

ствия, превышающей некоторое пороговое значение. Этот эффект можно связать с формированием в сплаве микроскопических областей с механической неустойчивостью решетки, обусловленной возникновением мягких фоновых мод [8,9] в условиях, предшествующих фазовому переходу фазы $B2$ в фазу R .

Авторы выражают признательность В.А.Тараканову за разработку конструкции и электронной схемы ячейки.

Список литературы

- [1] Ruby S.L., Bolef D.I. // Phys. Rev. Lett. 1960. V. 5. N 1. P. 5-7.
- [2] Айвазян Т.М., Айвазян Ю.М., Мкртчян А.Р. // ФТТ. 1974. Т. 16. № 5. С. 1383-1385.
- [3] Мкртчян А.Р., Кочерян Л.А. / Тр. Междунар. конф. по мессбауэровской спектроскопии. Бухарест, 1977. С. 345-346.
- [4] Аракелян А.Р., Арутюнян Г.А. // Акуст. журн. 1978. Т. 24. № 3. С. 809-812.
- [5] Кубашевски О. Диаграммы состояния двойных систем на основе железа. М., 1985. 184 с.
- [6] Анохин С.В., Гришков В.Н., Лотков А.И. // Металлофизика. 1989. Т. 11. № 5. С. 44-49.
- [7] Физический энциклопедический словарь. М., 1963. Т. 3. С. 178-179.
- [8] Bruinsma R. // Phys. Rev. B. 1982. V. 25. N 4. P. 2951-2954.
- [9] Moine P., Allain J., Renker B. // J. Phys. F. 1984. V. 14. P. 2517-2529.

Сибирский физико-технический институт
им. В.Д.Кузнецова
Томск

Поступило в Редакцию
16 марта 1993 г.

© Физика твердого тела, том 35, № 8, 1993
Solid State Physics, vol. 35, N 8, 1993

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ АНОМАЛИИ ПЬЕЗООПТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В КРИСТАЛЛАХ ГЕРМАНАТА СВИНЦА

Б.Г.Мыцк, В.А.Ромашко, Я.И.Шопа

Актуальность исследований фотоупругости кристаллов обуславливается их практической направленностью, а именно использованием фотоупругих модулирующих устройств в современной оптической аппаратуре, решением задач по осуществлению оптических линий связи, практическим использованием фотоупругой динамометрии, интенсивно развиваемой в последнее время, включая датчики давления жидкостей и газов, уровне- и глубиномеры, дифференциальные манометры и др.

В настоящей работе изучен пьезооптический эффект в кристаллах германата свинца $Pb_5Ge_3O_{11}$ в широком температурном интервале, включающем в себя температуру фазового перехода (ФП).

Известно [1,2], что температурные аномалии пьезооптических коэффициентов (ПОК) $\pi_{km}^0 = -2\delta\Delta_k / (d_k\sigma_m)$ (d_k — толщина образца в направлении распространения света, σ_m — механическое напряжение), описывающих индуцированное изменение разности хода $\delta\Delta_k$ в сегнетоэлектрических кристаллах при ФП, обуславливаются как вторичным электрооптическим эффектом из-за аномальной зависимости спонтанной поляризации и соответственно спонтанного двулучепреломления от σ_m , так и аномалиями коэффициентов упругой податливости S_{km} . Упругий вклад в ко-

эфициенты π_{km}^0 дается соотношением [2]

$$\pi_{km}^0 = \pi_{km}^* - 2\Delta n_k S_{km}, \quad (1)$$

где $\pi_{km}^* = -2\delta\Delta n_k/\sigma_m$ — ПОК по двулучепреломлению, $\delta\Delta n_k$ — пьезоизменение двулучепреломления Δn_k .

