

время такие концентрации избыточных электронов, по-видимому, достижимы (см., напр., [6—8]). В этом случае нелинейная оптическая спектроскопия могла бы стать средством для исследования динамических свойств электронных полостей в гелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ахманов С. А., Коротеев Н. И. Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света. М., 1981. [2] Celli V., Cohen M. H., Zuckerman M. J. // Phys. Rev. 1968. 173. P. 253. [3] Руденко О. В., Солуян С. И. Теоретические основы нелинейной акустики. М., 1975. [4] Edwards M. H. // Can. J. Phys. 1958. 36. P. 884. [5] Winterling G., Walda G., Heinicke W. // Phys. Lett. 1968. 26A. P. 301. [6] Фомин И. А. // Письма в ЖЭТФ. 1967. 6. С. 715. [7] Fetter A. L. // The Physics of Liquid and Solid Helium/Ed. by K. H. Benneman and J. B. Ketterson. N. Y., 1978. Part 1. P. 301. [8] Fowler W. B. // Phys. Rev. 1968. 176. P. 337.

Поступила в редакцию
28.07.88

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 3

АКУСТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

УДК 537.226.33:534.13

ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМУМА ПОГЛОЩЕНИЯ ЗВУКА ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ В СЕГНЕТОВОЙ СОЛИ

С. В. Павлов

(кафедра физики кристаллов)

Показано, что для релаксационного механизма поглощения звука в сегнетовой соли, учитывающего пьезоэлектрическую связь поляризации с деформацией упругой волны, частотная зависимость максимума поглощения в верхней точке Кюри удовлетворительно описывается моделью Девошира.

Теория релаксационного поглощения звука в сегнетовой соли при фазовых переходах была развита в работе И. А. Яковлева и Т. С. Величкиной [1]. В основу теории положена работа Л. Д. Ландау и И. М. Халатникова [2] и предположение о пьезоэлектрической связи поляризации кристалла с деформацией упругой волны. В сегнетовой соли пьезоэлектрический тип связи характерен для поперечной волны, распространяющейся по оси Z и поляризованной по оси Y кристалла, и квазипродольной волны, распространяющейся по направлению $[011]$ в кристалле. Выражение для релаксационного поглощения звука в сегнетовой соли, полученное в [1], имеет следующий вид:

$$\alpha = \frac{A(\omega\tau)^2}{1 + (\omega\tau)^2}, \quad (1)$$

где A — величина, зависящая от материальных констант кристалла, ω — циклическая частота, $\tau = \tau_0/(T - T_c)$ — время релаксации, T_c — температура фазового перехода.

Из (1), в частности, следует, что максимальное поглощение звука должно наблюдаться при температуре T_c , когда $\omega\tau \rightarrow \infty$, и не должно зависеть от частоты: $\alpha_{\max} = A$. В работе [3] исследована частотная зависимость поглощения поперечных волн, распространяющихся вдоль оси Z и поляризованных по Y в сегнетовой соли вблизи верхней точки Кюри на частотах 5—15 МГц. Оказалось, что в этом частотном интервале величина максимума поглощения ультразвука не зависит от частоты. Однако в работах [4—6], где изучались квазипродольные волны в сегнетовой соли, распространяющиеся по направлению $[011]$ на частотах от 7 до 120 МГц, максимальное поглощение оказалось зависящим от частоты. Поэтому цель настоящей работы — объяснить, почему для двух различных типов волн, описываемых одним и тем же релаксационным механизмом, коэффициент поглощения в точке фазового перехода в одном случае не зависит, а в другом — зависит от частоты.

Принимая во внимание экспериментальные факты о наличии у сегнетовой соли двух подрешеток [7], рассмотрим в качестве феноменологической модели описания физических свойств сегнетовой соли модель полярных коллинеарных взаимодействующих подрешеток — модель Девоншира [8]. Разложение термодинамического потенциала Девоншира имеет следующий вид [8]:

$$\Phi = \Phi_0 + \frac{1}{2} a \xi^2 + \frac{1}{2} b \eta^2 + \frac{1}{4} (c \xi^4 + 2k \xi^2 \eta^2 + f \eta^4), \quad (2)$$

где $\xi = P_1 + P_2$, $\eta = P_1 - P_2$ — параметры порядка, P_1 и P_2 — поляризации подрешеток, a , b , c , f и k — коэффициенты при второй и четвертой степенях параметра порядка, причем $c > 0$, $f > 0$. Для коэффициентов a и b предполагается простейший вид температурной зависимости: $a = a'(T - T_1)$, $b = b'(T - T_2)$.

