



ISSN 2181-1296

ILMIY AXBOROTNOMA

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

SCIENTIFIC JOURNAL

2022-yil, 3-son (133)

ANIQ FANLAR SERIYASI

Matematika, Mexanika, Informatika, Fizika

Samarqand viloyat matbuot boshqarmasida ro'yxatdan o'tish tartibi 09-25.
Jurnal 1999-yildan chop qilina boshlagan va OAK ro'yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR

BOSH MUHARRIR O'RINBOSARLARI:

R. I. XALMURADOV, t.f.d. professor

H.A. XUSHVAQTOV, f-m.f.d., dotsent

A. M. NASIMOV, t.f.d., professor

TAHRIRIYAT KENGASHI:

SH.A.ALIMOV

- O'zFA akademigi

M.X.ASHUROV

- O'zFA akademigi

S.N.LAKAYEV

- O'zFA akademigi

M.M.MIRSAIDOV

- O'zFA akademigi

A.S.SOЛЕEV

- f.-m.f.d., professor

I.A.IKROMOV

- f.-m.f.d., professor

B.X.XO'JAYAROV

- f.-m.f.d., professor

A.G.YAGOLA

- f.-m.f.d., professor (Moskva davlat universiteti, Rossiya)

I.I.JUMANOV

- f.-m.f.d., professor

X.X.XUDOYNAZAROV

- t.f.d., professor

A.X.BEGMATOV

- f.-m.f.d., professor

Yu.S.VOLKOV

- f.-m.f.d., professor (Novosibirsk davlat universiteti, Rossiya)

N.N.NIZAMOV

- f.-m.f.d., professor

L.SABIROV

- f.-m.f.d., professor

A.JUMABOYEV

- f.-m.f.d., professor

MASLINA DARUS

- Malayziya milliy universiteti professori, Malayziya

ALBERTO DEL BIMBO

- Florensiya universiteti professori, Italiya

MUNDARIJA / СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

МАТЕМАТИКА / МАТЕМАТИКА / MATHEMATICS

<i>Absalamov A.T., Ziyadinov B.A.</i>	
On one of the family of evolution operators.....	4-9
<i>Хасанов Т.Г.</i>	
Задача Коши для Уравнения кортевега-де фриза с нагруженными членами и источником в классе быстроубывающих функций.....	10-19
<i>Akramova D.I., Soleev A.</i>	
Newton polyhedra in estimates for the Fourier transform of characteristic functions and convolution operators.....	20-32
<i>Alladustova I.U.</i>	
The number of eigenvalues of the discrete schrödinger operator associated to a system of two bosons on a lattice	33-38
<i>Almuratov F.M.</i>	
Asymptotics for eigenvalues of schrödinger operator associated to one-particle systems on one dimensional lattice.....	39-46
<i>Akhmadova M.O.</i>	
On the existence of roots of some matrix-type functions, estimates for the roots and their number	47-50
<i>Akhmedov A.B., Kuldibaeva L.A., Kholmanov N.Y.</i>	
Modified non-classical theory of plate bending.....	51-57
<i>Ибрагимов А.М., Нельматов А.Б.</i>	
Спектральные свойства оператора дирака с периодическим потенциалом на всей прямой	58-66
<i>Ochilov Z.Kh.</i>	
Integral geometry problems with perturbation in the family of parabolas with a weight function of a special form.....	67-73
<i>Икрамов И.А., Сафаров А.Р., Вахобова Г.Б.</i>	
Об оценке тригонометрических интегралов с неполной квадратичной фазой.....	74-81
<i>Собиров Ш.К.</i>	
Интегрирование нагруженного модифицированного уравнения кортевега-де фриза с самосогласованным источником интегрального типа в случае простых собственных значений.....	82-89

МЕХАНИКА / МЕХАНИКА / MECHANICS

<i>Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж., Шадманов И.Э.</i>	
Численное решение осесимметричной задачи фильтрации суспензий с образованием упруго - пластического кейк-слоя.....	90-95

INFORMATIKA / ИНФОРМАТИКА / INFORMATICS

<i>Nazarov F.M., Yarmatov Sh.Sh.</i>	
Artificial intellectual mechanisms in control systems and their application.....	96-105

FIZIKA / ФИЗИКА / PHYSICS

<i>Jumabayev A., Xushvaqtov H., Absanov A., Sharifov G‘., Ernazarov Z., Odilova S.</i>	
Meta-ksilol va uning eritmalarida molekulalararo ta’sirlarni kombinatsion sochilish spektrlarida namoyon bo‘lishi.....	106-110
<i>Кувандиков О.К., Ражабов Р.М., Шодиев З.М., Амонов Б.У., Сулейманов О.А., Ахтамов Ж.Ш.</i>	
Магнитные свойства редкоземельных хромоборатов $RCr_3(BO_3)_4$ ($R=Dy, Ho$) при высоких температурах.....	111-114
<i>Ахмеджанов Ф.Р., Тугалов Ф.Б.</i>	
Характеристики акустических волн в кристаллах германата-лития.....	115-118

