

УДК 548:53+534.22

СВОЙСТВА SH - МОД ЛЭМБА В ПЬЕЗОПЛАСТИНЕ 42-УХ-LiTaO₃, ПОКРЫТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКОЙ КОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНЫ

Двоешерстов М.Ю.¹, Санкин Ю.И.¹, Чередник В.И.², Кулага И.Г.³
ОАО «НПО «ЭРКОН»¹, ННГУ им. Н.И. Лобачевского²,
ФГУ «22 ЦНИИИ МО РФ»³

Подробная информация об авторах размещена на сайте
«Учёные России» - <http://www.famous-scientists.ru>

Численно исследуются основные параметры SH мод Лэмба, распространяющихся в пьезопластине 42-УХ-LiTaO₃ при наличии на ее поверхности металлической пленки конечной толщины. Показано, что как материал металлической пленки, так и его толщина существенным образом влияют на характеристики мод Лэмба. Найдены сочетания «пьезопластина – металлическая пленка», при которых резко увеличивается коэффициент электромеханической связи и уменьшается температурный коэффициент задержки.

Введение

Изучению характеристик мод Лэмба, распространяющихся в пьезокристаллических пластинах посвящено достаточно много работ [1-3]. Показано, что квазипоперечные SH моды Лэмба, распространяющиеся в пьезопластинах ниобата лития (LiNbO₃), танталата лития (LiTaO₃) могут иметь коэффициент электромеханической связи K² до 36%, а в ниобате калия (KNbO₃) K² до 100%. Кроме этого, в работе [4] показано, что SH₀ мода Лэмба, распространяющаяся в пьезопластине 36⁰-УХ-LiTaO₃ при закорачивании обеих поверхностей становится термостабильной. Целью данной работы заключалась в численной оценке основных характеристик мод Лэмба, распространяющихся в пьезокри-

сталлических пластинах при наличии на ее поверхности закорачивающих металлических пленок различного типа конечной толщины.

1. Методика численного эксперимента

Анализ характеристик волн Лэмба, распространяющихся в тонкой пьезоэлектрической пластине любого класса кристаллографической симметрии и любой ориентации, может быть осуществлен только численным способом, используя методику Фарнелла -Джонса [5]. Общее решение для механических смещений u_i и электрического потенциала φ можно представить в виде суммы 8-ми парциальных волн:

$$u_i = \sum_{n=1}^8 A_n \alpha_i^{(n)} \exp(i k \beta^{(n)} x_3) \exp\{i k [x_1 - V t]\} \quad (1)$$

$$\varphi = \sum_{n=1}^8 A_n \alpha_4^{(n)} \exp(i k \beta^{(n)} x_3) \exp\{i k [x_1 - V t]\}$$

Здесь $\alpha_i^{(n)}$ ($i = 1, 2, 3$), A_n – амплитудные коэффициенты, $\beta^{(n)}$ – коэффициенты затухания вдоль оси X_3 , k – волновое число, V – скорость, t – время.

Подставив общее решение (1) в связанные уравнения теории упругости для пьезосреды [5] и воспользовавшись гра-

ничными условиями [3], можно вычислить фазовую скорость V мод Лэмба. В случае, если на верхнюю (нижнюю) либо на обе поверхности пьезопластины толщины H нанесен металлический слой конечной толщины H_m , необходимо соответственно решать уравнения теории упругости как в

самой пьезопластине, так и в материале металлической пленки. При этом соответственно усложнятся граничные условия [3]. После вычисления фазовой скорости V определенной моды можно определить

