

УДК 534.232.082.73

© 1990 г.

М. А. Григорьев, С. С. Курьшов, А. В. Толстикова

**О ВЛИЯНИИ КОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНЫ ЭЛЕКТРОДОВ  
ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ОБЪЕМНЫХ УПРУГИХ ВОЛН  
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКАМИ КЛАССА *btt* С ПРОИЗВОЛЬНОЙ  
ОРИЕНТАЦИЕЙ ОСИ *b***

Рассмотрен электроакустический преобразователь на основе пьезоэлектрика класса *btt* с произвольной ориентацией оси *b* и с электродами конечной толщины. Получена система уравнений для расчета на ЭВМ нормированного импеданса преобразователя, а также отношения мощностей сдвиговой и продольной волн в звукопроводе. Приведены результаты численного расчета конкретного преобразователя.

В [1] была проанализирована работа пьезопреобразователя на основе пьезоэлектрика класса *btt* с произвольной ориентацией оси *b* без учета влияния электродов, предназначенных для создания в нем высокочастотного электрического поля. Для преобразователей коротковолновой части СВЧ диапазона пренебрежение электродами становится недопустимым в связи с тем, что их толщина оказывается сравнимой с длиной «звуковой» волны. Например, на частоте  $\sim 10$  ГГц длина сдвиговой упругой волны в алюминии (Al) равна  $\sim 0,3$  мкм. В преобразователе такой частоты толщина электродов из Al может колебаться в интервале 0,1–0,8 мкм. При толщине  $< 0,1$  мкм их сопротивление становится недопустимо большим, а при толщине  $> 0,8$  мкм из-за скин-эффекта — перестает уменьшаться. При любой толщине в указанном интервале нижний электрод будет оказывать сильное влияние на электроакустические свойства преобразователя как некоторый трансформирующий акустический волновод, а верхний — как частотно-зависимая акустическая нагрузка. Ранее учет влияния электродов был выполнен лишь для частного случая (нормальной или тангенциальной ориентации пьезослоя), когда тензорные уравнения состояния пьезоэлектрика и уравнение движения сводятся к скалярным [2, 3]. Настоящая работа посвящена исследованию преобразователя с электродами конечной толщины в случае пьезоэлектрика с произвольной ориентацией оси *b*.

Анализируемая модель (рис. 1) состоит из пьезоэлектрика 2, заключенного между электродами 1 и 3 на звукопроводе 4. Ось *b* пьезоэлектрика направлена под углом  $\theta$  к координатной оси  $x'_3$ , перпендикулярной торцу звукопровода. Электроды и звукопровод предполагаются изотропными, либо ориентированными своими продольными нормальными вдоль оси  $x'_3$ . Обоснованием для таких предположений является тот факт, что металлические пленки, получаемые термическим или ионным распылением, имеют обычно поликристаллическую структуру и в акустическом отношении их можно считать изотропными. Что касается применяемых на СВЧ звукопроводов ( $Al_2O_3$ ,  $Y_3Al_5O_{12}$ ,  $MgAl_2O_4$ ), то они при соответствующей ориентации также удовлетворяют указанному предположению.

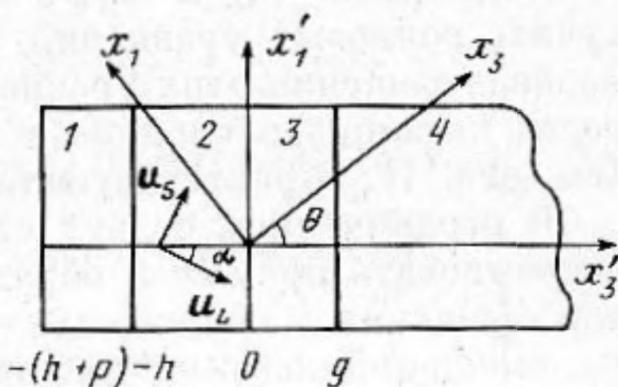


Рис. 1. Анализируемый пьезопреобразователь

Будем считать, что ось  $x_2$  кристаллофизической системы координат в пьезоэлектрике перпендикулярна плоскости рисунка. Это не приводит к потере общности, так как упругие и пьезоэлектрические свойства гексагональных кристаллов изотропны в плоскости, перпендикулярной оси 6. Переменное электрическое поле, направленное вдоль оси  $x_3'$ , в общем случае приводит к возбуждению в пьезоэлектрике квазипродольной и квазипоперечной упругих волн, поляризованных в плоскости  $x_1x_3$ .

Будем искать электрический импеданс преобразователя, считая, что электропроводность пьезоэлектрика, диэлектрические потери в нем, затухание акустических волн во всех средах и электрические потери в электродах пренебрежимо малы.

