

## АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ "ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ" ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК – ПОЛУПРОВОДНИК

*Б.А.Коршак, В.Е.Лямов, И. Ю.Солодов*

Как показал Чабан [1–3], нелинейное взаимодействие акустических волн в пьезополупроводниках при наличии медленно релаксирующей неоднородности электрических свойств может приводить к эффекту акустоэлектрического "последствия", который позволяет записывать и через некоторое время восстанавливать акустический сигнал – акустическая "память". При взаимодействии звук – электрическое поле это явление наблюдалось на объемных волнах [4] и на поверхностных акус-

тических волнах (ПАВ) [ 5, 6 ] в различных вариантах. Однако, представляет большой интерес исследовать данное явление в чистом виде при взаимодействии звук – звук.

При нелинейном взаимодействии встречных ПАВ из законов сохранения энергии и квазиимпульса

$$\omega_1 \pm \omega_2 = \omega_3; \quad k_1 \pm k_2 = k_3 \quad (1)$$

следует, что при равенстве частот и скоростей взаимодействующих волн возможен процесс

$$\omega_3 = 0; \quad k_3 = 2k \quad (2)$$

при котором возникает постоянная составляющая результирующего сигнала с пространственным периодом  $\lambda/2$ . При взаимодействии встречных волн в слоистой структуре пьезоэлектрик – полупроводник таким сигналом будет поперечная акустоэдс [ 7 ], которая приводит к перераспределению объемного заряда на примесных уровнях полупроводника. При этом на примесных состояниях будет записан сигнал, пропорциональный акустической свертке импульсов встречных ПАВ, который будет сохраняться, пока диффузия и тепловые процессы не приведут к рассасыванию объемного заряда. Записанный сигнал можно считать либо поверхностной волной, либо электрическим сигналом на частоте  $2\omega$ . В первом случае при взаимодействии ПАВ с объемным зарядом

$$0 + 2\omega = 2\omega; \quad 2k - 2k = 0 \quad (3)$$

в полупроводниковом кристалле (рис. 1) возникает электрический сигнал с частотой  $2\omega$ . Во втором случае приложенный к полупроводнику электрический сигнал с частотой  $2\omega$  при взаимодействии с объемным зарядом возбуждает в пьезоэлектрике прямую и обратную поверхностные волны.

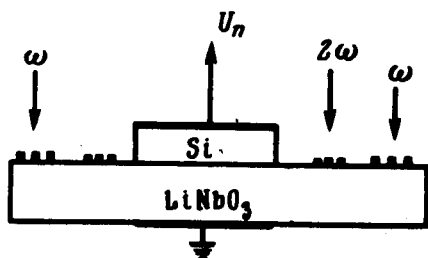


Рис. 1

Описанные взаимодействия, т. е. "запись" сигнала при взаимодействии звук – звук и два варианта считывания были нами проверены экспериментально в слоистой структуре пьезоэлектрик – полупроводник, схема которой показана на рис. 1. Для записи использовались встречные ПАВ на частоте 29 Мгц. Образец полупроводника (Si или CdS) помещался в средней части звукопровода из LiNbO<sub>3</sub>. Считывающий импульс ПАВ возбуждался вторым преобразователем на частоте 58 Мгц или по-

давался на полупроводниковую пластинку. Осциллограмма одного из процессов показана на рис. 2. Здесь 1 – электрический сигнал на частоте  $\omega = 29 \text{ МГц}$  – сигнал "записи", 3 – сигнал акустической свертки от встречных ПАВ ( $\omega_3 = 2\omega$ ;  $k_3 = 0$ ), задержанный на время распространения ПАВ от преобразователей  $\omega$  до середины полупроводника, 2 – импульс считывающего сигнала на частоте  $58 \text{ МГц}$ , 4 – импульс акустической "памяти", задержанный на время  $\tau_3$  относительно сигнала свертки. Изменение момента подачи считывающего импульса 2 меняет задержку импульса "памяти" – 4, однако при увеличении  $\tau_3$  амплитуда импульса "памяти" уменьшается. В случае Si импульс "памяти" уменьшается до уровня шумов через 5 – 10 мксек, в случае CdS это время увеличивается до 10 мсек. В некоторых образцах Si (бездислокационный кремний) импульс памяти не обнаруживается. Отжиг образцов

