VILNIAUS UNIVERSITETAS

FIZIKOS FAKULTETAS

RADIOFIZIKOS KATEDRA

Neringa Morkaitytė

Paviršinės akustinės bangos $LiNbO_3$ ir $LiTaO_3$ kristaluose

Pagrindinių studijų baigiamasis darbas

Telekomunikacijų fizikos ir elektronikos studijų programa

Studentas	Neringa Morkaitytė
Darbo vadovas	dr. Romualdas Rimeika
Recenzentas	doc. Č. Pavasaris
Katedros vedėjas	prof. Jūras Banys

Vilnius 2017

Turinys

Įvadas 3

1. Elastinių bangų tipai 4

1.1 Tūrinės akustinės bangos 4

1.2 Paviršinės akustinės bangos 8

1.2.1 Rayleigh‘jaus paviršinės akustinės bangos 9

1.2.2 Kitų tipų paviršinės akustinės bangos 9

1.2.3 Nuotėkio paviršinės akustinės bangos 11

2. Akustinių bangų lygtys 12

2.1 Bangos lygtys kietajame kūne: 12

2.2 Bangos lygtys pjezoelektriniame kūne 13

3. Paviršinių akustinių bangų žadinimas 15

3.1 Keitiklių gaminimo technologija 18

4. Naudojamos pjezoelektrinės kristalinės medžiagos 19

5. Darbo schema 20

6. Rezultatai 22

Išvados 32

Summary 33

Literatūros sąrašas 34

Įvadas

Dar 1885 m. anglų fizikas, Nobelio premijos laureatas lordas Rayleigh‘jus pastebėjo, jog žemės drebėjimų metu, žemės paviršiumi sklinda mechaninės bangos, kurios deformuoja paviršių. Tirdamas ir nagrinėdamas šias bangas, vėliau pavadintas jo vardu, pradėjo naują etapą akustikos mokslo srityje. Tik po maždaug penkiasdešimtmečio amerikiečių inžinieriai R. White‘as ir F. Voltmer‘as pasiūlė naudoti elektrodinius keitiklius ant pjezoelektrinės medžiagos, norint Rayleigh‘jaus bangas sužadinti ir suvaldyti. Paviršinės akustinės bangos pritaikomos įvairiose elektroninėse sistemose, kodavimo įrenginiuose, plataus diapozono dažnių filtruose, stabiliuose aukšto dažnio generatoriuose, stiprintuvuose. Paviršinių akustinių bangų pagalba visi elektroniniai komponentai galėjo būti daug kartų mažinami, o kokybė stulbinamai išaugo.

Viena iš pagrindinių sričių, kuriose yra naudojamos paviršinės akustinės bangos yra jutikliai: paviršinių akustinių bangų įtaisai yra labai jautrūs mechaniniams ir elektriniams pokyčiams ant įtaiso paviršiaus. Dažniausiai yra gaminami drėgmei jautrūs įtaisai, kurių dėka galima nustatyti aplinkos drėgmę.

Darbo tikslas yra susipažinti su paviršinių akustinių bangų žadinimu, priėmimu ir jų savybėmis $LiTaO_3$ ir $LiNbO_3$ kristaluose, išmatuoti paviršinių akustinių bangų ir nuotėkio paviršinių akustinių bangų greičius.

