

Сравнение результатов, рассчитанных по этим формулам, с результатами точных расчетов на ЭВМ показывает их хорошее соответствие (рис. 2). С увеличением количества слоев в зеркалах точность полученных здесь формул, естественно, возрастает.

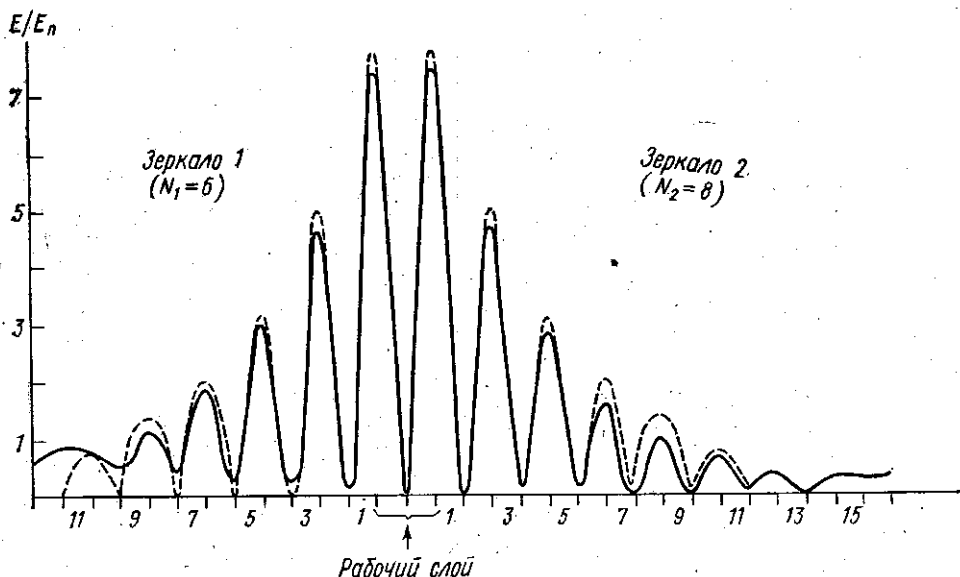


Рис. 2. Распределение поля в слоях МИП с параметрами $\hat{n}_1=2,25+i \cdot 10^{-3}$, $\hat{n}_2=1,45+i \cdot 7 \cdot 10^{-4}$, $\hat{n}=2,25+i \cdot 2 \cdot 10^{-3}$, $n_0=1$, $n_i=1,5$. Сплошная кривая — точный расчет, пунктирная — по приближенным формулам (E_n — амплитуда падающей волны)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Козарь А. В., Колесников В. С., Пирогов Ю. А. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1978, 19, № 1, с. 78. [2] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973, с. 66. [3] Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973. [4] Joseph H. Apfel. Appl. Opt., 1976, 15, N 10, p. 2339. [5] Пирогов Ю. А., Тихонравов А. В. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1978, 19, № 6, с. 42.

Поступила в редакцию
04.11.82

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1983, Т. 24, № 4

УДК 548.0 : 536.4

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ МЕДИ И АЛАНИНА С МЕДЬЮ НА ТЕПЛОЕМКОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА

В. А. Федорихин, С. А. Тараскин, Б. А. Струков

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

В работе [1] приведены результаты исследования влияния примесей Cr^{3+} , L - α -аланина и $\text{Cr}^{3+}+L$ - α -аланина на теплоемкость кристаллов ТГС.

В настоящей работе приводятся результаты измерения температурной зависимости теплоемкости кристаллов ТГС с примесью Cu^{2+} и комплексной примесью $\text{Cu}^{2+}+L$ - α -аланина ($\text{ATGC}+\text{Cu}^{2+}$) в интервале температур 240—350 К. Монокристаллы чистого ТГС и с примесями

L-α-аланина были оптически однородными, а с примесями меди имели слабую оптическую неоднородность.

Методика подготовки образцов, проведения калориметрических и диэлектрических измерений, оценка точности эксперимента изложены в работе [1]. Температурная зависимость теплоемкости и некоторые характеристики чистого кристалла ТГС (таблица) взяты из работы [1].

