

06;08;12

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В СТРУКТУРЕ МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

© *Б.Д.Зайцев, И.Е.Кузнецова, В.В.Попов*

Исследовано влияние эффекта поля на параметры поверхностных акустических волн (ПАВ), распространяющихся в МДП-структуре на основе GaAs *n*-типа. Показано, что изменение поверхностного потенциала в пределах 0–0.4 В может привести к изменению затухания ПАВ в пределах 0–80 дБ/см при различных частотах. Максимальное относительное изменение скорости ПАВ при этом составляет 0.08%. Полученные результаты показывают возможность эффективного управления электронным затуханием и скоростью ПАВ внешним электрическим полем, что имеет практическое значение при разработке различных устройств обработки сигналов с электрическим управлением характеристиками.

Известно, что электронное затухание и скорость ПАВ в структуре полубезграничный GaAs — тонкий проводящий слой сильно зависят от объемной и поверхностной проводимости [1]. В [2,3] показано, что указанными характеристиками ПАВ можно эффективно управлять с помощью внешнего магнитного поля.

Поверхностную концентрацию электронов в слое пространственного заряда на границе полупроводника можно изменять также за счет эффекта поля в МДП-структуре [4]. Существуют экспериментальные [5–8] и теоретические [9–11] работы, посвященные исследованию распространения ПАВ в подобных структурах, которые выявили основные закономерности электроакустического взаимодействия и показали перспективность создания акустоэлектронных устройств обработки сигналов с электрически управляемыми характеристиками. К настоящему времени наиболее изученными оказались МДП-структуры на основе кремния и сульфида кадмия. Структуры на основе арсенида галлия, сочетающего хорошие полупроводниковые и акустические свойства, исследованы недостаточно полно для того, чтобы оценивать возможные параметры проектируемых акустоэлектронных устройств обработки сигналов с электрически управляемыми характеристиками на основе эффекта поля.

В настоящей работе теоретически анализируется влияние поверхностного потенциала ϕ_s , создаваемого внешним электрическим полем, на электронное затухание и ско-

рость ПАВ на границе полупроводника в МДП-структуре на основе арсенида галлия n -типа. При этом в зависимости от знака потенциала на границе полупроводника может возникнуть как область обогащения, глубина которой характеризуется длиной экранирования Дебая L_D^n , так и область обеднения, характеризующаяся глубиной W [4]. Рассмотрим два случая различного соотношения между длиной волны ПАВ λ и характерной толщиной указанных областей:

1. $\lambda \ll L_D^n, W$. В этом случае можно считать, что акусто-электронное взаимодействие происходит в полубезграничном полупроводнике с плоскими зонами. Отсутствие слоя пространственного заряда на границе полупроводника приводит к непрерывности нормальной компоненты электрической индукции на границе раздела.

2. $\lambda \gg L_D^n, W$. В этом случае ПАВ распространяется вдоль границы однородного по глубине полупроводника с тонким проводящим поверхностным слоем [1,10]. В случае обогащения это приводит к необходимости учета поверхностного заряда и соответствующего разрыва электрической индукции на границе раздела. В случае же обеднения характеристики ПАВ не зависят от поверхностного потенциала.

Анализ ПАВ в МДП-структуре проводился численным методом, описанным в [1]. При решении задачи не учитывались динамический изгиб энергетических зон вблизи границы полупроводника, а также поверхностные центры рекомбинации и захвата носителей заряда, параметры которых определяются технологией получения подобных структур.

Для решения поставленной задачи использовались известные зависимости избыточной поверхностной концентрации электронов Δn_s от поверхностного потенциала ϕ_s , приведенные в [4].

