



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ



Студенттер мен жас ғалымдардың
«ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ БІЛІМ - 2014» атты
IX халықаралық ғылыми конференциясы

IX Международная научная конференция
студентов и молодых ученых
«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ - 2014»

The IX International Scientific Conference for
students and young scholars
«SCIENCE AND EDUCATION-2014»

2014 жыл 11 сәуір
11 апреля 2014 года
April 11, 2014



**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«Ғылым және білім - 2014»
атты IX Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
IX Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«Наука и образование - 2014»**

**PROCEEDINGS
of the IX International Scientific Conference
for students and young scholars
«Science and education - 2014»**

2014 жыл 11 сәуір

Астана

УДК 001(063)
ББК 72
Ғ 96

Ғ 96

«Ғылым және білім – 2014» атты студенттер мен жас ғалымдардың IX Халықаралық ғылыми конференциясы = IX Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2014» = The IX International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2014».
– Астана: <http://www.eni.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie/>, 2014. – 5831 стр.
(қазақша, орысша, ағылшынша).

ISBN 978-9965-31-610-4

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001(063)
ББК 72

ISBN 978-9965-31-610-4

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық
университеті, 2014

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН ГУЛЯЕВА-БЛЮСТЕЙНА В РОМБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ КЛАССА 222

Сагатов Нурсултан, Сисенова Гульзайнаб, Байгазиев Арман

zaika_sakon@mail.ru

Студенты физико-технического факультета

ЕНУ им. Л. Гумилева, Астана, Казахстан

Научные руководители - С.К. Тлеуенов, И.Б.Проценко

Рассматривается волна Гуляева–Блюстейна (Г-Б), один из видов поверхностных акустических волн (ПАВ) проявляющиеся в пьезоэлектрических кристаллах который был открыт в 1968 г. в СССР Гуляевым Ю.В. и независимо в США Блюстейном. Они существуют в пьезоэлектрических кристаллах вблизи свободной границы, частицы среды испытывают чисто поперечные колебания в направлении, параллельном свободной поверхности (Рис.1). Высокая эффективность возбуждения ПАВ Г-Б обусловили их широкое применение в электронике и активно исследуется аналитическими и численными методами[1-4].

В данной работе показана применимость и эффективность метода матрицантаразработанный для исследования распространения волн в анизотропных пьезоупругих средах[5, 6].

В данной работе связанные упругие и электромагнитные процессы в пьезоэлектрическом кристалле рассматривается на основе совместной системы уравнений движения упругой среды и уравнениями Максвелла в отсутствие токов и свободных зарядов в среде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = \rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \\ \text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{rot } \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{array} \right. \quad (1) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{ij} = c_{ijkl} S_{kl} - e_{kij} E_k \\ D_i = \varepsilon_{ij} E_j + e_{ikl} S_{kl} \end{array} \right. \quad (2)$$

здесь $S_{kl} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_l}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_l} \right)$ тензор малых деформаций, D_i – компоненты вектора

электрического смещения, $\varepsilon_{ij}, \mu_{ij}$ – компоненты тензора диэлектрической и магнитной проницаемости анизотропной среды которые содержат ε_0 и μ_0 для вакуума, c_{ijkl} – упругие, e_{kij} – пьезоэлектрические параметры среды, σ_{ij} – компоненты тензора механических напряжений.

Связи вектора магнитной индукции \vec{B} с напряженностью магнитного поля \vec{H} и вектора электрического смещения \vec{D} с напряженностью электрического поля \vec{E} представляется в форме:

$$B_i = \mu_{ij} H_j, \quad D_i = \varepsilon_{ij} E_j \quad (3)$$

Рассматривается анизотропное пьезоэлектрическое полупространство ромбической симметрии класса 222 с направлением распространения ПАВ Г-Б вдоль оси Y, со срезом перпендикулярно оси X (рис.1).

