*АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1994, том 40, № 3, с. 439 - 440*

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

*УДК 621.315.6.537.226.86*

# ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ПОСТОЯННЫХ И ПЕРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА СКОРОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В МДП СТРУКТУРЕ

**© 1994 г. И. А. Бородина, А. А. Голубский, А. В. Ермоленко, Б. Д. Зайцев, В. А. Осипенко, Н. И. Синицын**

*Институт радиотехники и электроники РАН, Саратовский филиал*

*410019 Саратов, ул. Зеленая, 38*

Поступила в редакцию 27.07.93 г.

Влияние внешних постоянных электрических полей на скорость поверхностных акустических волн (**ПАВ**) в МДП структурах, связанное с образованием областей обогащения и обеднения свободными носителями заряда, известно давно [1, 2]. Асимметричный вид полученных зависимостей показывает на возможность управления скоростью ПАВ переменными электрическими полями. Очевидно, что если частота электрического поля ($f_э$) меньше частоты ПАВ ($f_а$), то фаза ПАВ будет следовать за изменением поля с той же самой частотой. Если же $f_э > f_а$, но электрическое поле промодулировано по амплитуде, причем максимальная частота в спектре огибающей $f_{макс} < f_а$, то возможен своеобразный эффект детектирования, т.е. фаза ПАВ будет промодулирована в соответствии с огибающей поля. Такое влияние приводит к возможности разработки фазовых и амплитудных модуляторов акустических волн, измерителей пространственно-временны́х характеристик и детекторов одиночных и редкоповторяющихся СВЧ-радиоимпульсов [3]. В последние годы появились работы [4, 5], где исследовалось влияние как постоянных, так и переменных электрических полей на скорость ПАВ в МДП структурах. Однако основные результаты этих работ находятся в противоречии как с данными, приведенными в [1], так и между собой. Отсутствие объяснения причин подобных противоречий затрудняет использование полученных данных. Все это в целом приводит к тому, что проблема влияния внешних электрических полей – постоянных и переменных – на скорость ПАВ в слоистой МДП структуре остается актуальной.

В данной работе исследуется влияние постоянного и переменного (вплоть до СВЧ-диапазона) электрического напряжения на скорость ПАВ, распространяющейся в структуре Al–ZbO–*n*–Si–Al. При этом толщина кремниевой подложки составляет 200 мкм, пьезопленки ZnO – 2 мкм, алюминиевых полосок на поверхности ZnO и нижней поверхности Al – по 0.2 мкм. В этой структуре удачно сочетаются пьезоэлектрические свойства ZnO (который в данном случае является почти диэлектриком с хорошими полупроводниковыми качествами кремния ($\rho = 20$ Ом см, $n_0 = 10^{14}$ см$^{-3}$)). На поверхности ZnO были нанесены встречно-штыревые преобразователи для возбуждения ПАВ на частоте ~185 МГц с периодом 20 мкм. Для подавления прямой наводки использовалось симметричное подключение преобразователя к выходу задающего генератора через ВЧ-трансформатор со средней точкой на выходной обмотке. Изменение фазы выходного сигнала регистрировалось стандартным измерителем разности фаз ФК2-12 и самописцем "ЭНДИМ". Измерена зависимость изменения фазы ПАВ, а следовательно, и ее скорости от приложенного постоянного напряжения ($u$), которая изображена на рис. 1 (кривая *1*). Значения $u < 0$ соответствуют области обеднения. Изменение затухания ПАВ при этом было весьма незначительным. Во избежание возможного электрического пробоя структуры приложенное напряжение во всех экспериментах не превышало 10 - 12 В. Максимальное изменение скорости при $u = -10$ В составило 0.1%. Рост ско-