Иногда упругий вклад $2\Delta n_k S_{km}$ из-за малых Δn_k и S_{km} значительно меньше π_{km}^0 , поэтому в пределах погрешности пьезооптического эксперимента ($\sim 10\%$) справедливым является равенство $\pi_{km}^0 = \pi_{km}^*$. В таких случаях вкладом аномалий S_{km} в аномалии коэффициентов π_{km}^0 тоже можно пренебречь. Тогда аномалия π_{km}^0 в области ФП формируется только за счет вклада вторичного электрооптического эффекта, который проявляется в чистом виде. Это характерно, в частности, для кристаллов барий-стронциевого ниобата [3], где вклад упругости в π_{km}^0 составляет $\leq 3\%$ от величины π_{km}^0 , а также для изученного в настоящей работе кристалла германата свинца $Pb_5Ge_3O_{11}$. Для последнего упругий вклад составляет 4.5% от π_{12}^0 и 1.2% от π_{13}^0 . Рассчитано при использовании известных значений двулучепреломления $\Delta n_1 = \Delta n_2 = 0.035$ [4], коэффициентов упругой податливости $S_{12} = -6.4 \cdot 10^{-12}$ м²/Н, $S_{13} = -2.2 \cdot 10^{-12}$ м²/Н [5] и измеренных в настоящей работе коэффициентов π_{km}^0 : $\pi_{12}^0 = 9.4$, $\pi_{13}^0 = 14.1$, $\pi_{31}^0 = 5.0$ Бр; 1 Бр (Брюстер) = 10^{-12} м²/Н. Для коэффициента π_{31}^0 упругий вклад равен нулю, так как $\Delta n_3 = 0$.

Перечисленные ПОК $\pi_{12}^0 = \pi_{21}^0$, $\pi_{13}^0 = \pi_{23}^0$ и $\pi_{31}^0 = \pi_{32}^0$ представляют собой полный набор независимых главных коэффициентов π_{km}^0 поперечного ПОЭ для кристаллов $Pb_5Ge_3O_{11}$, принадлежащих к классу симметрии 3 (для главных ПОК индексы k, m , обозначающие направления распространения света и действия давления, принимают значения 1, 2, 3).

На рис. 1 приведены температурные зависимости коэффициентов π_{12}^0 и π_{13}^0 , определенные методом полуволновых напряжений [6]. Видим, что величины аномалий ПОК в области ФП небольшие и составляют $\sim 7 \div 10\%$ от величин ПОК в параэлектрической фазе. Проведен также расчет аномальных частей зависимостей $\pi_{km}^0(T)$ на основе известного соотношения [7]

$$\delta\pi_{km}^0 = -\frac{2}{d_k} \frac{dT_c}{d\sigma_m} \frac{d\Delta_k^{cn}}{dT}, \quad (2)$$

где Δ_k^{cn} — спонтанная разность хода; $d\Delta_k^{cn}/dT$ — температурная производная спонтанной разности хода, определяемая как отношение отрезков Δ_k^{cn} и температурного интервала ΔT , отсекаемых касательной к зависимости $\Delta_k^{cn}(T)$ в конкретной температурной точке.

Для кристаллов $Pb_5Ge_3O_{11}$ зависимость спонтанной разности хода, отнесенной к единице длины образца в направлении распространения света $d_1^{-1}\Delta_1^{cn}(T) = d_2^{-1}\Delta_2^{cn}(T)$ (вставка на рис. 2), определена из температурных изменений разности хода $\delta\Delta_1(T)$ (рис. 2) как разность между измеренными значениями $\delta\Delta_1$ в сегнетоэлектрической фазе и их значениями, экстраполированными из параэлектрической фазы. Зависимости $\delta\Delta_1(T) = \delta\Delta_2(T)$ при $\sigma_m=0$ и $\sigma_m \neq 0$ определены методом регистрации экстремумов поляризационно-оптической зависимости интенсивности света

