

О ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Г. Л. Гуревич, Л. Н. Жиженкова

Перед акустоэлектроникой стоит ряд задач, в том числе повышение рабочей частоты устройств и увеличение эффективности взаимного преобразования электрического и акустического сигналов.

Традиционным решением первой из этих задач в настоящее время является использование в качестве рабочей не общепринятой в акустоэлектронике поверхностной акустической волны (ПАВ) Рэлея, а при поверхностно-объемной акустической волны (ППОАВ) [1]. Скорость ППОАВ в ~ 1.5 раза выше, во столько же раз выше рабочая частота устройств при том же разрешении литографии. Однако ППОАВ расплывается вглубь при распространении вдоль подложки. Для предотвращения этого на поверхность наносят, например, замедляющую пленку [2].

В качестве решения второй задачи в работе [3], например, было предложено наносить на подложку, вдоль которой распространяется ПАВ Рэлея, диэлектрическую пленку. Расчеты показали, что при этом эффективность преобразования может возрасти на десятки процентов. В работах [4, 5] экспериментально подтвержден этот факт, но требующиеся толщины пленок ($kh \sim 1$, k — волновое число) ведут к технологическим трудностям.

Отмечены те решения, которые связаны с нанесением на традиционные подложки простейших (непьезоэлектрических) пленок. Но в такой структуре можно повысить эффективность существеннее, приблизив величину этого параметра к значению в объемной волне с объемными электроакустическими преобразователями.

Волна Рэлея образована тремя парциальными волнами, экспоненциально затухающими в глубину. Каждая из них способна вызвать электрические поля, сравнимые с полями в объемной волне. Однако соотношения между амплитудами этих волн, задаваемые граничными условиями, приводят к значительному взаимному гашению полей. Использование ПАВ с простой структурой, например волны Лява, позволит увеличить эффективность преобразования сигналов в несколько раз по сравнению с использованием волны Рэлея. При этом сохраняется выигрыш в скорости.

Эффективность преобразования сигналов определяется величиной относительного изменения скорости ПАВ, распространяющейся вдоль подложки при отсутствии и при наличии металлизации в плоскости размещения преобразователя [6]

$$\Delta v/v = -v\varphi D_N^*/4S,$$

где S — поток акустической энергии, φ — пьезопотенциал в плоскости размещения преобразователя, D_N — нормальная компонента пьезоэлектрической индукции при металлизации этой плоскости.

Выразим параметр $\Delta v/v$ через структуру ПАВ. Пленку рассмотрим простейшую — диэлектрическую и изотропную. Диэлектрические проницаемости воздуха, пленки и подложки обозначим ϵ_0 , ϵ_1 , ϵ_{nm} соответственно. Избегая загромождения несущественными деталями, считаем, что $\epsilon_0/\epsilon_1 \ll 1$, а подложка ориентирована по главным осям кристалла. Тогда φ и D_N на поверхности пьезоподложки связаны соотношением

$$D_N = -k\epsilon_p (1 + \epsilon_1 \operatorname{th} kh/\epsilon_p) \varphi,$$

а пьезопотенциал выражается через поляризацию среды P

$$\varphi = - \int_0^{\infty} (iP_{\xi} + aP_{\eta}) e^{-\alpha k\eta} d\eta/\epsilon_p (1 + \epsilon_1 \operatorname{th} kh/\epsilon_p),$$

где $\epsilon_p = \sqrt{\epsilon_{\xi\xi}\epsilon_{\eta\eta}}$, $\alpha = \sqrt{\epsilon_{\xi\xi}/\epsilon_{\eta\eta}}$, $P_n = e_{nmj} S_{mj}$, e_{nmj} — пьезоконстанты,

$$S_{mn} = \left(\frac{\partial u_m}{\partial x_n} + \frac{\partial u_n}{\partial x_m} \right) / 2$$

— тензор деформации; u_m — смещение частиц в волне; ξ и η — оси, параллельная направлению распространения волны и перпендикулярная поверхности; координаты пленки:

$0 \geq \eta \geq -h$; изменение во времени $\sim e^{-i\omega t}$. Воспользовавшись выражением для потока S [6], получим

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{1}{2} |(iK_{\xi mn} + \alpha K_{\eta mn}) J_{mn}|^2, \quad (1)$$