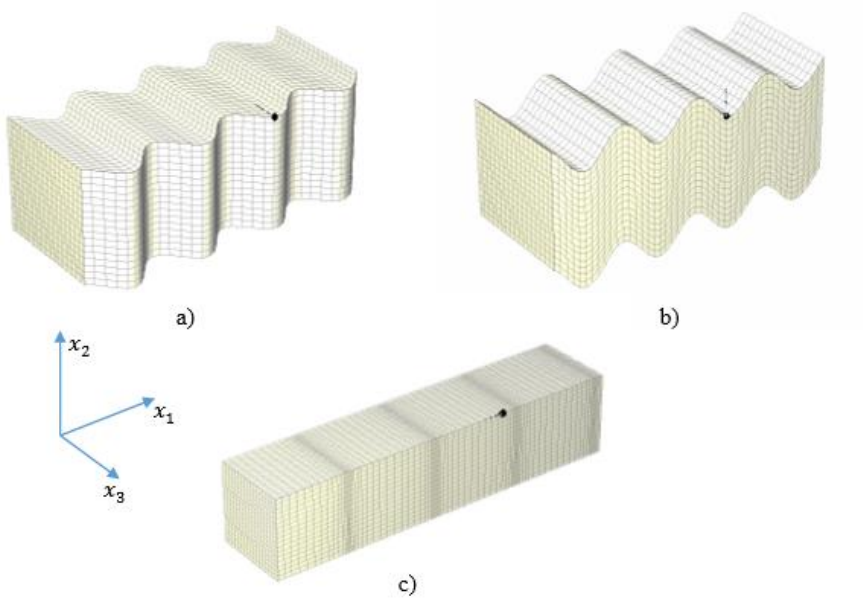
1. Elastinių bangų tipai

Akustinė arba garso banga – tamprios medžiagos dalelių virpesio sklidimas. Jos sklinda skysčiuose, kietuosiuose kūnuose ir dujose labai plačiu dažnių diapozonu – nuo herco dalių iki 10^{15} hercų. Garso bangas tirianti mokslo šaka - akustika. Akustinės bangos yra naudojamos įvairiose srityse, elektronikos įtaisuose, tokiuose kaip elektriniai filtrai, vėlinimo linijos ir kiti akustinės elektronikos įtaisai. Jos naudojamos dėl santykinai nedidelio bangų sklidimo kietuosiuose kūnuose greičio, mažų matmenų ir aukštos kokybės. Akustinės elektronikos įtaisuose dažniausiai naudojami ultragarsiniai ir hipergarsiniai virpesiai.

1.1 Tūrinės akustinės bangos

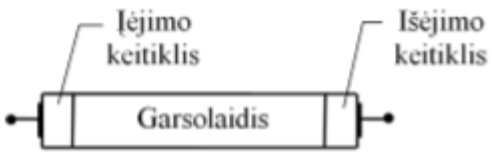
Tūrinės akustinės bangos yra bangos, kurios sklinda medžiagos tūryje bet kuria kryptimi. Jos yra mažiau slopinamos ir jautrios medžiagos paviršiaus užterštumui, taip pat jos gali sklisti medžiaga nesvarbu ar ji izotropinė ar anizotropinė. Tūrinių bangų sklidimo greitis paprastai būna didesnis nei paviršinių bangų.

Tūrinės akustinės bangos yra skirtomos į du tipus, priklausomai nuo to, kuria kryptimi virpa dalelės. Begalinių matmenų kietajame kūne gali sklisti išilginės ir skersinės tūrinės bangos.[1] Išilginės tūrinės akustinės bangos (1 pav. c) ir skersinės tūrinės akustinės bangos (1 pav. a ir b). Išilginės tūrinės akustinės bangos dalelės virpa bangos sklidimo kryptimi, o skersinės tūrinės akustinės bangos dalelės virpa statmenai bangos sklidimo krypčiai: skersai arba vertikaliai.



1 pav.a)tūrinė skersinė horizontalioji banga b)tūrinė skersinė vertikalioji banga c) tūrinė išilginė banga