Разложение (2) допускает четыре устойчивых решения. 1. Параэлектрическая фаза: $\xi = 0$, $\eta = 0$, $P_1 = P_2 = 0$. 2. Сегнетоэлектрическая фаза: $\xi \neq 0$, $\eta = 0$, $P_1 = P_2 \neq 0$. 3. «Смешанная» сегнетоэлектрическая фаза: $\xi \neq 0$, $\eta \neq 0$, $P_1 \neq P_2 \neq 0$. 4. Антисегнетоэлектрическая фаза: $\xi = 0$, $\eta \neq 0$, $P_1 = -P_2 \neq 0$.

В работе [9] рассмотрены диэлектрические свойства чистой и примесной сегнетовой соли в рамках модели Девоншира, а расчет релаксационного поглощения звука по этой модели с учетом пьезоэлектрической связи между поляризациями подрешеток и деформацией упругой волны приведен в [10]. Поскольку в сегнетовой соли две подрешетки, механизм поглощения звука имеет два времени релаксации и коэффициент поглощения звука вблизи верхней точки Кюри имеет следующий вид [10]:

$$\alpha = \frac{A_1 (\omega \tau_1)^2}{1 + (\omega \tau_1)^2} + \frac{A_2 (\omega \tau_2)^2}{1 + (\omega \tau_2)^2}, \quad (3)$$

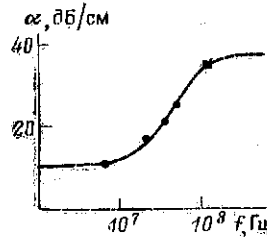
где $A_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho}{s_{44}}} (g_{14}^{(i)})^2 \gamma_i$, $i = 1, 2$, ρ — плотность сегнетовой соли, $g_{14}^{(i)}$ и γ_i — пьезоэлектрические и кинетические коэффициенты подрешеток, s_{44} — модуль упругости, $\tau_1 = 1/(\gamma_1 a)$, $\tau_2 = 1/(\gamma_2 b)$ — времена релаксации в парафазе, $\tau_1 = -1/(2\gamma_1 a)$, $\tau_2 = 1/(\gamma_2 (a - kb))$ — в сегнетофазе.

Как следует из (2), переход из пара- в сегнетофазу происходит при температуре T_1 [10], следовательно, величина максимума коэффициента поглощения в верхней точке Кюри получается из (3) при $a = 0$:

$$\alpha_{\max} = A_1 + \frac{A_2 (\omega \tau_2)^2}{1 + (\omega \tau_2)^2}. \quad (4)$$

Как легко видеть из (4), величина α_{\max} зависит от частоты. Коэффициенты A_1 и A_2 , как следует из (3), являются функциями только материальных констант кристалла, а $\tau_2 = \tau_{02}/(T - T_2)$, причем τ_{02} также зависит только от материальных кон-

Частотная зависимость α_{\max} в сегнетовой соли для квазипродольной волны: кружки — данные [5], квадрат — данные [6], кривая — теоретическая зависимость по формуле (4)



стант кристалла, а $T_2 = 11^\circ \text{C}$ [9]. Асимптотическое поведение функции (4) таково, что при $\omega \tau_2 \rightarrow 0$ $\alpha_{\max} = A_1$, при $\omega \tau_2 \rightarrow \infty$ $\alpha_{\max} = A_1 + A_2$, т. е. в обоих предельных случаях величина α_{\max} не зависит от частоты. С другой стороны, сильная зависимость α_{\max} от частоты должна быть в диапазоне частот, где $\omega \tau_2 \sim 1$. Следовательно, то, что α_{\max} для квазипродольных волн в сегнетовой соли зависит от частоты, обусловлено, по-видимому, тем, что диапазон частот 10—100 МГц находится в интервале, где $\omega \tau_2 \sim 1$, а независимость от частоты поглощения поперечных волн можно объяснить тем, что для частот 5—15 МГц для этой моды $\omega \tau_2 \rightarrow 0$ либо $\omega \tau_2 \rightarrow \infty$. В какой именно диапазон попадает поперечная мода, установить трудно из-за от-

сутствия экспериментальных данных о значениях α_{\max} для этой моды в широком интервале частот.

