симметрии ПФ в этих соединениях такая же, как и в Cs_2HgCl_4 , а сегнетоэластической фазы $P2_1/n$, причем число формульных единиц в элементарной ячейке для указанных фаз одинаково. Волновой вектор НФ k_0 близок к центру зоны Бриллюэна [8], т. е. в рамках общепринятой классификации Брюса—Каули НФ относится к типу II [9]. Недавно в работах [10, 11] было обнаружено, что для Cs_2HgBr_4 (Cs_2CdBr_4) при давлении $P_k = 140$ МПа ($P_k = 100$ МПа) линии ФП ПФ—НФ и НФ—сегнетоэластическая фаза сливаются в тройной точке на фазовой P, T диаграмме в линию ФП ПФ—сегнетоэластическая фаза. Если предположение об общем механизме природы ФП в указанных кристаллах является верным, то появление подобного рода точки вполне естественно также ожидать на фазовой P, T диаграмме кристаллов Cs_2HgCl_4 . Отметим, что экспериментальные сведения о тройных точках на фазовых диаграммах

несоразмерных собственных сегнетоэластиков весьма ограничены, поэтому актуальность постановки соответствующих исследований, на наш взгляд, представляется очевидной. Настоящая работа, в частности, посвящена изучению фазовой P, T диаграммы кристаллов Cs_2HgCl_4 ультразвуковым методом.

1. Результаты эксперимента

Кристаллы Cs_2HgCl_4 выращивались из расплава методом Бриджмена. Ориентация образцов в кристаллографической системе координат исходной ПФ проводилась рентгеновским методом. Кристаллографические оси выбирались рентгеновским методом. Кристаллографические оси выбирались в соответствии с $[^4]$: $a(X) = 9.785$, $b(Y) = 7.585$ и $c(Z) = 13.384$ Å. Для акустических исследований использовались образцы в виде параллелограммов размерами примерно $4 \times 4 \times 5$ мм, грани которых ориентировались перпендикулярно кристаллографическим осям. Скорости продольных и поперечных УЗВ измерялись ультразвуковым эхо-импульсным методом $[^{12}]$ на частоте 10 МГц. Для исследований в условиях высоких гидростатических давлений использовалась камера, которая позволяла проводить акустические измерения при давлениях 0.1—600 МПа в температурном интервале 150—400 К. В качестве передающей жидкости использовался бензин. Акустические исследования проводились при постоянном давлении и медленном охлаждении образцов со скоростью 0.1 К/мин. Относительная погрешность измерений скоростей УЗВ составляла 10^{-4} .

Температурные зависимости скоростей продольных $V_2(q \parallel b, E \parallel b)$, $V_3(q \parallel c, E \parallel c)$ и поперечных $V_4(q \parallel c, E \parallel b)$, $V_5(q \parallel c, E \parallel a)$, $V_6(q \parallel a, E \parallel b)$ УЗВ кристалла Cs_2HgCl_4 при различных величинах гидростатического давления P приведены на рис. 1—5. Обозначения температур ФП, фигурирующих на указанных рисунках, становятся понятными из фазовой P, T диаграммы (рис. 6).