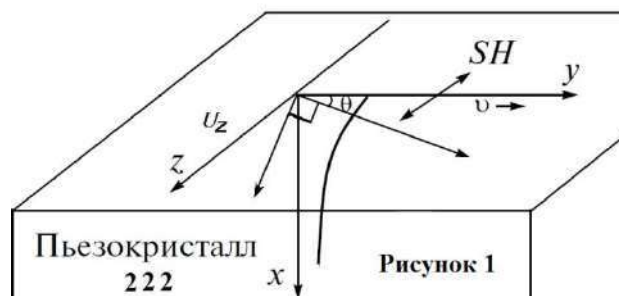


Рисунок 1. Обозначение координатных осей

Система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) первого порядка описывающая связанные упругую поперечно-сдвиговую (SH) и электромагнитной волны на основе представления решений (1-3) в виде:

$$f(x, y, z, t) = f(x) \exp(i\omega t - imy) \quad (4)$$

в данном случае принимает вид:

$$\frac{d\vec{W}}{dx} = \mathbf{B}\vec{W} \quad (5)$$

относительно вектора-столбца:

$$\vec{W} = (u_z, T_{xz}, E_y, H_z)^t \exp(i\omega t - imy) \quad (6)$$

здесь m -компонента волнового вектора вдоль оси Y . Далее общий множитель $\exp(i\omega t - imy)$ опущен.

Матрица коэффициентов \mathbf{B} , для связанных упругой SH и электромагнитной волн, в уравнении (5) имеет вид:

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{c_{44}} & \frac{e_{14}}{c_{44}} & 0 \\ -\rho\omega^2 + m^2\left(c_{55} + \frac{e_{23}^2}{\epsilon_{22}}\right) & 0 & 0 & -\frac{im^2 e_{23}}{\omega \epsilon_{22}} \\ \frac{m^2 e_{23}}{\epsilon_{22}} & 0 & 0 & -i\omega\left(\frac{m^2}{\omega^2 \epsilon_{22}} - \mu_{33}\right) \\ 0 & \frac{i\omega e_{14}}{c_{44}} & i\omega\left(\epsilon_{11} + \frac{e_{14}^2}{c_{44}}\right) & 0 \end{pmatrix} \vec{W} = (\mu_x, \sigma_y, E_x, H_x)^t \quad (7)$$

Условия существования ПАВ Г-Б аналитическом виде выражаются системой уравнений в которую входят смещение и напряжение упругой поперечной (SH) волны и электромагнитного поля при $x=0$ на основе матрицы (7).

Для системы ОДУ (5) получена нормированная матрица фундаментальных решений – матрицант в аналитическом виде [7, 8]:

$$\mathbf{T}_0 = \frac{\mathbf{B}^2 + k_2^2 \mathbf{I}}{k_2^2 - k_1^2} \cos k_1 x - \frac{\mathbf{B}^2 + k_1^2 \mathbf{I}}{k_2^2 - k_1^2} \cos k_2 x - \frac{k_1^2 \mathbf{B} + k_1^2 k_2^2 \mathbf{B}^{-1}}{k_2^2 - k_1^2} \frac{\sin k_1 x}{k_1} + \frac{k_2^2 \mathbf{B} + k_1^2 k_2^2 \mathbf{B}^{-1}}{k_2^2 - k_1^2} \frac{\sin k_2 x}{k_2} \quad (8)$$

Здесь \mathbf{I} – единичная матрица, k_i – компоненты волновых векторов упругой SH и электромагнитной волны вдоль оси X .

На основе (8) определяется матрица \mathbf{R} для границы полупространств [5- 7]:

$$\mathbf{T}_0^\pm = \frac{1}{2} \mathbf{I} \mp \mathbf{R}; \quad \mathbf{R} = \frac{\mathbf{B} - k_1 k_2 \mathbf{B}^{-1}}{2i(k_1 + k_2)} \quad (9)$$

Условия существования волн Г-Б следует из соотношений для металлизированной поверхности:

$$\mathbf{R} \mathbf{W}(0) = 0, \quad \mathbf{W}(0) = (u_z, 0, 0, H_z)^t \quad (10)$$

и для свободной поверхности на границе полупространство-вакуум:

$$(\mathbf{R}_0 + \mathbf{R}) \mathbf{W}(0) = 0, \quad \mathbf{W}(0) = (u_z, 0, E_y, H_z)^t \quad (11)$$

где \mathbf{R}_0 – матрица для границы вакуума.