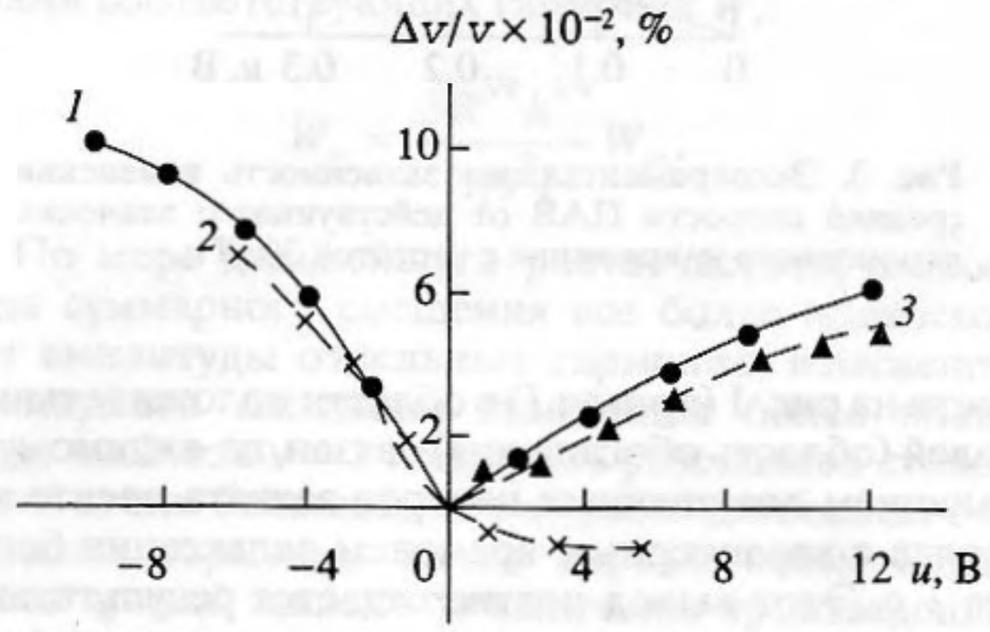


**Рис. 1.** Экспериментальные зависимости изменения скорости ПАВ в структуре Al–ZnO–*n*–Si–Al от приложенного постоянного (*1*) и переменного с частотой 1 Гц (*2*) напряжения. Кривая *3* соответствует зависимости изменения средней скорости ПАВ от действующего значения переменного напряжения с частотой 20 кГц.

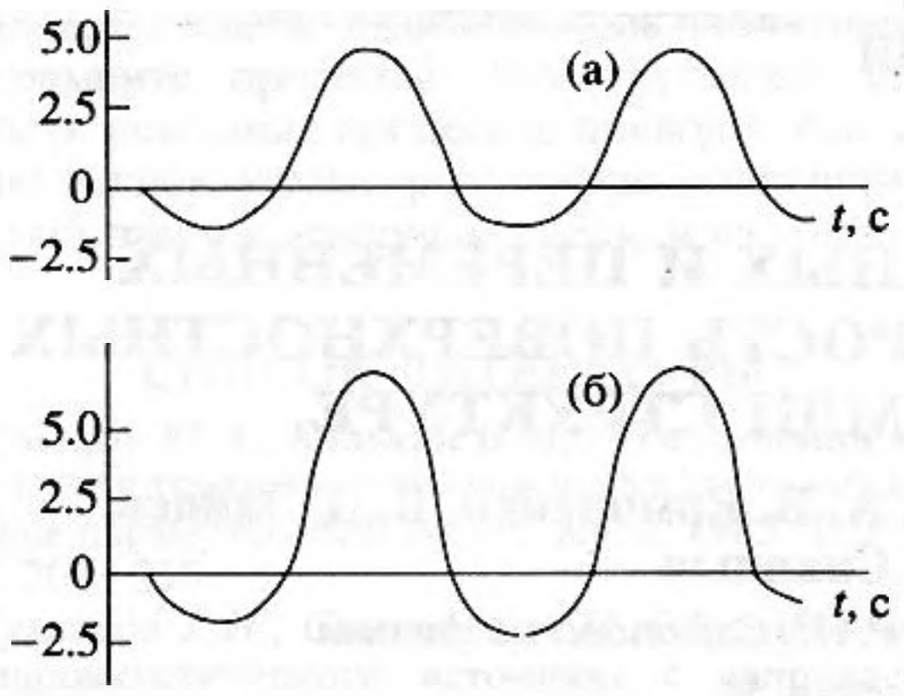


**Рис. 2.** Зависимость мгновенного изменения фазы ПАВ от времени, зарегистрированная самописцем для синусоидального напряжения частоты 1 Гц с амплитудами: 2 В (а), 4 В (б), 6 В (в).