Tūrinės akustinės bangos yra panaudojamos daugybėje sričių: medicinoje, maisto pramonėje, agronomijoje, optiniuose ir elektronikos prietaisuose. Turbūt geriausiai žinomas visiems tūrinių bangų pritaikymas yra echoskopija. Tai yra medicininis tyrimas, kuriame aido metodu yra skenuojamas žmogaus kūnas, o atspindėti ultragarso impulsai yra paverčiami elektriniais impulsais, kuriais sudaromas vaizdas ekrane. Tokiu būdu, nepažeidžiant žmogaus kūno, galima diagnozuoti ligas ar atlikti įvairius tyrimus, stebėti žmogaus organų būklę. Maisto pramonėje tūrinės akustinės bangos yra naudojamos maisto produktų sterilizavimui. Agronomojoje šios bangos naudojamos sėklų dygimo, augimo ir brendimo stimuliavimui. Taip pat tūrinės akustinės bangos yra taikomos optiniuose prietaisuose – deflektoriuose, derinamuose optiniuose filtruose, šviesos moduliatoriuose.



2 pav. Ultragarsinės vėlinimo linijos sandara[1]

Tūrinių akustinių bangų vėlinimo linija pavaizduota 2 paveiksle. Ją sudaro garsolaidis, kuriuo sklinda akustinė banga. Akustinių bangų žadinimui ir priėmimui naudojami pjezoelektriniai keitikliai, kurie žadinimo keitiklyje elektrinę energiją pakeičia akustine, o priėmimo keitiklyje

atvirkščiai – akustinę energiją paverčia elektrine energija. Pjezoelektrinį keitiklį sudaro pjezoelektrinė plokštelė, iš abiejų pusių padengta metalo plėvele, kad būtų galima prijungti (nuimti) elektrinį signalą. Pjezoelektrinės plokštelės storis apsprendžia akustinių bangų žadinimo dažnį. Dėl nedidelio akustinių bangų sklidimo greičio kietuosiuose kūnuose, jos taikomos signalų vėlinimui. Patekę į įėjimo keitiklį, elektriniai virpesiai sužadina akustinę bangą, kuri sklinda garsolaidžiu iki išėjimo keitiklio, kaip yra pavaizduota 2 pav.. Jame mechaniniai virpesiai pakeičiami į elektrinius – gaunami suvėlinti elektriniai virpesiai. Kadangi tokiu būdu vėlinimas yra labai trumpas arba garsolaidis turi būti labai ilgas, yra naudojami daugiakarčiai akustinės bangos atspindžiai. Tokiu būdu akustinė banga atsispindi nuo garsolaidžio kraštų, todėl gaunamas vėluojantis signalas, o garsolaidis būna ne ilgas, o turintis stačiakampio ar kokią kitą formą, kurios dėka gaunamas ilgesnis akustinės bangos kelias atsispindint nuo garsolaidžio kraštų iki priimamojo keitiklio.[1]

Begaliniu izotropiniu kūnu viena kryptimi gali sklisti trys, skirtingų poliarizacijų ir greičių bangos, kurių dalelių virpėjimą aprašome:

$$u_i = A_{0i} e^{i(k_i x_i - \omega_i t)}, \qquad i = 1,2,3; \tag{1.1.1}$$

kur k_i – banginis vektorius *i* kryptimi, $\omega = 2\pi f$ – kampnis dažnis, *A*-dalelės virpesio amplitudė.

Pasinaudodami judėjimo lygtimi ir antruoju Newton‘o dėsniu $F=ma$, kur *a* yra poslinkio antoji išvestinė, galime surasti akustinių bangų greičius. Ieškodami lygties sprendinių, galime užrašyti judėjimo lygtį bendriausiu atveju:

$$\rho\omega^2 A_{0i} = \sum_{jkl} c_{ijkl} k_j k_k A_{0l}\,; \tag{1.1.2}$$

kur *c* – elastinių konstantų tenzoriaus komponentės, pasinaudojame Newton‘o ir Hooke‘o dėsnių ($ma=kx$) lygybe ir jų antrosiomis išvestinėmis.