При атмосферном давлении скорость УЗВ V_2 (рис. 1) в области перехода из ПФ в НФ ($T = T_1$) заметно уменьшается. ФП при температурах T_1 , T_2 и T_3 характеризуются изломами зависимости $V_2(T)$, тогда как в районе температур ФП T_1 и T_4 наблюдаются отчетливые скачки скорости этой УЗВ. Более тщательные исследования в окрестности низкотемпературного ФП при $T = T_4$ показали, что скорость УЗВ V_2 на самом деле испытывает здесь скачкообразное уменьшение, а не увеличение, о чем ранее сообщалось в $[^6]$. Незначительный скачок V_4 при $T = 178$ К, по-видимому, не является следствием ФП и связан, как указывалось в $[^6]$, с преобразованием моноклинного состояния в полимоноклинное. Под влиянием гидростатического давления вышеуказанные аномалии зависимости $V_2(T)$ сдвигаются в большинстве случаев в область высоких температур. При этом линия ФП $T_1(P)$ на P, T диаграмме при давлениях свыше 10 МПа расщепляется на две линии $T'_1(P)$ и $T_L(P)$ (рис. 6). С увеличением давления величина скачков скорости V_2 в районе температур ФП T_L и T'_L возрастает, а температурный интервал существования НФ сужается и исчезает в тройной точке с координатами $P_{k_1} = 140$ МПа, $T_{k_1} = 220$ К. Выше P_{k_1} зависимость $V_2(T)$ характеризуется лишь единственным отчетливым скачком в области ФП из ПФ в фазу $\bar{7}$ при $T = T_0$ (рис. 1). Несобственная сегнетоэлектрическая фаза $\bar{2}$ под влиянием давления также сужается и исчезает в тройной точке с координатами примерно $P_{k_2} = 90$ МПа, $T_{k_2} = 208$ К (рис. 1, 6). Что касается низкотемпературных ФП, то проследить зависимость их температур от давления в широком его интервале представляется возможным главным образом лишь для температур ФП T_1 , T'_1 и T_4 . В случае же ФП при температурах T_2 и T_3 аномалии $V_2(T)$ в их области при давлениях свыше 30 МПа «смазываются» и впоследствии не наблюдаются.

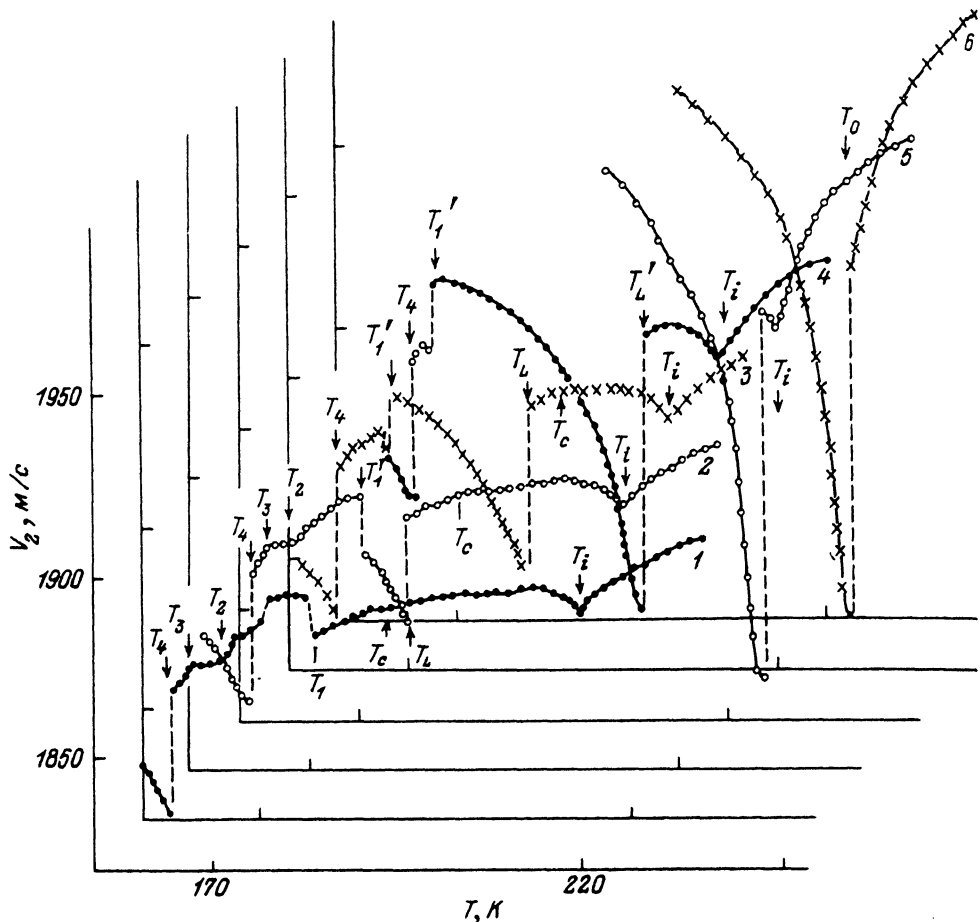


Рис. 1. Температурные зависимости скорости продольной УЗВ V_2 .
 1 — 0.1, 2 — 27, 3 — 59, 4 — 88, 5 — 127, 6 — 157 МПа.