<i>Vapayev M.E., Sobirov B.R., Kamalov Sh.R., Davletov I.Y., Boltaev G.S.</i>	
Lazer nurlanishi ta'sirida mis sirtida hosil qilingan plazmasining optik xususiyati.....	119-124
<i>Шаронов И.А., Алибеков А.С., Ахмедов Я.А., Салимов М.И., Сандибоев А.Н., Холматов А.</i>	
Нейтронно-активационный и гамма-спектроскопический анализ при исследовании некоторых объектов археометаллургии.....	125-138
<i>Mamatqulov O.B., To'xtayev U.U., Tog'ayev B.S., Umirzaqov E.A., Amonova R.O., Temirov Sh.S., Sayfiyev Sh.Sh., Qilichev A.Q.</i>	
Lalmi ekinlarining ayrim donli mahsulotlarida tabiiy ^{40}K radionuklidining to'planishini o'rGANISHI.....	139-144
<i>Mustafayev T.Sh., Axmedjanov F.R., Eshniyozov O.I.</i>	
Kvars kristallarida akustik to'lqinlarning so'nish anizotropiyasi.....	145-151
<i>Mamatqulov O.B., Safarov A.N., To'xtayev U.U., Tog'ayev B.S., Umirzaqov E.A., Nurmurodov L.T., Amonova R.O., Yusupov M.N., Haydarov U.E., Sayfiyev Sh.Sh., Temirov Sh.S.</i>	
Samarqand viloyati Nurobod tumani ayrim hududlaridagi ichimlik suvlarining radioaktivligi	152-156
<i>Рахматуллаев И.А., Чернега Н.В., Давронов М.Х., Хайдаров Х.С.</i>	
Одно- и двухфотонно-возбуждаемая люминесценция микропорошков диоксида титана при лазерном возбуждении.....	157-163
<i>Ergashev K.E., Tojiyev R.I., Jurayev B.Sh., Shaymanov A.M., Boyqobilov T.I.</i>	
(16447) Vauban asteroidining optik kuzatuvlari va faza funksiyasi tahlili.....	164-170
<i>Payzullayev A.N., Gafurova M.V., Allayev B.A., Tellyayev S.K., Mirzayev S.Z.</i>	
Nanosuyuqlikning qovushqoqligi va barqarorligining kremniy dioksidi nanozarrachalari chiziqli o'lchamiga bog'liqligi.....	171-175

Mualliflarga

UDK: 534.2:58.4:58.4:548.9.

**KVARS KRISTALLARIDA AKUSTIK TO‘LQINLARNING SO‘NISH
ANIZOTROPIYASI**

T.Sh. Mustafayev¹, F.R. Axmedjanov², O.I. Eshniyozov¹

¹*Samarqand davlat universitet*

²*Ion-plazma va lazer texnologiyalari institute*

Annotatsiya: Akustik to‘lqinlarning so‘nish anizotropiyasi kvars kristallarida 0,4 dan 1,6 GGs gacha bo‘lgan chastota diapazonida Bragg yorug‘lik diffraksiysi usuli bilan o‘rganilgan. Natijalar akustik so‘nish sirtlarini qurish uchun ishlatalishi mumkin bo‘lgan ushbu kristallar uchun haqiqiy va xayoliy elastik konstantalarni aniqlash uchun ishlataligan. Bu ko‘rsatilgan kvars kristalli akustik to‘lqinlarning so‘nish koeffitsientining nisbatan yuqori anizotropiyasi bilan tavsiflanadi. Kuzatilgan effekt samarali Gryunayzen konstantasining to‘lqin vektori yo‘nalishiga kuchli bog‘liqligi bilan izohlanadi.

Kalit so‘zlar: Akustika, to‘lqin, so‘nish, anizotropiya, Gryunayzen konstantasi, kvars, pezoelektrik, elastik konstantalar, Bragg diffraksiysi.

Анизотропия затухания акустических волн в кристаллах кварца

Аннотация: Методом Брэгговской дифракции света исследована анизотропия затухания акустических волн в кристаллах кварца в диапазоне частот от 0,4 до 1,6 ГГц. По результатам определены действительные и мнимые упругие константы этих кристаллов, которые можно использовать для построения поверхностей акустического затухания. Показано, что кристаллы кварца характеризуются относительно высокой анизотропией коэффициента затухания акустических волн. Наблюдаемый эффект объясняется сильной зависимостью эффективной постоянной Грюнейзена от направления волнового вектора.

Ключевые слова: Акустика, волна, анизотропия, затухание, константа Грюнейзена, кварц, пьезоэлектрик, упругие константы, брэгговская дифракция.