На рис. 1,2 показаны зависимости удельного затухания и скорости ПАВ от поверхности потенциала для частот 10 МГц (а), 100 МГц (б) и 1000 МГц (в). Сплошная и штриховая линии относятся к случаям 1 и 2 соответственно. Зависимости, соответствующие промежуточной ситуации $\lambda \simeq L_D^n, W$ (штрихпунктирная линия), получены путем интерполяции. Объемная проводимость полупроводника является параметром. Анализируя рис. 1, можно отметить, что максимальное относительное изменение затухания для используемых значений объемной проводимости увеличивается с ростом частоты ПАВ. Для частот 100 и 1000 МГц кривые имеют ярко выраженный максимум, положение которого с увеличением объемной проводимости σ_v смещается в направлении нулевого значения ϕ_s . При этом максимальные величины изменения затухания составляют соответственно 0,2, 6,8 и 80 дБ/см для приведенных выше ча-

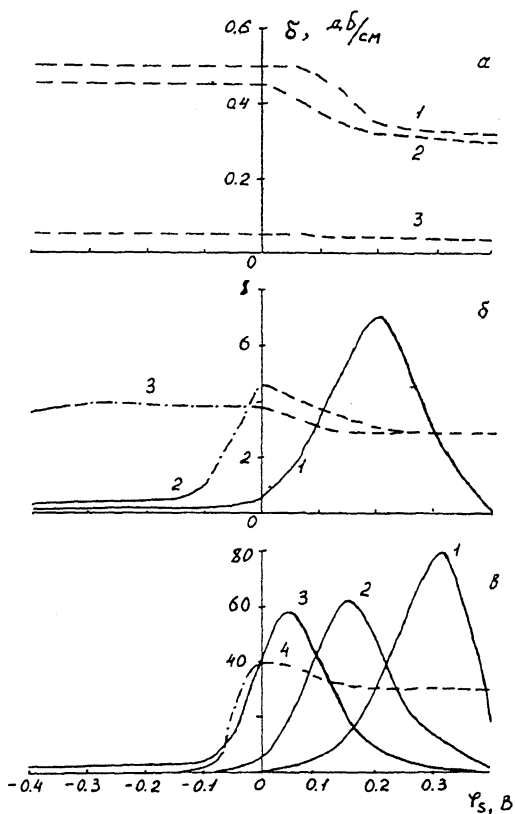


Рис. 1. Зависимости удельного затухания ПАВ (δ) от поверхностного потенциала для частот 10 МГц (*а*), 100 МГц (*б*) и 1000 МГц (*в*) при различных значениях объемной проводимости ($\text{Ом} \cdot \text{м}$)⁻¹: 1 — $2 \cdot 10^{-3}$, 2 — $2 \cdot 10^{-2}$, 3 — $2 \cdot 10^{-1}$, 4 — 2.0.

стот. Видно также, что существует значение σ_v^0 , зависящее от частоты, при превышении которого кривые теряют характерный максимум. Данное явление наблюдалось также в структуре LiNbO_3 - $n\text{Si}$ [11], и с нашей точки зрения, может быть объяснено различной степенью экранировки пьезополей ПАВ объемными электронами.

Из рис. 2 видно, что максимальное изменение скорости ПАВ при изменении ϕ_s зависит как от объемной проводимости, так и от соотношения между длиной волны и глубиной области обеднения или обогащения. Для анализируемых ситуаций $\lambda \ll L_D^n, W$ и $\lambda \gg L_D^n, W$ относительное изменение скорости не превышает значения величин $K_{об}^2$ и $K_{пов}^2$ соот-

