

Письма в ЖЭТФ, том 16, вып. 3, стр. 170 – 173

5 августа 1972 г.

ЗНАКОПЕРЕМЕННЫЙ АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ ПЬЕЗОДИЭЛЕКТРИК – ПОЛУПРОВОДНИК

С. Г. Калашников, А. И. Морозов, М. А. Земляницин

При распространении звуковых волн в пьезополупроводниковых кристаллах возникает ЭДС вследствие увлечения носителей заряда звуковой волной (акустоэлектрический эффект, АЭЭ). Величина АЭЭ при малых интенсивностях W объемных [1], поверхностных волн Рэлея и Гуляева – Блюстейна [2] и в слоистых структурах [3] линейно зависит от W , но при больших W наблюдается насыщение ЭДС АЭЭ [3–6].

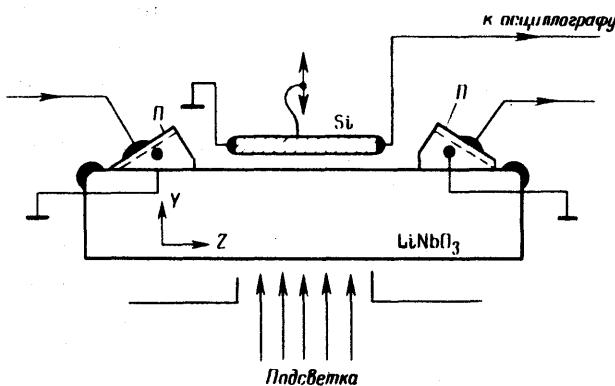


Рис. 1. Схема опыта. П – пьезопреобразователи УПВ.

При исследовании АЭЭ в слоистых структурах мы обнаружили, что зависимость ЭДС АЭЭ от W может иметь совершенно другой вид, а при больших интенсивностях звука может даже изменяться знак АЭЭ. Схема опыта представлена на рис. 1. В качестве пьезодиэлектрической среды использован звукопровод из LiNbO_3 YZ-среза. Для воз-

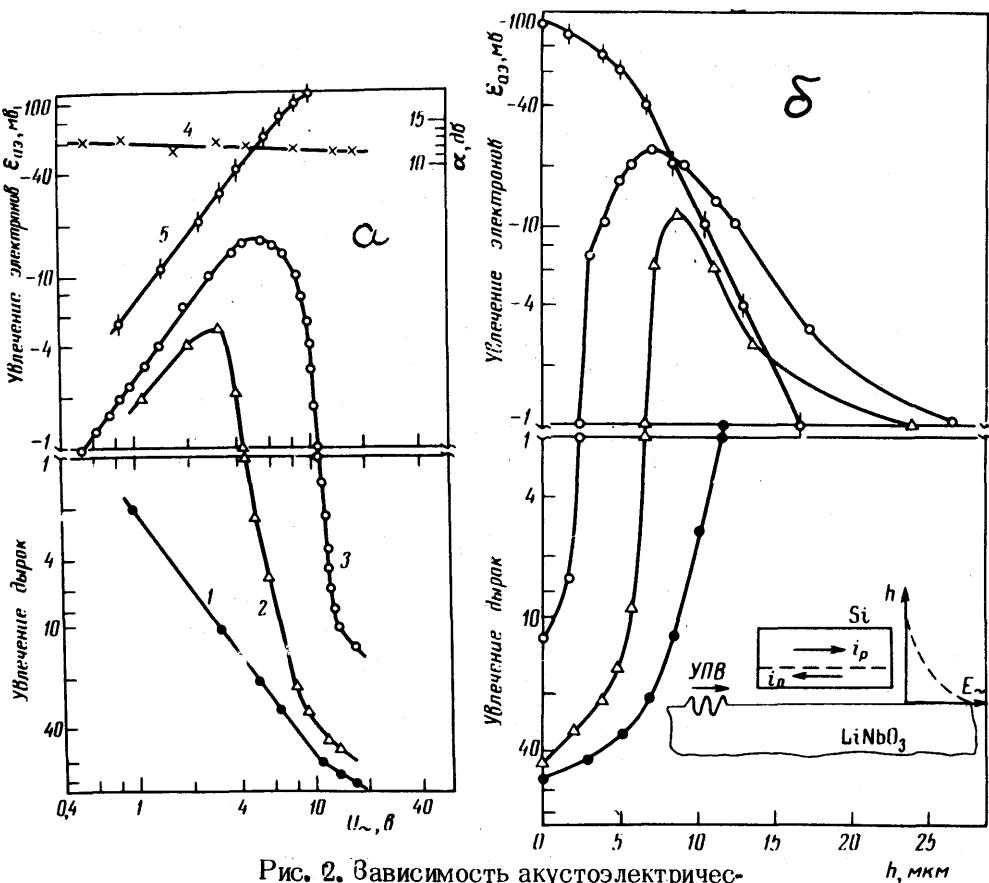


Рис. 2. Зависимость акустоэлектрического напряжения,

а – от напряжения на клиновидном преобразователе, б – от величины зазора пьезодиэлектрик – полупроводник h . Частота 65 МГц.