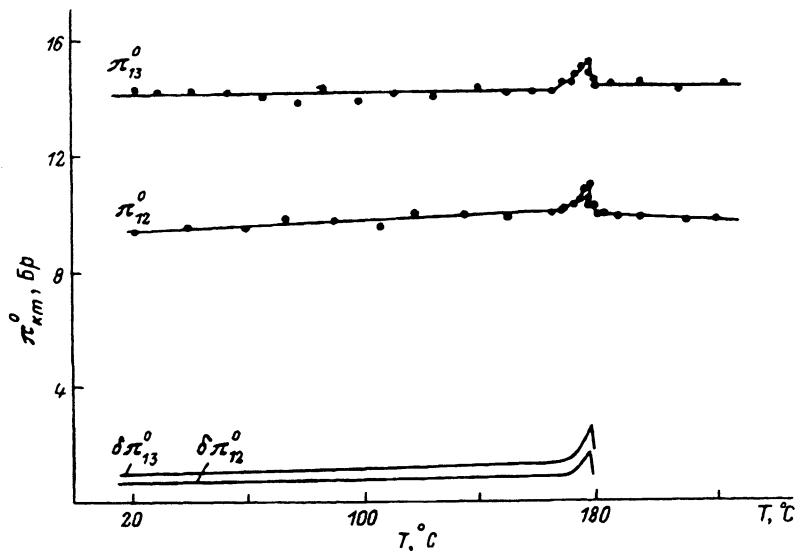


Рис. 1. Экспериментальные зависимости коэффициентов π_{km}^0 от температуры и рассчитанные их аномальные части $\delta\pi_{km}^0$.

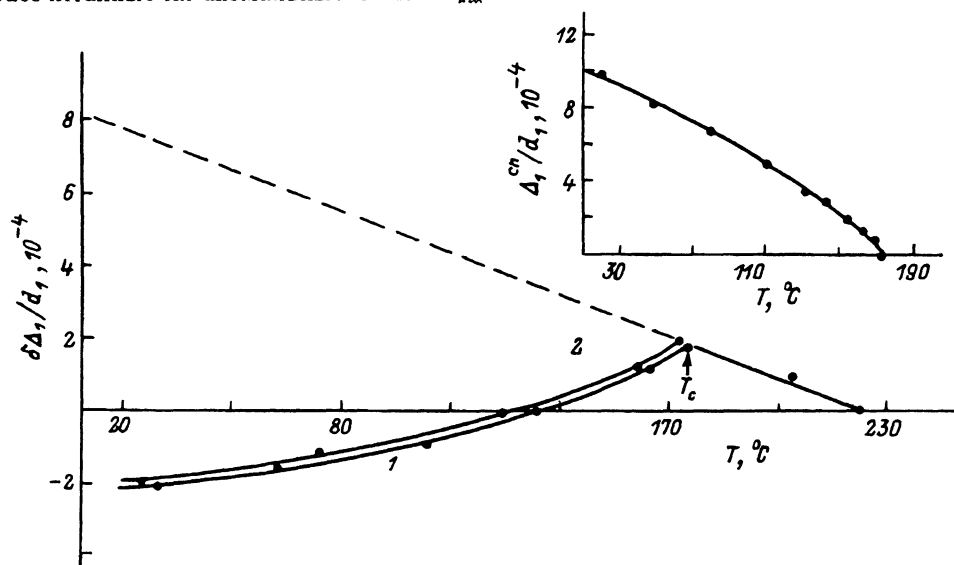


Рис. 2. Примеры зависимостей $d_k^{-1}\delta\Delta_k(T)$ при $\sigma_m = 0$ и $\sigma_m \neq 0$.

$\sigma_3 = 0$ (1), 100 kg/cm^2 (2). На вставке — температурная зависимость спонтанной разности хода, отнесенной к единице длины образца.