Учитывая, что у реальных преобразователей поперечные размеры значительно больше толщин его слоев, примем  $\partial/\partial x_1' = \partial/\partial x_2' = 0$ . Тогда уравнения, описывающие электромеханические процессы в пьезоэлектрике, в рассматриваемом случае примут вид

$$\rho \partial^2 u_i / \partial t^2 = \partial T_{i3} / \partial x_3', \quad (1)$$

$$T_{i3} = c'_{i331} \partial u_i / \partial x_3' - e_{3i3} E_3, \quad (2)$$

$$D_3 = e_{3i3} \partial u_i / \partial x_3' + \epsilon_{33} E_3, \quad (3)$$

$$\partial D_3 / \partial x_3' = 0, \quad (4)$$

где  $u_i$  —  $i$ -я компонента вектора смещения ( $i=1, 3$ ),  $T_{i3}$  — компонента тензора упругого напряжения,  $E_3$  — напряженность переменного электрического поля,  $c'_{i331}$ ,  $e_{3i3}$ ,  $\epsilon_{33}$  — компоненты тензора соответственно жесткости, пьезомодуля, диэлектрической проницаемости, найденные по правилам преобразования координат для системы  $x_1'x_2'x_3'$ , повернутой вокруг оси  $x_2$  на угол  $\theta$ .

Подставляя (3) в (2), а затем (2) в (1), нетрудно с учетом (4) получить волновые уравнения для компонент вектора смещения  $u_1$  и  $u_3$ . Задавая решения этих уравнений в виде бегущих волн, можно найти скорости квазипродольной  $v_L$  и квазипоперечной  $v_S$  волн, а также угол  $\alpha$  (см. рис. 1), характеризующий направление векторов смещения [1].

В ограниченном с двух сторон пьезоэлектрике должны одновременно существовать прямые и обратные упругие волны. При этом полный вектор смещения в общем случае будет представлять собой векторную сумму смещений квазипродольной ( $L$ ) и квазипоперечной ( $S$ ) волн (см. рис. 1).

$$\left. \begin{aligned} u_L &= B_L^+ \exp(-j\beta_L x_3') + B_L^- \exp(j\beta_L x_3'), \\ u_S &= B_S^+ \exp(-j\beta_S x_3') + B_S^- \exp(j\beta_S x_3'), \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $\beta_{L,S}$  и  $B_{L,S}^{\pm}$  — соответствующие волновые числа и комплексные амплитуды.

Чтобы получить требуемые для нахождения электрического импеданса четыре амплитуды  $B_{L,S}^{\pm}$ , необходимо получить четыре уравнения. С этой целью воспользуемся здесь понятием акустического импеданса. Последний для волн, распространяющихся вдоль оси  $x_3'$  со смещением вдоль оси  $x_i'$ , определим следующим образом:  $Z_i^{(k)}(x_3') = -T_{i3}^{(k)}(x_3') / \dot{u}_i^{(k)}(x_3')$ , где  $k$  означает номер среды.

В пьезоэлектрике компонента  $u_i^{(k)}$  складывается из проекций смещений квазипродольной и квазипоперечной волн на соответствующие координатные оси, а в остальных средах — из смещений «чистых» продольных или сдвиговых волн. На границах двух сред должны быть равны акустические импедансы. Для сред, граничащих с пьезоэлектриком, нетрудно заранее найти эти импедансы как для продольных, так и для поперечных волн. Тогда условия на границах пьезоэлектрика примут вид

$$T_{i3}^{(2)}(-h) + Z_i^{(1)}(-h) j\omega u_i^{(2)}(-h) = 0, \quad (6)$$

$$T_{i3}^{(2)}(0) + Z_i^{(3)}(0) j\omega u_i^{(2)}(0) = 0. \quad (7)$$

Импеданс  $Z_i^{(1)}(-h)$  в слое 1 на границе пьезоэлектрика при  $x_3' = -h$  для волны со смещением вдоль  $i$ -й координаты можно найти, если учесть, что на свободной границе при  $x_3' = -(h+p)$  полное акустическое сопротивление равно нулю, а слой 1 является трансформатором сопротивления. Тогда

$$Z_i^{(1)}(-h) = -jZ_{0i}^{(1)} \operatorname{tg}(\beta_{L,S}^{(1)} p), \quad (8)$$