К сожалению, измерения скорости V_2 вблизи температур ФП T_5 и T_6 при высоких давлениях усложняются сильным затуханием УЗВ. В этом смысле наиболее «удачной» для изучения фазовой диаграммы оказалась скорость продольной УЗВ V_3 , температурные зависимости которой для различных давлений приведены на рис. 2. В области низких давлений наблюдаются слабое уменьшение скорости УЗВ V_3 при $T = T_i$, а также ее скачкообразное возрастание при температурах ФП T'_1 и T_4 . ФП из ФФ в фазу $\bar{7}$ при $T = T_0$ ($P > P_{\kappa_1}$) сопровождается лишь изломом зависимости $V_3(T)$. Более существенные изменения скорости этой УЗВ наблюдаются вблизи температур ФП T_5 и T_6 , которые возникают в результате расщепления линии ФП $T'_1(P)$ в тройной точке с координатами $P_{\kappa_8} = 90$ МПа, $T_{\kappa_8} = 180$ К. Возникающая при этом фаза $\bar{8}$ характеризуется резким уменьшением скорости УЗВ V_3 в области температур ФП T_5 и T_6 .

Скорость поперечной УЗВ V_6 ($P = 0.1$ МПа) претерпевает существенное уменьшение во всей области НФ, а также ниже T_c (рис. 3). При $T < T_1$ наблюдается сильное затухание этой УЗВ, затрудняющее дальнейшее проведение измерений. При высоких давлениях ФП в области температур T_L и T'_L сопровождаются лишь незначительными скачками величины скорости V_6 .

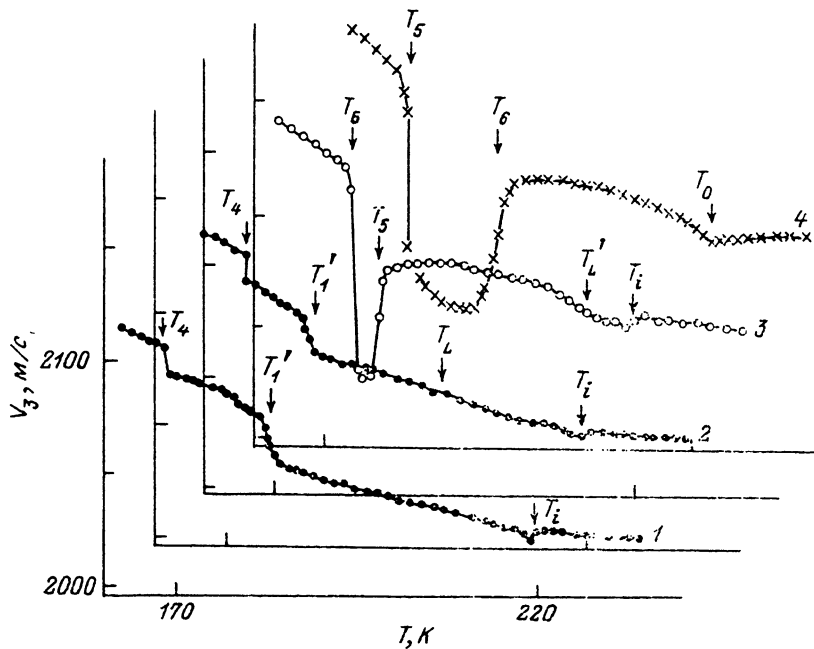


Рис. 2. Температурные зависимости скорости продольной УЗВ V_3 .
 1 — 27, 2 — 57, 3 — 106, 4 — 158 МПа.