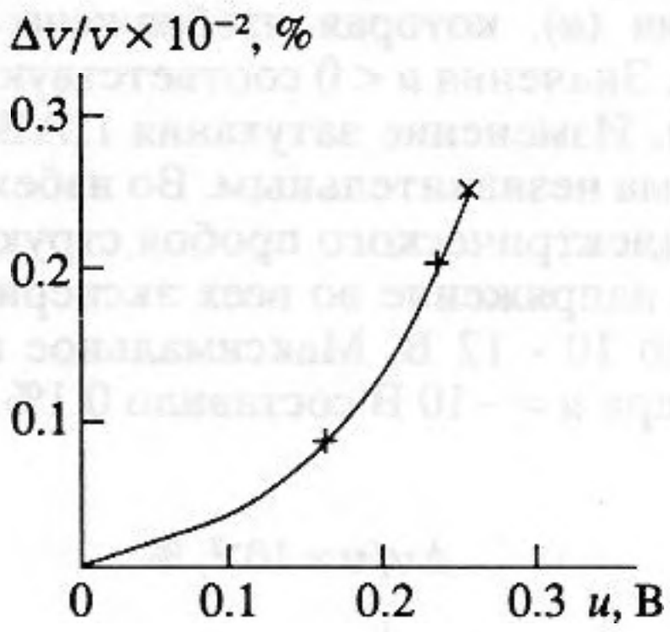


**Рис. 3.** Экспериментальная зависимость изменения средней скорости ПАВ от действующего значения переменного напряжения с частотой 30 ГГц.

рости на рис. 1 (кривая *1*) в области положительных полей (область обогащения) связан, по-видимому, с наличием ловушечных центров захвата носителей заряда с характерным временем релаксации больше 1 с. Этот вывод подтверждается результатами эксперимента с синусоидальным электрическим напряжением, имеющим частоту 1 Гц, в котором измерялось мгновенное изменение фазы от времени. На рис. 2 изображены кривые, зарегистрированные самописцем, для различных значений напряжения. На основе этих кривых построена зависимость $\Delta v/v(u)$ (рис. 1, кривая *2*), которая практически совпала с аналогичной зависимостью для постоянного напряжения в области обеднения (отрицательное напряжение). При амплитуде поля 6 В изменение скорости $\Delta v/v \simeq 0.7\%$. В области же обогащения изменение фазы было весьма незначительным.

Были проведены эксперименты в переменных полях на частотах ~20 кГц и ~30 ГГц, промодулированных по амплитуде с частотой 1 Гц, в которых регистрировалось изменение средней фазы ПАВ. Найденная для частоты 20 кГц зависимость $\Delta v/v(u)$ (рис. 1, кривая *3*, по оси абсцисс отложены действующие значения напряжения) совпала с четной частью функции $\Delta v/v(u)$ для частоты 1 Гц. Изменение скорости при амплитуде напряжения 10 В составило ~0.04%. Для проведения измерений на частоте 30 ГГц, меньшей, чем максвелловская частота релаксации ($f_м = 50$ ГГц), образец располагался на согласующем клине внутри прямоугольного волновода, к которому подводилось СВЧ-излучение. Было установлено, что изменение фазы ПАВ не связано с нагревом образца, а зависимость $\Delta v/v(u)$ (рис. 3, по оси абсцисс отложены действующие значения напряжения) практически совпадает с соответствующей зависимостью для частоты 20 кГц на начальном участке.

Приведенные в данной работе значения изменения скорости по крайней мере на порядок выше значений $\Delta v/v$, полученных в [4, 5]. Результаты этой работы позволяют сделать вывод о возможности использования ПАВ в слоистых структурах для создания ряда устройств обработки сигналов (фазовые модуляторы, СВЧ-детекторы) и для неразрушающего контроля поверхностных состояний.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Urabe S., Uki S.* Voltage Controlled Monolithic S. A. W. Phase Shifter Using M. Z. O. S. Structure // Electron. Lett. 1980. V. 16. № 20. 25th September. P. 777 - 778.
2. *Chao G.* Monolithic Surface–Acoustic–Wave Phase Shifter // Electron. Lett. 1973. V. 9. № 3. 8th Februarj. P. 49 - 51.
3. *Gulaev Yu.V., Zaitsev B.D., Kalinin V.Yu., Panferov A.D., Sinitsyn N.I., Smoljanski S.A., Fedorenko V.A.* Spatial-time Response Diagnostic of Electric, Magnetic and Mechanic Pulse Fields by Surfase Acoustic Waves // Proceedings of the International Symposium Surface Waves in Solids and Layred Structures. Novosibirsk, 1986. V. 2. P. 347 - 349.
4. *Боритко С.В., Лавренов А.А., Мансфельд Г.Д.* Влияние внешних электрических полей на фазовую скорость поверхностной волны в монолитной структуре ZnO–Si // РЭ. 1990. Т. 35. Вып. 5. С. 1090.
5. *Боритко С.В., Лавренов А.А., Мансфельд Г.Д.* Влияние поперечного электрического поля на распространение поверхностной акустической волны в монолитной структуре на основе кремния // РЭ. 1991. Т. 36. Вып. 4. С. 835 - 839.