где  $Z_{0i}^{(1)}$  — акустическое волновое сопротивление 1-й среды для поперечной ( $i=1$ ) или продольной ( $i=3$ ) волн. Аналогично можно найти импеданс  $Z_i^{(3)}(0)$  в среде 3 на другой границе пьезоэлектрика при  $x_3' = 0$ . В этом случае среда 3 является трансформатором импеданса, нагруженным на чисто активное сопротивление, равное акустическому волновому сопротивлению звукопровода  $Z_{0i}^{(4)}$

$$Z_i^{(3)}(0) = Z_{0i}^{(3)} \frac{Z_{0i}^{(4)} \cos(\beta_{L,S}^{(3)} sg) + jZ_{0i}^{(3)} \sin(\beta_{L,S}^{(3)} sg)}{Z_{0i}^{(3)} \cos(\beta_{L,S}^{(3)} sg) + jZ_{0i}^{(4)} \sin(\beta_{L,S}^{(3)} sg)}. \quad (9)$$

Подставляя в (6) и (7) выражения (8) и (9) и компоненты тензора напряжения  $T_{i3}^{(2)}(0)$  и  $T_{i3}^{(2)}(-h)$ , найденные из (2) и (3), а также вводя нормированные комплексные амплитуды

$$b_{L,S}^{+-} = B_{L,S}^{+-} \epsilon_{33}' \omega / jD_3 \quad (10)$$

и учитывая, что (см. рис. 1)

$$\begin{aligned} u_1^{(2)}(x_3') &= u_L \sin \alpha + u_S \cos \alpha, \\ u_3^{(2)}(x_3') &= u_L \cos \alpha - u_S \sin \alpha, \end{aligned} \quad (11)$$

можно получить следующую систему линейных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} &b_L^+ [Z_{03}^{(2)} - Z_3^{(1)}(-h)] e^{jm\varphi} - b_L^- [Z_{03}^{(2)} + Z_3^{(1)}(-h)] e^{-jm\varphi} - \\ &- b_S^+ [Z_{01}^{(2)} - Z_1^{(1)}(-h)] \operatorname{tg} \alpha e^{j\varphi} + b_S^- [Z_{01}^{(2)} + Z_1^{(1)}(-h)] \operatorname{tg} \alpha e^{-j\varphi} = e_{33}' / \cos \alpha, \\ &b_L^+ [Z_{01}^{(2)} - Z_1^{(1)}(-h)] \operatorname{tg} \alpha e^{jm\varphi} - b_L^- [Z_{03}^{(2)} + Z_1^{(1)}(-h)] \operatorname{tg} \alpha e^{-jm\varphi} + \\ &+ b_S^+ [Z_{01}^{(2)} - Z_1^{(1)}(-h)] e^{j\varphi} - b_S^- [Z_{01}^{(2)} + Z_1^{(1)}(-h)] e^{-j\varphi} = e_{35}' / \cos \alpha, \\ &b_L^+ [Z_{03}^{(2)} - Z_3^{(3)}(0)] - b_L^- [Z_{03}^{(2)} + Z_3^{(3)}(0)] - \\ &- b_S^+ [Z_{01}^{(2)} - Z_1^{(3)}(0)] \operatorname{tg} \alpha + b_S^- [Z_{01}^{(2)} + Z_1^{(3)}(0)] \operatorname{tg} \alpha = e_{33}' / \cos \alpha, \\ &b_L^+ [Z_{03}^{(2)} - Z_1^{(3)}(0)] \operatorname{tg} \alpha - b_L^- [Z_{03}^{(2)} + Z_1^{(3)}(0)] \operatorname{tg} \alpha + \\ &+ b_S^+ [Z_{01}^{(2)} - Z_1^{(3)}(0)] - b_S^- [Z_{01}^{(2)} + Z_1^{(3)}(0)] = e_{35}' / \cos \alpha, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где  $m = v_S / v_L$ ,  $\varphi = \beta_S^{(2)} h$ .

Полученные в результате решения этой системы амплитуды  $b_{L,S}^{+-}$  могут быть использованы для вычисления электрического импеданса преобразователя, называемого обычно импедансом излучения. Последний находится в квазистатическом приближении следующим образом:

$$Z_{\text{изл}} = \frac{\int_{-h}^0 E_3 dx_3'}{j\omega D_3 S} = \frac{\int_{-h}^0 \left( D_3 - e_{35}' \frac{\partial u_1}{\partial x_3'} - e_{35}' \frac{\partial u_3}{\partial x_3'} \right) dx_3'}{j\omega \epsilon_{33}' D_3 S}, \quad (13)$$

где  $S$  — площадь преобразователя.

