

Письма в ЖЭТФ, том 14, стр. 455 – 458

29 октября 1971 г.

**ПОПЕРЕЧНЫЙ АКУСТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ
В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ $\text{LiNbO}_3 - \text{Si}$**

А.М.Кмита, А.В.Медведь

Если в пьезополупроводниковом кристалле распространяется ультразвуковая волна (УЗВ) в пьезоактивном направлении, то, вследствие передачи потоком фононов импульса электронам проводимости, происходит увлечение электронов звуковой волной, и в направлении распространения УЗВ в разомкнутом образце возникает акусто-электрическое поле, компенсирующее действие звуковой волны. Это явление известно под названием акусто-электрического (АЭ) эффекта и в случае объемных УЗВ подробно исследовано (см. например, [1 – 2]). Акусто-элек-

трический эффект на поверхностных волнах и его характерные особенности были впервые рассмотрены в работе [3], а в работе [4] сообщалось об экспериментальном исследовании АЭ эффекта, возникающего при распространении чисто поперечных поверхностных УЗВ в полупроводниках. В случае, исследованном в этой работе, как и в случае объемных волн, АЭ эффект возникал в пьезоактивной среде — там же, где распространяется и сама УЗВ.

В слоистых же структурах пьезодиэлектрик — полупроводник акустический контакт между средами отсутствует, а электрон-фононное взаимодействие возникает вследствие проникновения электрического поля поверхностной УЗВ в глубь полупроводника, которое, однако, затухает при удалении от поверхности полупроводника из-за экранирующего действия свободных носителей. Это приводит к тому, что в пограничных со звукопроводом слоях полупроводника возникают круговые токи и поперечная акустоэдс, проявляющаяся как разность потенциалов между граничащей со звукопроводом поверхностью полупроводника и его глубинными слоями.

В соответствии с [3] величина поперечной акустоэдс при $\omega^2 \tau_M^2 \ll 1$ (здесь ω — круговая частота УЗВ и τ_M — максвелловское время релаксации объемного заряда) дается выражением

$$V_{AЭ} = \frac{\alpha W \mu}{\epsilon \omega v_s} \kappa, \quad (1)$$

где α — коэффициент электронного затухания УЗВ, W — мощность звука, рассчитанная на единицу ширины звукового луча и μ — подвижность носителей тока в полупроводнике. Далее, ϵ и v_s — диэлектрическая постоянная полупроводника и скорость звука в звукопроводе, соответственно, а κ — величина, определяемая упругими и пьезоэлектрическими константами звукопровода и отражающая "механику" задачи. Как видно из (1) величина поперечной акустоэдс пропорциональна мощности звука и коэффициенту электронного поглощения, но, в отличие от известного соотношения Вайнрайха, не зависит непосредственно от концентрации свободных носителей тока.

Принципиальная схема эксперимента для наблюдения и исследования поперечного АЭ эффекта приведена на рис. 1. Пакеты рэлеевских УЗВ длительностью $\tau = 1 \text{ мксек}$ возбуждались в тонком (0,5 мм) звукопроводе из ниобата лития двухфазными гребенчатыми преобразователями на частоте 30 МГц. С обратной стороны звукопровода была расположена металлическая полоска шириной 0,5 мм — зонд. При этом емкость между металлической полоской и поверхностью полупроводниковой пластинки составляла $C \approx 1 \text{ пф}$. Через эту емкость сигнал поперечной акустоэдс, проявляющийся как разность потенциалов между поверхностью полупроводника и его глубинными слоями, поступал на вход усилителя с высоким входным сопротивлением ($R = 500 \text{ мом}$) и воспроизводился на экране осциллографа. Поскольку для постоянной времени входной цепи выполнялось условие $RC \gg \tau$, искажений фор-

мы сигнала не происходило. На наружной поверхности полупроводниковая пластинка имела два омических контакта, один из которых был заземлен, а через другой подавался калибровочный импульс и постоянное тянущее поле (при исследовании зависимости акустоэдс от дрейфа носителей).