Anisotropy of attenuation of acoustic waves in Quartz crystals

Annotation: Anisotropy of the attenuation of acoustic waves in quartz crystals have been studied by the Bragg light diffraction method in the frequency range from 0.4 to 1.6 GHz. The results were used to determine the real and imaginary elastic constants for these crystals, which can be used to construct the acoustic attenuation surfaces. It is shown that quartz crystals are characterized by relatively high anisotropy of attenuation coefficient of acoustic waves. The observed effect is explained by the strong dependence of the effective Grüneisen constant on the direction of the wave vector.

Keywords: Acoustic, wave, anisotropy, attenuation, Gruneisen constsnt, quartz, piezoelectric, elastic constants, Bragg diffraction.

Kirish. Pezolektrik effektda ishlaydigan datchiklarni yaratish uchun asosiy material issiqlik bardosh va qattiq Q kvars hisoblanadi, 100 gersdan 100 MGs gacha bo‘lgan keng chastota diapazonida rezonatorlar yaratilgan. Biroq, kvarsning muhim kamchiligi elektromexanik ularish koeffitsientining nisbatan past qiymati hisoblanadi va 573 °C haroratda fazaviy o‘tish bilan pezolektrik xususiyatlarni yo‘qotishidir [1].

Tantalat va niobat litiy kristallari kuchli pezolektrik bo‘lib, yuqori issiqlik va kimyoviy barqarorlik bilan ajralib turadi, lekin, 620 °C va 1145 °C haroratlarda fazaviy o‘tishga ega. Bundan tashqari, bu kristallar piroelektrik ta’sirga ega, buning natijasida kristalldagi elektr signali nafaqat tashqi bosimga bog‘liq, balki haroratga ham bog‘liq bo‘ladi [2, 3].

Datchiklarda ishlatiladigan ushbu materiallarga fizik miqdor jihatdan, kvars oilasining monokristallari bir qator afzalliklarga ega: Pezolektrik xususiyatlarning issiqlik bardoshiligi,

piroelektrik ta'sirning yo'qligi va 1470°C erish temperaturasiga qadar fazali o'tishlar yo'qligi [4, 7]. Ushbu kristallardan foydalanish samaradorligi elektromexanik birikmaning koeffitsienti bilan bog'liq bo'lib, kvarsning elektromexanik birikma koeffitsientidan 3-4 barovar yuqori.

Ushbu oilaning taniqli kvars kristallari (SiO_2) bo'lib, uning pezolektrik koeffitsientlarda langasitdan sezilarli darajada yuqori, akustik to'lqinlar uchun issiqlik bardoshlikga ega va zamonaviy akustika, akustoelektronika va piezotexnika uchun katta qiziqish uyg'otadi [7, 8].

Akustika va akustoelektronikada kristallardan foydalanishni cheklovchi parametrlardan biri akustik so'nish koeffitsienti hisoblanadi. Muhitdagi akustik to'lqinlarni susaytirishning asosiy mexanizmi $\omega\tau \ll 1$ (ω akustik to'lqin siklik chastotasi, τ issiqlik fononlarning relaksatsiya vaqt) Ahiezer mexanizmidir [9, 10]. Ushbu akustik so'nish mexanizmi akustik to'lqinning chastotasi kristalldagi har qanday relaksatsiya chastotasidan past bo'ladi. Agar issiqlik fononning relaksatsiya vaqt akustik to'lqinlar davridan kichik bo'lsa, unda akustik to'lqin energiyasining yo'qolishini tasvirlash uchun murakkab elastik tensordan foydalanish mumkin [9, 11].

Murakkab elastik tensorning haqiqiy komponentlari ko'p sonli kristallarda aniqlangan [1, 4]. Shu bilan birga, akustik to'lqinlarning so'nishini tavsiflovchi xayoliy komponentlar amaliy jihatdan o'rganilmagan. Elastik tenzorning xayoliy komponentlari [11-14] da tadqiq qilingan.

Kristallarning akustik xususiyatlarining anizotropiyasini tavsiflash uchun akustik to'lqinlarning tarqalish tezligining xarakterli yuzalarini bilan akustik so'nish yuzalaridan foydalanish qulay. Ushbu yondashuv bиринчи мarta magniy oksidi [11] va litiy niobat [12] kristallaridagi akustik so'nish anizotropiyasi o'рганилган, ushbu ishda bo'ylama va ko'ndalang akustik to'lqinlarning so'nish anizotropiyasini tahlil qilish uchun kvars kristallidan foydalanilgan.

2. Namunalar va eksperimental usul

Namuna qirralarining uzunligi 12 mm bo'lgan kub shaklida tayyorlangan. Kub yuzalari mos ravishda [001], [100] va [010] yoki [001], [110] va [1-10] kristallografik o'qlar bo'ylab 1° dan kam bo'lmagan aniqlikda yo'naltirilgan. Bo'ylama yoki ko'ndalang akustik to'lqinlarni qo'zg'atish uchun qalinligi 40 dan 70 mkmgacha bo'lgan niobat litiy plastinkalari (X yoki Y kesim aylantirilgan) ishlataligan.