Поделив это выражение на емкостное сопротивление преобразовате-

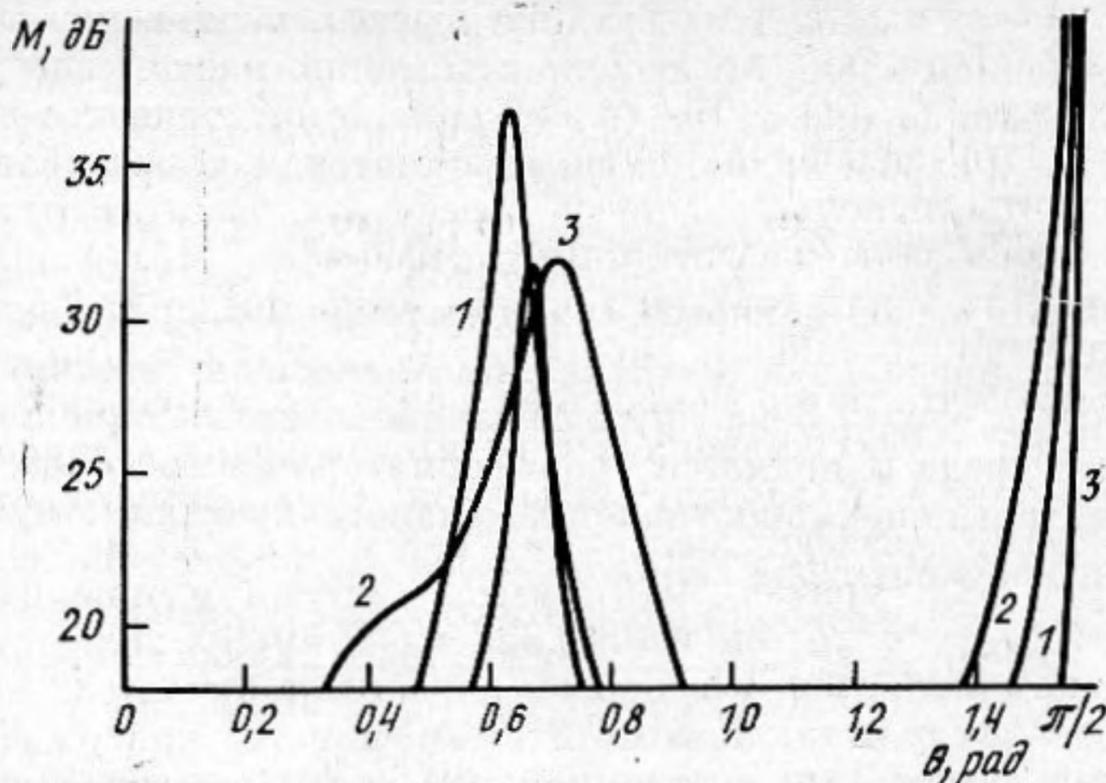


Рис. 2. Зависимость отношения мощностей  $M$  сдвиговой и продольной волн в звукопроводе от угла  $\theta$  между нормалью к торцу и направлением  $[0001]$  в пьезоэлектрике для преобразователя  $\text{Al-ZnO-Al}$  на звукопроводе  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$   $[110]$  в случае  $p/h=0,4$ ;  $g/h=0,6$ . Параметр  $\beta_s^{(2)}h$  для кривых 1-3 равен соответственно 2; 2,4; 4

ля  $X_0 = h/\omega \epsilon_{33}' S$  и подставив в него (5), (10), (11), после интегрирования получим нормированное значение импеданса излучения

$$\frac{Z_{\text{изл}}}{X_0} = -j + \frac{1}{\epsilon_{33}' v_s \varphi} \{ e_L [ b_L^+ (e^{jm\varphi} - 1) + b_L^- (e^{-jm\varphi} - 1) + e_S [ b_S^+ (e^{j\varphi} - 1) + b_S^- (e^{-j\varphi} - 1) ] \}, \quad (14)$$

где  $e_L = e_{35}' \sin \alpha + e_{33}' \cos \alpha$ ,  $e_S = e_{35}' \cos \alpha - e_{33}' \sin \alpha$  [1].

Частота акустической волны входит в полученное выражение в виде безразмерной величины  $\varphi$  (см. (12)). Как следствие, формула (14) носит универсальный характер, поскольку вычисленное по ней значение  $Z_{\text{изл}}/X_0$  может быть отнесено к любой частоте. Второе слагаемое в (14) является комплексной величиной, действительная часть которой есть нормированное сопротивление излучения  $R_{\text{изл}}/X_0$ . Последнее потребляет мощность, которая по своему физическому смыслу является мощностью акустической волны, возбужденной преобразователем в звукопроводе. Мнимая часть второго слагаемого в (14) обусловлена пьезоэффектом и дает добавку к статическому емкостному сопротивлению  $X_0$ .