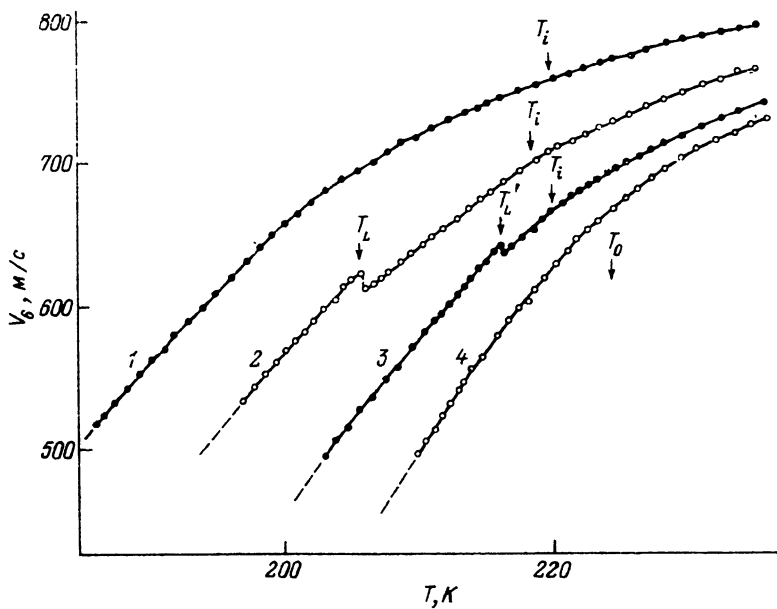


Рис. 3. Температурные зависимости скорости поперечной УЗВ V_6 .
 1 — 0.3, 2 — 76, 3 — 127, 4 — 166 МПа.

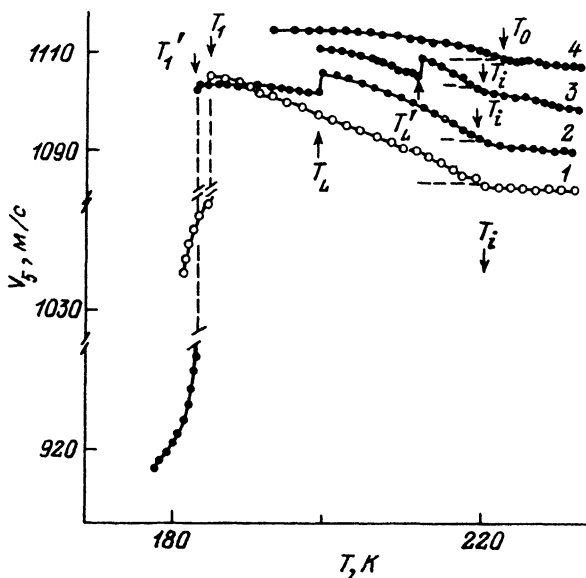


Рис. 4. Температурные зависимости скорости поперечной УЗВ V_5 .
1 — 0.1, 2 — 56, 3 — 108, 4 — 157 МПа.

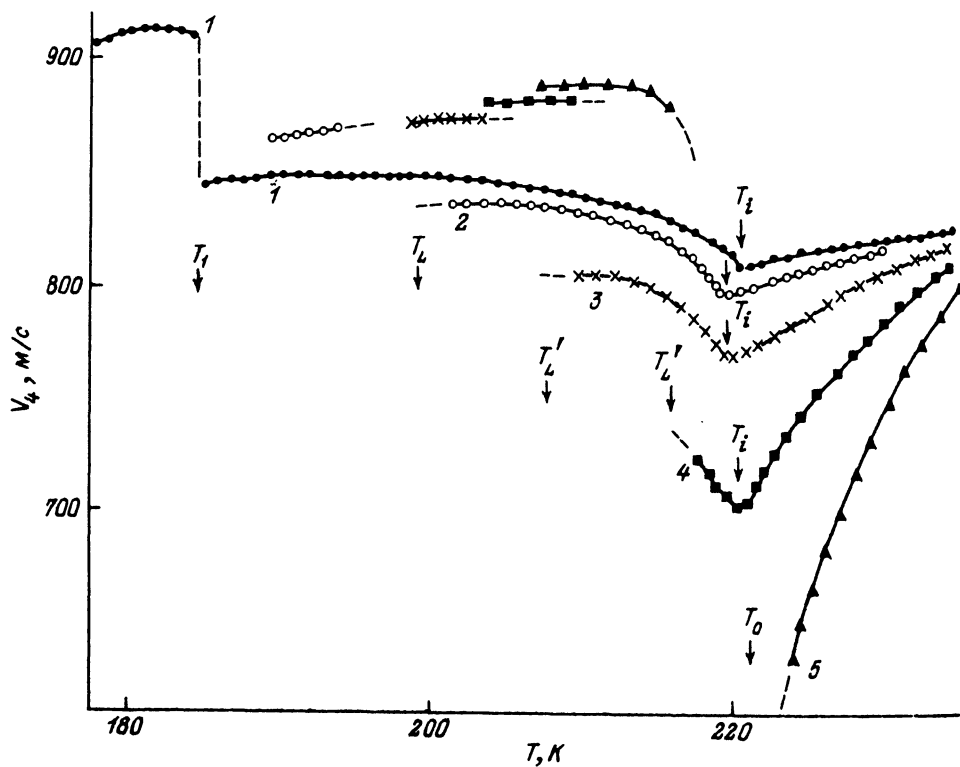
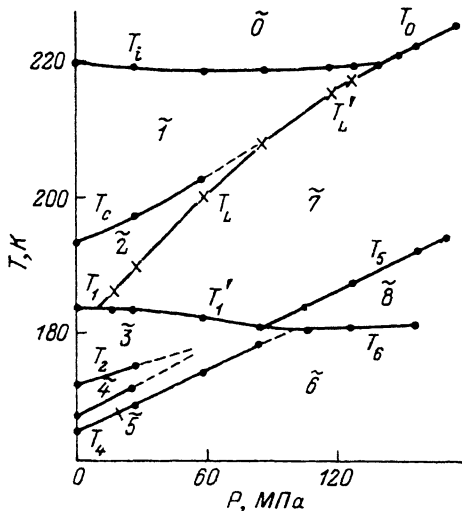


