

05;06;08;11;12

## **Влияние тонкого проводящего поверхностного слоя на свойства квазипоперечных сдвиговых волн и волн Лэмба в пластинах арсенида галлия**

© И.Е. Кузнецова, Б.Д. Зайцев, И.А. Бородина, В.В. Попов

Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН

Поступило в Редакцию 6 июля 1998 г.

Исследуется влияние тонкого проводящего поверхностного слоя на затухание и скорость акустических волн в пластинах арсенида галлия. Обнаружено, что квадрат коэффициента электромеханической связи для отдельных направлений распространения волн Лэмба и квазипоперечных сдвиговых волн на порядок больше, чем для поверхностных акустических волн (ПАВ). В связи с этим проводимости подложки и поверхностного слоя оказывают более существенное влияние на затухание волн в пластинах, чем в случае ПАВ.

Как известно [1], в безграничной пластине со свободными поверхностями могут распространяться два типа упругих волн: волны Лэмба и поперечные волны. Чисто поперечные волны существуют либо в изотропных материалах, либо в кристаллах с определенной кристаллической симметрией. В последнее время появились работы [2,3], где показана возможность существования в пластинах так называемых квазипоперечных сдвиговых (QSH) волн. Одной из основных особенностей этих волн является практически полное отсутствие дисперсии и нормальной к поверхности компоненты механического смещения частиц при отношении  $h/\lambda < 1$  ( $h$  — толщина пластины,  $\lambda$  — длина акустической волны). Причем в отличие от чисто поперечных волн QSH волны могут распространяться в кристаллах любой симметрии. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что коэффициент электромеханической связи для QSH волн и волн Лэмба в пьезоэлектрических пластинах существенно зависит от толщины пластины и его величина может превышать аналогичный параметр для ПАВ на порядок [4,5].

В работах [6,7] показано, что тонкие проводящие поверхностные слои влияют на скорость и затухание поверхностных акустических волн

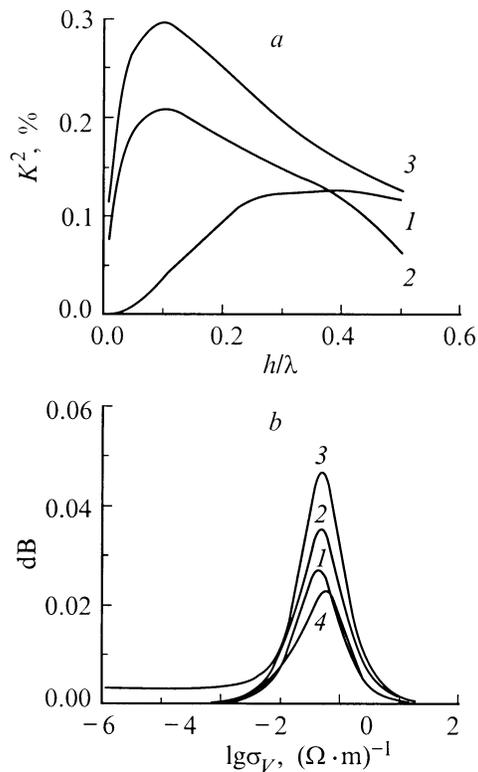
(ПАВ), распространяющихся в нецентросимметричных пьезополупроводниковых кристаллах. Этот эффект связан с акустоэлектрическим взаимодействием между электронами проводимости и электрическим полем, сопровождающим акустическую волну. Причем амплитуда индуцируемых колебаний концентрации носителей заряда зависит от величины коэффициента электромеханической связи. В связи с этим представляется интересным исследовать влияние тонких проводящих поверхностных слоев на волны Лэмба и QSH волны в пьезополупроводниковых пластинах.

Влияние объемной проводимости и дрейфовой скорости электронов на скорость и затухание нормальных волн в волн Лэмба теоретически и экспериментально изучено в работах [8–10] для случая сульфида кадмия. Одним из наиболее широкоиспользуемых материалов в настоящее время является арсенид галлия. Однако влияние поверхностных и объемных электронов на характеристики волн Лэмба и QSH волн в пластинах GaAs не изучено.