Kadangi banga turi savo kryptį, ir ji sklinda x_1 kryptimi, aukščiau esančią lygtį galime užrašyti:

$$\rho\omega^2 A_{0i} = \sum_{l} c_{i11l} k^2 A_{0l}; \tag{1.1.3}$$

Išsprendę šią lygtį izotropiniame kūne, gauname tris greičių išraiškas: išilginės tūrinės akustinės bangos:

$$v_{išilginės} = \sqrt{c_{11}/\rho}; \tag{1.1.4}$$

Ir dviejų skersinių tūrinių akustinių bangų išraiškas. Šiuo atveju (izotropiniame kūne) skersinės vertikalios ir skersinės horizontalios akustinių bangų greičiai sutampa ir yra lygūs:

$$v_{skersinės} = \sqrt{c_{44}/\rho} \tag{1.1.5}$$

kur ρ – medžiagos tankis, c – elastinių konstantų tenzoriaus komponentės.

Paprastai išilginės tūrinės akustinės bangos greitis yra apie du kartus didesnis, nei skersinės vertikalios ir skersinės horizontalios bangų greičiai.

1.2 Paviršinės akustinės bangos

Jeigu kietasis kūnas yra apribotas paviršiumi, tuo paviršiumi gali sklisti paviršinės akustinės bangos (PAB). Paprasčiausias PAB pavyzdys yra bangos, sklindančios vandens paviršiumi. Jas 1885 m. pirmasis matematiškai aprašė lordas Rayleigh'jus, todėl dabar jos dažnai vadinamos Rayleigh'jaus bangomis.[2] Šių bangų svyravimų amplitudė didžiausia yra paviršiuje ir mažėja, einant gylyn į medžiagą. PAB pernešamos energijos tankis, vieno bangos ilgio dydžio gylyje, sudaro tik 0,02 dalį energijos tankio, pernešamo paviršiuje, o PAB slidimo greitis yra mažesnis už tūrinių akustinių bangų sklidimo greitį ir priklauso nuo medžiagos tankio ir jos elastinių savybių.[3] Šioms bangoms taip pat galima pritaikyti bangos judėjimo lygtį:

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \sum_{jkl} c_{ijkl} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_k}; \tag{1.2.1}$$

kur ρ – medžiagos tankis, c_{ijkl} – ketvirto rango elastinių koeficientų tenzorius, o u_i – dalelės poslinkis i kryptimi.

Sklindant paviršinei akustinei bangai (PAB) medžiagos dalelės virpa elipsės formos trajektorija, kurios didžioji pusašė yra statmena kristalo paviršiui, o mažoji pusašė yra nukreipta bangos sklidimo kryptimi. Plokštuma, kurią sudaro bangos sklidimo kryptis ir normalė kristalo paviršiui, kuri paprastai vadinama sagitaline.

Lygties (1.2.1) sprendinio ieškosime tokiu pavidalu:

$$u_i = a_i e^{ik(l_1 x_1 + l_2 x_2 - vt)}; \tag{1.2.2}$$

kur k_i – banginis skaičius i kryptimi, v – akustinės bangos sklidimo greitis, l_1, l_2 - krypties kosinusai, u_i – dalelės poslinkis i kryptimi.

