

1-23-2020

## ATTENUATION OF ACOUSTIC WAVES IN BISMUTH GERMINATE CRYSTALS

Farkhad R. Akhmedzhanov

*Institute of ion-plasma and laser technologies, akhmedzhanov.f@gmail.com*

Eldar N. Kurtaliev

*Samarkand State University, kurtaliev@rambler.ru*

Jakhongir Kurbanov

*Institute of ion-plasma and laser technologies*

Timur Mustafaeov

*Institute of ion-plasma and laser technologies*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/samdu>



Part of the [Physical Sciences and Mathematics Commons](#)

---

### Recommended Citation

Akhmedzhanov, Farkhad R.; Kurtaliev, Eldar N.; Kurbanov, Jakhongir; and Mustafaeov, Timur (2020) "ATTENUATION OF ACOUSTIC WAVES IN BISMUTH GERMINATE CRYSTALS," *Scientific Journal of Samarkand University*. Vol. 2020 , Article 44.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/samdu/vol2020/iss1/44>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific Journal of Samarkand University by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

Ф.Р.Ахмеджанов<sup>1,2</sup>, Э.Н.Курталиев<sup>1</sup>, Ж.О.Курбанов<sup>2</sup>, Т.Ш.Мустафаев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самаркандский государственный университет

<sup>2</sup>Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз

[akhmedzhanov.f@gmail.com](mailto:akhmedzhanov.f@gmail.com)

**Аннотация.** Исследована анизотропия затухания акустических волн в кубических кристаллах германата висмута методом Брэгговской дифракции света в диапазоне частот 0.4 – 1.6 ГГц. Определены эффективные мнимые упругие константы для акустических волн вдоль кристаллографических осей симметрии. Показано, что наибольшая анизотропия затухания наблюдается для пьезоактивных акустических волн в плоскости (001).

**Ключевые слова:** анизотропия затухания, акустическая волна, кристаллы германата висмута, мнимые упругие константы.

#### Vismut germanati kristallarda akustik to'liqlarning sunishi

**Annotatsiya.** Vismut germanati kubik kristallarda yorigliq Bragg diffraktsiyasi metodi bilan 0.4 - 1.6 GHz chastotaviy diapazonida akustik to'liqlarning sunish anizotropiyasi tadqiqot qilingan. Ushbu kristallarda kristallografik simmetriya o'qlar bo'yicha tarqalayotgan akustik to'liqlar uchun mavhum effektiv elastik konstantalar aniqlandi. Eng katta sunish koeffitsiyentining anizotropiyasi (001) tekislikda tarqalayotgan piezoaktiv akustik to'liqlar uchun kuzatishi ko'rsatildi.

**Kalit so'zlar:** sunish anizotropiyasi, akustik to'liq, vismut germanati kristallar, mavhum elastic konstantalar.

#### Attenuation of acoustic waves in bismuth germanate crystals

**Abstract.** The anisotropy of attenuation of acoustic waves in cubic bismuth germanate crystals has been investigated by Bragg diffraction of light method in frequency range 0.4 - 1.6 GHz. The effective imaginary elastic constants for acoustic waves along the crystallographic axes of symmetry are determined. It is shown that the highest anisotropy of attenuation is observed for piezoelectric acoustic waves in plane (001).

**Keywords:** anisotropy of attenuation, acoustic wave, bismuth germanate crystals, imaginary elastic constants.

**Введение.** Кубические кристаллы германата висмута ( $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ) относятся к точечной группе симметрии 23, прозрачны в видимой области спектра и обладают большим коэффициентом электромеханической связи [1,2]. Согласно работе [3], в пьезоэлектрических кристаллах, могут наблюдаться дисперсия скорости распространения звука и вклад диэлектрических потерь в затухание акустических волн. Упругие свойства этих кристаллов, включая скорость акустических волн и упругие постоянные, достаточно хорошо исследованы. Однако до настоящего времени мало внимания уделяется анизотропии затухания акустических волн в кристаллах германата висмута, знание которой представляется важной в интересах задач акустооптики и нелинейной акустики. В связи с этим, нами исследовано затухание высокочастотных акустических волн в широком диапазоне частот и впервые определен параметр упругой анизотропии по мнимым упругим модулям для пьезоэлектрических кристаллов германата висмута.

#### Методика эксперимента

Исследованные образцы кристаллов германата висмута имели форму параллелепипеда и были ориентированы длинной стороной вдоль кристаллографических направлений [100], [110] и [111] с точностью до  $1^\circ$ . Средние размеры образцов были  $4 \times 4 \times 12$  мм. Все грани параллелепипедов обрабатывались с помощью механической шлифовки и полировки по 14 классу точности. Угол непараллельности противоположных граней образцов не превышал  $10''$  и контролировался с помощью индикатора часового типа.

Характеристики распространения акустических волн определялись при комнатной температуре в частотном диапазоне 0.4 - 1.6 ГГц с помощью Брэгговской дифракции света на акустических волнах [3,4]. Для возбуждения продольных и поперечных акустических волн использовались пьезоэлектрические преобразователи из кварца, соответственно, X- или Y- среза.