Рис. 5. Температурные зависимости скорости поперечной УЗВ V_4 .
1 — 0.1, 2 — 57, 3 — 86, 4 — 118, 5 — 147 МПа.

Рис. 6. Фазовая P, T диаграмма кристалла Cs_2HgCl_4 .

$\bar{0}$ — ПФ; $\bar{1}$ — НФ; $\bar{2}$ — несобственная сегнетоэлектрическая фаза; $\bar{3}$ — несобственная сегнетоэластическая фаза; $\bar{7}$ — собственная сегнетоэластическая фаза; $\bar{4}$ — $\bar{6}$, $\bar{8}$ — фазы, природа которых не выяснена.



Зависимости $V_5(T)$ характеризуются слабыми изломами при T_i и T_0 и выраженными скачками в районе T_1 и T_1' (рис. 4). Менее существенные скачки величины скорости этой УЗВ наблюдаются также в области температур ФП T_L и T_L' .

Наиболее сильные изменения под влиянием гидростатического давления испытывает температурная зависимость скорости поперечной УЗВ V_4 (рис. 5). В ПФ скорость этой УЗВ при $P = 0.1$ МПа с понижением температуры уменьшается. В области ФП ПФ—НФ наблюдается излом зависимости $V_4(T)$. В НФ скорость УЗВ V_4 вначале возрастает, а затем несколько уменьшается и при $T = T_1$ претерпевает скачкообразное увеличение. Ниже 178 К ее измерения усложняются сильным затуханием УЗВ. Под влиянием гидростатического давления происходит существенное увеличение наклона кривых $V_4(T)$ в ПФ и НФ вблизи T_i , а в области T_0 ($P > P_{к1}$) наблюдается аномальное уменьшение V_4 , характерное для собственных сегнетоэластических ФП. При этом акустические измерения в окрестности температур ФП T_L , T_L' и T_0 усложняются существенным возрастанием затухания УЗВ.

Полученная на основе акустических исследований фазовая P, T диаграмма кристалла Cs_2HgCl_4 показана на рис. 6.