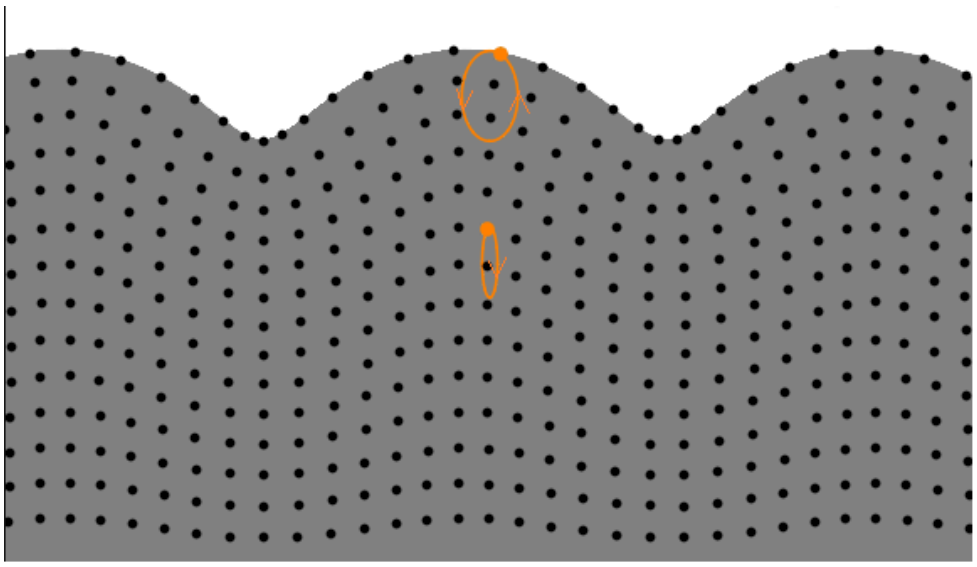
Čia yra išreiškiama dalelių poslinkio kryptis bendruoju atveju, tik bangos sklidimas į gylį nėra išreikštas (l_3 ir x_3 yra lygūs nuliui), nes tolstant nuo medžiagos paviršiaus šie dydžiai artėja prie nulio. Ši (1.2.2) judėjimo lygtis turi tenkinti kraštinę sąlygą: įtempimai kristalo paviršiuje turi būti lygūs nuliui:

$$T_{3j} = c_{3jkl} \frac{\partial u_l}{\partial x_1} = 0. \tag{1.2.3}$$

T – įtempimas kristalo paviršiuje.

1.2.1 Rayleigh‘jaus paviršinės akustinės bangos

Rayleigh‘jaus PAB paprastai sklinda kristalo paviršiumi ir nuslopsta maždaug bangos ilgio gylyje. Kristalo dalelės juda elipse, kurios komponentės yra ortogonalios ir nukreiptos bangos sklidimo kryptimi ir statmenai kristalo paviršiui. Paviršinės akustinės bangos dalelių trajektorijos pavaizduotos 3 paveiksle. Matome, kad paviršiuje judančios dalelės juda didesne amplitude, o kristalo tūryje esančių dalelių svyravimo amplitudė ženkliai sumažėja.



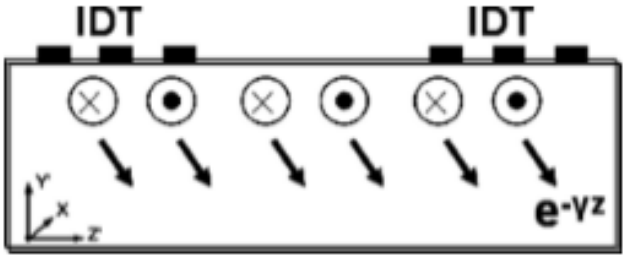
3 pav. Rayleigh‘jaus paviršinė akustinė banga ir dalelių judėjimo trajektorijos.

Dėl paviršiaus dalelių virpėjimo, Rayleigh‘jaus paviršinėms akustinėms bangoms yra būdingos išilginė ir skersinė įtempimo jėga ir deformacija. Kadangi paviršiaus dalelės juda elipsėmis, jos yra nesuvaržytos, santykinai medžiagos kietumas paviršiuje yra mažesnis, negu medžiagos tūryje, todėl paviršinių akustinių bangų greitis yra mažesnis, nei tūrinių akustinių bangų sklidimo greitis.

