

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СКОРОСТЬ ЗВУКА В CdS

А.М.Дьяконов, Ю.В.Илиасовский

Нелинейность процессов электрон-фононного взаимодействия, как причина ограничения усиления звука и образования стационарных волн в пьезоэлектрических полупроводниках, в настоящее время привлекает все большее внимание.

Оказывается, что в ряде случаев существенную роль в этих процессах играет зависимость скорости звука w от внешнего электрического поля [1]. Линейная теория этой зависимости, развитая Уайтом [2], приводит к следующему результату:

$$w = w_0 \left(1 + \frac{\kappa^2}{2} \phi \right), \quad (1)$$

где

$$w_0 = \sqrt{\frac{\epsilon}{\rho}}, \quad \phi = \frac{(q/\kappa)^2 (1 + q^2/\kappa^2) + (\omega - qv)^2 \tau_\sigma^2}{(1 + q^2/\kappa^2)^2 + (\omega - qv)^2 \tau_\sigma^2},$$

c – модуль упругости, ρ – плотность, K – коэффициент электромеханической связи, q – волновой вектор звуковой волны, κ – обратный радиус Дебая, ω – частота звука, v – скорость дрейфа электронов, τ_{σ} – время релаксации проводимости.

Величина ϕ зависит не только от концентрации носителей тока в образце, но и от скорости их дрейфа во внешнем электрическом поле. Экранирование пьезоэлектрического взаимодействия тем эффективнее, чем меньше разность скоростей потока электронов и звуковой волны. Поэтому при $v = w$ должен наблюдаться максимум изменения скорости при данной проводимости.

Таким образом, скорость звука в пьезополупроводниках зависит от параметра ϕ , характеризующего степень экранирования пьезоэлектрических полей звуковой волны свободными носителями и может изменяться между двумя предельными значениями: w_0 (полное экранирование – $\phi = 0$) и $w_0(1 + K^2/2)$ (отсутствие экранирования – $\phi = 1$). При этом полное относительное изменение скорости звука $\Delta w/w_0$ не превышает $K^2/2$, то есть примерно 1,8% [3].

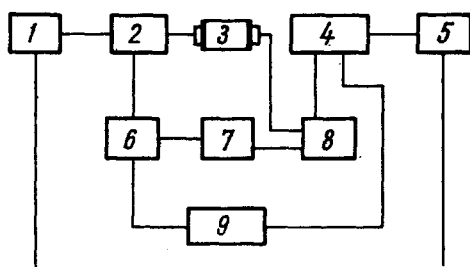


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки

Нами выполнены измерения зависимости скорости звука от напряженности дрейфового поля E в CdS . Измерения производились на установке, блок-схема которой представлена на рис.1.

От синхронизатора 1 запускается генератор 2. Радиоимпульс от генератора подается на кварцевый преобразователь "У-среза", приклеенный к образцу 3. На другом конце образца имеется аналогичный преобразователь, радиосигнал с которого поступает на смеситель 8, затем усиливается в усилителе 4, детектируется и подается на осциллограф 5. Одновременно сигнал от передатчика поступает на второй смеситель 6, причем для обоих смесителей используется общий гетеродин 7.

Преобразованный радиоимпульс передатчика на частоте 30 Мгц подается в калиброванную линию переменной задержки 9 и через нее – на тот же усилитель 4, где интерферирует с сигналом, прошедшим через образец. При данном значении дрейфового поля с помощью переменной

линии задержки ϑ амплитуда интерферирующего сигнала делается минимальной. При изменении поля скорость звука изменяется. Изменяя величину задержки с помощью ϑ , можно снова добиться минимальной амплитуды сигнала. По величине вводимой задержки определяется относительное изменение скорости звука в образце. Погрешность описанного метода порядка 0,03%.

