

**ПОГЛОЩЕНИЕ И УСИЛЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА
В ДВУСЛОЙНОЙ СИСТЕМЕ:
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ КЕРАМИКА С БОЛЬШОЙ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ – ПОЛУПРОВОДНИК**

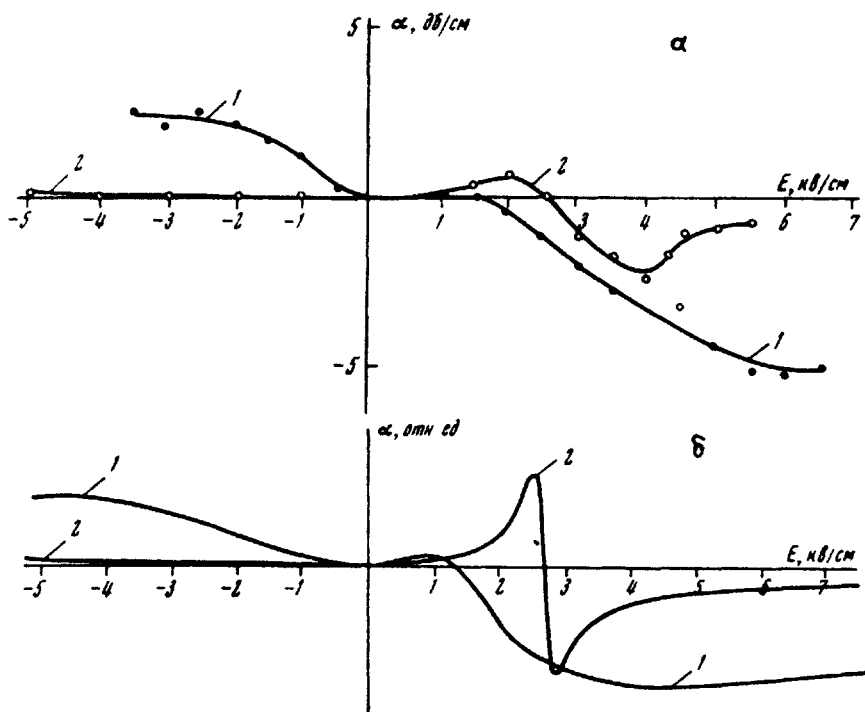
*Н.К. Жабитенко, И.Я. Кучеров, Е.Г. Миселюк,
С.И. Пекар, Н.С. Черная*

Целью работы является экспериментальное обнаружение поглощения и усиления ультразвука за счет электрон-фононного взаимодействия, пропорционального приложенному внешнему электрическому полю [1]. Слой полупроводника CdSe толщиной $1 - 2 \cdot 10^{-3}$ см наносился на керамические пластины BaTiO_3 с примесью оксида цезия или сурьмы и висмута. Толщина пластин – 0,2 см; диэлектрическая проницаемость ϵ порядка 4000; диэлектрический гистерезис отсутствовал вплоть до поля $8 \cdot 10^3$ в.см⁻¹, коэффициент электромеханической связи без

внешнего электрического поля не обнаружился. Данные относятся к рабочей температуре $T = 26 - 28^\circ\text{C}$ (керамика в параэлектрической фазе).

Пленка полупроводника была поликристаллическая, неориентированная, в ней концентрация носителей тока n и подвижность μ изменялись в зависимости от интенсивности света от лампы накаливания. Применялся фильтр, поглощающий ИК свет. Токопроводящие контакты индиевые.

В горелку пластинки вводились поперечные звуковые волны частоты $f = 20 \text{ МГц}$ со смещениями, перпендикулярными поверхности пластинки. Импульсное электрическое поле E (длительность импульсов 3 мксек , частота повторения 40 Гц) прикладывалось одновременно к полупроводниковой пленке (для создания дрейфа носителей заряда) и к керамике (для обеспечения механизма взаимодействия по [1]). Нагрев системы джоулевым тепловыделением не превышал 1°C .