2. Обсуждение результатов

Объяснение аномального поведения температурных зависимостей скоростей продольных и поперечных УЗВ в области несоразмерных ФП, а также тройной точки ($P_{к1}$, $T_{к1}$) проведем в рамках феноменологической теории. Сразу отметим, что упругие свойства в фазах $\bar{3}$, $\bar{4}$, $\bar{5}$, $\bar{6}$, $\bar{8}$ и в связанных с ними ФП обсуждаться в настоящей работе практически не будут, поскольку информация о них весьма ограничена. Что касается фазы $\bar{7}$, то она, как показывает эксперимент, является собственной сегнетоэластической и характеризуется компонентой спонтанной деформации U_{yz} . На это, в частности, во-первых, указывает факт сильного уменьшения величины скорости V_4 в центросимметричной ПФ вблизи T_0 ($P > P_{к1}$), что является прямым следствием смягчения упругого модуля C_{44} и имеет место лишь при наличии в разложении свободной энергии перекрестного инварианта, линейного по деформации и параметру порядка (QU). Во-вторых, на YZ -срезе кристалла ниже T_0 визуализируется двойниковая структура с разориентированными оптическими индикатрисами вокруг a -оси. Ранее в [6] высказывалось предположение о том, что собственной сегнетоэластической является фаза $\bar{3}$, поскольку в ней также возникает подобная двойниковая структура. С учетом проведенных в настоящей работе исследований можно заключить, что эти фазы должны характеризоваться одинаковой точечной группой симметрии ($2/m$), однако они различаются между собой по пространственной группе

симметрии. В этом случае фазу $\bar{3}$, по-видимому, следует считать несобственной сегнетоэластической. Однако точный ответ на этот вопрос могут дать лишь прямые структурные исследования.

Таким образом, обнаруженная тройная точка (P_{k_1} , T_{k_1} на фазовой P , T диаграмме кристалла Cs_2HgCl_4 является общей для трех линий ФП: ПФ—НФ, НФ—собственная сегнетоэластическая и ПФ—собственная сегнетоэластическая фаза. В этом смысле она полностью аналогична тройным точкам, обнаруженным ранее на фазовых диаграммах собственных несоизмерных сегнетоэластиков Cs_2HgBr_4 и Cs_2CdBr_4 [10, 11]. Используя это обстоятельство, аналогичность кристаллической структуры, а также наблюдаемое сходство в поведении упругих свойств в области несоизмерных ФП этих кристаллов [9, 10, 11], логично допустить, что волновой вектор НФ k_0 в Cs_2HgCl_4 , как и в случае Cs_2HgBr_4 и Cs_2CdBr_4 , близок к центру зоны Бриллюэна и параллелен оси X . Покажем, что в рамках такого предположения удается дать адекватное объяснение поведения скоростей всех УЗВ в области ФП и тройной точки кристаллов Cs_2HgCl_4 . В рассматриваемом случае параметр порядка для ФП ПФ—собственная сегнетоэластическая фаза по своим трансформационным свойствам эквивалентен компоненте тензора деформации U_{yz} . Вместе с тем волновой вектор модулированной фазы параллелен оси X , т. е. неоднородные деформации могут отвечать лишь компонентам U_{ik} , которые не содержат никаких других производных, кроме производных по X . Поскольку неоднородная деформация, отвечающая компоненте U_{yz} , в этом случае не возникает, то для рассмотрения ФП в качестве параметра порядка необходимо использовать некоторую оптическую фононную координату Q , обладающую теми же трансформационными свойствами, что и $U_4 = U_{yz}$ [13]. По аналогии с Cs_2HgBr_4 и Cs_2CdBr_4 [14, 15] физический смысл Q в кристаллах Cs_2HgCl_4 можно определить как поворот тетраэдров $HgCl_4$ вокруг оси X . Свободную энергию запишем в виде

$$F = F_Q + F_{Q,U},$$

$$F_Q = A_k Q_k Q_{-k} + B (Q_k Q_{-k})^2 + C (Q_k Q_{-k})^3 + \dots,$$

$$F_{Q,U} = \sum_{i=1}^3 a_i Q_{k_0} Q_{-k_0} U_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^6 b_i Q_{k_0} Q_{-k_0} U_i^2 + \sum_{i=1}^3 a'_i Q_0^2 U_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^6 b'_i Q_0^2 U_i^2 + \alpha Q_0 U_4 + f Q_{k_0} Q_{-2k_0} U_4, \quad (1)$$

где $A_k = A_0 (T - T_0) + gk^2 + hk^4$, $k_0 = \delta a^*$ — волновой вектор в НФ ($\delta \ll 1$ — параметр несоизмерности, $a^* = 2\pi/a$ — вектор обратной решетки) Q_{k_0} и Q_0 — нормальные координаты фононов в НФ и собственной сегнетоэластической фазе соответственно.