1, 2, 3 – p -Si, $\sigma \times 10^4 \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1} = 5$ (кривая 1), $10(2)$, $20(3)$; 4 – n -Si, $\sigma = 20 \cdot 10^{-4} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$; 5 – коэффициент поглощения УПВ, p -Si, $\sigma = 20 \cdot 10^{-4} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$

буждения и приема упругих поверхностных волн (УПВ) Рэлея применялись клиновидные пьезополупроводниковые преобразователи с диффузионным слоем [7], работавшие в области частот $10 \div 100$ МГц. Такие преобразователи позволяли получить большие значения W , которые по нашим оценкам достигали $\sim 10^2 \text{ вт/см}^2$. К звукопроводу с помощью устройства, позволяющего регулировать воздушный зазор с точностью $0,5 \text{ мкм}$, прижимался образец кремния. Контактирующие плоскости LiNbO_3 и Si были оптически полированы и промыты изопропиловым спиртом. Образцы Si p -типа имели размеры $0,4 \times 6 \times 10 \text{ мм}^3$, темновую проводимость $\sigma \approx 2 \cdot 10^{-4} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и подвижность $\sim 500 \text{ см}^2/\text{вт}\cdot\text{сек}$ (измеренную по величине поля нулевого усиления УПВ). Омические контакты изготавливались вжиганием золотой фольги с добавками Sb, ЭДС АЭС ($\epsilon_{a\alpha}$) измерялась непосредственно осциллографом ($R_{\text{вх}} = 0,5 \text{ Мом}$).

На рис. 2, а представлена зависимость $\epsilon_{aэ}$ от напряжения на преобразователе V . Видно, что для неосвещенного образца p -типа (кривая 1) знак $\epsilon_{aэ}$ соответствует увлечению дырок, а величина $\epsilon_{aэ}$ с возрастанием $W \sim V^2$ монотонно растет до насыщения. При освещении же образца в области собственного поглощения ($0,4 - 0,5 \text{ мкм}$) знак $\epsilon_{aэ}$ при малых W соответствует увлечению электронов, а при больших – увлечению дырок (кривые 2 и 3). При увеличении подсветки точка изменения знака $\epsilon_{aэ}$ смещается в область больших W . Аналогичная зависимость $\epsilon_{aэ}$ (W) наблюдалась при изменении направления УПВ на противоположное. Коэффициент поглощения УПВ a не обнаруживал каких-либо особенностей и монотонно уменьшался при увеличении W (кривая 4). Для образца n -типа (кривая 5) изменения знака $\epsilon_{aэ}$ в той же области изменений не наблюдалось. Отметим, что эти результаты не обусловлены какими либо нелинейными эффектами, связанными с распространением УПВ в LiNbO_3 , так как при увеличении напряжения на излучающем преобразователе выходной сигнал приемного преобразователя изменялся линейно.

В ряде опытов интенсивность УПВ в LiNbO_3 поддерживалась постоянной, а интенсивность поля в кремнии изменялась путем изменения зазора между ними. При этом в образцах кремния p -типа также наблюдалось изменение знака АЭЭ при уменьшении зазора, т. е. при увеличении электрического поля внутри кремния (рис. 2, б). В образцах же n -типа знак АЭЭ сохраняется.

Наблюдаемое необычное поведение АЭЭ можно объяснить возникновением у поверхности образцов p -типа при освещении инверсного слоя n -типа. Такой слой может возникнуть вследствие преимущественного захвата фотодырок на локальные уровни (как на поверхности так и в объеме). При прохождении звуковой волны в пьезоэлектрике пьезоэлектрическое поле УПВ проникает в полупроводник [8] и увлекает носители разного знака в одинаковом направлении. Результирующий ток АЭЭ есть разность дырочной и электронной компонент, соответствующих увлечению носителей в объеме полупроводника и в инверсном слое. Если интенсивность УПВ мала, а инверсный слой достаточно широк, то суммарный акустоэлектрический ток будет соответствовать увлечению электронов. При возрастании W электрическое поле в каждой точке полупроводника увеличивается и все большая часть объема полупроводника дает вклад в АЭ ток (т. е. дырочная компонента тока возрастает). С другой стороны, при увеличении W возможно еще насыщение АЭ тока в инверсном слое вследствие полной группировки в нем носителей. Оба эти эффекта приводят к отклонению от линейной зависимости $\epsilon_{aэ}$ от W и уменьшению суммарного тока. Равенство токов в объеме и инверсном слое соответствует нулевому значению результирующего тока, а дальнейшее увеличение W приводит к преобладанию дырочной компоненты тока. Смещение точки изменения знака $\epsilon_{aэ}$ в области больших W с увеличением подсветки может быть обусловлено расширением инверсного слоя при освещении. Очевидно, что в том же случае преимущественного захвата фотодырок в образцах кремния n -типа вместо инверсных слоев должны возникать обогащенные приповерхностные слои n -типа, которые не изменяют знака АЭЭ.

Приведенная схема является упрощенной, так как в действительности при увеличении интенсивности УПВ изменяются также проводимость полупроводника [9] и электрические характеристики инверсного слоя.

Авторы благодарны В.В.Проклову и В.И.Федосову за полезное обсуждение результатов и В.П.Синису за помощь в приготовлении контактов к кремнию.

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
4 июля 1972 г.

Литература

- [1] А.И.Морозов. ФТТ, 7, 3070, 1965,
 - [2] А.И.Морозов, М.А.Земляницин. Письма в ЖЭТФ, 12, 396, 1970
 - [3] А.М.Кмита, А.В.Медведь. Письма в ЖЭТФ, 14, 455, 1971.
 - [4] Э.П.Гаршка, В.И.Самулионис, Б.П.А.Кетис, А.С.Жульца. ФТТ, 10, 611, 1968.
 - [5] В.В.Проклов, Ю.В.Гуляев, А.И.Морозов. ФТТ, 14, 986, 1972
 - [6] K.A.Ingebrigtsen. J.Appl. Phys., 41, 454, 1970.
 - [7] А.И.Морозов. ФТП, 5, 1994, 1971.
 - [8] Ю.В.Гуляев, В.И.Пустовойт. ЖЭТФ, 47, 2251, 1964.
 - [9] C.Fischler, J.Zucker, E.M.Conwell. Appl.Phys. Lett., 17, 252, 1970.
-