

АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ — появление в проводнике постоянного тока в замкнутой цепи (т. н. акустоэлектрич. тока) или электрич. напряжения на концах разомкнутого проводника (т. н. акустоэдс) при распространении в нём акустич. волны. А. э. был предсказан Р. Парментером (1953) и впервые обнаружен Г. Вайнрайхом и Х. Дж. Уайтом (1957). А. э. возникает из-за увлечения носителей тока акустич. волной вследствие акустоэлектронного взаимодействия, при к-ром часть импульса, переносимого волной, передаётся электронам проводимости, в результате чего на них действует ср. сила, направленная в сторону распространения волны. В соответствии с этим А. э. меняет знак при изменении направления волны на противоположное. А. э. — одно из проявлений нелинейных эффектов в акустике (см. *Нелинейная акустика*); он аналогичен др. эффектам увлечения, напр. акустич. ветру (см. *Акустические течения*).

Передача импульса от волны электронам сопровождается поглощением звуковой энергии, поэтому действующая на электрон сила пропорциональна коэф. электронного поглощения звука α_e и интенсивности акустич. волны I . Плоская волна, интенсивность к-рой при прохождении слоя толщиной Δx уменьшается за счёт электронного поглощения на величину $\alpha_e I \Delta x$, передаёт в среду механич. импульс $\alpha_e I \Delta x / v_s$, причём v_s — скорость звука, $n_e \Delta x$ — концентрация свободных электронов. Следовательно, на отд. электрон действует ср. сила

$$F = \alpha_e I / n_e v_s. \quad (1)$$

Под действием этой силы появляется акустоэлектрич. ток, плотность к-рого $J_{ae} = \mu n_e e F$ (μ — подвижность электронов) определяется соотношением

$$J_{ae} = \mu \alpha_e I / v_s \quad (2)$$

(соотношение Вайнрайха). В случае произвольных акустич. полей выражение для акустоэлектрич. тока получается как среднее по времени значение произведения переменной концентрации свободных носителей n , возникающих под действием акустич. полей в проводнике, и их переменной скорости v .

$$J_{ae} = e \langle n \cdot v \rangle \quad (3)$$

(e — заряд электрона).

Возникновение А. э. может быть объяснено с позиций квантовой механики, если рассматривать акустич. волну с частотой ω и волновым вектором k как поток когерентных фононов, каждый из к-рых несёт энергию $\hbar\omega$ и импульс $\hbar k$. При поглощении фонона электрон получает дополнит. скорость, в результате чего появляется электрич. ток (2).

Для наблюдения А. э. измеряют либо ток в проводнике, в к-ром внеш. источником возбуждается звуковая волна (рис. 1, а), либо напряжение на его разомкнутых концах (рис. 1, б). В последнем случае на концах проводника возникает эдс, индуцированная звуковой волной (акустоэдс):

$$U_{ae} = \frac{1}{e} \int_0^L F(x) dx = \frac{\alpha_e \mu I_0}{\alpha v_s} (1 - e^{-\alpha L}), \quad (4)$$

где L — длина проводника, I_0 — интенсивность звука на входе образца, $\alpha = \alpha_e + \alpha_0$ — коэффициент поглощения звука, учитывающий как электронное поглощение α_e , так и решёточное α_0 , σ — проводимость образца.

Величина А. э., так же как и значение электронного поглощения звука, зависит от частоты УЗ. А. э. максимален, когда длина волны оказывается одного порядка с радиусом дебаевского экранирования для свободных электронов. Акустоэдс существенно меняется

с изменением σ и имеет максимум в области значений σ_m , где электронное поглощение звука также максимально (рис. 2). Такие зависимости наблюдаются в фотопроводящих полупроводниках, в к-рых значит.

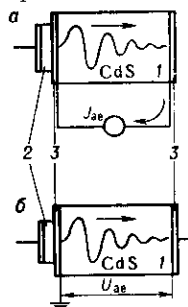


Рис. 1. Схемы измерений: а — акустоэлектрического тока J_{ae} ; б — акустоэдса U_{ae} ; 1 — кристалл пьезополупроводника, 2 — излучающий УЗ-преобразователь, 3 — металлические электроды.

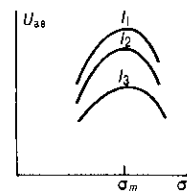


Рис. 2. Зависимость акустоэдса U_{ae} от проводимости кристалла при различных интенсивностях УЗ: $I_1 < I_2 < I_3$.

изменения проводимости происходят при изменении освещённости.

А. э. экспериментально наблюдается в металлах и полупроводниках. Однако в металлах и центросимметричных полупроводниковых кристаллах, таких, как Ge и Si, он невелик из-за слабого акустоэлектронного взаимодействия. Значит, А. э. (на 5–6 порядков больший, чем в Ge) наблюдается в пьезополупроводниках (CdS, CdSe, ZnO, GaAs, InSb и др.). За счёт сильного пьезоэлектрич. взаимодействия электронов проводимости с акустич. волной на частотах $(0,5-1) \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ в образцах длиной ок. 1 см возникает акустоэдс ~неск. вольт при интенсивности звука $\sim 1 \text{ Вт/см}^2$.

Особый характер носит А. э. в полупроводниках, помещённых в сильное электрич. поле E , где коэф. электронного поглощения УЗ зависит от скорости дрейфа носителей $v_d = \mu E$. При сверхзвуковой скорости дрейфа ($v_d > v_s$) коэф. α_e меняет знак и вместо поглощения звуковой волны происходит её усиление. При этом акустоэдс также меняет знак: звуковая волна уже не увлекает, а тормозит электроны проводимости. Ср. сила, действующая на электрон, направлена в сторону, противоположную направлению распространения

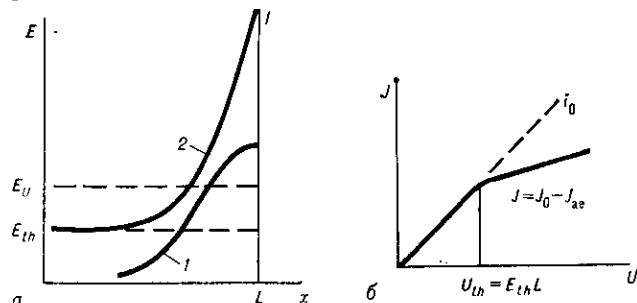


Рис. 3. а — рост интенсивности I фононов (1) и перераспределение электрического поля (2) вдоль длины кристалла L при генерации фононов в пьезополупроводнике (E_U — начальное значение напряжённости поля в кристалле, а E_{th} — пороговое, выше к-рого происходит генерация фононов); б — отклонение тока от омического значения.

волны, так что воздействие УЗ уменьшает электрич. ток в образце — акустоэлектрич. ток вычитается из тока проводимости.

В сильных электрич. полях А. э. имеет место даже в отсутствие внеш. волны, из-за того что в полупроводнике происходит генерация и усиление фононов внутри конуса углов θ вокруг направления дрейфа носителей, для к-рых $v_d \cos \theta > v_s$ — акустич. аналог Черенкова —