от температуры [8]. На зависимостях $\delta\Delta_k(T)$ при $\sigma_m = 0$ и $\sigma_m \neq 0$ хорошо проявляется температура фазового перехода T_c , при которой происходит инверсия знака температурного изменения разности хода. Это позволило на основе измеренного смещения температуры ФП при действии σ_m определить коэффициенты пьезосмещения T_c при действии напряжений сжатия

$$dT_c/d\sigma_1 = dT_c/d\sigma_2 = -15.0,$$

$$dT_c/d\sigma_3 = +18.5 \text{ (в град/кбар} = 10^{-2} \text{ град/МПа).}$$

На основе соотношения (2), используя приведенные значения коэффициентов $dT_c/d\sigma_m$ и определенные из температурных зависимостей спонтанных разностей хода величины $d_1^{-1}d\Delta_1^n/dT \equiv d_2^{-1}d\Delta_2^n/dT$, мы рассчитали аномальные вклады в ПОК $\delta\pi_{12}^0(T)$ и $\delta\pi_{13}^0(T)$ (рис. 1). Перемещение зависимостей $\delta\pi_{12}^0(T)$ и $\delta\pi_{13}^0(T)$ вдоль оси ординат приводит к совмещению (в пределах погрешности эксперимента) с зависимостями $\pi_{12}^0(T)$ и $\pi_{13}^0(T)$, полученными экспериментально. Это подтверждает справедливость соотношения (2) и соответственно предложенного в [7] подхода к описанию аномалий ПОК, основанного на пьезоизменении спонтанных разностей хода и двулучепреломления за счет смещения температуры ФП, индуцированного механическим напряжением.

Что касается температурного поведения коэффициента $\pi_{31}^0 = \pi_{32}^0$, описывающего пьезооптический эффект при распространении света вдоль оптической оси X_3 , то легко обосновать отсутствие температурных аномалий в области ФП. А именно симметрия кристаллов $Pb_5Ge_3O_{11}$ при переходе из параэлектрической в сегнетоэлектрическую фазу изменяется из класса $\bar{6}$ в класс 3, т.е. кристалл остается оптически одноосным. Поэтому $\Delta n_3 = \Delta n_3^n = \delta\Delta_3^n = 0$ и в соответствии с (2) $\delta\pi_{31}^0 = \delta\pi_{32}^0 = 0$.

Отметим, что соотношение (2) получено в [7] в предположении неизменности формы $\Delta_k^n(T)$ при действии σ_m . Для кристаллов $Pb_5Ge_3O_{11}$ это предположение подтверждено в настоящей работе при действии механических напряжений σ_1, σ_2 и σ_3 ($\sim 100 \text{ кг/см}^2$) и продемонстрировано на рис. 2 для σ_m , действующего вдоль оптической оси.

Таким образом, в работе определена слабая зависимость ПОК кристаллов германата свинца от температуры, включая область ФП. Поэтому исследованный материал, учитывая его хорошие прочностно-механические свойства и оптическое качество, а также технологичность выращивания монокристаллов больших размеров, может быть рекомендован для использования в устройствах, работающих по принципу фотоупругого изменения двулучепреломления и разности хода в широком диапазоне температур.

Список литературы

- [1] Романюк Н.А., Мыцык Б.Г., Варикаш В.М. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 6. С. 1670–1674.
- [2] Мыцык Б.Г., Карнаух В.М., Остапюк В.В., Скаб И.П. Оптика анизотропных сред. М., 1987. С. 149–151.
- [3] Мыцык Б.Г., Ромашко В.А., Сеглиньш Я.А. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 10. С. 2857–2860.
- [4] Iwasaki H., Miyasawa J., Koisumi H. et al. // J. Appl. Phys. 1972. V. 43. N 12. P. 4907–4914.
- [5] Блистанов А.А., Бондаренко В.С., Переломова Н.В. и др. Акустические кристаллы / Под ред. М.П. Шаскольской. М., 1982. 632 с.
- [6] Сонин А.С., Василевская А.С. Электрооптические кристаллы. М., 1971. 328 с.
- [7] Мыцык Б.Г. Оптика анизотропных сред. М., 1988. С. 99–102.
- [8] Мыцык Б.Г., Романюк Н.А. // Зав. лаб. 1982. Т. 48. № 6. С. 48–50.

Государственный
научно-исследовательский институт
прикладной акустики
Львов

Поступило в Редакцию
25 сентября 1992 г.
В окончательной редакции
26 марта 1993 г.