Xona temperaturasida 0.4-1.2 GGs chastota diapazonidagi akustik to'lqinlarni yorug'likning Bregg difraksiyasi yordamida o'rganildi [14]. O'lchovlar akustik to'lqinlar tizimidan iborat, akusto-optik sozlash yordamida amalga oshirildi va lazer nurini difraksiyalanganligini qayd etildi (to'lqin uzunligi 632,8 nm). Yorug'lik manbai sifatida to'lqin uzunligi 632,8 nm bo'lgan geliy-neon lazeri foydalanildi. Fotoelektrik multiplikator yordamida difraksiyalangan yorug'likning intensivligi o'lchandi.

Akustik to'lqin tezligi V Bregg difraksiya burchagidan 0,2% aniqlikda o'rganildi [1]:

$$V = \lambda v / 2 \sin \theta_B, \quad (1)$$

bu yerda, v akustik to'lqin chiziqli chastotasi, θ_B tashqi Bregg burchagi hisoblanadi.

So'nish koeffitsienti [12] formula bo'yicha $\sim 5\%$ aniqlik bilan hisoblangan:

$$\alpha = 10 \lg(I_1/I_0)/2L_0 \quad (2)$$

Bu yerda, L_0 - namunaning uzunligi, I_1 va I_0 mos ravishda akustik to'lqin difraksiyasiga to'g'ri keladigan yorug'likning intensivligi va namunadan sochilgan to'lqin difraksiyasiga to'g'ri keladigan yorug'likning intensivligi, akustik to'lqinlarning tarqalish yo'nalishi bo'yicha bir xil bo'ladi. Signallarning to'lqin uzunligi va siljish vaqt ham o'lchandi. Formula (2) orqali yorug'lik intensivligining qiymatlari akustik to'lqinning tarqalish yo'nalishi bo'yicha va masofani hisobga olgan holda osongina topiladi.

3. Natijalar va muhokama:

SiO_2 kristallaridagi kristallografik yo'nalishlar bo'yicha [100], [010] va [001] bo'ylama va ko'ndalang akustik to'lqinlarning tezligi va so'nish koeffitsienti tajribada olingan qiymatlari 1-jadvalda ko'rsatilgan. Ushbu jadvalda q va γ mos ravishda to'lqin vektori va qutblanish vektorining yo'nalishlari.

Jadval 1. SiO₂ kristallida akustik to'lqinlarning tezligi va so'nish koeffitsienti ($v = 1$ GGs, $T = 293$ K).

q	γ	$V, 10^3$ $m s^{-1}$	$\alpha,$ $dB \cdot \mu s^{-1}$
[100]	[1 0 0]	5,75	0,7
	[0 0,83 -0,56]	5,11	0,28
	[0 0,56 0,83]	3,36	0,65
[010]	[0 0,996 -0,092]	6,01	0,53
	[0 0,092 0,996]	4,32	0,36
	[1 0 0]	3,92	0,42
[001]	[0 0 1]	6,32	0,45
	[1 0 0]	4,68	0,31

1-jadvalda keltirilgan o'lchov natijalari, birinchi navbatda samarali qiymatlarni va akustik to'lqinlar tarqalishining o'r ganilgan yo'nalishlari uchun xayoliy elastik konstantalarini aniqlash imkonini beradi, bu esa o'z navbatida elastik tensor komponentlarining kombinatsiyasi ko'rinishda ifodalanishi mumkin.

$$c'_{eff} = c'_{ijkl} \kappa_j \kappa_l \gamma_i \gamma_k, \quad (3)$$

$$c''_{eff} = c''_{ijkl} \kappa_j \kappa_l \gamma_i \gamma_k, \quad (4)$$

Bu yerda, κ_j va γ_i mos birliklardir, to'lqin normal κ va qutblanish vektori γ ning komponentlari hisoblanadi. c'_{ijkl} va c''_{ijkl} elastik konstantalar kompleks tensorining haqiqiy va xayoliy komponentlari:

$$c_{ijkl} = c'_{ijkl} + i c''_{ijkl} \quad (5)$$

Shuni ta'kidlash kerakki, elastik konstantalarning samarali qiymatlari elastik tensorning mos keladigan qismining tarkibiy qismlaridan biriga teng bo'lib, ularni aniqlashni osonlashtiradi.

Masalan, [100] yo'nalishi bo'y lab tarqaladigan bo'ylama to'lqinlar uchun quyidagi munosabatlar o'rnlidir:

$$c'_{eff} = c'_{11}, \quad (6)$$

$$c''_{eff} = c''_{11}, \quad (7)$$

Xuddi shu tarzda, [001] yo'nalish bo'y lab tarqaladigan bo'ylama to'lqinlar uchun quyidagi munosabatlar o'rnlidi:

$$c'_{eff} = c'_{33}, \quad (8)$$

$$c''_{eff} = c''_{33}, \quad (9)$$

Simmetriya xossalari va shunga mos ravishda elastik tensorning xayoliy qismining mustaqil komponentlari soni haqiqiy qism bilan bir xil bo'lib kristallardagi akustik to'lqinlarning faza va guruh tezligining orientatsion bog'liqligini tahlil qilish uchun ishlataladi [1, 6].