Для измерений использовался образец CdS в виде прямоугольного параллелепипеда $3 \times 6 \times 8$ мм. На плоско-параллельные и оптически полированные торцы кристалла методом вакуумного напыления наносились электрические контакты, поверх которых приклеивались кварцевые

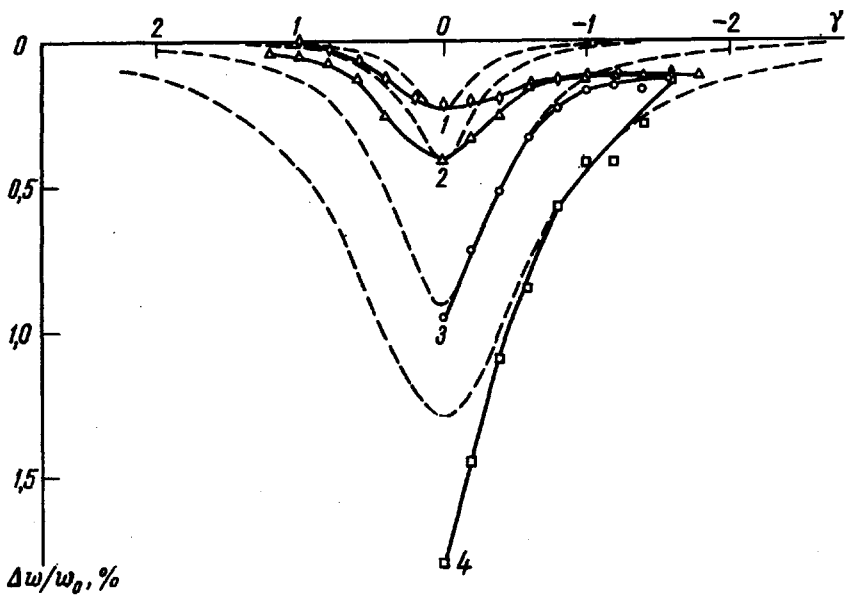


Рис.2. Зависимость относительного изменения скорости звука $\Delta w/w_0$ от параметра надкритичности $\gamma = 1 - (v/w_0)$.
 1 - $\sigma = 3 \cdot 10^{-5} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$; 2 - $\sigma = 6 \cdot 10^{-5} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$; 3 -
 $\sigma = 2 \cdot 10^{-4} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$; 4 - $\sigma = 5 \cdot 10^{-4} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$

преобразователи. Направление распространения поперечной звуковой волны и дрейфового поля было перпендикулярно оси с кристалла, поляризация звука совпадала по направлению с этой осью. Измерения выполнены на частоте 250 Мгц.

Образец освещался ксеноновой лампой ДКСШ-200 через светофильтры ОС-12 и ОС-13. При этом проводимость его изменялась от темного значения 10^{-10} до $10^{-3} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$. Подвижность электронов, определенная из опытов по усилению звука на этом образце, составляла $120 \text{ см}^2/\text{в.сек.}$

Основные результаты измерений приведены на рис.2. Сплошные линии — экспериментальные кривые. Сильное затухание ультразвука не позволило получить при больших проводимостях участки кривых, расположенные в области дрейфовых полей, меньших критического.

Пунктирными линиями нанесены кривые, построенные по линейной теории. Скорость звука в точке $\gamma = 1$ соответствует значению, характерному для CdS с данным уровнем проводимости в отсутствии внешнего поля.

Из рис.2 видно общее согласие экспериментальных и теоретических кривых. При низкой проводимости образца (кривые 1 и 2) максимальное относительное изменение скорости и положение минимума довольно точно совпадают с теоретическими значениями, однако на опыте минимум оказывается значительно шире. Для средних значений проводимости наблюдается наилучшее согласие теории с экспериментом (кривая 3). При больших проводимостях (кривая 4) экспериментальные значения больше теоретических.

Наблюдаемое согласие с опытом можно считать удовлетворительным, если учесть, что из-за неоднородности освещения локальная проводимость в звуковом канале отличается от измеренной средней. Уширение кривых 1 и 2 может быть связано с тем, что при малой проводимости относительно сильнее должна сказываться электрическая неоднородность образца.

В заключение отметим, что экспериментальные кривые, в отличие от теоретических, имеют несимметричный вид. Это отклонение от линейной теории при больших надкритичностях может объясняться влиянием ловушек и нелинейными эффектами.

Институт полупроводников
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
4 сентября 1967 г.
После переработки
9 октября 1967 г.

Литература

- [1] В.Л.Гуревич, Б.Д.Лайхтман. ЖЭТФ, 46, 598, 1964.
- [2] D.L.White. J.Appl. Phys., 33, 2547, 1962.
- [3] D.Berlincourt et al. Phys. Rev., 129, 1009, 1963.