Теория тройной точки на фазовой P , T диаграмме собственных несоизмерных сегнетоэластиков рассматриваемого типа обсуждалась ранее в [13]. Здесь мы отметим лишь, что она существенно отличается от точки Лифшица собственных несоизмерных сегнетоэлектриков [16]. В частности, в собственных несоизмерных сегнетоэластиках волновой вектор модуляции k_0 и угол β между касательными к линиям ФП ПФ—НФ и НФ—сегнетоэластическая фаза в тройной точке имеют конечные значения. Что касается описания поведения упругих свойств в области несоизмерных ФП и тройной точки, то его удобно провести в рамках гармонического приближения, представив свободную энергию (1) через нормальные координаты НФ—амплитудон и фазон. Применяя далее обычную процедуру

преобразований над диагонализированным выражением свободной энергии (см., например, [17-19]), получим следующие выражения для изменений скоростей УЗВ и НФ:

$$\Delta V_i = \frac{1}{2\rho V_i} \left(-\frac{a_i^2}{2B} + b_i |Q_{k_0}|^2 \right), \quad i = 1, 2, 3, \quad (2)$$

$$\Delta V_4 = \frac{1}{2\rho V_4} \left[-\frac{f^2 |Q_{k_0}|^4}{2dk_0^2} - \frac{a^2}{A(T-T_0)} + b_4 |Q_{k_0}|^2 \right], \quad (3)$$

$$\Delta V_5 = \frac{1}{2\rho V_5} b_5 |Q_{k_0}|^2, \quad (4)$$

$$\Delta V_6 = \frac{1}{2\rho V_6} b_6 |Q_{k_0}|^2, \quad (5)$$

где ρ — плотность кристалла; $|Q_{k_0}|^2 = A_k/2B = (A_0/2B)(T_i - T)$ — равновесное значение квадрата амплитуды параметра порядка; $T_i = T_0 + g^2/4A_0h$; d — коэффициент, связывающий частоту негодстоуновского фазона ω_p с волновым вектором k_0 ($\omega_{p_2} = dk_{0_2}$ [20]).

Из уравнения (2) следует, что скорости УЗВ V_2 и V_3 должны испытывать скачкообразное уменьшение при $T = T_i$ ($\delta V_i = a_i^2/4\rho V_i B$) из-за взаимодействия УЗВ с амплитудоном. На самом деле для скоростей УЗВ V_2 и V_3 наблюдается их плавное уменьшение вблизи T_i (рис. 1, 2), что, по-видимому, связано с влиянием флуктуаций или дефектов [21]. В НФ скорости этих УЗВ квадратично зависят от амплитуды параметра порядка. Более существенные аномальные изменения скорости ΔV_2 наблюдаются вблизи ФП из ПФ в собственную сегнетоэластическую фазу вблизи T_0 ($P > P_{k_1}$), которые могут быть объяснены аналогичным путем, если в (2) учесть что, $a_2 \rightarrow a_2'$, $b_2 \rightarrow b_2'$, $Q_k^2 \rightarrow Q_0^2 = (A_0/2B)(T_0 - T)$.

В области низких давлений для скоростей поперечных УЗВ V_4 , V_5 и V_6 в соответствии с (3), (4) и (5) должно наблюдаться изменение наклона их температурных зависимостей при $T = T_i$. Для скоростей УЗВ V_4 и V_5 такая ситуация в действительности имеет место на эксперименте (рис. 4, 5). Отсутствие каких-либо особенностей в температурной зависимости V_6 вблизи T_i и T_0 указывает на малое значение коэффициентов связи b_6 и b_6' . Существенное уменьшение величины этой скорости с понижением температуры, по всей видимости, вызвано собственной сегнетоэластической природой одной из низкотемпературных фаз, характеризующейся компонентой спонтанной деформации $U_{xy} = U_6$.