Энергия, потребляемая активным сопротивлением излучения, распределяется в звукопроводе между продольной и поперечной волнами. Поэтому для нахождения мощности одной из них необходимо знать соответствующую ей долю в общем балансе акустических мощностей. Отношение мощностей поперечной и продольной волн в звукопроводе  $M = P_S/P_L = (B_S^{(4)}/B_L^{(4)})^2 (Z_{01}^{(4)}/Z_{03}^{(4)})$  как функцию  $\theta$  можно получить, если воспользоваться граничными условиями для компонент смещения и упругого напряжения в плоскости  $x_3' = g$  и  $x_3' = 0$  и выражением, связывающим акустический импеданс с коэффициентом отражения для продольной и поперечной волн в плоскости  $x_3' = g$ :

$$M = \frac{|(b_L^+ + b_L^-) \sin \alpha + (b_S^+ + b_S^-) \cos \alpha|^2}{|(b_L^+ + b_L^-) \cos \alpha - (b_S^+ + b_S^-) \sin \alpha|^2} \times \frac{\cos^2 \beta_L^{(3)} g + (Z_{03}^{(4)}/Z_{03}^{(3)})^2 \sin^2 \beta_L^{(3)} g}{\cos^2 \beta_S^{(3)} g + (Z_{01}^{(4)}/Z_{01}^{(3)})^2 \sin^2 \beta_S^{(3)} g} \frac{Z_{01}^{(4)}}{Z_{03}^{(4)}}. \quad (15)$$

Знание зависимости этой величины от ориентации пьезоэлектрика необходимо для нахождения оптимального значения  $\theta$ , при котором возбуждается преимущественно сдвиговая волна.

Ниже в качестве примера приводятся результаты численного анализа для преобразователя на основе  $ZnO$  с металлическими электродами из  $Al$  на кристалле  $Y_3Al_5O_{12}$ . Последний считается ориентированным направлением  $[110]$  перпендикулярно плоскости преобразователя. Физические константы, использовавшиеся в расчетах, были взяты из [1, 4, 5].

На рис. 2 показаны рассчитанные по формуле (15) зависимости величины  $M$  от угла  $\theta$  для трех постоянных значений  $\varphi$ : 2; 2,4 и 4. Толщины электродов принимались равными:  $p=0,4h$ ,  $g=0,6h$ . Приведенные кривые показывают, что чисто поперечная волна может возбуждаться лишь при  $\theta=\pi/2$ . При других значениях  $\theta$  сдвиговая волна в звукопроводе сопровождается также и продольной волной. В зависимости от параметра  $\varphi$  величина  $M(\theta)$  достигает максимума при различных значениях  $\theta$ . Например, при  $\varphi=2,4$  кривая  $M(\theta)$  имеет максимум при  $\theta=0,715$  рад ( $40,97^\circ$ ), а если  $\varphi=2$ , то — при  $\theta=0,635$  рад ( $36,38^\circ$ ). Высота этого максимума также изменяется, и в первом случае составляет 32 дБ, а во втором — 36,7 дБ. Следует также отметить, что ширина кривой  $M(\theta)$  в районе максимума не остается постоянной при различных значениях  $\varphi$ . Наибольшую ширину из представленных на рис. 2 кривых имеет зависимость, полученная для  $\varphi=2,4$ . В этом случае величина  $M$  превышает 30 дБ в интервале углов  $0,675 < \theta < 0,756$ , что соответствует ширине кривой  $\Delta\theta = 8,1 \cdot 10^{-2}$  рад ( $4,65^\circ$ ). Для  $\varphi=4$  эта ширина становится еще меньше и составляет  $\Delta\theta = 2,5 \cdot 10^{-2}$  рад ( $1,43^\circ$ ). Несколько большую ширину на уровне 30 дБ имеет кривая для  $\varphi=2,4$  вблизи  $\theta=\pi/2$ :  $\Delta\theta = 1,16 \cdot 10^{-1}$  рад ( $6,65^\circ$ ). Для других значений  $\varphi$  приведенные кривые в окрестности  $\theta=\pi/2$  оказываются менее широкими.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что при  $\theta$ , отличных от  $\pi/2$ , для преимущественного возбуждения поперечной волны с высоким значением  $M$  необходимо достаточно точно выбирать угол  $\theta$ . Интервал допустимого изменения этого угла имеет довольно малую ширину. Например, при  $\varphi=2,4$   $M \geq 30$  дБ оказывается  $\Delta\theta \leq 4,65^\circ$ . Для других случаев величина  $\Delta\theta$  еще меньше, что определяет весьма жесткие требования к технологии получения пленок  $ZnO$  с требуемой ориентацией. Следует подчеркнуть, что мощность поперечной волны не может сколько угодно превышать мощность продольной. В рассматриваемых случаях такое превышение составляет не более  $\sim 37$  дБ. На практике, по видимому, не следует ожидать столь большого превышения поперечной волны над продольной, поскольку реальные текстурированные пленки  $ZnO$ , полученные при наклонном осаждении на подложку потока напыляемых молекул, имеют обычно существенную разориентацию зерен.