Значения скорости распространения и показателя спадания волн Г-Б в ромбических кристаллах класса $mm2$ для свободной и металлизированной поверхности получены из условия существования волн Г-Б (10-11) на основе (9).

Показатель спадания для свободной поверхности получена в виде:

$$\beta_f = \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4K_{14}^2}{\varepsilon_0 \left(1 + \frac{\varepsilon_{22}}{\varepsilon_0} (1 + K_{25}^2) \right)^2} \frac{c_{44}}{c_{55}} \left(\frac{\varepsilon_{11}\varepsilon_{22}}{\varepsilon_0} - c_{55} \sqrt{\frac{\varepsilon_{11}\varepsilon_{22}}{c_{44}c_{55}}} \right)} \right] \quad (12)$$

Здесь коэффициенты электромеханической связи имеют вид: $K_{14}^2 = \frac{e_{14}^2}{\varepsilon_{11}c_{44}}$; $K_{25}^2 = \frac{e_{25}^2}{\varepsilon_{22}c_{55}}$;

Значение скорости волны Г-Б для свободной (неметаллизированной поверхности) следуют из (12):

$$v_f = v_t \sqrt{1 - \beta_f^2} \quad (13)$$

здесь $v_t = \sqrt{c_{44}/\rho}$ скорость SH волны.

Для йодноватой кислоты (см. Акустические кристаллы [8], стр. 361–365) ромбической симметрии класса 222 параметры среды имеют значения:

$$C_{44} = 18.35 \cdot 10^9; C_{55} = 11.6 \cdot 10^9; \varepsilon_1 = 7.5\varepsilon_0; \varepsilon_2 = 12.4\varepsilon_0; \varepsilon_3 = 8.1\varepsilon_0; \rho = 4629; e_{14} = 0.293; e_{36} = 0.312; e_{25} = 0.244;$$

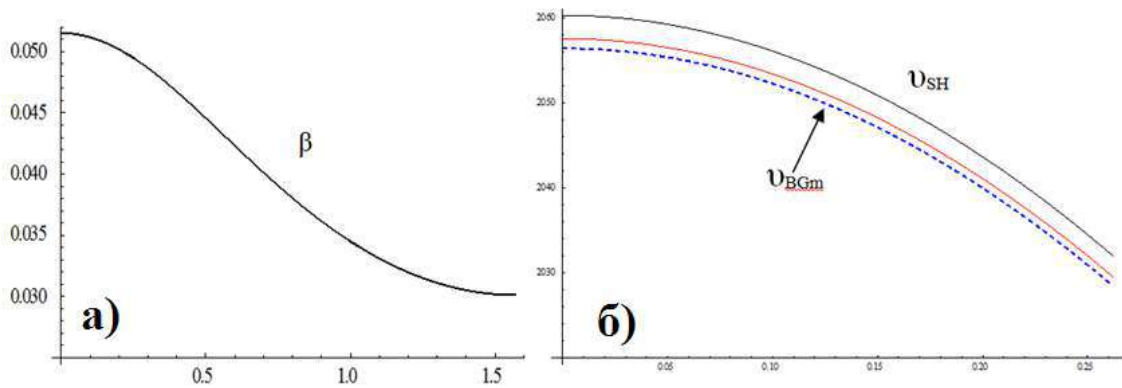


Рисунок 2. Характеристики волн Г-Б для йодноватой кислоты: а) изменение показателя спада при изменении угла среза $0^\circ < \theta < 90^\circ$; б) сравнительные значения скорости SH волны и волны Г-Б ($0^\circ < \theta < 20^\circ$)

Для сегнетовой соли (Rochellesalt [9] стр. 369–381) ромбической симметрии класса 222 параметры среды имеют значения:

$$C_{44} = 11.9 \cdot 10^9; C_{55} = 3.05 \cdot 10^9; \varepsilon_1 = 115\varepsilon_0; \varepsilon_2 = 8.4\varepsilon_0; \varepsilon_3 = 9.4\varepsilon_0; \rho = 1767; e_{14} = 4; e_{36} = 0.115; e_{25} = 0.154;$$