$$K^2 = 2(V_0 - V_s)/V_0, \quad (2)$$

где V_0 и V_s – фазовые скорости волны на открытой и металлизированной поверхностях кристалла. В полубесконечном кристалле эта величина является однозначной для данной ориентации. По этой же формуле можно рассчитать величину K^2 и для нормальных волн. При этом, в отличие от ПАВ, величина K^2 для различных мод имеет пространственную дисперсию (зависит от относительной толщины пьезопластины H/λ). Заметим, что фазовая скорость волн Лэмба в пьезопластине зависит также от электрических граничных условий на нижней границе пластины (открытая или закороченная поверхность). Поэтому при вычислении величины K^2 по относительной разности скоростей вдоль открытой и закороченной поверхности следует учитывать электрические граничные условия на нижней поверхности, которая может быть как открытой, так и закороченной. Если нижняя поверхность электрически закорочена, то скорости мод будут отличаться от соответствующих скоростей при открытой нижней поверхности. Рассчитанная в соответствии с (2) величина K^2 также будет в этом случае другой. Наконец, в формулу (2) в качестве V_0 можно подставить скорость V_0 , соответствующую обеим открытым поверхностям, а в качестве V_s – скорость, соответствующую обеим закороченным поверхностям. Таким образом, можно получить три величины коэффициента электромеханической связи K_i^2 , $i=1-3$, соответствующие трем различным способам закорачивания электрического поля на границах пьезопластины.

2. Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены три варианта рассчитанных зависимостей K_i^2 от H/λ (λ -длина волны) для нулевой антисимметричной моды Лэмба, распространяющейся в LiNbO_3 YZ-среза. Как видно из рис.1 за-

коэффициент электромеханической связи (K^2) для каждой моды. Величина K^2 рассчитывается в соответствии с выражением [5]:

висимость величины K^2 от H/λ носит сложный характер, имеет максимумы при определенной величине H/λ (см. кривые 1-3). Фазовые скорости обеих нулевых мод (см. рис.1, кривая 4) при увеличении толщины пьезопластины $H > 3\lambda$ приближаются к скорости ПАВ в полубесконечной среде ($V_{\text{ПАВ}}=3.487\text{км/с}$). Величина K^2 стремится к соответствующему значению для ПАВ ($K^2 \approx 4.38\%$) не во всех случаях, что видно из рис.1. Если нижняя поверхность открыта, то величина K^2 низкоскоростной моды (см. рис.1, кривая 1) стремится к соответствующей величине для ПАВ. Если нижняя поверхность закорочена, то наоборот (см. рис. 1. кривая 2). Если рассчитывать величину K^2 в соответствии с (4) по скоростям, полученным при условии, что обе поверхности либо свободны, либо закорочены, то при увеличении толщины пластины K^2 стремится к значению, соответствующему ПАВ (см. рис. 1, кривая 3). Кроме того, в этом случае получается самое большое значение K^2 (около 11% для низкоскоростной моды вблизи $H/\lambda = 0.55$ (см. рис. 1, кривая 3).

Кривые на рис. 1 показывают также, что при любой толщине пластины для обеих нулевых мод выполняется условие $K_3^2 = K_1^2 + K_2^2$, где нижние индексы соответствуют нумерации кривых на рис. 1.. На рис.2 показаны рассчитанный коэффициент электромеханической связи K_i^2 , ($i=1,2,3$) для низкоскоростной моды Лэмба в 42° УХ- LiTaO_3 в зависимости от относительной толщины пластины H/λ для случая, когда нижняя поверхность пластины открыта (K_1^2 , кривая 1К), нижняя поверхность закорочена (K_2^2 , кривая 2К) и обе поверхности закорочены (K_3^2 , кривая 3К) и фазовой скорости V , когда обе поверхности пластины открыты (кривая 1V), одна поверхность закорочена (кривая 2V) и обе поверхности закорочены (кривая 3V).

Обычно срез и направление кристалле описывается тремя углами Эйлера (φ, θ, ψ) [5]. Первые два угла описывают срез кристалла, а третий угол- направление распространения волны.