На рис. 3, а, б показаны семейства универсальных зависимостей  $R_{изл}/X_0$  от величины  $\varphi$ , а на рис. 4, а, б — соответствующие зависимости реактивной составляющей нормированного импеданса  $X_{изл}/X_0$ , вычисленные по формуле (14) с помощью ЭВМ для случая  $\theta=38,8^\circ$ . У кривых на рис. 3, а и 4, а общим параметром служит величина  $p/h=0$ , а на рис. 3, б и 4, б —  $p/h=0,4$ . Из приведенных графиков следует, что вариации  $g/h$  слабо сказываются на характере зависимостей, тогда как изменение  $p/h$  существенно на них влияет. Этот факт требует при изготовлении преобразователя более точного обеспечения необходимой толщины верхнего электрода, чем нижнего. Кривые на рис. 3, а, б позволяют выбрать значение  $\varphi = \beta_s^2 h$ , соответствующее подходящей величине  $R_{изл}/X_0$ , например максимуму на одной из кривых, и найти для заданной частоты  $\omega_0$  расчетную толщину пьезоэлектрика  $h = (\beta_s^{(2)} h) v_s / \omega_0$ , а затем и толщины  $p$  и  $g$ . Задавшись после этого площадью  $S$  преобразователя, нетрудно вычислить реактивное сопротивление  $X_0 = h / \omega_0 \epsilon_{33}' S$  и получить активную составляющую импеданса излучения  $R_{изл}$ . Для известной толщины  $h$  каждому значению  $\beta_s^{(2)} h$  на оси абсцисс рис. 3, а, б можно приписать соответствующую частоту  $\omega = (\beta_s^{(2)} h) v_s / h$ .

Из рис. 4, а, б следует, что в рассмотренном случае добавка к емкостному сопротивлению преобразователя  $X_0$ , обусловленная пьезоэффектом, может быть как положительной, так и отрицательной. Она становится равной нулю вблизи точек максимума кривой  $R_{изл}/X_0$ . Наибольшее откло-