где $K_{jmn} = e_{jmn}/\sqrt{\epsilon_p c}$ — константа электромеханической связи, $c = \rho v^2$ — эффективная константа упругости, ρ — плотность вещества, для волны Рэлея, v — скорость волны Рэлея, для волны Лява v — скорость объемной сдвиговой волны в подложке,

$$J_{mn} = \int_0^{\infty} S_{jmn} e^{-\alpha k \eta} d\eta / \Phi_1 \Phi_2 \sqrt{k \int_0^{\infty} |u_m|^2 d\eta}$$

— структурный коэффициент,

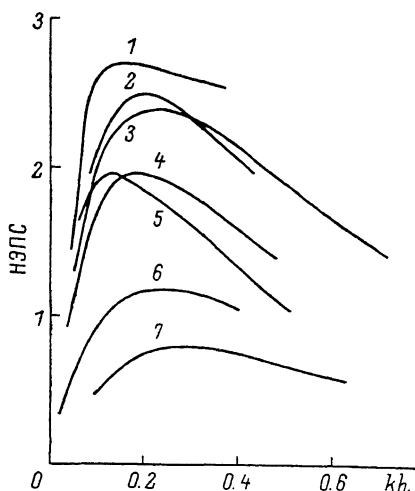
$$\Phi_1 = \sqrt{1 + \epsilon_1 \operatorname{th} kh / \epsilon_p}, \quad \Phi_2 = \sqrt{1 + \delta},$$

δ — доля потока акустической энергии волны в пленке.

Заметим, что для объемной волны, понимая в формуле (1) под $\Delta v/v$ изменение скорости при наличии и в отсутствие пьезоэффекта, один из $J_{mn} = 1$, остальные равны нулю и (1) превращается в $\Delta v/v = K^2/2$ — хорошо известное в акустоэлектронике соотношение.

Сравним значения J_{mn} для волн Рэлея и Лява. Воспользуемся структурой этих волн в упругоизотропной среде.

Для волны Рэлея (без пленки) во всем диапазоне значений коэффициента Пуассона $0 \leq \sigma \leq 0.5$ компоненты J_{mn} $\{J_{\xi\xi}, J_{\xi\eta}, J_{\eta\eta}\}$ изменяются в интервалах: $0.20 \geq -iJ_{\xi\xi} \geq 0.04$,



Зависимость нормированной эффективности преобразования сигнала (НЭПС) в SiO_2 при использовании волны Лява с различными пленками от их толщины.

1 — CdSe, 2 — CdS, 3 — BaF₂, 4 — ZnO, 5 — InSb, 6 — GaAs, 7 — Ge. Значения скорости волны (в км/с) в максимумах кривых: 1 — 3.86, 2 — 3.68, 3 — 3.66, 4 — 3.75, 5 — 3.75, 6 — 3.82, 7 — 3.86.

$0.10 \geq -iJ_{\eta\eta} \geq -0.04$, $0.12 \leq J_{\xi\eta} \leq 0.14$. Поэтому в волне Рэлея не удается получить $(\Delta v/v)_R \approx K^2/2$, как для объемной волны.

Волна Лява в подложке имеет структуру $u_{\zeta} e^{-\alpha \eta}$, где ζ — ось координат. Компоненты J_{mn} $\{J_{\zeta\xi}, J_{\zeta\eta}\}$ имеют вид

$$J_{\zeta\xi} = i \sqrt{\frac{v}{2}} \frac{1}{v + \alpha} \frac{1}{\Phi_1 \Phi_2}, \quad J_{\zeta\eta} = i v J_{\zeta\xi}, \quad \text{где } v = \frac{\alpha}{k}.$$

Для матрицы пьезоконстант, например кристаллов класса $6mm$ (CdS, CdSe, ZnO), при совмещении оси ζ с осью Z кристалла $e_{\xi\xi\xi} = e_{\eta\xi\eta} = e_0$, $e_{\eta\xi\xi} = e_{\xi\xi\eta} \equiv 0$, и при $\alpha = 1$

$$\left(\frac{\Delta v}{v}\right)_{\text{Лява}} = \frac{K^2}{2} \frac{2v}{\Phi_1^2 \Phi_2^2},$$

где $K^2 = e_0^2 / \epsilon_p c$. Т. е. при замедлении, обеспечивающем $v \approx 1/2$ и $\Phi_1 \Phi_2 \approx 1$, будем иметь $(\Delta v/v)_{\text{Лява}} \approx K^2/2$. К сожалению, используемые пленки не позволяют получить этого в перечисленных подложках.

