

ЧАСТОТНЫЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГЛОЩЕНИЯ ПЬЕЗОАКТИВНЫХ ВОЛН В ϵ -GaSe

Г. И. АБУТАЛЫБОВ, С. З. ДЖАФАРОВА, *Н. А. РАГИМОВА

Институт физики НАН Азербайджана

AZ 1143, Баку, ул. Г.Джавида 33

*Бакинский Государственный Университет

AZ 1073, Баку, ул. З. Халилова, 23

ϵ -GaSe monokristallarında tezliyin (30 – 700 MHz) və temperaturun (77 – 300 K) geniş dəyişmə intervalında müxtəlif polarlaşmalı akustik dalğaların yayılma sürəti və udma əmsalı təyin edilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, laylar istiqamətində yayılan hər iki tip dalğalar (L_{\perp} və FT_{\perp}) üçün udmanın tezlik xarakteristikaları alçaqtezlikli səsın kristallarda udulma nəzəriyyəsinin müddəalarından kifayət gədər fərglənilir. Bir-birindən asılı olmayan üç ikinci tərtib elastiklik əmsalı və onların temperatur əmsalları təyin edilmişdir.

Проведены измерения коэффициента поглощения и скорости распространения акустических волн различной поляризации в ϵ -GaSe в широком интервале частот (30 – 700 МГц) и температур (78 – 300 К). Обнаружено, что для обоих типов волн L_{\perp} и FT_{\perp} , распространяющихся вдоль слоев, частотные характеристики поглощения значительно отличаются от предсказываемых теорией для поглощения низкочастотного звука в кристаллах. Определены три независимых модуля упругости второго порядка и их температурные коэффициенты.

The results of investigation of the absorption coefficient and propagation velocity for acoustic waves with different polarization in wide temperature (78 – 300 K) and frequency (30 – 700 MHz) intervals in ϵ -GaSe allowed us to find significant deviation in the frequency characteristics of absorption of waves (L_{\perp} и FT_{\perp}) propagating along the layers from theoretical predictions for absorption of low-frequency sound in crystals, and to determine second-order elastic module with their temperature coefficients.

Поглощение акустических волн в ϵ -GaSe исследовалось в широком диапазоне частот 30-800 МГц и температур 78-300 К. Затухание волн T_{\parallel} и ST_{\perp} было большим и волны не наблюдались. Поглощение не пьезоактивной волны L_{\parallel} определяется ее взаимодействием с тепловыми модами кристаллической решетки, причем во всем исследованном частотном диапазоне $\omega\tau \ll 1$, т.к. время релаксации фононной системы, определенное из данных по теплопроводности мало $3 \cdot 10^{-12}$ с, что соответствует частоте 40 ГГц, при которой возможен переход к механизму поглощения по Ландау-Румеру [1]

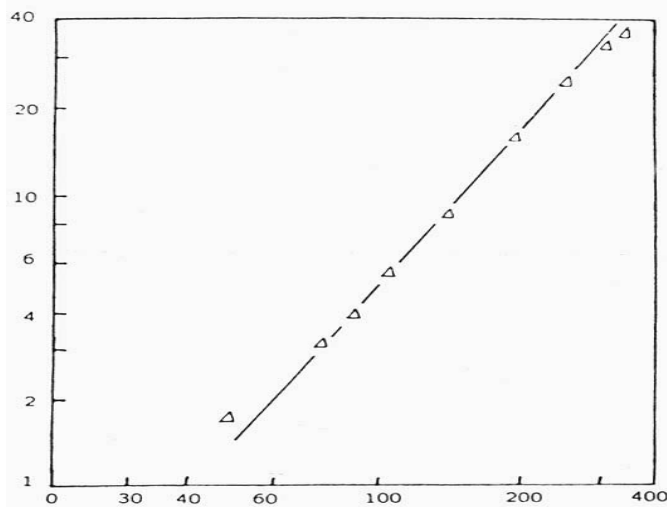


Рис. 1 Частотная зависимость α волны L_{\parallel} в ϵ -GaSe при 293 К.