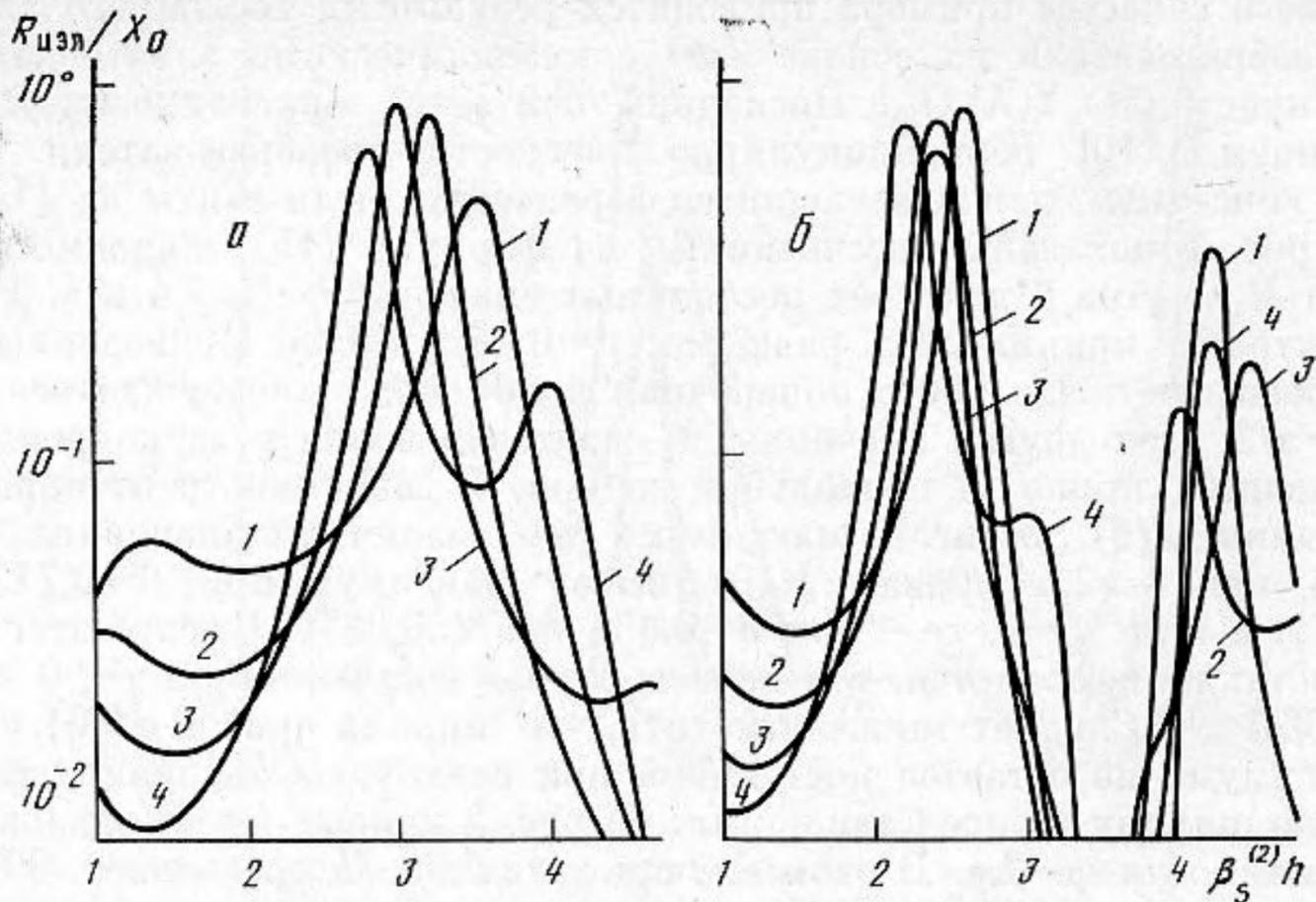


Рис. 3. Зависимости безразмерного активного сопротивления излучения  $R_{\text{изл}}/X_0$  от произведения  $\beta_s^{(2)}h$  для того же преобразователя, что и рис. 2, в случае  $\theta=38,8^\circ$ . а —  $p/h=0$ , а параметр  $g/h$  для кривых 1–4 равен соответственно 0,2; 0,4; 0,6; 0,8. б —  $p/h=0,4$ ;  $g/h$  для кривых 1–4 равняется соответственно 0,4; 0,6; 0,8; 1,0