Температурные зависимости теплоемкости чистого и примесных кристаллов ТГС в интервале температур 240—350 К представлены на рис. 1. Видно, что введение примеси «размывает» фазовый переход, снижая максимальное значение теплоемкости в точке фазового перехода T_c , и приводит к появлению аномальной теплоемкости в параэлектрической фазе. Кроме того, отмечается изменение величины регулярной

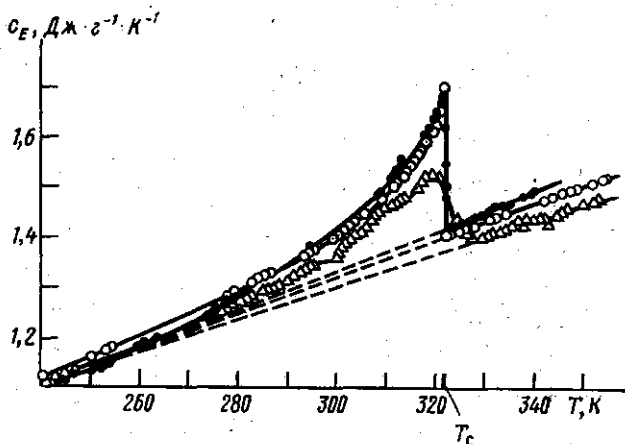


Рис. 1. Температурные зависимости теплоемкости чистого [1] и примесных кристаллов ТГС в области температур 240—350 К: \circ — чистый, \bullet — ТГС+Cu²⁺, \triangle — АТГС+Cu²⁺; пунктир — решеточные теплоемкости

части теплоемкости — изменение угла наклона $dc_{\text{пер}}/dT$. Зависимость теплоемкости при постоянном поле $c_E(T)$ для кристалла АТГС+Cu²⁺ в области сегнетоэлектрической фазы проявляет «волнообразный» характер изменения.

Размытие фазового перехода в примесных кристаллах особенно заметно на рис. 2, где представлены температурные зависимости аномальной части теплоемкости $\Delta c = c_E - c_{\text{пер}}$ в интервале температур 305—335 К. Видно, что аномальная часть теплоемкости кристалла АТГС+Cu²⁺ наблюдается также в интервале температур $T \sim T_c + 12$ К. При этом скачок аномальной части теплоемкости в точке T_c уменьшается до 0,16 Дж·г⁻¹·К⁻¹. В таблице приведены сравнительные данные для кристаллов ТГС, содержащих определенные примеси различного типа: величины максимального изменения аномальной части теплоемкости Δc ; избыточные энергии фазового перехода ΔQ ; температуры, соответствующие максимуму теплоемкости $T_{E_{cm}}$ и рассчитанные по

формулам [4], а также определенные из зависимостей диэлектрической проницаемости $\epsilon_{22}^{-1}(T)$; величины углов наклона $dc_{\text{пер}}/dT$; величины эквивалентных смещающих полей E_{cm} , вызывающих искажения зависимостей $\Delta c(T)$, сходные с влиянием примеси.

Подчеркнем следующее обстоятельство. Введение в кристалл ТГС отдельно входящих примесей различного типа: Cu²⁺, Cr³⁺ или L-α-аланина [1] приводит к незначительному искажению температурной зависимости теплоемкости в области T_c , не сопровождающемуся заметным в эксперименте изменением избыточной энергии фазового перехода ΔQ . Однако комплексная примесь Cu²⁺+L-α-аланин или

Характеристики исследованных кристаллов

Кристалл	$\Delta c, \frac{\text{Дж}}{\text{г}} \times \frac{1}{\text{K}}$	$\Delta Q, \frac{\text{Дж}}{\text{г}}$	T_{cE}^* , К	T_{cE}^t (расчет), К	T_c из $\epsilon_{22}^{-1}(T)$, К	$\frac{dc_{\text{рег}}}{dT} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot \text{K}^2} \cdot 10^3$	$E_{\text{см}}$ (расчет), кВ/см	Тип примесей
ТГС чистый, выращенный в параэлектрической фазе	0,29	5,0	322,2	322,2	322,2	3,6	0	—
ТГС: Cu^{2+} 0,02% примеси	0,26	5,0	321,8	321,8	322,2	4,0	0,1	внедрение
АТГС + Cu^{2+} , 0,01% — L- α -аланина и 0,02% Cu^{2+}	0,16	4,5	320,0	321,0	324,3	3,3	12	замещение и внедрение

Cu^{2+} + L- α -аланин [1] уменьшают ΔQ соответственно до 4,5 или 3,5 Дж/г по сравнению с 5,0 Дж/г для чистого ТГС. Это свидетельствует о том, что в кристалле с комплексной примесью гораздо большая часть сегнетоактивных диполей, определяющих аномальную теплоемкость в полярной фазе, оказывается исключенной из процессов пе-

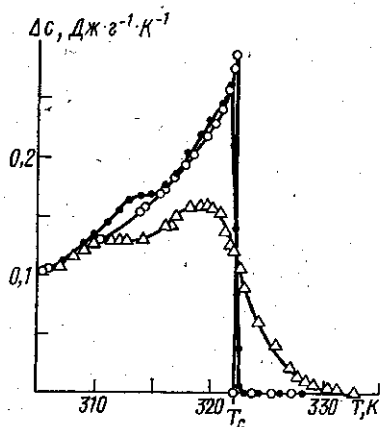


Рис. 2. Температурные зависимости аномальной части теплоемкости чистого [1] и примесных кристаллов ТГС в области температур 305—335 К. Обозначения те же, что на рис. 1