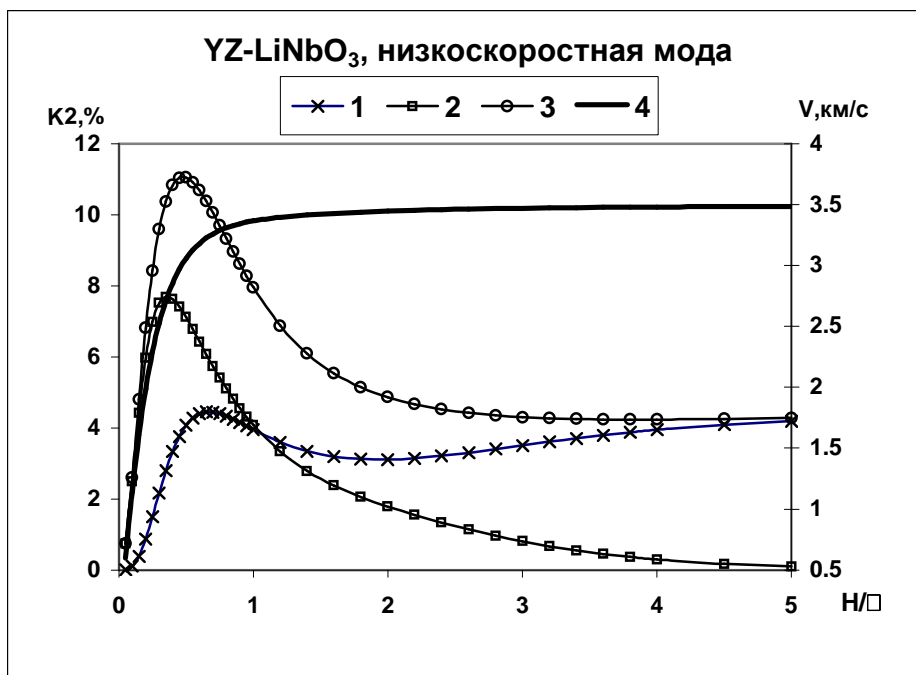


Рис. 1. Зависимости величины K_1^2 и V от H/λ для низкоскоростной моды Лэмба в пьезопластине YZ-LiNbO₃.

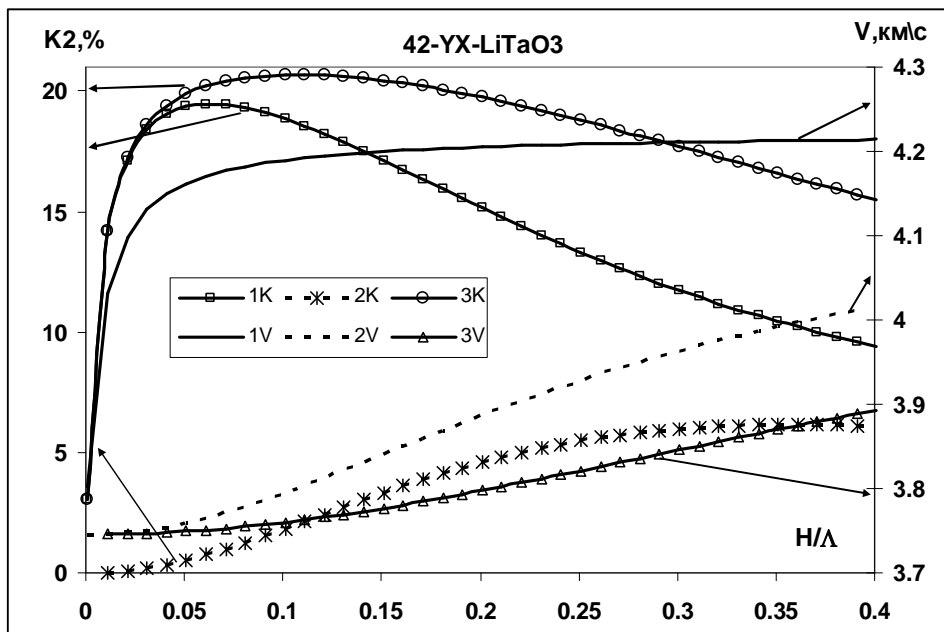


Рис. 2. Зависимость V (кривая 1V- обе стороны открыты, кривая 2V- одна сторона закорочена, 3V- обе стороны закорочены) и K^2 (одна сторона пластины открыта (K_1^2 , кривая 1K), одна сторона закорочена (K_2^2 , кривая 2K) и обе стороны закорочены (K_3^2 , кривая 3K) от H/λ .

