

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. Сеницын

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  $f_{\text{макс}} < f_а$ , 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-временных 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-ZnO-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 ди-

электриком с хорошими полупроводниковыми качествами кремния ( $\rho = 20 \text{ Ом см}$ ,  $n_0 = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ). На поверхности ZnO были нанесены встречно-штыревые преобразователи для возбуждения ПАВ на частоте  $\sim 185 \text{ МГц}$  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  $u = -10 \text{ В}$  составило 0.1%. Рост ско-

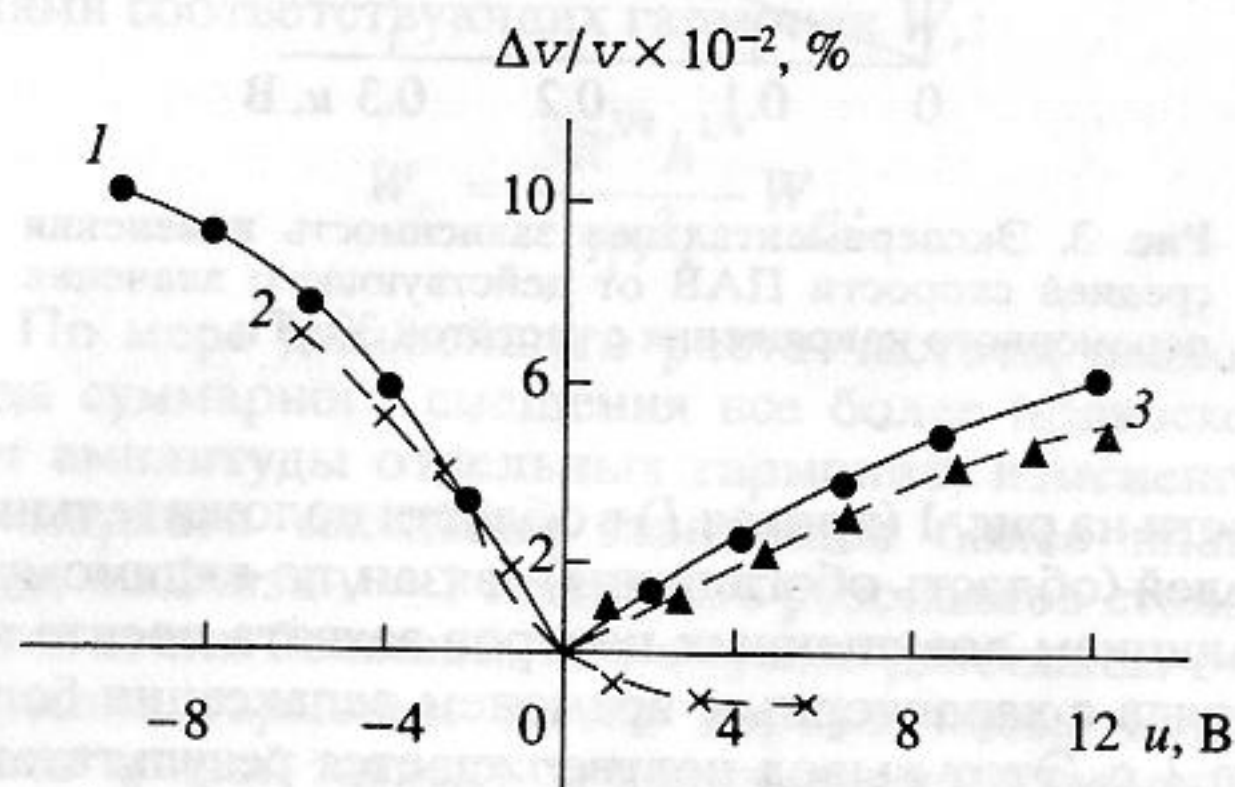


Рис. 1. Экспериментальные зависимости изменения скорости ПАВ в структуре Al-ZnO-n-Si-Al от приложенного постоянного (1) и переменного с частотой 1 Гц (2) напряжения. Кривая 3 соответствует зависимости изменения средней скорости ПАВ от действующего значения переменного напряжения с частотой 20 кГц.