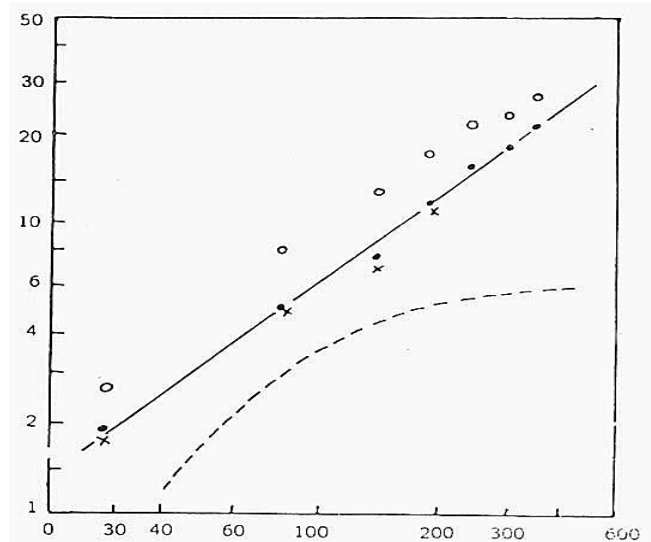


Рис. 2 Частотные зависимости α волны FT_{\perp} в ϵ -GaSe при 293 К.
1. $\alpha_{\text{эксп}}$ 2. $\alpha_{\text{эл}}$ 3. $\alpha_{\text{реш}}$ 4. $\alpha_{\text{эксп}}$ (90К)

Частотная зависимость коэффициента поглощения (α) волны L_{\parallel} близка к квадратичной (рис.1), температурная зависимость слабая (рис.2), что соответствует механизму поглощения по Ахиезеру [2], однако экспериментальные значения коэффициента поглощения значительно превосходят теоретические оценки:

$$\alpha_{\text{реш}} = 4.34 \frac{C_V \tau \bar{\gamma}^2 \omega^2 T}{\rho v^2} \quad [\text{Дб/см}] \quad (1)$$

где C_V - теплоемкость, τ - время релаксации фононов по импульсу, $\bar{\gamma}$ - эффективная постоянная Грюнайзена, учитывающая ангармонизм среды [2]:

$$\bar{\gamma} = 3B\alpha_0 / C_p$$

где B - объемный модуль упругости, C_p - удельная теплоемкость единицы объема, α_0 - коэффициент теплового расширения.

Так, например, на частоте 200 МГц $\alpha_{\text{экс}} = 17$ Дб/см, в то время как оценка по (1) с использованием $\bar{\gamma} = 0.95$, полученные из данных по тепловому расширению, дает $\alpha_{\text{теор}} = 1.6$ Дб/см.

При анализе поглощения пьезоактивных волн L_{\perp} и FT_{\perp} необходимо учитывать вклад в поглощение $\alpha_{\text{эл}}$, обусловленной свободными носителями заряда. Величина этого вклада оценивалась по формуле [3]:

$$\alpha_{\text{эл}} = \frac{\kappa^2 \omega}{2\nu} \frac{\omega \tau_m}{(\omega \tau_m)^2 + (1 + q^2 R^2)^2} \quad (2)$$

где $k = \frac{e}{\sqrt{\epsilon \mathcal{E}}}$ - коэффициент электромеханической

связи для данной волны, $\omega_c = \tau_m^{-1}$, R - дебаевский радиус экранирования, e - эффективный пьезомодуль. Величина qR характеризует степень экранирования

электростатических полей носителями заряда. $\tau_m = \frac{\sigma}{\epsilon}$ - максвелловское время релаксации, характеризующая процесс установления нового равновесного состояния, после этого и вычиталась из экспериментальных значений поглощения:

$$\alpha_{\text{реш}} = \alpha_{\text{экс}} - \alpha_{\text{эл}}$$

Частотная зависимость $\alpha_{\text{реш}}$ волны L_{\perp} приведена на рис.3, где приведены также экспериментальные значения $\alpha_{\text{экс}}$ и рассчитанная по (2) частотная зависимость вклада свободных носителей с учетом экспериментальных значений σ_{\perp} и $k_L^2 = 1,05 \cdot 10^{-3}$. Аналогичные зависимости для волны FT_{\perp} приведены на рис.2, где при расчете вклада свободных носителей величина k_{FT}^2 принималась равной $0.75 \cdot 10^{-3}$.