На рис. 3 показаны рассчитанный температурный коэффициент задержки (ТКЗ) для низкоскоростной моды Лэмба в зависимости от 2-го угла Эйлера θ при относительной толщине пьезопластины LiTaO_3 $H/\lambda=0.1$.

Из рис. 3 видно, что в интервале углов $-65^\circ < \theta < 35^\circ$ температурный коэффициент задержки (ТКЗ) для низкоскоростной моды Лэмба имеет 2 нулевых значения

в случае, когда обе поверхности закорочены (кривая 3) и приближается к нулю при $\theta=-54^\circ$, когда одна сторона закорочена (кривая 2). На рис.4 показана рассчитанная зависимость температурного коэффициента задержки (ТКЗ) низкоскоростной моды Лэмба от относительной толщины пьезопластины H/λ для 42-YX- LiTaO_3 (углы Эйлера - $(0^\circ, -48^\circ, 0^\circ)$).

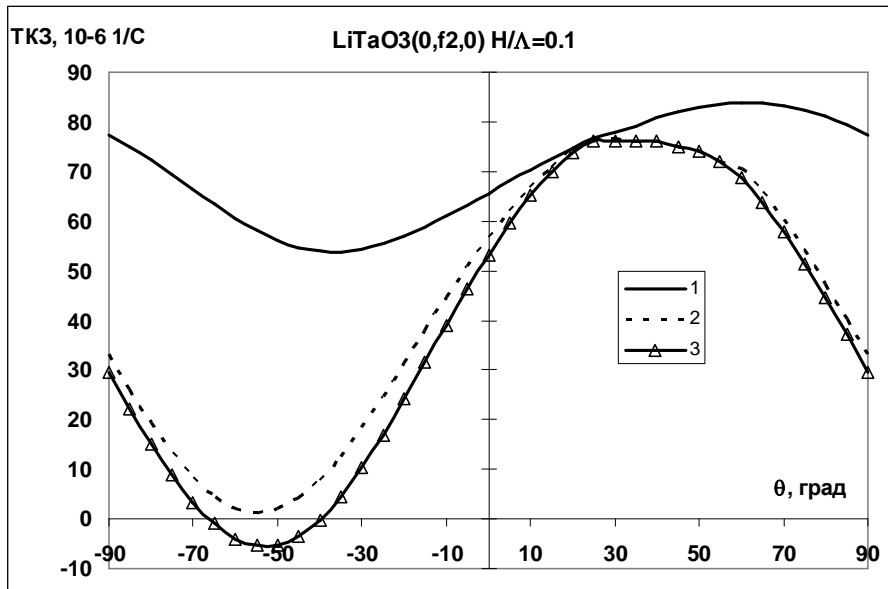


Рис. 3. Зависимость ТКЗ от θ (кривая 1- обе стороны открыты, кривая 2- одна сторона закорочена, кривая 3- обе стороны закорочены).