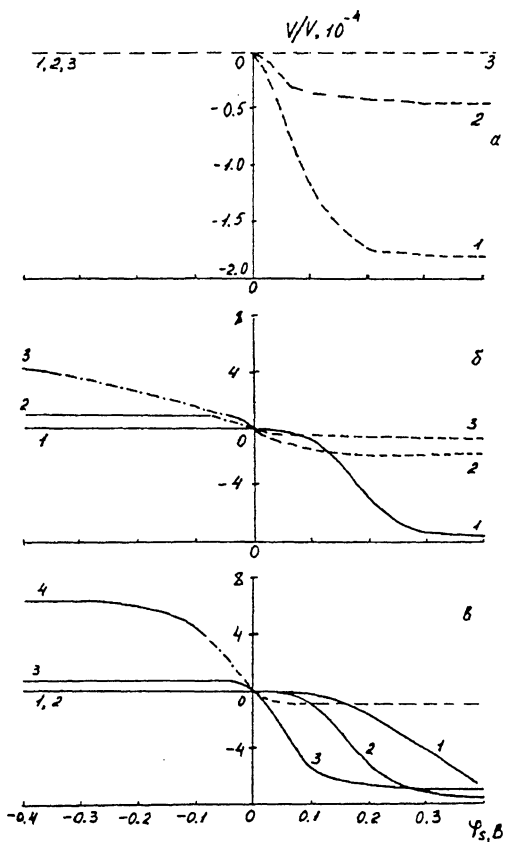


Рис. 2. Зависимости изменения скорости ПАВ от поверхностного потенциала для частот 10 МГц (а), 100 МГц (б) и 1000 МГц (в) при различных значениях объемной проводимости $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$: 1 — $2 \cdot 10^{-3}$, 2 — $2 \cdot 10^{-2}$, 3 — $2 \cdot 10^{-1}$, 4 — 2.0.

ответственно. Здесь $K_{об}$ и $K_{пов}$ — объемный и поверхностный коэффициенты электромеханической связи. Сравнение полученных данных с экспериментальными результатами, приведенными в [12], показывает их хорошее совпадение в пределах 10%. Область максимального изменения скорости ПАВ соответствует значению поверхностного потенциала, при котором наблюдается максимум затухания.

Приведенные зависимости позволяют выбрать необходимые параметры полупроводника и значения напряженности электрического поля, соответствующие заданному изменению затухания и скорости ПАВ. Проведенные оценки показали, что электронное затухание может существенно (на 1.5–2 порядка) превышать поглощение, связанное с тепло-

выми колебаниями решетки. Тем самым открывается возможность создавать не только фазовые, но и амплитудные электрически перестраиваемые модуляторы ПАВ для различных устройств обработки сигналов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 96-02-19211а).

Список литературы

- [1] *Зайцев Б.Д., Кузнецова И.Е., Нефедов И.С.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 4. С. 60-64.
- [2] *Зайцев Б.Д., Кузнецова И.Е.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 7. С. 30-34.
- [3] *Wizforth A., Kothaus J.P.* // Springer Series in Solid-State Science. 1989. V. 87. P. 94-103.
- [4] *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. Т. 1. М.: Мир, 1984. 453 с.
- [5] *Ganguly A.K., Chao G.* // Appl. Phys. Lett. 1973. V. 23. N 11. P. 590-592.
- [6] *Urabe S., Uki S.* // Electron. Lett. 1980. V. 16. N 20. P. 777-778.
- [7] *Боритко С.В., Лавренев А.А., Мансфельд Г.Д.* // РЭ. 1991. Т. 36. В. 4. С. 835-839.
- [8] *Бородин И.А., Голубский А.А., Ермоленко А.В., Зайцев Б.Д., Осипенко В.А., Сеницын Н.И.* // Акуст. журн. 1994. Т. 40. № 3. С. 439-440.
- [9] *Вьюн В.А., Ржанов А.В., Яковкин И.Б.* Акустоэлектронные методы исследования поверхности полупроводников. Новосибирск: ИФП, 1987. 126 с.
- [10] *Чаплик А.В.* // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 22. С. 1385-1387.
- [11] *Анисимов В.Я., Дашенков В.М., Кравченко В.И.* // Акуст. ж. 1983. Т. 29. N 5. С. 580-584.
- [12] *Grudkovski T.W., Montress G.K., Gilden M., Black J.F.* // IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques. 1981. V. MTT-29. N 12. P. 1348-1356.

Институт радиотехники
и электроники РАН
Саратовский филиал

Поступило в Редакцию
21 октября 1996 г.