Kvars kristallari uchun (simmetriya guruhi 32), akustik to'lqinlarning tezligi va so'nishi bo'yicha eksperimental ma'lumotlar, yettita haqiqiy elastik koeffitsient bilan bir qatorda, elastik koeffitsient tensorining xayoliy qismining yettita mustaqil komponentini aniqlash imkonini beradi (matritsa ko'rinishida: $c''_{11}, c''_{12}, c''_{13}, c''_{14}, c''_{33}, c''_{44}, c''_{66}$).

Bizning tadqiqot sohasi $\omega\tau \ll 1$ shartni qanoatlantiradi, bu yerda ω akustik to'lqinning siklik chastotasi, τ issiqlik fononlarning relaksatsiya vaqt. Ushbu materialdag'i akustik so'nish murakkab elastik konstantalarning haqiqiy va xayoliy qismi bilan ifodalash mumkin [11]:

$$\alpha = \frac{1}{2} \omega \frac{c''_{eff}}{c'_{eff}}, \quad (10)$$

(3) va (4) ifodalarni Green-Kristoffel tensorlarining haqiqiy va xayoliy komponentlari nuqtai nazaridan yozish mumkin, mos ravishda haqiqiy va xayoliy elastik tenzorining material konstantalarning konvolyusiyasi, to'lqin vektorining yo'naliш kosinuslari teng bo'ladi [11, 14].

Xususiy holda, elastik konstantalarning xayoliy qiymatlari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

$$c''_{eff} = \Gamma''_{ik} \gamma_i \gamma_k = \frac{2\alpha\rho V^2}{\omega}, \quad (11)$$

Bu yerda ρ kristallning zichligi. (11) tenglamadan foydalanib to'lqin vektorining istalgan yo'naliш uchun kristalldagi akustik to'lqinlarning so'nish koeffitsientini aniqlash mumkin.

Bu yo'naliшlar c'_{eff} (3) va c''_{eff} (4) samarali elastik konstantalar uchun ifodalarga kiritilgan. Ko'rinish turibdiki, bu ifodalarning umumiш shakli kristallning simmetriyasi va birlik to'lqinining normal va qutblanish vektorining yo'naliш kosinuslari bilan belgilanadi.

Eksperimental natijalar elastik konstantalarning kompleks tensorining barcha mustaqil haqiqiy va xayoliy komponentlarini hisoblash uchun ishlatalgan, ularning yordami bilan kristallning istalgan ixtiyoriy yo'naliш bo'yicha akustik to'lqinlarning xususiyatlarini aniqlash mumkin. Shuni ta'kidlash kerakki, olingan haqiqiy elastik konstantalar ma'lumotlar bilan mos keladi [5].

Natijada biz quyidagi haqiqiy elastik konstantalardan foydalandik:

$$c'_{11}=8,64 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2, c'_{33}=10,58 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2, c'_{44}=5,81 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2, c'_{66}=3,97 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2,$$

$$c'_{12}=0,7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2, c'_{13}=1,195 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2, c'_{14}=1,8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2.$$

Elastiklik tensorining haqiqiy konstantalarini aniqlashning aniqligi taxminan 1% ni tashkil etdi.

Elastik tensorning mos keladigan xayoliy komponentlari ham hisoblab chiqilgan:

$$c''_{11}=4,59 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2, c''_{33}=3,21 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2, c''_{44}=1,28 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2, c''_{66}=1,54 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2,$$

$$c''_{12}=1,51 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2, c''_{13}=1,22 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2, c''_{14}=0,11 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2.$$

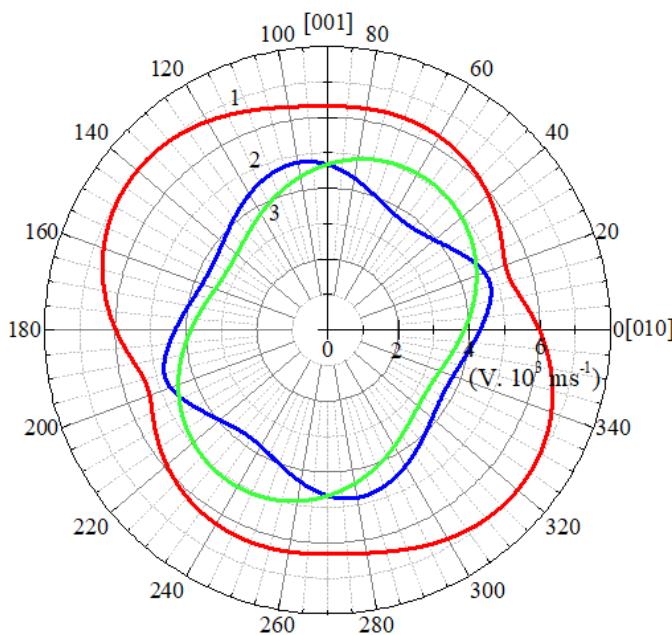
Elastiklik tensorining xayoliy konstantalarini aniqlashning aniqligi akustik to'lqinlarning so'nish koeffitsientlarini aniqlashda nisbatan katta xatolik tufayli yomonroq bo'ldi va taxminan 10% ni tashkil etdi.