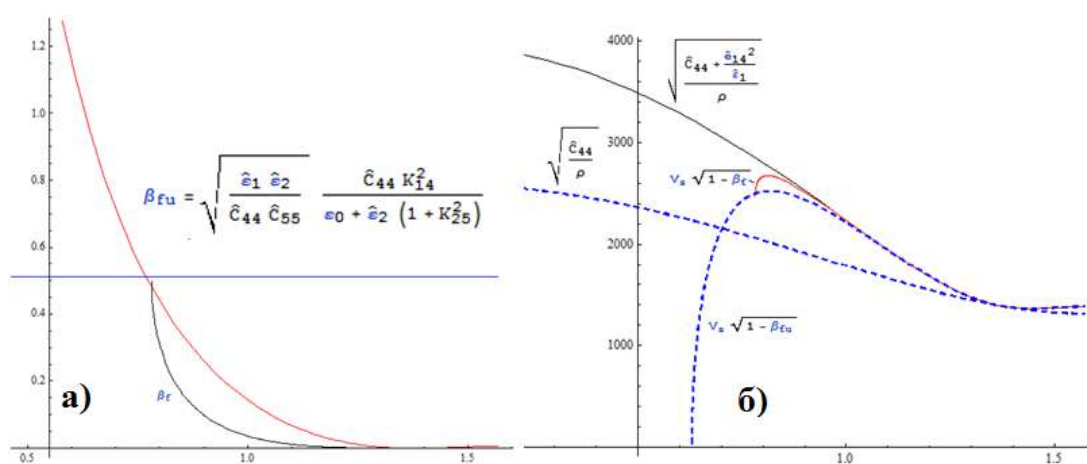


Рисунок 3. Характеристики волн Г-Б для сегнетовой соли: а) изменение показателя спада при изменении угла среза $30^\circ < \theta < 90^\circ$; б) сравнительные значения скорости волны Г-Б и SH волны (сплошная-с учетом пьезоэффекта, пунктирная- без учета пьезоэффекта), $(30^\circ < \theta < 90^\circ)$.

Методом матрицанта определены условия существования и получены аналитические значения и построены графики показателя спада и скорости поверхностных акустических волн Гуляева–Блюстейна в средах ромбической симметрии класса 222 при повороте среза вокруг оси Z. Для примера рассчитаны характеристики волн Гуляева–Блюстейна для сегнетовой соли и йодноватой кислоты. Этот метод получения характеристик волн Г-Б отличается от ранее используемых методов общностью и обзорностью.

Выражаем благодарность научным руководителям: д.ф.-м.н., проф. С.К. Тлеукунову и начальнику отдела связи, навигации и береговых радиолокационных станций АО «Национальная компания «Актауский международный морской торговый порт» И.Б. Проценко.

Список использованных источников

1. Гуляев Ю.В., Хикернелл Ф.С. Акустoeлектроника: история, современное состояние и новые идеи для новой эры // Акуст. журн. 2005. том 51. № 1. С.101–110
2. Bright V.M., Hunt W.D. Bleustein–Gulyaev waves in gallium arsenide and other piezoelectric cubic crystals // J. Appl. Phys. 1989. V. 66. P. 1556–1564
3. Collet B., Destrade M. Explicit secular equations for piezoacoustic surface waves: shear-horizontal modes // J. Acoust. Soc. Am. 2004. V. 116. P. 3432–3442
4. Mozhaev V.G., Weihnacht M. Sectors of nonexistence of surface acoustic waves in potassium niobate // IEEE Ultrasonics Symp. Proc. 2002. V. 1. P. 391–395
5. Тлеукунов С.К. Метод матрицанта: распространение волн в анизотропных средах // Lambert academic publishing, 2014. 148 с.
6. Тлеукунов С.К. Волновые процессы и метод матрицанта // журн. Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, 2011. № 4(83). С. 68–74
7. Tleukenov S.K., Zhakiyev N.K., Yeltinova L.A. An analytical solution of the reflection and refraction problems for coupled waves in elastic and piezoelectric media // IEEE Joint UFFC, EFTF and PFM Symp. Proc. 2013. P.1025–1028
8. Акустические кристаллы. Справочник. / Под ред. Шаскольской М.П. М.: Наука, 1982. 682 с.
9. Auld B.A. Acoustic Fields and Waves in Solids I, Krieger Publishing Company.- Mala-bar, Florida. -1990. -431 P.