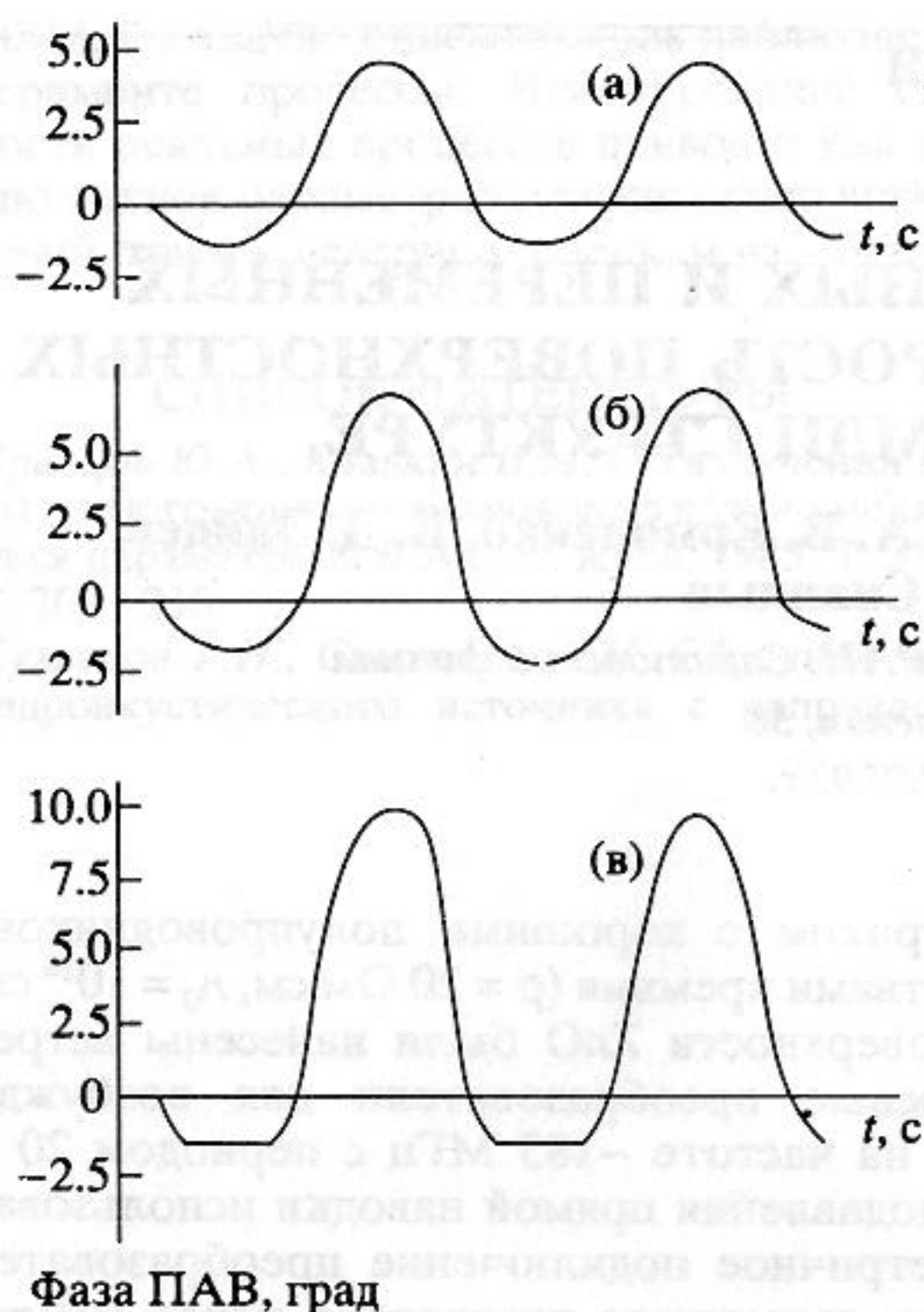


Рис. 2. Зависимость мгновенного изменения фазы ПАВ от времени, зарегистрированная самописцем для синусоидального напряжения частоты 1 Гц с амплитудами: 2 В (а), 4 В (б), 6 В (в).

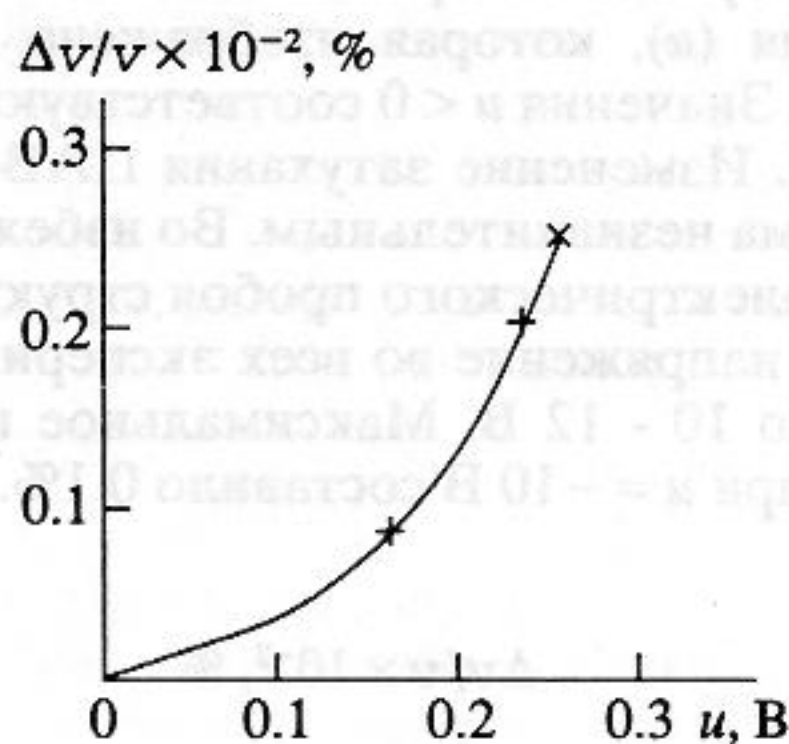


Рис. 3. Экспериментальная зависимость изменения средней скорости ПАВ от действующего значения переменного напряжения с частотой 30 ГГц.

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  $\Delta v/v \approx 0.7\%$ . В области же обогащения изменение фазы было весьма незначительным.

Были проведены эксперименты в переменных полях на частотах  $\sim 20$  кГц и  $\sim 30$  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  $\sim 0.04\%$ . Для проведения измерений на частоте 30 ГГц, меньшей, чем максвелловская частота релаксации ( $f_m = 50$  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 February. 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 Surface Acoustic Waves // Proceedings of the International Symposium Surface Waves in Solids and Layered 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 монокристаллической 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 монокристаллической структуре на основе кремния // РЭ. 1991. Т. 36. Вып. 4. С. 835 - 839.