Kristallografik tekislikda (100), ikkinchi tartibli simmetriya o'qida, ortogonata o'qi bo'ylab akustik to'lqinlarning tarqalishi uchta tezlik anizotropiyasini va so'nishini ko'rib chiqdik. Bunday hol uchun yo'naliш kosinuslari $\kappa_1=0$, $\kappa_2=\cos\varphi$, $\kappa_3=\sin\varphi$.

Bo'ylama va ko'ndalang akustik to'lqinlarning (100) tekislikdagi tarqalish tezligining anizotropiyasi 1-rasmda ko'rsatilgan. Ko'rinish turibdiki, tezlikning eng katta 1,4 marta o'zgarishi shu tekislikdagi sof ko'ndalang to'lqinlarda kuzatiladi. Boshqa to'lqinlar uchun tezlik qiymatining o'zgarishi kvazi-bo'ylama to'lqinlar uchun 20% dan va kvazi ko'ndalang to'lqinlar uchun 16% dan oshmaydi.

Shuni ta'kidlash kerakki, o'rganilayotgan tekislikda (100) ikkita akustik o'q mavjud bo'lib, ulardan biri uchinchi tartibli simmetriya o'qiga to'g'ri keladi [001], ikkinchisi esa Y o'qiga 42 graduslik burchak ostida yo'naltiriladi.

Ushbu akustik o'q bo'ylab tarqaladigan ko'ndalang to'lqinlar sofdir, chunki ulardan birining qutblanish vektori (100) tekislikka perpendikulyar yo'naltiriladi va ikkinchi ko'ndalang to'lqinining qutblanish vektori xuddi shu tekislikdagi to'lqin vektori yo'naliшiga nisbatan 90 gradusga og'adi.



1-rasm. SiO_2 kristallaridagi akustik to'lqinlarning tezligi (100) tekislik sirlari bo'yicha, kvazi-bo'ylama (1), kvazi-ko'ndalang (2) va ko'ndalang (3).

Green-Kristoffel tensorining xayoliy komponentlarini quyidagicha yozish mumkin:

$$\Gamma_{11}'' = c_{66}'' \cos^2 \varphi + c_{44}'' \sin^2 \varphi + 2c_{14}'' \sin \varphi \cos \varphi, \quad (12)$$

$$\Gamma_{22}'' = c_{11}'' \cos^2 \varphi + c_{44}'' \sin^2 \varphi - 2c_{14}'' \sin \varphi \cos \varphi, \quad (13)$$

$$\Gamma_{33}'' = c_{44}'' \cos^2 \varphi + c_{33}'' \sin^2 \varphi, \quad (14)$$

$$\Gamma_{23}'' = \Gamma_{32}'' = (c_{13}'' + c_{44}'') \sin \varphi \cos \varphi - c_{14}'' \cos^2 \varphi \quad (15)$$

$$\Gamma_{12}'' = \Gamma_{21}'' = \Gamma_{13}'' = \Gamma_{31}'' = 0 \quad (16)$$

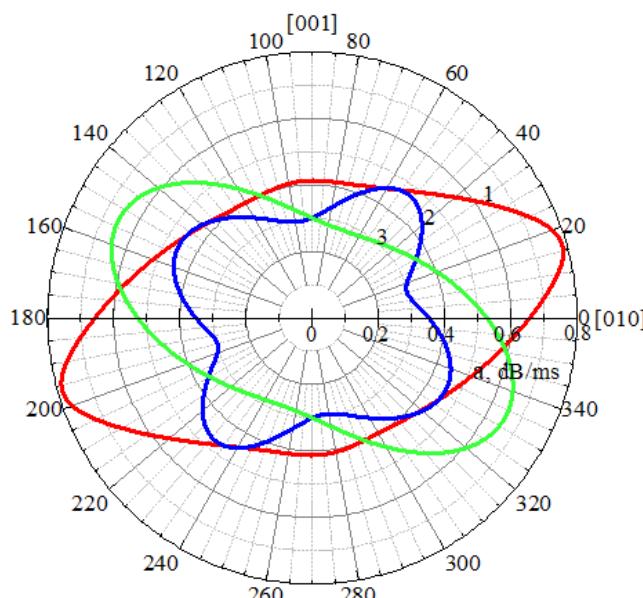
Natijada, akustik to'lqinlar uchun samarali elastik konstantaning xayoliy qismi, qutblanishi ularning tarqalish tekisligida (100) yotishi aniqlanadi [8].