1.2.2 Kitų tipų paviršinės akustinės bangos

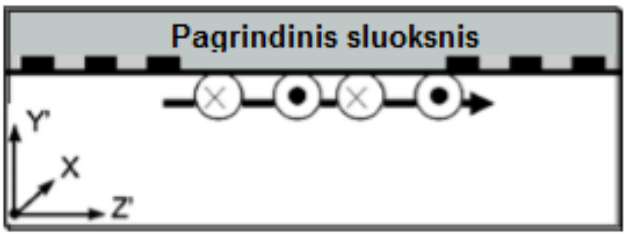
Paviršines bangas, kurių poliarizacija yra statmena sagitalinei plokštumai ir taip pat statmena bangos sklidimo krypčiai, vadinamos skersinėmis horizontaliosiomis paviršinėmis bangomis. Čia dalelės juda statmenai viena kitai ir bangos sklidimo krypčiai. Šios bangos yra skirstomos į kelias rūšis:

Nuotėkio paviršinės akustinės bangos – šios bangos sklinda paviršiumi, tuo pačiu dalį savo energijos išspinduliuodamos į tūrį (4 pav). Šios bangos yra pranašesnės nei Rayleigh‘jaus PAB, nes yra skersinės horizontaliosios poliarizacijos, slisdamos į tūrį slopsta, įprastai pasiekiamas didesnis bangų sklidimo greitis, elektromechaninio koeficiento dydis ir yra temperatūriškai stabilios.



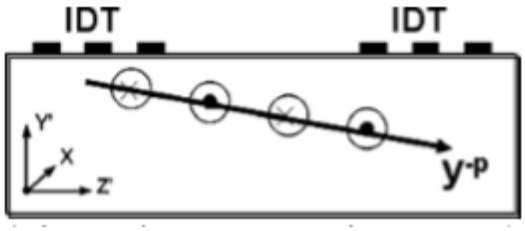
4 pav. Nuotėkio paviršinės akustinės bangos sklidimo schema

Love bangos yra paviršinių akustinių bangų tipas, kurios sklinda sluoksniuotoje struktūroje [4]. Šios paviršinės akustinės bangos yra skersinės horizontaliosios poliarizacijos ir sklinda medžiagos paviršiumi, kuria yra padengtas kristalo su keitikliais paviršius. Tolstant į medžiagos gylį dalelių judėjimas gali visiškai išnykti - didžiausia judėjimo amplitudė yra paviršiuje.



5 pav. Love bangos sklidimo schema

Paviršiumi slystančios tūrinės bangos – šios bangos sklisdamos paviršiumi, tuo pačiu sklinda kampu į medžiagos gylį, kaip pavaizduota 6 paveiksle. Jos yra skersinės horizontaliosios poliarizacijos, savybėmis panašios į nuotėkio paviršines akustines bangas, tačiau sklisdamos į tūrį, paprastai nepasiekia priėmimo keitiklio[5].



6 pav. Paviršiumi slystančių tūrinių bangų schema.

1.2.3 Nuotėkio paviršinės akustinės bangos

Nuotėkio paviršinės akustinės bangos (NPAB) giliau įsiskverbia į medžiagą, jų greičiai paprastai būna didesni nei PAB, jos pasižymi didesniu elektromechaniniu koeficientu. NPAB dažniau yra naudojama pramonėje, nes galima didinti prietaisų dažnių diapozoną. Įprastai nuotėkio PAB žadinimui tinka tam tikro pjūvio $LiNbO_3$ ir $LiTaO_3$ kristalai. Parinkus tinkamą pjūvį šiuose kristaluose, galima labai efektyviai žadinti nuotėkio paviršines akustines bangas.

Šios bangos, sklisdamos kristalo paviršiumi, dalį savo akustinės energijos išspinduliuoja į kristalo tūrį - tūrinių akustinių bangų pavidalu. Tūrinių akustinių bangų išspinduliavimo stiprumas ir tuo pačiu nuotėkio paviršinės akustinės bangos silpimas priklauso nuo pasirinkto kristalo pjūvio. YX-$LiTaO_3$ kristale sklindant NPAB X kryptimi banga nuslopsta apie 0,7dB nusklidus kelią lygų bangos ilgiui. O 36°YX-$LiTaO_3$ kristale šios bangos silpimas yra praktiškai lygus 0.[6]