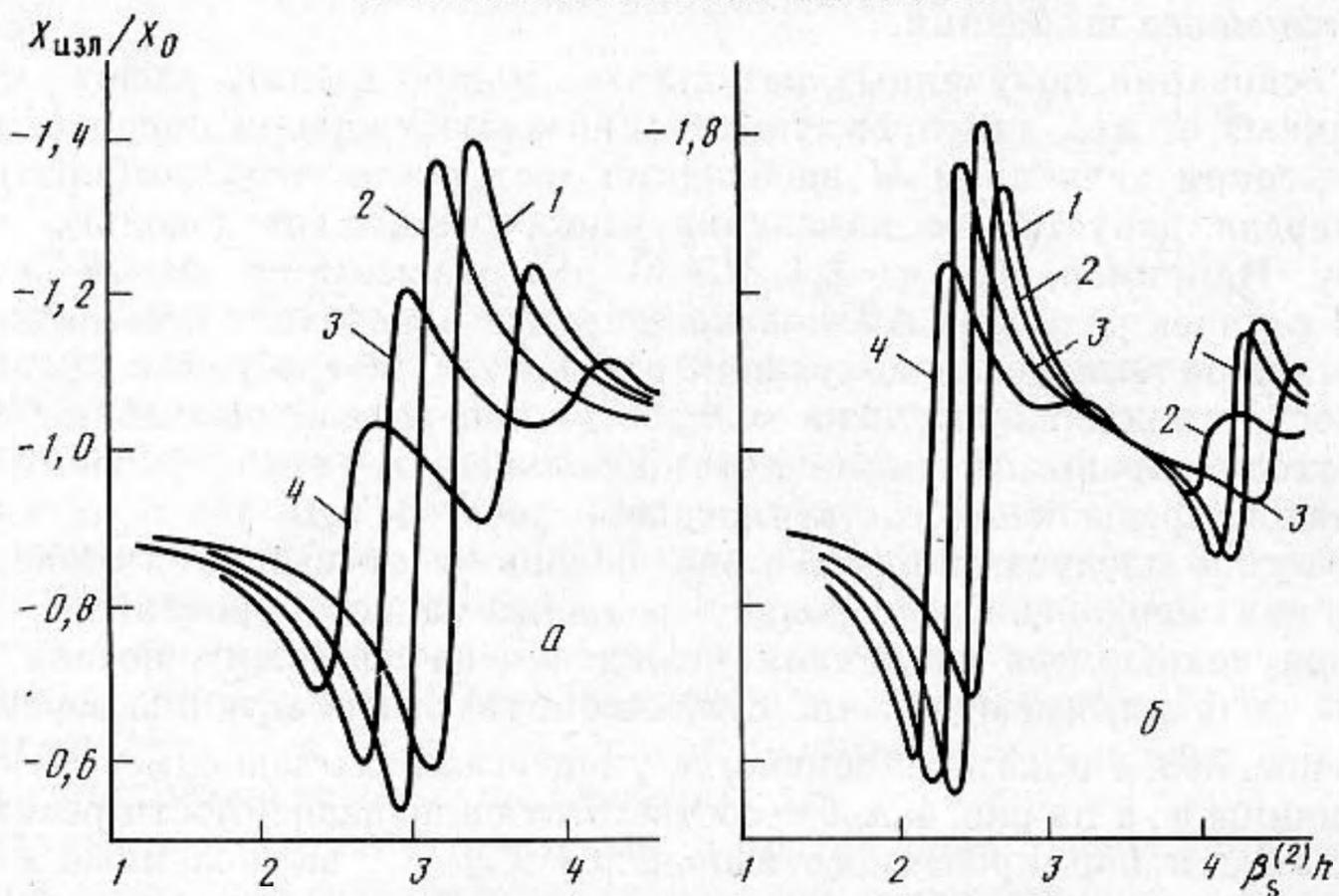


Рис. 4. Зависимости безразмерного реактивного сопротивления излучения  $X_{\text{изл}}/X_0$  от произведения  $\beta_s^{(2)}h$  для того же преобразователя, что и рис. 2, в случае  $\theta=38,8^\circ$ . Параметр  $g/h$  для кривых 1–4 равен соответственно 0,4; 0,6; 0,8; 1,0. а —  $p/h=0$ , б —  $p/h=0,4$

нение реактивного сопротивления преобразователя от  $X_0$  не превышает  $\pm 0,4X_0$ , причем наблюдается оно в области обычно нерабочих участков кривых  $R_{\text{изл}}/X_0$ . Это дает основания считать, что реактивная составляющая импеданса излучения преобразователя приблизительно равна его емкостному сопротивлению  $X_0$ .

В заключение отметим, что приведенные в статье универсальные зависимости годятся для любого частотного диапазона и могут быть использованы при расчете устройств, согласующих преобразователь с СВЧ трактом, и для вычисления коэффициента электроакустического преобразования. Теоретическая оценка допустимых интервалов углов  $\Delta\theta$  позволяет критически подойти к экспериментальным результатам при разработке технологии получения так называемых косых текстур ZnO.

Проведенный анализ и полученные результаты могут быть использованы при создании эффективных СВЧ электроакустических преобразователей поперечных упругих волн.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Foster N. F., Coquin G. A., Rozgonyi G. A., Vannata F. A.* Cadmium sulphide and zinc oxide thin-film transducers // *JEEE Tr.* 1968. V. SU-15. № 1. P. 28-41.
2. *Полотнягин В. А., Шевчик В. Н.* К теории возбуждения СВЧ упругих волн многопленочными преобразователями учет влияния металлических и диэлектрических слоев // *Радиотехника и электроника*. 1972. Т. 17. Вып. 6. С. 1260-1268.
3. *Larson J. D., Reeder T. M., Winslow D. K.* Effect of top electrode thickness on the performance of microwave acoustic transducers / *JEEE. Tr.* 1970. V. MTT-18. № 9. P. 602-608.
4. *Reeder T. M., Winslow D. K.* Characteristics of microwave acoustic transducers for volume wave excitation // *JEEE Tr.* 1969. V. MTT-17. № 11. P. 927-941.
5. *Акустические кристаллы/Под ред. Шаскольской М. П.* М.: Наука, 1982. 632 с.

Саратовский государственный  
университет

Поступила в редакцию  
15.02.88  
после исправления  
10.07.89

*M. A. Grigor'ev, S. S. Kuryshev, A. V. Tolstikov*

### ELECTRODE FINITE THICKNESS INFLUENCE ON THE VOLUME ELASTIC WAVE EXCITATION BY 6 MM CLASS PIEZOELECTRICS WITH AN ARBITRARY ORIENTED AXIS 6

Electroacoustic transducer based on the 6 mm class piezoelectric with an arbitrary oriented axis 6 and finite thickness electrodes is discussed. The system of equations for computation of the transducer normalized impedance and of shear and longitudinal waves power ratio in a sound conductor is obtained. The numerical results analysis for a given transducer is cited.