$$c_{eff}'' = \frac{1}{2} (\Gamma_{22}'' + \Gamma_{33}'') \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\Gamma_{22}'' - \Gamma_{33}'')^2 + 4\Gamma_{23}''} \quad (17)$$

Samarali elastik konstantaning c'_{eff} haqiqiy qismini aniqlash uchun (12) ifodada tasavvur komponentlarni haqiqiy bilan almashtirish kerak. Polarizatsiyasi tekislikka (100) perpendikulyar bo'lgan sof ko'ndalang akustik to'lqin uchun samarali elastik konstantaning xayoliy qismi $c''_{eff} = \Gamma_{11}''$ ga teng va (12) tenglamaga muvofiq bu tekislikdagi yo'naliш bilan o'zgaradi.

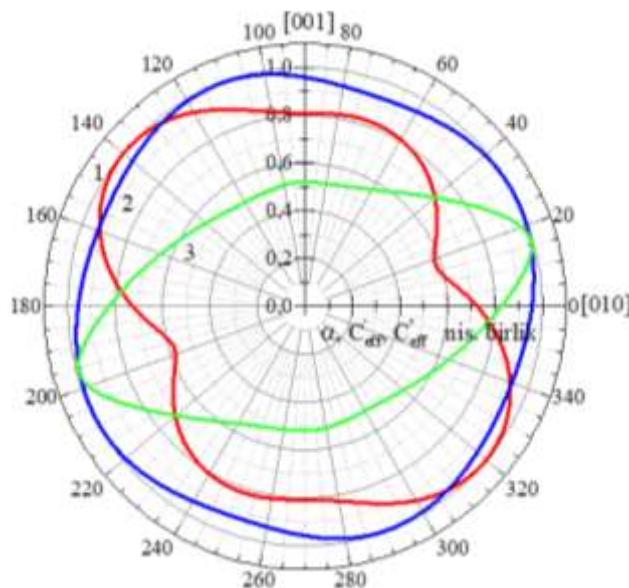
Bo'ylama va ko'ndalang akustik to'lqinlarning so'nish koeffitsientlarining anizotropiyasi (100) tekislik tomonidan susaytiruvchi sirtning kesmi shakli ko'rsatilgan. 2-rasmida ko'rinish turibdiki, kvass kristallari akustik to'lqinlarning so'nish koeffitsientining nisbatan yuqori anizotropiyasi bilan tavsiflanadi. Bu ayniqlsa, tekshirilayotgan tekislikdagi sof ko'ndalang akustik to'lqinlar uchun to'g'ri keladi. (100) tekislikdagi ushbu to'lqinlar uchun maksimal so'nish koeffitsienti minimal so'nish koeffitsientidan deyarli olti marta farq qiladi.

Kvazi-bo'ylama va kvazi-ko'ndalang akustik to'lqinlar uchun maksimal so'nish qiymatining minimal qiymatga nisbatli taxminan ikkiga teng.



2-rasm. SiO_2 kristallaridagi akustik to'lqinlarning so'nish (100) tekisligi sirtlari bo'yicha, kvazi-bo'ylama (1), kvazi-ko'ndalang (2) va ko'ndalang (3).

Bizning tadqiqotlarimiz natijalari shuni ko'rsatdiki, kvars kristallarida tezlik anizotropiyasi va akustik to'lqinlarning so'nish anizotropiyasi o'rtasida hech qanday bog'liqlik yo'q. Garchi (10) ifodaga ko'ra, so'nish anizotropiyasi haqiqiy va xayoliy elastik konstantalarning anizotropiyasi bog'liqidir.



3-rasm. Bo'ylama akustik to'lqinlarning (100) tekislik uchun haqiqiy elastik konstanta (1), xayoliy elastik konstanta (2) va so'nish koeffitsienti (3).

Shu bilan birga, so'nish anizotropiyasi va samarali elastik konstantaning xayoliy qismining anizotropiyasi o'rtasida aniq bog'liqlik mavjud. 3-rasmda uchta miqdorning nisbiy birliklarda yo'nalishiga bog'liqligi, shu jumladan haqiqiy elastik konstanta, kristallografik tekislikdagi bo'ylama akustik to'lqinlar uchun xayoliy elastik konstanta va so'nish koeffitsienti (100) ko'rsatilgan.