Измерения проводились на акустооптической установке в импульсном режиме. Источником света служил лазер ЛГ-38 с длиной волны  $\lambda=632.8$  нм. В качестве измерительного преобразователя для определения интенсивности дифрагированного света использовался фотоэлектронный умножитель

ФЭУ-79. Скорость акустических волн  $V$  определялась по углу Брэгговской дифракции света на звуке с точностью 0.2% из соотношения[3,4]:

$$V = \frac{\lambda \cdot \nu}{2 \sin \theta}, \quad (1)$$

где  $\nu$  - линейная частота упругой волны,  $\theta$  – внешний Брэгговский угол.

Интенсивность света, дифрагированного на прямой акустической волне ( $I_1$ ) и дифрагированного на отраженной от свободного торца образца волне ( $I_2$ ) измерялись в одной и той же точке образца вдоль направления распространения волн.

Измерялись также соответствующие расстояния и промежуток времени  $\Delta t$  между указанными сигналами. На основе этих данных коэффициент затухания акустической волны рассчитывался по формуле [3,4]:

$$\alpha = \frac{10 \lg(I_1/I_2)}{\Delta t}, \quad (2)$$

Точность определения коэффициента затухания акустической волны акустооптическим методом составляла примерно 5%.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

Как известно упругие свойства материалов характеризуются комплексным тензором упругости, который записывается через действительные и мнимые компоненты [6-8]:

$$c_{ijkl} = c'_{ijkl} + ic''_{ijkl}, \quad (3)$$

Эти компоненты входят в выражение для эффективных упругих констант  $c_{эфф}$ , которые для любых направлений в кристалле легко определяются с помощью с помощью независимых упругих констант из соотношений:

$$c_{эфф} = c'_{эфф} + ic''_{эфф} = c'_{ijkl} \kappa_j \kappa_l \gamma_i \gamma_k + ic''_{ijkl} \kappa_j \kappa_l \gamma_i \gamma_k, \quad (4)$$

где  $\kappa_j$  и  $\gamma_i$  -направляющие косинусы волнового вектора и вектора смещений. При таком подходе затухание вдоль произвольного направления определяется из соотношения [3]:

$$\alpha = \frac{1}{2} \omega \frac{c''_{эфф}}{\rho V^2}, \quad (5)$$

где  $\rho$  - плотность,  $V$  и  $\omega$  - соответственно, скорость и круговая частота акустической волны.

Как и все кристаллы кубической симметрии, кристаллы германата висмута имеют три независимых действительных упругих модуля  $c'_{11}$ ,  $c'_{44}$ ,  $c'_{12}$  и три независимых мнимых упругих модуля  $c''_{11}$ ,  $c''_{44}$ ,  $c''_{12}$ , которые определяются из данных по скорости и затуханию акустических волн вдоль осей симметрии [5, 8]. Так, например, используя значения скорости и затухания продольных ( $V_L$ ,  $\alpha_L$ ) и поперечных ( $V_S$ ,  $\alpha_L$ ) волн вдоль направления  $\langle 100 \rangle$ , можно определить действительные и мнимые константы  $c'_{11}$ ,  $c''_{11}$ ,  $c'_{44}$  и  $c''_{44}$ , которые являются эффективными упругими модулями для этого направления.

В итоге, на основе измеренных значений скорости и затухания акустических волн вдоль кристаллографических направлений  $\langle 100 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$ . и  $\langle 111 \rangle$  были определены все независимые действительные и мнимые компоненты комплексного тензора упругих постоянных этих кристаллов с учетом справочных данных по диэлектрическим и пьезоэлектрическим коэффициентам [2]. Полученные значения всех независимых упругих констант были использованы для определения скорости, и затухания акустических волн в кристаллах германата висмута вдоль любых других направлений в кристаллографической плоскости (001). Выражения для проведения таких расчетов и результаты измерений коэффициента затухания акустических волн на частоте 1 ГГц представлены в таблице 1. В ней  $q$  и  $\gamma$  – соответственно волновой вектор и поляризация акустической волны. Как видно из таблицы 1, с помощью мнимых компонент тензора упругости можно расчетным путем определить значения коэффициента затухания акустических волн вдоль любых кристаллографических направлений.

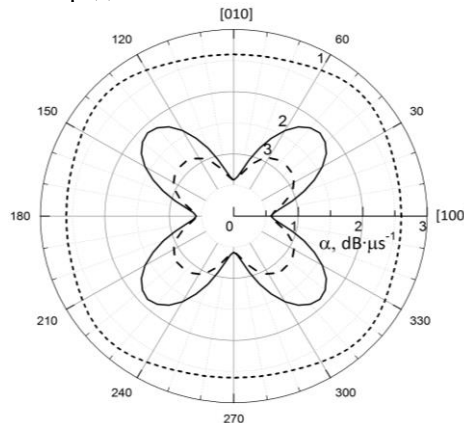
Для пьезоактивных поперечных волн вдоль оси  $\langle 110 \rangle$  пьезоэффект «ужесточает» как действительную  $c'_{44}$ , так и мнимую  $c''_{44}$  упругие константы. В выражение для этих «ужесточенных» констант входят пьезоэлектрический модуль  $e_{14}$ , диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ , и тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$ .

