

06.2;08

©1995

## ПОВЕРХНОСТНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В СТРУКТУРЕ GaAs-СЛОЙ ДВУМЕРНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА, ПОМЕЩЕННОЙ В МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

*Б.Д.Зайцев, И.Е.Кузнецова*

В работе [1] теоретически исследовано влияние тонких проводящих слоев на характеристики волн Рэля в арсениде галлия и показано, что поверхностная проводимость существенно влияет на затухание и скорость поверхностных акустических волн (ПАВ). Поскольку поверхностная проводимость, в свою очередь, зависит от внешнего магнитного поля [2], открывается перспектива разработки различных магнитоуправляемых акустоэлектронных устройств обработки сигналов. В связи с этим представляется интересным исследовать характеристики ПАВ в указанных выше структурах, помещенных в магнитное поле.

В настоящей работе решена задача о распространении ПАВ Рэля в структуре проводящий слой с произвольной проводимостью — подложка GaAs, помещенной во внешнее магнитное поле. Задача решалась аналогично [1], т. е. за основу были взяты стандартные уравнения движения упругой среды, уравнение Пуассона, уравнение непрерывности заряда, материальные уравнения для механического напряжения, электрической индукции и тока проводимости с учетом пьезоэффекта и диффузии носителей заряда. Граничные условия являлись также стандартными, а именно, равенство нулю механических напряжений на свободной поверхности и нормальной компоненты тока проводимости, непрерывность электрического потенциала и разрыв нормальной компоненты электрической индукции, связанный с появлением поверхностного заряда. Влияние магнитного поля учитывалось в изменении тензора проводимости поверхностного слоя в последнем граничном условии.

Тензор проводимости для невозмущенного кубического кристалла, как известно [3], имеет только одну независимую компоненту  $\sigma_s$ , т.е. кристалл ведет себя как изотропное тело. Внешнее магнитное поле вследствие появления силы Лоренца меняет как симметрию этого тензора, так и значение его компонент в соответствии с приведенными в [2]

формулами

$$\sigma_i = \begin{vmatrix} \sigma_1 & \sigma_2 & 0 \\ -\sigma_2 & \sigma_1 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_1 \end{vmatrix}$$

Здесь  $\frac{i\Omega_e \omega_{ps}^2}{\omega_{ce}^2 - \Omega_e^2}$  и  $\sigma_2 = \frac{\omega_{ce} \omega_{ps}^2}{\omega_{ce}^2 - \Omega_e^2}$ , где  $\Omega_e = \omega - i\nu_e$ ,  $\omega$  — частота ПАВ,  $\nu_e$  — частота столкновений,  $\omega_{ps}^2 = q^2 n_s / m_e^*$ ,  $q$  — заряд электрона,  $m_e^*$  — эффективная масса электрона,  $n_s$  — поверхностная концентрация,  $\omega_{ce} = -|q|B_0 / m_e^*$ ,  $B_0$  — индукция магнитного поля. При этом поле ориентировано вдоль кристаллофизической оси  $x_3$ .

В нашем случае волна Рэля распространялась вдоль направления  $x_1$ , а ось  $x_3$ , нормальная к поверхности полубесконечного кристалла, совпадала с направлением магнитного поля. Вследствие двумерности задачи ( $\partial/\partial x_2 = 0$ ) недиагональные компоненты тензора проводимости в расчетах не учитывались. Таким образом, влияние магнитного поля учитывалось только в его диагональных компонентах путем введения коэффициента пропорциональности  $\alpha(B)$ , который для GaAs оказался равным  $\alpha(B) = 1.96 / (696B^2 + 1.96)$  (в системе СИ). Таким образом,  $\sigma_1 = \alpha(B)\sigma_s$ .

На рис. 1, 2 приведены рассчитанные методом матрицы передачи зависимости и изменения скорости ПАВ, распространяющейся вдоль направления  $[110]$  в кристаллографической плоскости  $(001)$ , от индукции внешнего магнитного поля для трех значений объемной проводимости  $\sigma_v = 2 \times 10^{-5} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$  (а),  $2 \cdot 10^{-3} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$  (б),  $2 \cdot 10^{-1} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$  (в). Параметром является невозмущенная поверхностная проводимость, равная  $\sigma_3 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1}$  (1),  $2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1}$  (2),  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1}$  (3),  $2 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$  (4).

По оси ординат рис. 1 отложено затухание (по амплитуде) на длину волны ПАВ. Видно, что кривые затухания имеют характерный оптимум, который однозначно связан с приведенными в [1] зависимостями затухания от поверхностной проводимости. Соответственно с увеличением невозмущенной поверхностной проводимости пик затухания смещается в сторону более сильного магнитного поля. Что касается объемной проводимости, то с ее увеличением указанные зависимости спрямляются и при  $\sigma_v > 2 \cdot 10^{-1} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$  и  $B_0 > 1 \text{ Тл}$  перестает зависеть от магнитного поля.