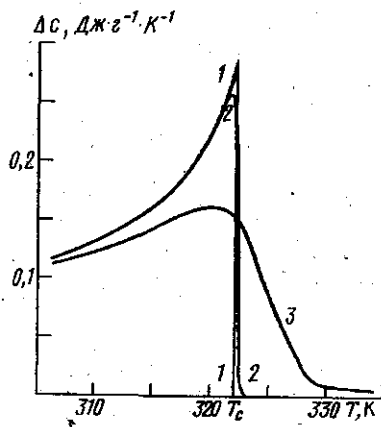


Рис. 3. Теоретические температурные зависимости избыточной теплоемкости кристаллов ТГС во внешних электрических полях: $E = 0$ (1); 0,1 (2) и 12 (3) кВ/см

реориентации. В этой связи отметим, что отсутствие заметных в эксперименте изменений ΔQ в кристалле АТГС может быть объяснено [2] возможностью замещения асимметричной молекулой L- α -аланина молекул глицина-II или III, не ассоциируемых с элементарным сегнетоактивным диполем. Полученные данные по теплоемкости примесных кристаллов качественно коррелируют с результатами пьезоэлектрических измерений, проведенных на этих же кристаллах [3]. Однако интервал температур выше T_c , где проявляется пьезоактивность на кристаллах с комплексной примесью (до 370 К), значительно превышает область температур, где еще существует аномальная теплоемкость (до

330 К). Отмеченное выше «волнообразное» изменение зависимости $c_E(T)$ кристалла АТГС+Cu²⁺ в сегнетофазе связано, на наш взгляд, с неоднородностью вхождения примеси Cu²⁺ в кристалл ТГС.

Изменение угла наклона $dc_{\text{пер}}/dT$ в примесных кристаллах ТГС мы интерпретируем как изменение ангармонизма решеточных колебаний при введении в кристалл примесей в процессе роста.

По формулам работы [1] мы оценили степень влияния примесей Cu²⁺ и Cu²⁺+L-α-аланина на зависимости $c(T)$ с использованием феноменологической теории [4] в предположении эквивалентности внутрикристаллических полей смещения, обусловленных введением примесей, и внешних электрических полей. Полученные теоретические зависимости $c(T)$ представлены на рис. 3, а параметры, их характеризующие, — в таблице. Количественное совпадение эксперимента с теорией получается только для кристалла ТГС+Cu²⁺. Зависимость $c(T)$ кристалла АТГС+Cu²⁺ не описывается теорией [4], ибо в этом случае отмечается заметное уменьшение избыточной энергии фазового перехода, связанное с образованием несегнетоактивных диполей.

В заключение отметим, что полученные результаты позволили получить некоторые важные количественные характеристики кристалла ТГС, содержащего примеси Cu²⁺ и Cu²⁺+L-α-аланина: скачок аномальной части теплоемкости в T_c и избыточную энергию фазового перехода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Федорихин В. А. и др. ФТТ, 1980, 22, с. 3544. [2] Тарасевич Е. В. Канд. дис. Минск, 1980. [3] Novik V. K., Gavrilova N. D. Ferroelectrics, 1981, 34, N 1—2, p. 301. [4] Тараскин С. А., Струков Б. А., Мелешина В. А. ФТТ, 1970, 12, с. 1387.

Поступила в редакцию
12.11.82

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1983, Т. 24, № 4

УДК 621.372.8.001.24

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА АНОМАЛЬНО МАЛОГО ЗАТУХАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛН ПЛОСКОГО ГРЕБЕНЧАТОГО ВОЛНОВОДА

В. П. Моденов, А. В. Магатаев

(кафедра математики)

Одним из замечательных свойств гребенчатых волноводов является эффект аномально малого затухания некоторых типов нормальных волн при определенных соотношениях между геометрическими параметрами и длиной волны. Этот эффект был обнаружен экспериментально [1] и исследован численно с помощью ЭВМ в случае круглого [2—4] и прямоугольного [5] гофрированных волноводов, а также аналитически исследован в работе [6] для случая E_{0n} -волн в плоском гребенчатом и H_{mn} -волн в азимутально-гофрированном волноводах. В работе [6] аналитическое исследование затухания электрических волн в плоском гребенчатом волноводе выполнено на основе использования эквивалентного граничного условия импедансного типа и анализа дисперсионного уравнения для поперечных волновых комплексных чисел.

Цель данной работы — численным экспериментом на ЭВМ подтвердить выводы аналитической теории [6] о существовании у рассматриваемых нормальных волн режимов аномально малого затухания.