**Таблица 1.**

Эффективные мнимые упругие константы и затухание акустических волн  
в кристаллах  $Bi_{12}GeO_{20}$  ( $\nu=1$  ГГц)

q	$\gamma$	Выражение $c''_{\text{эфф}}$	$c''_{\text{эфф}}, 10^7, \text{Н}\cdot\text{м}^{-2}$	$\alpha, \text{дБ}\cdot\text{мкс}^{-1}$
[100]	[100]	$c''_{11}$	2.43	2.60
	[001]	$c''_{44}$	0.113	0.60
[110]	[110]	$\frac{c''_{11} + c''_{12} + 2c''_{44}}{2}$	2.14	2.80
	[110]	$\frac{c''_{11} - c''_{12}}{2}$	0.426	1.17
	[001]	$c''_{44} + \frac{e_{14}^2}{\epsilon_0 \epsilon} \text{tg} \delta^*$	0.398	1.90
[111]	[111]	$\frac{c''_{11} + 2c''_{12} + 4c''_{44}}{3} + \frac{4e_{14}^2}{3\epsilon_0 \epsilon} \cdot \text{tg} \delta^*$	2.03	3.02
	[110]	$\frac{c''_{11} - c''_{12} + c''_{44}}{3}$	0.32	1,05

На основе полученных значений действительных и мнимых упругих констант и величин диэлектрической и пьезоэлектрической постоянных кристаллов  $\text{Vi}_{12}\text{GeO}_{20}$  [6, 7], были рассчитаны ориентационные зависимости затухания продольных и поперечных акустических волн в плоскостях симметрии (001) и (1-10). На рис. 1. представлена такая зависимость в плоскости куба (001).



**Рис. 1.** Анизотропия затухания продольных (1), поперечных (3) и пьезоактивных поперечных (2) акустических волн в кристаллах  $\text{Vi}_{12}\text{GeO}_{20}$  в плоскости (001)

Из рисунка видно, что пьезоэлектрический эффект, характерный для нецентросимметричных кристаллов, не меняет качественной картины анизотропии затухания акустических волн. Количественно влияние пьезоэффекта сказывается только на заметном усилении анизотропии затухания пьезоактивных поперечных акустических волн, по сравнению с непьезоактивными волнами, что соответствует формулам, представленным в таблице 1.

**Заключение.** Результаты исследования показали хорошее совпадение экспериментальных значений коэффициента затухания акустических волн вдоль особых направлений [100], [001] и [110] с рассчитанными значениями через эффективные мнимые упругие константы, несмотря на относительно большую погрешность определения коэффициента затухания, и соответственно мнимого параметра упругости. Такой подход позволит описывать анизотропию скорости распространения и коэффициента затухания акустических волн в кубических кристаллах любой симметрии.

Для установления обобщающих закономерностей для всего класса кубических кристаллов необходимо провести аналогичные исследования в нецентросимметричных кристаллах с положительным параметром анизотропии упругих свойств. Полученные результаты могут быть полезны для предсказания общего характера анизотропии затухания акустических волн как в центросимметричных, так и в нецентросимметричных кубических кристаллах.

### Литература

1. Ganeev R.A., Ryasnyansky A.I., Tugushev R.I. et al., Study of nonlinear-optical characteristics of photorefractive BSO and BGO crystals. *Quantum Electronics*. 2004. 34. P. 156-160.
2. Акустические кристаллы. Справочник. Под ред. Шаскольской М.П. М.: Наука, 1982. 632 с.
3. Дьелесан Э.Д., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов. – М.: Наука, 1982. – 342 с.
4. Лямов В.Е. Поляризационные эффекты и анизотропия взаимодействия акустических волн в кристаллах. – М.: МГУ, 1983. – 224 с.
5. Ахмеджанов Ф.Р., Леманов В.В., Насыров А.Н. Поверхности акустического затухания в кристаллах. *Письма в ЖТФ*. 1980. 6 № 10, С. 589-592.
6. Bajac I.L., McNab A., Richter J., Wilkinson C.D.W. Attenuation of acoustic waves in lithium niobate. *J. Acoust. Soc. Am.* 1981. V.69. №3. – P. 689–695.
7. Wenhua Jiang and Wenwu Cao. High-frequency dispersion of ultrasonic velocity and attenuation of single crystal  $0.72 \text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - 0.28 \text{PbTiO}_3$  with engineered domain structures. *Appl. Phys. Lett.* 2002. V.80. –P. 2466-2468.
8. Сиротин Ю.Г., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1979. 680 с.