На рис. 2 приведены зависимости относительного изменения скорости ПАВ от индукции приложенного магнитного поля. Видно, что с увеличением магнитного поля скорость ПАВ возрастает и при значении поля  $B_0$  достигает насы-

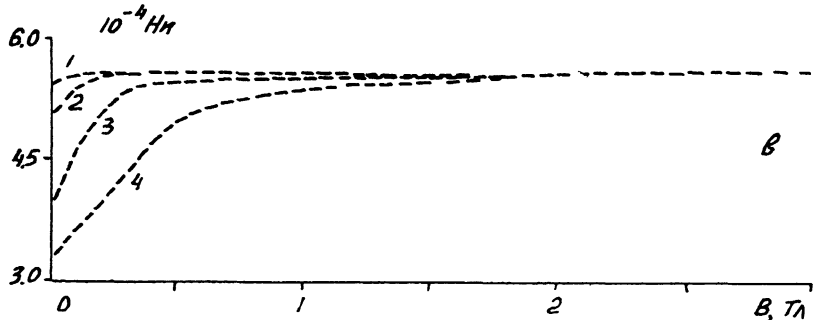
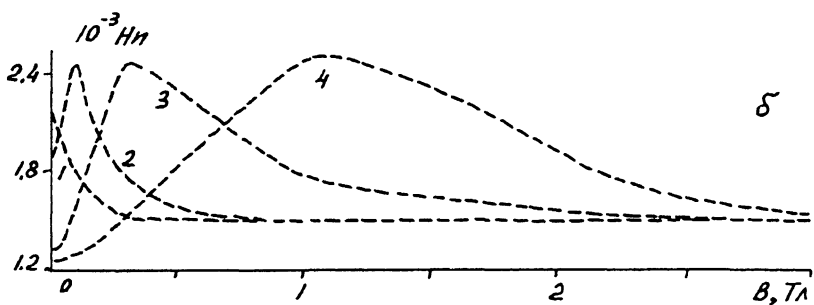
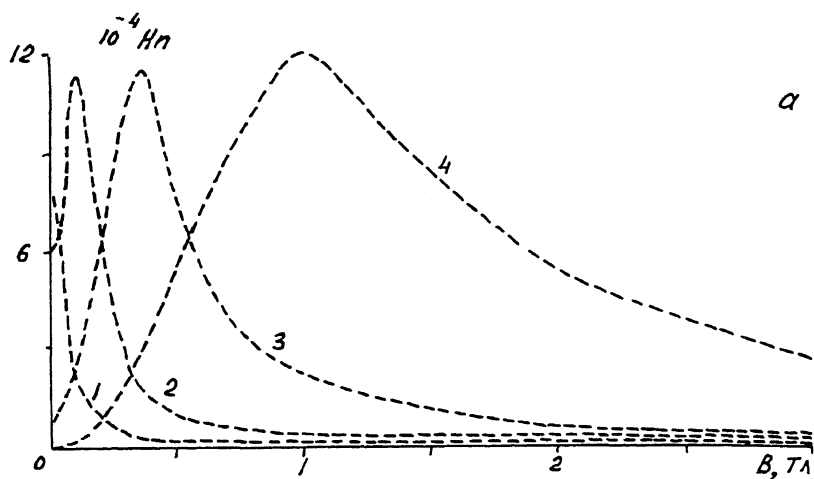


Рис. 1. Зависимость затухания ПАВ на длину волны от индукции магнитного поля при различных значениях объемной и поверхностной проводимости.

*a* —  $\sigma_v = 2 \cdot 10^{-5} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ , *б* —  $\sigma_v = 2 \cdot 10^{-3} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ , *в* —  $\sigma_v = 2 \cdot 10^{-1} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ . 1 —  $\sigma_s = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1}$ , 2 —  $\sigma_s = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1}$ , 3 —  $\sigma_s = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1}$ , 4 —  $\sigma_s = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$ .