Из рис. 2, 3 видно, что для L_{\perp} и FT_{\perp} типов волн, распространяющихся вдоль слоев, частотная зависимость $\alpha_{\text{реш}}$ значительно отличается от квадратичной, предсказываемой теорией для поглощения низкочастотного звука в кристаллах. Во всем исследованном частотном диапазоне экспериментальные

значения коэффициента поглощения волн L_{\perp} и FT_{\perp} превышают теоретическую оценку по (1), так что экстраполированные значения коэффициента поглощения L_{\perp} - волны сравниваются с оценкой по (1) только при 8 ГГц, а волны FT_{\perp} при 2 ГГц.

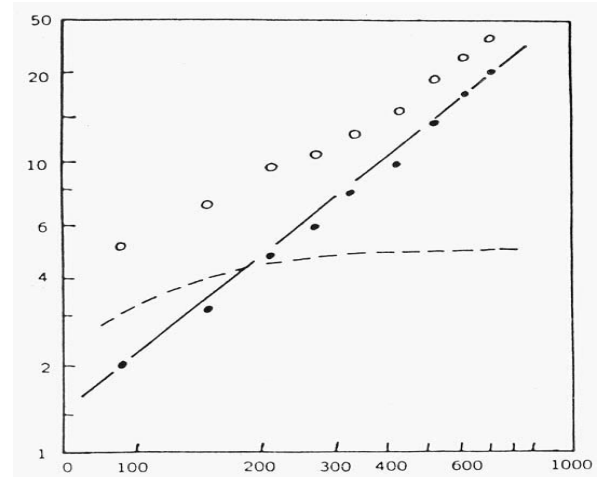


Рис. 3 Частотные зависимости α волны L_{\perp} в ϵ -GaSe при 293 К. 1. $\alpha_{\text{экс}}$ 2. $\alpha_{\text{эл}}$ 3. $\alpha_{\text{реш}}$

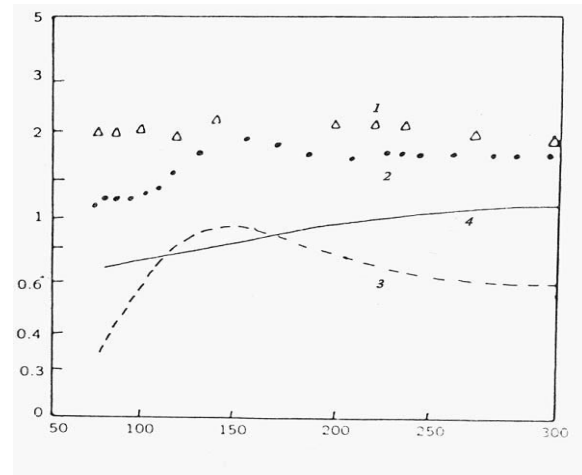


Рис. 4 Температурные зависимости α волны L_{\perp} (2-4) на частотах 30 МГц: 1-2. $\alpha_{\text{экс}}$ 3. $\alpha_{\text{эл}}$ 4. $\alpha_{\text{реш}}$

Обычно линейная частотная зависимость поглощения звука в кристаллах является одним из признаков механизма поглощения по Ландау-Румеру, однако для этого требуются или высокие частоты ($\omega \gg \tau^{-1}$), или низкие температуры (в большинстве кристаллов $\leq 40K$). Кроме того, механизм поглощения по Ландау-Румеру приводит к резкой температурной зависимости поглощения.

Температурные зависимости поглощения волн L_{\perp} и FT_{\perp} приведены на рис.4, 5. Такие, как и в случае частотных зависимостей, был учтен вклад в поглощение, обусловленный свободными носителями заряда (2).