Для решения поставленной задачи использовались стандартные уравнения движения упругой среды, уравнение Пуассона, уравнение непрерывности, материальные уравнения для механического напряжения, электрической индукции и тока проводимости с учетом пьезоэффекта и диффузии носителей заряда в пластине [6]. Граничными условиями являлись равенство нулю механических напряжений, нормальной компоненты тока проводимости и непрерывность потенциала на границах пластины. Влияние тонкого проводящего слоя учитывалось через скачок нормальной компоненты электрической индукции за счет поверхностного заряда [11].

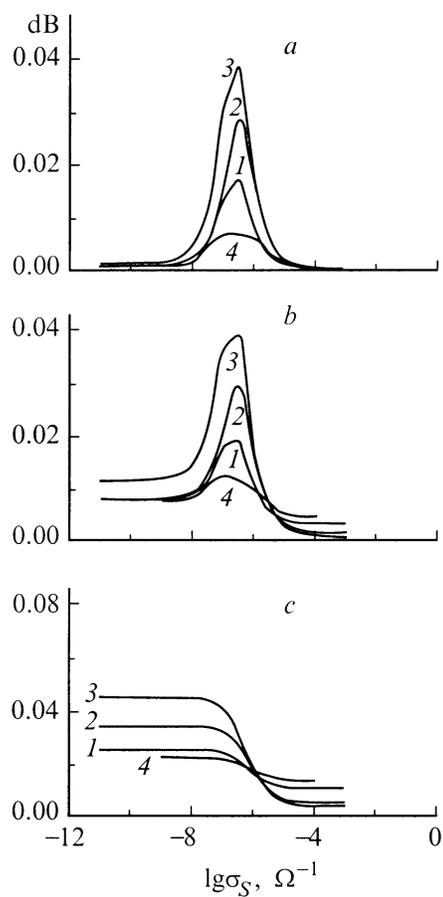
В результате расчетов были найдены коэффициенты электромеханической связи симметричной ( $S_0$ ) и антисимметричной ( $A_0$ ) волн Лэмба и QSH волн для различных направлений распространения в наиболее часто используемых кристаллографических плоскостях арсенида галлия (001), (110), (111) и (112).

Обнаружено, что максимальное значение коэффициента электромеханической связи  $K$  пластинчатых волн почти на порядок превышает аналогичный параметр для ПАВ. Например, для наиболее пьезоактивного направления [110] в плоскости (001) для ПАВ имеем  $K = 0.04\%$ , в то время как для  $S_0$  и QSH волн в плоскости (110) существуют направления, где эта величина составляет 0.2 и 0.3% соответственно при  $h/\lambda = 0.1$ , а для  $A_0$  волны в плоскости (001) и направлении [110]



**Рис. 1.** Зависимости: *a* — коэффициента электромеханической связи  $K$  от относительной толщины пластины, *b* — затухания волн в пластине от объемной проводимости ( $\sigma_v$ ). 1 —  $A_0$  волна в плоскости (001) вдоль направления [110] ( $h/\lambda = 0.4$ ); 2 —  $S_0$  волна в плоскости (110) под углом  $40^\circ$  к направлению [001] ( $h/\lambda = 0.1$ ); 3 — QSH волна, распространяющаяся в плоскости (110) вдоль направления [001] ( $h/\lambda = 0.1$ ); 4 — ПАВ, распространяющаяся в плоскости (001) вдоль направления [110].

$K = 0.13\%$  при  $h/\lambda = 0.4$  (рис. 1, *a*). Увеличение  $K$  для пластинчатых волн связано с тем, что отношение энергии электрического поля вне кристалла к энергии электрического поля внутри кристалла гораздо



**Рис. 2.** Зависимость затухания волн в пластине от поверхностной проводимости ( $\sigma_s$ ):  $a - \sigma_v = 0.001$ ;  $b - \sigma_v = 0.01$ ;  $c - \sigma_v = 0.1$ . 1 —  $A_0$  волна в плоскости (001) вдоль направления [110] ( $h/\lambda = 0.4$ ); 2 —  $S_0$  волна в плоскости (110) под углом  $40^\circ$  к направлению [001] ( $h/\lambda = 0.1$ ); 3 — QSH волна, распространяющаяся в плоскости (110) вдоль направления [001] ( $h/\lambda = 0.1$ ); 4 — ПАВ, распространяющаяся в плоскости (001) вдоль направления [110].