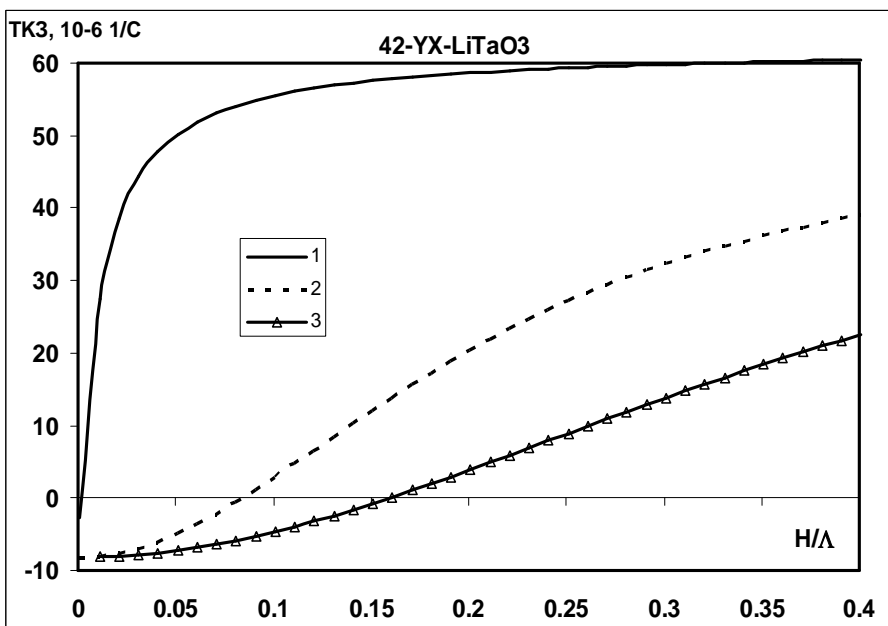


Рис. 4. Зависимость ТКЗ от H/λ (1 - обе стороны открыты, 2 - одна сторона закорочена, 3 - обе стороны закорочены).

Из рис. 4 видно, что для 42-УХ- LiTaO_3 ТКЗ ~ 0 в случае, когда одна сторона пьезопластины закорочена (кривая 2) при $H/\lambda \sim 0.16$, когда обе стороны закорочены (кривая 3) при $H/\lambda \sim 0.17$. Расчет для 36-УХ- LiTaO_3 (углы Эйлера - $(0^\circ, -54^\circ, 0^\circ)$) показал ТКЗ ~ 0 в случае, когда одна сторона пьезопластины закорочена при $H/\lambda \sim 0.1$, когда обе стороны закорочены при $H/\lambda \sim 0.08$.

В работе были рассчитаны характеристики низкоскоростной моды Лэмба при наличии на одной поверхности пьезопластины металлической пленки конечной толщины H_M . На рис. 5 показаны рассчитанные коэффициенты электромеханиче-

ской связи K^2 в зависимости от относительной толщины металлического слоя H_M/λ для материалов Al, Cu, Au, Ni при относительной толщине $H/\lambda = 0.3$ пьезопластины 42⁰ УХ- LiTaO_3 . Из рис. 5 видно, что величина K^2 увеличивается и может достигать очень высоких значений при определенных толщинах металлической пленки. Например, для Au - $K^2 = 80\%$ при $H_M/\lambda = 0.2$, для Cu - $K^2 = 71\%$ при $H_M/\lambda = 0.3$, для Ni - $K^2 = 70\%$ при $H_M/\lambda = 0.3$, для Al - $K^2 = 31\%$ при $H_M/\lambda = 0.4$. Материальные константы для LiNbO_3 , LiTaO_3 и для металлов были взяты из работ [6,7].