Анализ показывает, что значительное уменьшение поглощения при 150К обусловлено уменьшением вклада свободных носителей. Решеточное же поглощение акустических волн L_{\perp} и FT_{\perp} в ϵ -GaSe имеет слабые температурные зависимости, что не соответствует механизму Ландау-Румеру.

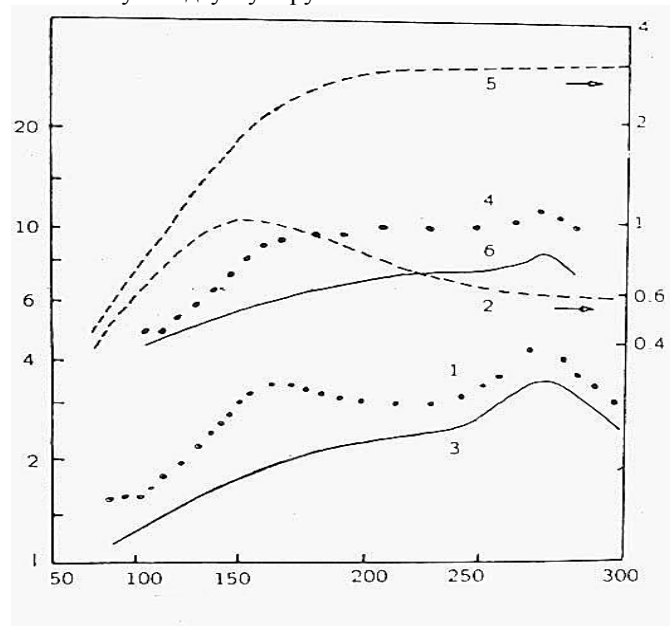


Рис.5 Температурные зависимости α волны FT_{\perp} в ϵ -GaSe на частотах 28,5 МГц (1-3) и 84,5 МГц (4-6): 1,4. $\alpha_{\text{эсп}}$ 2,5. $\alpha_{\text{эл}}$ 3,6. $\alpha_{\text{реш}}$

Интересно отметить, что для соединения Tl_3PSe_4 родственного GaSe, измеренная в диапазоне частот 20-800 МГц частотная зависимость поглощения также

близка к линейной [4]. Авторы [1] связывают это с отклонениями от стехиометрии.

Линейная частотная зависимость поглощения, и при этом слабая температурная зависимость характерна для стекол, где они объясняются наличием в системе нескольких механизмов релаксации с разными значениями τ . О существовании подобных механизмов поглощения в исследованном нами образце свидетельствует пик в затухании волны FT_{\perp} при 270К. Т.к. величина пика примерно одинакова для волн частотой 28,5МГц и 84,5МГц, то τ , соответствующее этому пику, очевидно, не превышает $5,5 \cdot 10^{-9}$ с. Такое большое τ вполне может приводить к «выползанию» частотной характеристики α в области низких частот, так как для релаксационного механизма:

$$\alpha \approx \frac{\omega^2 \tau}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

Тот факт, что частотная характеристика не стремится к насыщению при более высоких частотах ($\omega \gg \tau_1^{-1}, \tau_1 = 5,5 \cdot 10^{-9}$ с) заставляет предположить существование и других механизмов релаксации с меньшими временами.

Характерные для добавочного сверхазиезеровского поглощения в стеклах линейная частота и слабая температурная зависимость поглощения акустических волн, обнаруженные в наших экспериментах при распространении волн вдоль слоев в ϵ -GaSe, могут быть следствием легкого образования в GaSe различных политипов, отличающихся только взаимным расположением слоев.

- [1]. Л.Д Ландау, Г.В Румер «О поглощении звука в твердых телах» Собр. Трудов, М., Наука, 1969, 227.
- [2]. T.O. Woodruff, Ehrenreich Phys. Rev., **123**, 5 (1991), 1553.
- [3]. A.R. Hutson, D. L White «Elastic wave propagation in piezoelectric semiconductors» //J. Appl. Phys., **331** (1962), 40.
- [4]. Gottlieb, T.I. Isaaks, Y.D. Feichtner., G.W. Rolland, «Acousto-optic properties of some chalcogenide crystals.» J. Appl. Phys., **5**, 12 (1999), 5145.