больше в случае пластины, чем для полубесконечной среды. Поэтому металлизация пластины более существенно влияет на скорость пластинчатых волн по сравнению со случаем ПАВ.

На рис. 1, *b* приведены графики затухания по мощности волн в пластине на длине волны в зависимости от объемной проводимости для различных типов волн при частоте 100 МГц. Сравнение полученных результатов с известными экспериментальными данными для CdS [9,10] показало их качественное совпадение.

На рис. 2, *a, b, c* представлены зависимости затухания волн Лэмба и QSH волн от проводимости тонкого слоя на поверхности пластины для различных значений объемной проводимости. Так же как и в случае ПАВ [6], при  $\sigma_s = 10^{-7} \Omega^{-1}$  наблюдается максимум поглощения, который может быть объяснен тем, что при малых  $\sigma_s$  слой не оказывает никакого влияния на акустическую волну и не вносит затухания, а при больших  $\sigma_s$  слой становится идеальным проводником. Из рис. 2 видно, что с увеличением объемной проводимости зависимости спрямляются и при  $\sigma_v > 0.1$  влиянием поверхностной проводимости можно пренебречь.

Из приведенных графиков можно сделать вывод, что объемная и поверхностная проводимость оказывают большее влияние на характеристики QSH волн и волн Лэмба, чем на ПАВ.

В работе также было рассчитано относительное изменение фазовой скорости волны в пластине в зависимости от поверхностной проводимости для различных типов волн и объемной проводимости. Обнаружено, что с ростом поверхностной проводимости скорость акустических волн в пластине уменьшается, причем величина максимального изменения скорости, равная коэффициенту электромеханической связи, зависит от толщины пластины.

Полученные результаты показывают реальную возможность существенного улучшения параметров электроакустических устройств обработки сигналов, основанных на GaAs, путем использования волн в пластинах вместо ПАВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 96-02-19211) и Федеральной целевой программы "Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997-2000 годы" по проекту 696.3.

## Список литературы

- [1] *Физическая акустика* / Под ред. У. Мезона. Методы и приборы ультразвуковых исследований. Ч. А. Т. 1. М.: Мир, 1966.
- [2] *Joshi S.G., Jin Y.* // *Ultrasonics*. 1996. V. 34. P. 507–509.
- [3] *Jin Y., Joshi S.G.* // *IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroel. and Freq. Control*. 1996. V. 43. P. 491–494.
- [4] *Zaitsev B.D., Joshi S.G., Kuznetsova I.E.* // *Smart and Structures*. 1997. V. 6. P. 739–744.
- [5] *Joshi S.G., Jin Y.* // *J. Appl. Phys.* 1991. V. 70. P. 4113–4120.
- [6] *Зайцев Б.Д., Кузнецова И.Е., Нефедов И.С.* // *Письма в ЖТФ*. 1994. Т. 20. В. 4. С. 60–64.
- [7] *Чаплик А.В.* // *Письма в ЖТФ*. 1984. Т. 10. В. 22. С. 1385–1387.
- [8] *До Хак Хьонг, Коцаренко Н.Я., Федорченко А.М.* // *Украинский физический журнал*. 1970. Т. 15. № 11. С. 1878–1885.
- [9] *Кучеров И.Я., Островский И.В.* // *Украинский физический журнал*. 1971. Т. 16. № 2. С. 209–213.
- [10] *Бурлий П.В., Кучеров И.Я., Омеляненко М.Ю., Островский И.В.* // *Украинский физический журнал*. 1975. Т. 20. № 2. С. 327–329.
- [11] *Викторов И.А.* // *ДАН СССР*. 1969. Т. 187. В. 2. С. 294–297.