Ko'rinish turibdiki, akustik so'nish koeffitsientining anizotropiyasi xayoliy samarali elastik konstantaning orientatsion bog'liqligiga deyarli to'liq mos keladi. Bu qonuniyat akustik to'lqinlarning so'nish anizotropiyasi birinchi navbatda Gryunayzen angarmoniklik konstantasi, akustik to'lqinning to'lqin vektori yo'nalishiga bog'liqligi bilan izohlanadi [9, 10, 14]. Bu konstanta Axiezer mexanizmi

[9, 10] orqali akustik to‘lqinlarning so‘nish koeffitsienti qiyomatini belgilovchi ifodaga kiradi va (11) tenglamaga muvofiq, elastik konstantaning xayoliy qismining orientatsion bog‘liqligini aniqlaydi.

4. Xulosalar

Tadqiqotlarimiz shuni ko‘rsatdiki, kvazi-ko‘ndalang va ko‘ndalang to‘lqinlarining so‘nish koeffitsientlari fazoda ikki yo‘nalishda kesishadi, ulardan biri (100) tekislikdagi [010] o‘qiga taxminan 10 graduslik burchak ostida akustik o‘qning yo‘nalishiga to‘g‘ri keladi. Kvars kristallaridagi ko‘ndalang to‘lqin tezligini o‘rganish natijasida ma’lum bo‘lgan akustik o‘qning yo‘nalishi va bu qiziqarli natija ko‘ndalang akustik to‘lqinlarning simmetriyaning boshqa tekisliklarida tarqalishini bat afsil o‘rganishni talab qiladi.

Olingan natijalar kvars kristallarda akustik so‘nish anizotropiyasi bo‘yicha kvars kristallari asosidagi datchiklar va pezoelektrik rezonatorlarni o‘z ichiga olgan akustik va akustoelektron qurilmalarni yaratishda foydali bo‘ladi.

Adabiyotlar

1. E. Dieulesaint, D. Royer, Elastic waves in solids. Application for treatment of signals. Moscow: Nauka; 1982.
2. Andrushchak A.S., Mytsyk B.G., Laba H.P., at.el. Complete sets of elastic constants and photoelastic coefficients of pure and MgO-doped lithium niobate crystals at room temperature. Journal of Applied Physics 2009, Vol. 106, 073510 (1-6).
3. Chezganov D.S., Shur V.Ya., Baturin I.S., Akhmatkhanov A.R. et al. Polarization reversal in crystals of congruent lithium tantalate at elevated temperatures. Ferroelectrics. 2012. V. 439. P. 40–46.
4. Andreev I.A. Single crystals of the langasite family - an unusual combination of properties for applications in acoustoelectronics. Journal of Technical Physics. 2006, Vol. 76, No. 6, P. 80-86.
5. Sotnikov A.V., Kunze R., Schmidt H., Weihnacht M, Hengst M, Gotze J. Piezoelectric and elastic properties of $\text{Sr}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ (SNGS) single crystals. Solid State Physics, 2009, Vol 51, No. 2, P. 261-264.
6. Kazantsev S.G., Ovcharenko T.N. Calculated and experimental study of the anisotropy of elastic properties of piezoelectric single crystals of the langasite group. Electromechanics Issues 2011, Vol. 123, P. 51-59.
7. Андреев И.А. Пезоэлектрик кристалларда эластик тўлқинларнинг тезлиги ва ютилиш анизотропияси ва дисперсияси. Экспериментал физика. 2015 йил 6-сон, 27-43-бетлар.
8. Yu.A. Logachev, B.Ya Moyzhes. On the theory of sound absorption according to Akhizer. Solid state physics. Vol. 16, No. 8, 1974, pp. 2219-2223.
9. В.С.Ким, В. В. Леманов, А. Н. Насыров Поверхности акустического затухания в кварце, Физика твердого тела, 1986, том 28, выпуск 8, 2505–2508
- 10.Ф.Р.Ахмеджанов, В.В.Леманов, А. Носиров, Кристалларда акустик тўлқинларнинг сўниши. Техник физика журнали. жилд 6, 6-сон, 1980 йил, 589-592-бетлар.
- 11.I.L.Bajac, A. McNab, J. Richter, C.D. Wilkinson, Attenuation of acoustic waves in lithium niobate. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 69, No. 3, 1981, P. 689-695.
- 12.Farkhad Akhmedzhanov, Temur Mustafayev and Jamoliddin Nazarov. Anisotropy of Attenuation of Acoustic Waves in Lanthanum Gallosilicate Crystals. Sensors & Transducers. Vol. 254, Issue 7, 2021, P. 38-42
- 13.F.R. Ahmedzhanov, S.Z. Mirzaev, U.A. Saidvaliev. Parameters of Elastic Anisotropy in Bismuth Silicate Crystals. Ferroelectrics, Vol. 556, Issue 01, 2020, P. 23–28.
- 14.F.R.Akhmedzhanov, J.O. Kurbanov, A.F. Boltabaev Attenuation of Acoustic Waves in Single-domain and Polydomain LiTaO₃ Crystals. Sensors & Transducers. Vol. 246, Issue 7, 2020, P. 43-47