Экспериментальные данные о α_{\max} квазипродольной моды в сегнетовой соли из работ [5, 6] приведены на рисунке. Там же изображена теоретическая кривая, построенная по формуле (4) со значениями параметров $A_1=10,4$ дБ·см⁻¹, $A_2=27,4$ дБ·см⁻¹, $\tau_{02}=4,77 \cdot 10^{-9}$ с·К. Отметим, что данные работы Прайса [4], у которого $\alpha_{\max}=3$ дБ·см⁻¹ на частоте 10 МГц, не описываются в рамках данной теоретической зависимости.

Из сказанного следует, что частотная зависимость максимума релаксационного поглощения звука в сегнетовой соли как для продольной, так и для поперечной волны удовлетворительно описывается в рамках феноменологической модели коллинеарных подрешеток Девоншира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Яковлев И. А., Величкина Т. С. // УФН. 1957. 63, № 2. С. 411.
- [2] Ландау Л. Д., Халатников И. М. // ДАН СССР. 1954. 96, № 3—4. С. 469.
- [3] Баранский К. Н., Шустин О. А., Величкина Т. С., Яковлев И. А. // ЖЭТФ. 1962. 43, № 8. С. 730. [4] Price W. J. // Phys. Rev. 1949. 75, N 6. P. 946.
- [5] Kawashima R., Tatsuzaki I. // J. Phys. Soc. Japan. 1977. 42, N 2. P. 564.
- [6] Баранский К. Н., Павлов С. В., Фомин А. Е., Яковлев И. А. // X Всесоюз. акуст. конф. Доклады. Секция В. М., 1983. С. 39. [7] Miller N. C., Casabella P. A. // Phys. Rev. 1966. 152, N 1. P. 228. [8] Devonshire A. F. // Adv. in Phys. 1954. 3, N 10. P. 86. [9] Павлов С. В. Дел. ВИНТИ № 4493-B88. М., 1988.
- [10] Павлов С. В. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1988. 29, № 4. С. 67.

Поступила в редакцию
30.09.88

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 3

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 539.293:538

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ ИОНОВ Mn ИОНАМИ Co НА МАГНИТОСТРИКЦИЮ МАНГАНИТОВ

Е. П. Свирина, Л. П. Шляхина, А. А. Осмоналиева, М. М. Лукина

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

Впервые измерена магнитострикция в манганитах. Установлено, что замещение ионов Mn ионами Co приводит к изменению знака магнитострикции, сильному возрастанию ее абсолютной величины. При этом экспериментальные данные не описываются кривой, соответствующей одноионному механизму.

В манганитах $La_{0,6}Pb_{0,4}MnO_3$ с частичным замещением ионов Mn ионами 3d-металлов (Fe, Co, Ni) существует сильная взаимосвязь между электрическими и магнитными свойствами. Например, имеют место переход металл — полупроводник в районе температуры Кюри, а также аномалии в температурной и полевой зависимостях кинетических эффектов [1—4].

Известно, что изменение магнитного порядка в магнитоупорядоченных веществах сопровождается магнитострикционными явлениями, которые могут оказывать существенное влияние на кинетические эффекты и приводить к появлению аномалий теплового линейного расширения. Однако до настоящего времени магнитострикция и тепловое линейное расширение манганитов не исследовались.

В нашей работе ставилась задача изучения магнитострикции в манганитах в зависимости от состава, температуры и величины магнитного поля с целью выяснения физической природы магнитострикции в этих материалах и ее влияния на кинетические эффекты и тепловое линейное расширение.

Исследования проводились на монокристаллах $La_{0,8}Pb_{0,4}Mn_{1-y}Co_yO_3$ при $y=0; 0,05; 0,8; 0,12; 0,26; 0,46$.

Замещение ионов Mn ионами Co представляет особый интерес, поскольку, как известно, в некоторых оксидных соединениях введение ионов Co сильно влияет на магнитную анизотропию и магнитострикцию [5].