

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ДРЕЙФА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА НА АКУСТОЭЛЕКТРОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ ПЬЕЗОДИЭЛЕКТРИК – ПОЛУПРОВОДНИК

Ю.В.Гуляев, А.М.Кжита, А.В.Медведь, В.Н.Федорец

В теоретических работах [1, 2] указывалось на возможность усиления ультразвуковых поверхностных волн (УПВ) поперечным электрическим током в пьезополупроводниках.

В настоящей работе сообщается об обнаружении сильного влияния поперечного дрейфа носителей заряда на эффективность акустоэлектронного взаимодействия в слоистой структуре пьезодиэлектрик – полупроводник ($\text{LiNbO}_3 - \text{Si}$), приводятся некоторые результаты экспериментального и теоретического исследования этого явления и дается его физическая интерпретация.

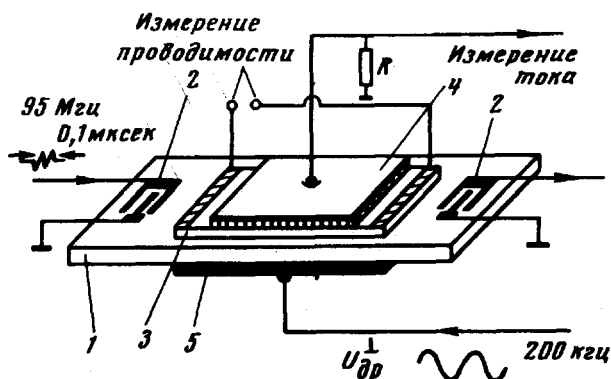


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального устройства: 1 – звукопровод из $yz - \text{LiNbO}_3$, 2 – гребенчатый электромеханический преобразователь, 3 – пластинка кремния с контактами $\text{Au} + \text{Sb}$ для измерения проводимости, 4 – диэлектрическая пластинка, 5 – стеклянная пластинка, 6 – пленка окиси олова, 7 – линза, 8 – осветитель

Принципиальная схема экспериментального устройства, в котором наблюдалось и экспериментально исследовалось влияние поперечного дрейфа носителей на величину электронного поглощения УПВ, приведена на рис. 1. Короткие импульсы рэлеевских УПВ (частоты 95 МГц) длительностью $0,1 \text{ мксек}$ возбуждались и принимались гребенчатыми электромеханическими преобразователями на звукопроводе из $yz - \text{LiNbO}_3$, к рабочей поверхности которого примыкала пластинка кремния n -типа проводимости $5 \cdot 10^{-3} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и размерами $0,4 \times 0,3 \times 0,003 \text{ см}^3$

Для создания поперечного дрейфа электронов к верхней поверхности образца кремния прижималась металлизированная диэлектрическая пластинка, а на нижнюю поверхность звукопровода наносился металлический электрод (см, рис. 1). Между этим металлическим электродом и металлизированной диэлектрической пластиной прикладывалось синусоидальное напряжение с частотой 200 кГц. При этом поперечный дрейфовый ток протекал через емкость, образованную нижним электродом с кристаллом Si, толщину пластинки Si и емкость, образованную кристаллом Si с заземленным через сопротивление R верхним электродом. При выбранном соотношении между длиной образца Si в направлении распространения УПВ и частотой дрейфового напряжения, изменение поперечного тока за время прохождения импульса УПВ под кристаллом Si не превышало 10%. Величина поперечного дрейфового поля в образце Si рассчитывалась как отношение плотности дрейфового тока к проводимости образца.

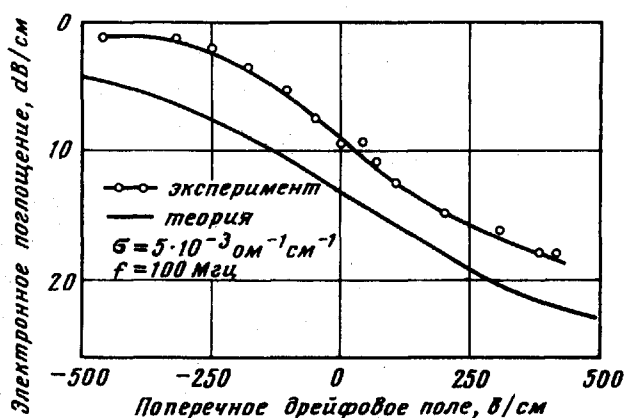


Рис. 2. Зависимость электронного поглощения от поперечного дрейфового поля

На рис. 2 приведены экспериментальная и теоретическая зависимости величины электронного поглощения УПВ от величины поперечного дрейфового поля. Видно, что дрейф электронов к пограничной со звукопроводом поверхности кремниевой пластинки увеличивал электронное поглощение УПВ, а при дрейфе электронов в противоположном направлении величина поглощения УПВ уменьшалась.

Теоретический расчет был выполнен методом [3] с учетом дрейфа носителей тока в перпендикулярном к плоскости распространения УПВ направлении. Формулу для величины электронного поглощения УПВ для этого случая, ввиду ее громоздкости, мы не приводим и поэтому приведена лишь рассчитанная по этой формуле кривая (рис. 2). Как видно из рис. 2, развитая теория удовлетворительно объясняет наблюдаемое экспериментально явление.

Физически, явление изменения величины электронного поглощения рэлеевских УПВ под действием поперечного дрейфа носителей можно объяснить следующим образом. Распространяющаяся в пьезоэлектрике рэлеевская УПВ сопровождается не только продольным, но и поперечным переменным электрическим полем. Совместное действие этих полей приводит к тому, что максимумы электронной плотности несколько отодвинуты вглубь от поверхности полупроводника [1]. Поперечный дрейф электронов, направленный к границе полупроводник – пьезоэлектрик "прижимает" сгустки к поверхности полупроводника в область более сильных электрических полей и, тем самым, увеличивает электронное поглощение УПВ. При дрейфе электронов в противоположном направлении сгустки удаляются от поверхности взаимодействия – происходит уменьшение электронного поглощения.

Следует отметить, что влияние на величину электронного поглощения УПВ в слоистой структуре может оказывать и эффект поля [4]. Проведенные нами эксперименты, однако, показали, что в нашем случае как стационарный, так и нестационарный эффекты поля существенного влияния на величину электронного поглощения не оказывали.

В заключение заметим, что электронное усиление УПВ продольным электрическим током в слоистой структуре пьезоэлектрик – полупроводник под действием поперечного дрейфа соответствующего направления должно существенно возрасти. Это следует из приведенных выше физических соображений и подтверждается теоретическим расчетом. Так для слоистой структуры $\text{LiNbO}_3 - \text{Si}$ с проводимостью $10^{-2} \text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ на частоте УПВ 500 МГц максимальная величина усиления продольным электрическим током может возрасти на 30 дБ/см под действием поперечного дрейфа электронов со скоростью в три раза превышающей скорость УПВ. При этом теория предсказывает некоторое уменьшение величины продольного дрейфового поля, при котором наступает максимальное усиление.

Авторы выражают благодарность Н.П.Санталову за проведение численных расчетов.

Институт радиотехники и
электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
17 октября 1974 г.

Литература

- [1] Yu. V. Gulyaev. Appl. Phys. Lett., 24, 405, 1974; Ю.В.Гуляев. Микрорэлектроника, 2, №3, 1974.
- [2] Ю.В.Гуляев, В.В.Денисенко. ФТТ, 16, 1746, 1974.
- [3] K. A. Ingebrigtsen. J. Appl. Phys., 40, 2681, 1969.
- [4] И.А.Викторов, В.И.Васькова. Акустический журнал, 14, 204, 1968.