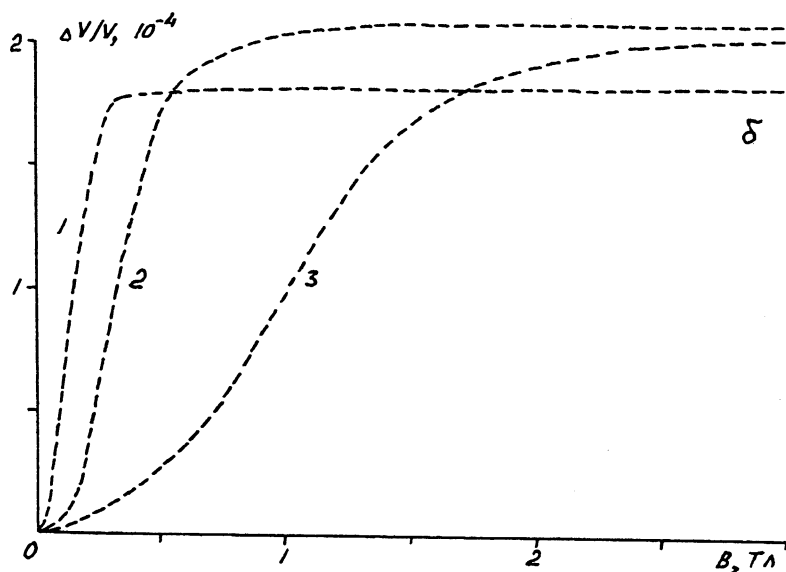
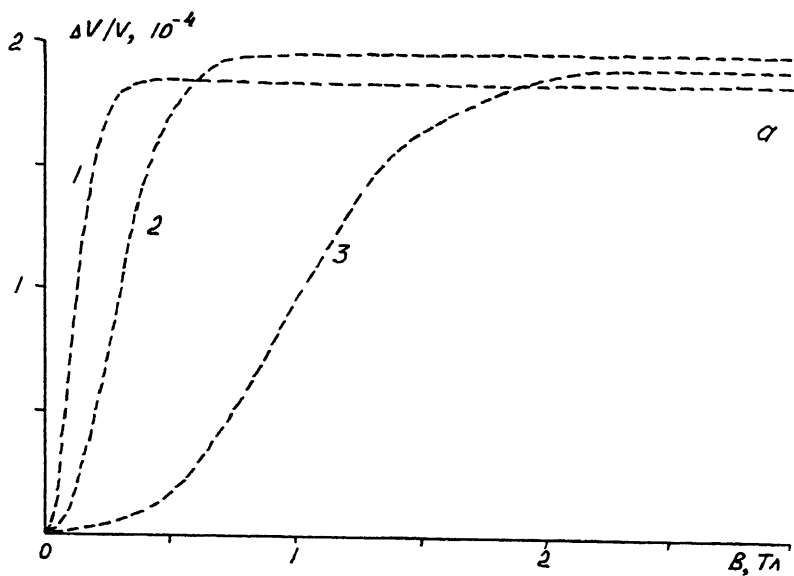


Рис. 2. Зависимость относительного изменения скорости ПАВ от индукции магнитного поля при различных значениях объемной и поверхностной проводимости для частоты 100 МГц.

$a - \sigma_v = 2 \cdot 10^{-5} (\text{Ом} \cdot \text{м})$ ,  $b - \sigma_v = 2 \cdot 10^{-3} (\text{Ом} \cdot \text{м}^{-1})$ .

$1 - \sigma_s = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1}$ ,  $2 - \sigma_s = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1}$ ,  $3 - \sigma_s = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$ .

нения. Соответственно величина  $V_0$  растет с увеличением невозмущенной поверхностной проводимости. При этом максимальное изменение скорости падает с ростом объемной проводимости и для  $\sigma_v > 2 \cdot 10^{-1}(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$  обращается практически в нуль. Поэтому рисунок, соответствующий  $\sigma_v > 2 \cdot 10^{-1}(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ , не приведен. Данные зависимости имеют простой физический смысл. С ростом магнитного поля поверхностная проводимость падает, что уменьшает степень экранировки пьезополей ПАВ и приводит к увеличению скорости. Что касается влияния объемной проводимости, то при ее возрастании и достижении полной экранировки скорость перестает зависеть от поверхностной проводимости и соответственно от магнитного поля. Расчеты проводились при различных частотах ПАВ, но, так как значительного изменения характера кривых не наблюдалось, на рисунках приведены графики для частоты 100 МГц.

Приведенные зависимости показывают существование областей с почти линейным характером изменения скорости и затухания ПАВ от индукции магнитного поля. Эти данные могут быть использованы при разработке различных устройств с магнитоуправляемыми характеристиками, таких как фазовращатели, амплитудные и фазовые модуляторы, измерители магнитных полей.

В заключение авторы выражают благодарность О.Ф. Мешкову и В.В. Попову за предоставленную информацию и полезные обсуждения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-02-15480).

#### Список литературы

- [1] *Зайцев Б.Д., Кузнецов И.Е., Нефедов И.С.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 4. С. 60-64.
- [2] *Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г.* // Физика полупроводников. М.: Наука, 1977. 672 с.
- [3] *Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П.* Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1979. 640 с.

Институт радиотехники  
и электроники РАН  
Саратовский филиал

Поступило в Редакцию  
25 ноября 1994 г.