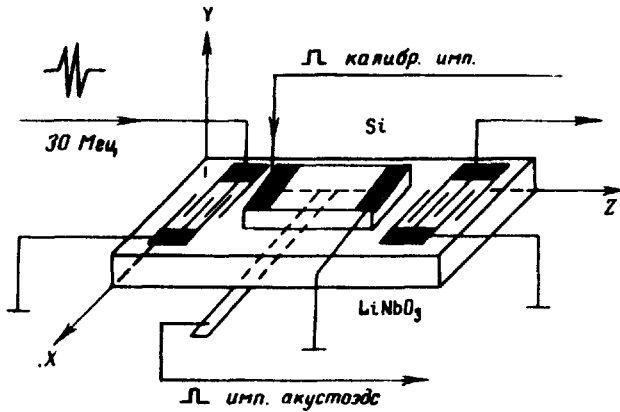


Рис. 1

Обнаружено, что в моменты прохождения пакета поверхностных УЗВ над зондом возникает сигнал поперечной акустоэдс, знак которой определяется типом проводимости полупроводника. Величина же акустоэдс при определенном значении проводимости (при $\sigma > 10^{-3} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) пропорциональна мощности звука (рис. 2), а при фиксированной мощности звука изменяется пропорционально коэффициенту электронного поглощения и, таким образом, непосредственно от проводимости не зависит.

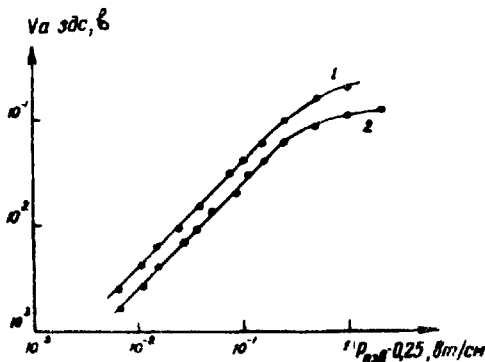


Рис. 2. Зависимость акустоэдс от мощности рэлеевской ультразвуковой волны: 1 - $\sigma = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, 2 - $\sigma = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$

Эти результаты соответствуют выводам теории АЭ эффекта [3]. Выражение для κ , входящее в формулу (1) громоздко (3). Кроме того, при обработке свойства поверхностных слоев кристалла значительно изменяются. Поэтому имеет смысл рассматривать κ как феноменологический параметр. Численное значение κ легко может быть определено по углу наклона прямой в зависимости акустоэдс от мощности звука. Определив таким образом κ , можно сопоставить измеренную величину акустоэдс с вычисленной по формуле (1); соответствие теории эксперименту получается удовлетворительное.

В ряде кристаллов при освещении изменялся тип проводимости вследствие возбуждения светом в кремнии, имевшем первоначально проводимость n -типа, дырок с примесных центров. В этом случае изменение типа проводимости сопровождалось изменением знака акустоэдс. При малых значениях проводимости изменение знака акустоэдс наблюдалось и при приложении постоянного дрейфового поля, когда скорость дрейфа носителей превышала скорость поверхностных УЗВ в звукопроводе. Однако, при больших проводимостях измерения были затруднены из-за теплового разогрева кристаллов.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Ю.В.Гуляеву, по инициативе которого была выполнена эта работа.

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 сентября 1971 г.

Литература

- [1] В.Л.Гуревич, А.Л.Эфрос. ЖЭТФ, 44, 2131, 1963.
 - [2] А.И.Морозов. ФТТ, 7, 3070, 1965.
 - [3] Ю.В.Гуляев, А.Ю.Карабанов, А.М.Кмита, А.В.Медведь, Ш.С.Турсунов. ФТТ, 12, 2595, 1970.
 - [4] А.И.Морозов, М.А.Земляницын. Письма в ЖЭТФ, 12, 396, 1971.
-