Эффект увеличения $(\Delta v/v)_{\text{Лява}}$ по сравнению с $(\Delta v/v)_R$ проиллюстрируем на материале с более высокой скоростью объемной сдвиговой волны SiO_2 , относящемся к классу 32. Аналитические расчеты для подложки пьезокварца (SiO_2) проведены при срезах по кристаллографическим осям Y и Z (распространение волны перпендикулярно X -оси). Данные по материалам взяты из [7]. Наибольшего значения эффективности и скорости можно достичь при Z -срезе. Для этого среза на рисунке представлена зависимость величины $(\Delta v/v)_{\text{Лява}}$, норми-

рованной на максимальное значение этого же параметра, но для волны Рэлея в SiO_2 $(\Delta v/v)_{\max R} (\Delta v/v)_{\max L} = 9.3 \cdot 10^4$ при UX -срезе для различных пленок от их толщины.

Результаты показывают, что для волны Лява уже при толщине пленок $kh \sim 0.1 \div 0.2$ можно получить величину $\Delta v/v$, в 1.5—3 раза превышающую наибольшее значение этого параметра для волны Рэлея.

Заметим, что задача повышения эффективности возникает и при создании монолитных интегральных схем с ПАВ элементами на традиционных для микроэлектроники подложках, являющихся слабыми пьезоэлектриками [8].

Литература

- [1] Кондратьев С. Н. Поверхностно-объемные акустические волны и их использование в акустоэлектронике. — Зарубежная радиоэлектроника, 1981, № 12, с. 53—69.
- [2] Пасхин В. М., Родионов Л. В., Сандлер М. С. и др. Резонаторы акустических волн на основе слоистой структуры селен—пьезокварц. — Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, № 17, с. 1037—1041.
- [3] Solie L. P. Appl. Phys. Lett., 1971, v. 18, N 4, p. 111—112.
- [4] Reeder T. M., Kino G. S., Adams P. L. Appl. Phys. Lett., 1971, v. 19, N 8, p. 279—280.
- [5] Анисимкин В. И., Котелянский И. М., Крикунов А. И. и др. Увеличение коэффициента электромеханической связи ПАВ в пьезоэлектриках. — Материалы XII Всес. конф. по акустоэлектронике и квантовой акустике. Саратов, 1983, ч. 1, с. 158.
- [6] Фильтры на поверхностных акустических волнах / Под ред. Метьюза Г. М.: Радио и связь, 1981. 471 с.
- [7] Акустические кристаллы / Под ред. Шаскольской М. П. М.: Наука, 1982. 632 с.
- [8] Жиженкова Л. Н. Исследование волн Лява для обработки сигнала в интегральной электронике СВЧ. — Тез. докл. Всес. конф. «Проблемы интегральной электроники СВЧ». Л., 1984, с. 8.

Поступило в Редакцию
30 декабря 1984 г.
В окончательной редакции
17 апреля 1986 г.

ФОТО- И ТЕРМОДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ ФОТОЭЛЕКТРЕТОВ $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$

А. В. Гальчинский, А. С. Сай, Я. В. Бурак, А. Б. Лыскович

Сочетание в кристаллах силленитов электрооптических и фотоэлектретных свойств делает их перспективными для создания различных устройств записи, хранения и обработки оптической информации [1]. Известно также, что функционирование таких устройств тесно связано с процессами образования и деполяризации фотоэлектретного состояния (ФЭС) [2].

Известные в литературе исследования ФЭС в кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ показали, что в них в процессе фотополяризации образуется гетерозаряд, накопление которого обусловлено запиорным характером металлических электродов при относительно низких напряженностях поляризующего электрического поля. С ростом напряженности поляризующего электрического поля величина гетерозаряда в системе $\text{Me}-\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}-\text{Me}$ уменьшается за счет инжекционных токов [3].

Хорошо известно [4], что наличие обмена носителями заряда между электродом и кристаллом в процессе фотополяризации обуславливает локализацию в приэлектродных областях на уровнях прилипания (УП) как смещенных, так и инжектированных носителей, т. е. одновременно может накапливаться гетеро- и гомозаряд. Поэтому в зависимости от характера контакта, условий поляризации и свойств носителей заряда в образце будет преобладать либо гетеро-, либо гомозаряд, а также не исключена их взаимная компенсация. В таких случаях между электродами и образцом целесообразно использовать диэлектрические прокладки, исключающие инжекцию носителей в образец, так как при этом образуется только гетерозаряд.

В настоящей работе методами фото- и термостимулированной деполяризации изучаются свойства фотоэлектретов $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, а именно особенности их спектральной чувствительности (СЧ).