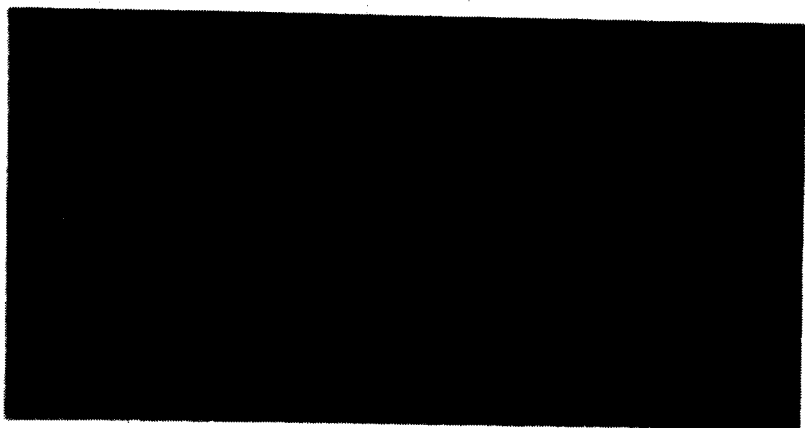


Рис. 2

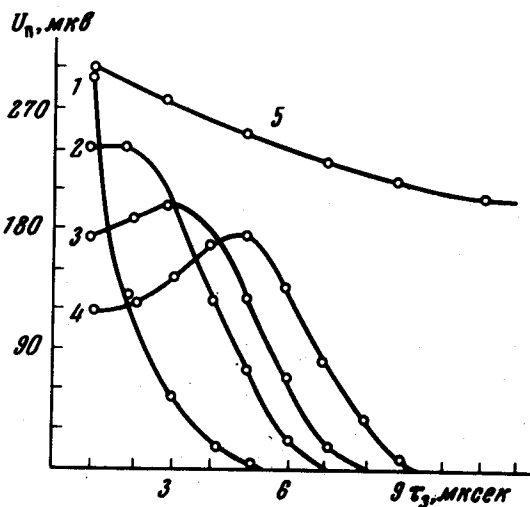


Рис. 3

увеличивает время  $\tau_3$  до 50 мксек. То же самое происходит, если образец охладить сухим льдом до  $-55^\circ \text{C}$ . На рис. 3 показаны зависимости

амплитуды сигнала "памяти" от времени задержки  $\tau_3$  для кремния  $p$ -типа ( $\rho \sim 10^3$  ом·см). Кривая 1 получена при амплитуде входных сигналов по 5 в на каждом преобразователе и амплитуде считывающего импульса 7 в. При этом амплитуда импульса "памяти" при минимальной задержке  $\tau_3 \sim 1$  мксек составляла 300 мксек и наблюдалась экспоненциальная зависимость амплитуды импульса "памяти" от  $\tau_3$ . Увеличение амплитуды входных сигналов до 10 в (кривые 2–4) приводит к насыщению амплитуды импульса "памяти" на начальных участках (малые  $\tau_3$ ). Освещение кристалла Si сильно уменьшает время памяти и при этом сдвигается уровень насыщения. Охлаждение кристалла до  $-55^\circ$  С резко увеличивает время "памяти" (кривая 5). Подобные же зависимости были получены для пластинок Ge  $n$ -типа, при этом время "памяти" было несколько больше.

Аналогичные эффекты наблюдаются и для кристаллов CdS, однако в этом случае уровень сигнала памяти в три–четыре раза меньше при тех же условиях, однако время памяти увеличивается до 10 мсек, причем насыщение сигнала памяти почти незаметно. Освещение кристалла снижает время памяти на три–четыре порядка.

Наблюдаемые эффекты очень хорошо объясняются дисперсионными диаграммами взаимодействия волн. По-видимому эти эффекты являются хорошим инструментом исследования поверхностных состояний и измерения времен релаксации в полупроводниках. Кроме того, данные эффекты представляют интерес и для обработки сигнальной информации возможностью создания динамической памяти для функциональных устройств.

Авторы пользуются случаем выразить признательность В.Б.Акпобетову за большую помощь в изготовлении преобразователей, а также А.А.Чабану и В.А.Красильникову за полезное и плодотворное обсуждение результатов.

Московский  
государственный университет  
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию  
3 марта 1976 г.

### Литература

- [1] А.А.Чабан. Письма в ЖЭТФ, 15, 108, 1972.
- [3] А.А.Чабан. ФТТ, 15, 3608, 1973.
- [3] А.А.Чабан. ФТТ, 17, 1016, 1975.
- [4] S. Zemon. J.A.P. 42, 3038, 1971.
- [5] A.Bers, J.H.Cafarella. Appl. Phys. Lett., 25, 133, 1974.
- [6] C.Maerfeld, P.Tournouis. Appl. Phys. Lett., 26, 681, 1975.
- [7] Ю.В.Гуляев, А.Ю.Карабанов, А.М.Кмита, А.В.Медведь, Ш.С.Турсунов. ФТТ, 12, 2595, 1970.