Šių bangų poliarizacija yra skersinė horizontalioji t.y. sklindant bangai dalelės virpa kristalo paviršiuje statmenai bangos sklidimo krypčiai, todėl NPAB yra nejautrios įvairioms paviršiaus savybėms: sąlyčiui su skysčiais, cheminėmis medžiagomis, biologinėmis medžiagomis, mechaniniams ir elektriniams pakitimams. NPAB mažiau jautrios temperatūriniams arba paduodamos galios pokyčiams, nes jos yra pasiskirsčiusios didesniame kristalo gylyje, negu Rayleigh‘jaus paviršinės akustinės bangos.

Pjezoelektriko paviršiaus poslinkis, kurį sukelia nuotėkio paviršinės akustinės bangos:

$$U\ (x,t) \approx |U|e^{j(\omega t - l\beta x)}e^{-\chi\beta|y|}, \tag{1.2.4}$$

tada elektrinis potencialas:

$$\Phi(x,t) \approx |\Phi|e^{j(\omega t - l\beta x)}e^{-\chi\beta|y|}. \tag{1.2.5}$$

Šiose lygybėse yra koeficientas $l = 1 + j\delta$.

$\delta \ll 1$ – virpesių silpimo konstanta bangos sklidimo kryptimi; Konstanta χ nusako bangos mechaninio poslinkio ir potencialo didėjimą tolstant nuo pjezoelektriko paviršiaus.

Dėl mechaninio poslinkio komponentės, kuri yra lygiagreti kristalo paviršiui ir įvairių mechaninių ar elektrinių pokyčių ant paviršiaus, NPAB gali būti slopinamos mažiau nei Rayleigh‘jaus PAB.

2. Akustinių bangų lygtys

Priklausomai nuo kilmės, kūnai skirtingai reaguoja į išorines juos veikiančias jėgas. Įprastai kūnai ramybės būsenoje yra veikiami tik sunkio jėgos t.y. įtempimo ir deformacijų jėgos yra lygios nuliui. Ramybės būseną gali sutrikdyti šiluminės, elektrinės, magnetinės arba tiesiog mechaninės jėgos, kurios taip pat gali sukelti kūno deformacijas. Priklausomai nuo to, ar kūnas po deformacijos ir nebeveikiant išorinėms jėgoms, geba grįžti į savo pradinę formą, kūnai skirstomi į elastinius ir neelastinius. Elastinių kūnų grįžimą į pradinę formą lemia vidinių įtempimo jėgų darbas.

2.1 Bangos lygtys kietajame kūne:

Kietajame izotropiniame elastiniame kūne veikia įtempimo ir deformacijos jėgos. Deformacijos komponentė yra išreiškiama taip:

$$S_{kl} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_l}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_l}\right), \tag{2.1.1}$$

kur u_l yra dalelės poslinkis l kryptimi, x_k yra k - tosios pozicijos koordinatė. Šią išraišką galima įrašyti į Hooke‘o dėsnį, aprašanti įtempimo jėgos ir deformacijos sąryšį:

$$T_{ij} = \sum c_{ijkl} S_{kl}; \tag{2.1.2}$$

kur T_{ij} yra įtempimo jėga, kuri veikia paviršių i koordinatės kryptimi ir kurios normalė yra lygiagreti x_j ašiai, o c_{ijkl} yra ketvirto rango elastinis koeficientų tenzorius, nurodantis tiestinį ryšį tarp T_{ij} ir S_{kl} tenzorių. Galime aprašyti šį ketvirto rango tenzorių kaip:

$$c_{ijkl} = \left(\frac{\partial T_{ij}}{\partial S_{kl}}\right) S_{kl=0} \tag{2.1.3}$$

Pasinaudodami Hooke‘o ir Newton‘o dėsniais galime užrašyti judėjimo lygtį kietajam kūnui:

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = c_{ijkl} \frac{\partial^2 u_l}{\partial x_j \partial x_k}, \tag{2.1.4}$$

kur ρ – medžiagos tankis, ir i - nurodo tris galimus judėjimo lygties sprendinius, parodančius kūno dalelių poslinkius trimis kryptimis. Trys plokščios bangos, kurių poliarizacijos yra statmenos, gali sklisti ta pačia plokštuma, tik jų sklidimo greičiai bus skirtingi.