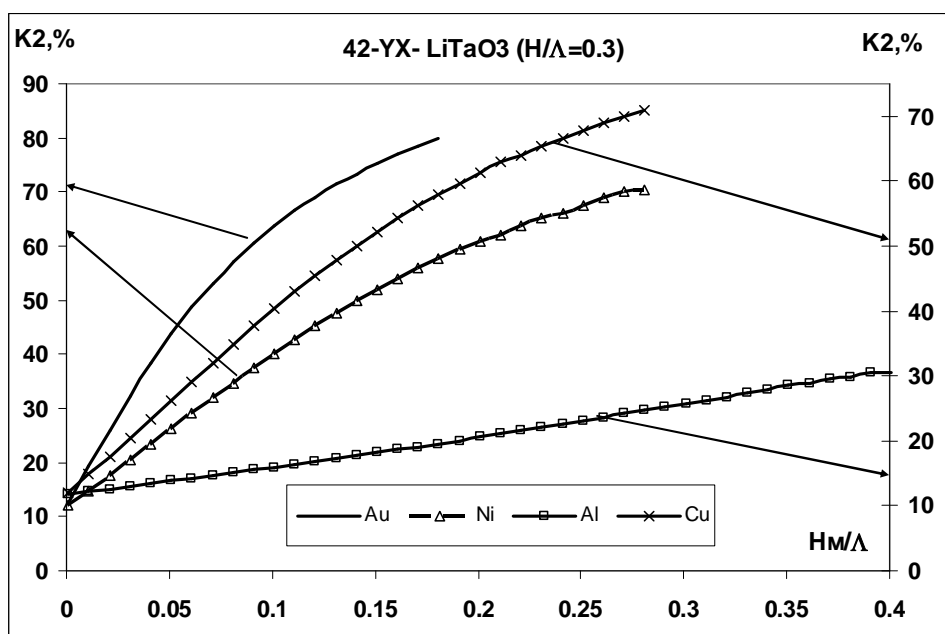


Рис. 5. Зависимость K^2 от H_M/λ для пленок Al, Au, Cu, Ni. $H/\lambda = 0.3$

Заключение

Таким образом, в работе теоретически рассчитаны характеристики мод Лэмба, распространяющихся в системе «пьезопластина - металлический слой конечной толщины». Показано, что используя различные типы металлического слоя конечной толщины можно существенно увеличить величину коэффициента электромеханической связи для мод Лэмба. Например, для пьезопластины 42⁰ УХ- LiTaO_3 (относительная толщина $H/\lambda = 0.3$) при наличии пленки Au (относительная толщина $H_M/\lambda = 0.2$) - $K^2 = 80\%$, для пленки Cu -

$K^2 = 71\%$ при $H_M/\lambda = 0.3$, для пленки Ni - $K^2 = 70\%$ при $H_M/\lambda = 0.3$, для пленки Al - $K^2 = 31\%$ при $H_M/\lambda = 0.4$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Adler E. Electromechanical coupling to Lamb and Shear-Horizontal modes in piezoelectric plates // Proc. IEEE Trans. on Ultrason., Ferroelectr. and Freq. Contr. -1989. - V. 36. - No.2. - P. 223-230.
2. Джоши С.Г., Зайцев Б.Д., Кузнецова И.Е. SH акустические волны в пластине ниобата лития и влияние электрических условий на их свойства // Акустиче-

ский журнал. - 2001. - Т.47. - №3. - С. 336-340.

3. Двошерстов М.Ю., Петров С.Г., Чередник В.И., Чириманов А.П. Электроакустические волны Лэмба в пьезокристаллических пластинах // Акустический журнал. - 2004. - Том 50. - №5. -

С.633-639.

4. Fujiwara H., Yamazaki D., Nakamura K. Temperature characteristics of SH-type acoustic waves in rotated Y-cut LiTaO₃ thin plate // IEEE Ultrason. Symp. - 2005.- P. 1864-1867.

5. Мэттьюз Г. Фильтры на поверхностных акустических волнах. М.: Радио и связь.- 1981. - 470 С.

6. Covacs G., Anhorn M., Engan H., Visintini G. and etc. Improved Material Constants for LiNbO₃ and LiTaO₃ // Proc. IEEE Ultrason. Symp. - 1990. - P.435.

7. Ballandras S., Gavignet E., Bigler E., Henry H.. Elastic constants, temperature constants and thermal expansion coefficient // Appl. Phys. Letters.- Vol. 71.- No 12.- 1997.- P. 1625-1627.

CHARACTERISTIC OF SH-LAMB WAVES IN PIEZOPLATE COVERED OF THE METALLIC FILM WITH END THICKNESS

Dvoesherstov M.Yu., Cherednick V.I., Kulaga I.G.

¹Public Corporation @Scientific production association @ERKON@

²Nizhny Novgorod N.I. Lobachevsky State university

³FGU «22 CNIII MO RF»

Basic parameters of SH- Lambmodes, spreading in piezoplate at presence on her over metallic film of the end thickness are numerically investigated. It is shown that both material of the metallic film, and his thickness by image influence upon features of the Lamb modes. The founded combinations "piezoplate-metallic film", where increases the electromechanical coupling factor and decreases the temperature coefficient of delay.