Добавочное поглощение ультразвука в двуслойной системе $\text{BaTiO}_3 (\text{с CsO}_2) - \text{CdSe}$ относительно поглощения в $\text{BaTiO}_3 (\text{с CsO}_2)$:
 a – экспериментальные зависимости, b – теоретические кривые; кривая 1 – $\mu = 200 \text{ см}^2/\text{в сек}$, $n = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; кривая 2 – $\mu = 100 \text{ см}^2/\text{в сек}$, $n = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$

Керамика с окисью цезия без полупроводниковой пленки, а также двуслойная система в темноте, обладают коэффициентом поглощения ультразвука, существенно растущим с E . Подобный эффект в других веществах описан в [2]. Когда же с помощью освещения в пленке полупроводника была создана проводимость с n порядка $10^{14} \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$

(μ при этом было порядка $100 - 300 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$) при приложении внешнего электрического поля наблюдалось дополнительное поглощение ультразвука α . При том же самом освещении образца, но при отсутствии внешнего электрического поля никакого дополнительного поглощения в системе не наблюдалось. На рис. *a* приведены зависимости коэффициента дополнительного поглощения ультразвука в системе от внешнего электрического поля при двух различных проводимостях.

На рис. *b* представлены соответствующие теоретические кривые, рассчитанные при тех же значениях параметров по формуле

$$\alpha = AE^2 \frac{r_k}{r} \frac{\left(\frac{\mu E}{s} - 1 \right) \omega r_k}{1 + \left(\frac{\mu E}{s} - 1 \right)^2 \omega^2 r_k^2}, \quad (1)$$

где

$$\frac{1}{r_k} = \frac{1}{r} + k^2 D; \quad \frac{1}{r} = \frac{4\pi\sigma h k}{\epsilon}.$$

Здесь $\omega = 2\pi f$, $\sigma = e\mu n$, $s = 2,6 \cdot 10^5 \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1}$ — измеренная нами скорость звука по времени задержки импульса в образце, k — волновой вектор звука, D — коэффициент диффузии носителей тока в полупроводнике, h — толщина слоя CdSe. Коэффициент A существенно зависит от типа звуковой волны (поверхностная, объемная и т. п.) и в данной работе не вычислялся. Поэтому кривые на рис. *b* приведены в условных единицах.

Как видно, имеется сходство между экспериментальными и теоретическими кривыми. В обоих случаях α меняет знак (поглощение переходит в усиление), когда дрейфовая скорость носителей $\mu E \approx s$. При $E < 0$ всюду $\alpha > 0$. Изменение формы кривой, в зависимости от значений μ и n у теоретических и экспериментальных кривых аналогично. Все это говорит в пользу того, что α обусловлено электрон-фононным взаимодействием, пропорциональным приложенному электрическому полю. Если бы поглощение было связано с обычным пьезоэлектрическим взаимодействием [3], то кривая $\alpha(E)$ была бы центрально симметричной по отношению к точке $E = s/\mu$; при $E = 0$ было бы $\alpha \neq 0$; $\alpha_{E=0}$ зависело бы от освещенности. Все эти свойства отсутствуют в описываемых случаях.

Дополнительное поглощение (усиление) ультразвука было обнаружено и на системе BaTiO_3 с примесью окислов висмута и сурьмы, покрытой слоем CdSe. Эффект усиления оказался того же порядка, что и в предыдущем случае. Но рост независимого от электрон-фононного взаимодействия поглощения звука с E оказался существенно меньше, чем в предыдущем случае. Поэтому удалось наблюдать абсолютное усиление звука порядка нескольких дб/см .

Отметим, что в системе из того же полупроводника и керамики с малым ϵ (керамика $T - 80$, $\epsilon = 80$) никакого дополнительного пог-

лошения ультразвука при приложении электрического поля и освещении не наблюдалось.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИП АН УССР Е.Л.Штрум, Э.Б.Каганович, С.И.Матчиной за изготовление слоев CdSe.

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
14 сентября 1971 г.

Литература

- [1] С.И.Пекар. ЖЭТФ, 49, 621, 1965.
 - [2] К.А.Минаева, А.П.Леванюк. Изв. АН СССР, сер. физ., 29, 978, 1965.
 - [3] D.L.White. J. Appl. Phys., 38, 2547, 1962.
-