Из (3) также следует, что величина скорости УЗВ V_4 при переходе в НФ может вначале увеличиваться, а затем уменьшаться за счет более быстрого возрастания первого члена в сравнении с третьим. Уменьшению V_4 также способствует сравнимый по величине с первым отрицательный вклад второго члена в (3), причем с повышением давления его роль усиливается. Это проявляется в существенном уменьшении скорости V_4 вблизи T_i при высоких давлениях, что вызвано смягчением упругого модуля C_{44} вследствие «приближения» ФП в собственную сегнетоэластическую фазу. Особенно четко такое смягчение должно проявляться в области

$T_0 (P > P_{к1})$, где аномальное уменьшение скорости УЗВ подчиняется закону Кюри—Вейса

$$\Delta V_4 = \frac{\alpha^2}{A_0 (T - T_0)} \quad (T > T_0),$$

$$\Delta V_4 = -\frac{\alpha^2}{2A_0 (T_0 - T)} \quad (T < T_0). \quad (6)$$

Полученные экспериментальные результаты качественно хорошо согласуются с (6).

Список литературы

- [1] Богуславский А. А., Лотфуллин Р. Ш., Симонов М. В., Кириленко В. В., Пахомов В. И., Михайлова А. Я. // ФТТ. 1983. Т. 27. № 2. С. 523—524.
- [2] Петров В. В., Халахан А. Ю., Пицюга В. Г., Ячменев В. Е. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 5. С. 1563—1565.
- [3] Дмитриев В. П., Юзюк Ю. И., Трегубченко А. В., Ларин Е. С., Кириленко В. В., Пахомов В. И. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 4. С. 1214—1216.
- [4] Kallayev S. N., Gladkii V. V., Kirikov V. A., Kamilov I. K. // *Ferroelectrics*. 1990. V. 106. P. 299—302.
- [5] Линде С. А., Михайлова А. Я., Пахомов В. И., Кириленко В. В., Шульга В. Г. // Координация. 1983. Т. 9. № 7. С. 998—999.
- [6] Влох О. Г., Грибик В. Г., Китык А. В., Мокрый О. М., Олексеюк И. Д., Пирого С. А. // Кристаллография. 1990. Т. 35. № 6. С. 1483—1487.
- [7] Plesko V., Kind R., Arend H. // *Phys. Stat. Sol. (a)*. 1980. V. 61. N 1. P. 87—94.
- [8] Maeda M., Honda A., Yamada N. // *J. Phys. Soc. Jap.* 1983. V. 52. N 9. P. 3219—3224.
- [9] Bruce A. D., Cowley R. A. // *J. Phys. C*. 1978. V. 11. N 10. P. 3609—3614.
- [10] Влох О. Г., Китык А. В., Мокрый О. М., Грибик В. Г. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 5. С. 1556—1560.
- [11] Влох О. Г., Китык А. В., Мокрый О. М., Кириленко В. В., Олексеюк И. Д., Пирого С. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 5. С. 312—314.
- [12] Papadakis E. P. // *J. Acoust. Soc. Am.* 1967. V. 42. N 5. P. 1045—1051.
- [13] Влох О. Г., Каминская Е. П., Китык А. В., Леванюк А. П., Мокрый О. М. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 9. С. 267—268.
- [14] Plesko S., Kind R., Arend H. // *Ferroelectrics*. 1980. V. 26. N 1/4. P. 703—706.
- [15] Nakatama H., Nakamura N., Chihara H. // *J. Phys. Soc. Jap.* 1987. V. 56. N 8. P. 2927—2934.
- [16] Высочанский Ю. М., Фурцев В. Г., Хома М. М., Грабар А. А., Гурзан М. Н., Майор М. М., Перечинский С. И., Ризак В. М., Сливка В. Ю. // ЖЭТФ. 1986. Т. 91. № 4. С. 1384—1390.
- [17] Есаян С. Х. // Препринт ЛФТИ. 1985. № 963.
- [18] Есаян С. Х. // Препринт ЛФТИ. 1985. № 964.
- [19] Rehwald W., Vonlanthen A., Kruger J. K., Wallerius R., Unruh H. G. // *J. Phys. C: Sol. State Phys.* 1980. V. 13. N 8. P. 160—167.
- [20] Hatta I., Hanami M., Hamano K. // *J. Phys. Soc. Jap.* 1980. V. 48. N 1. P. 160—167.
- [21] Смоленский Г. А., Боков В. А., Исупов В. А., Крайник Н. Н., Пасыков Р. Е., Сокалов А. И., Юшин Н. К. *Физика сегнетоэлектрических явлений*. Л.: Наука, 1985. 336 с.

Львовский государственный университет
им. И. Франко

Поступило в Редакцию
26 декабря 1991 г.