2.2 Bangos lygtys pjezoelektriniame kūne

Pjezoelektriniame kūne įtempimo jėga ir elektrinis laukas yra susiję, tai Hooke‘o dėsnio išraiška pakeičiama pjezoelektrinėmis būsenos lygtimis. Tokiu atveju ir įtempimo tenzoriaus išraiška pakinta:

$$T_{ij} = c_{ijkl}^{E} S_{kl} - e_{kij} E_k \; ; \tag{2.2.1}$$

kur c_{ijkl}^{E} tamprumo tenzoriaus komponentė, kuri parodo, kaip susiję įtempimas ir deformacija esant pastoviam elektriniam laukui E, o e_{kij} - pjezoelektrinio tenzoriaus komponentės parodo, kaip susiję elektrinis laukas su įtempimo tenzoriumi, kai kūną veikia pastovi deformacija.

Elektrinė indukcija D paprastai apibrėžiama kaip elektrinio lauko E ir dielektrinės skvarbos ε sandauga. Pjezoelektriniame kūne šis sąryšis pasikeičia, elektrinė indukcija priklauso ir nuo kūno deformacijos.

$$D_j = e_{jkl} S_{kl} + \varepsilon_{jk}^{S} E_k \tag{2.2.2}$$

kur ε_{jk}^{S} dielektrinės skvarbos tenzorius esant pastoviai deformacijai.

Pjezoefektas – pjezoelektriko poliarizacija dėl mechaninio įtempimo ar jo mechaninis įtempimas dėl elektrinio lauko poveikio. Pjezoefekto veikimo principas yra paremtas išilginių skersinių virpesių žadinimu. Mechaninėje sistemoje naudojamas atvirkštinis pjezoefektas leidžia transformuoti elektros energiją į mechaninę ir panaudoti ją išorinio objekto slenkamųjų ir sukamųjų judesių realizavimui. Pjezoelektrinį efektą 1860 m. aptiko broliai Curie. Eksperimentų metu jie išsiaiškino, kad kvarcą patalpinus į elektrinį lauką, jo matmenys pakinta. Taip pat ir su atvirkštiniu pjezoefektu – jeigu kvarcas yra mechaniškai veikiamas ir deformuojasi, tada jame generuojamas elektrinis krūvis. 1920 m. šią technologiją pirmas pritaikė Lengvin‘as, sukurdamas hidrolokatorių – kvarcinį siųstuvą ir imtuvą, skirtą garsui vandenyje. Hidrolokatoriaus sukūrimas pastūmėjo karo mokslininkus domėtis apie medžiagas, kurios gali būti tinkamos hidrolokatorių gamybai, taip

atrasdami, kad kai kurios keraminės medžiagos yra pjezoelektriškos, kai yra prijungiama aukšta poliarizuota įtampa.

Magnetinis laukas elastinėms bangoms nėra reikšmingas, todėl bangų greitis yra daug mažesnis, negu elektromagnetinių bangų, ir šiuo atveju supaprastėja Maxwell‘o lygtys:

$$\nabla \times \boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} \cong 0. \tag{2.2.3}$$

Iš aukščiau esančių išraiškų galima matyti, kad elastinę bangą lydi elektrinio lauko banga. Tuomet bangos greitis priklauso nuo pjezoelektrinės madžiagos savybių: elastinių, dielektrinių ir pjezoelektrinių. Ta pjezoelektrinė medžiaga tampa tarsi standesnė ir banga sklinda didesniu greičiu nei kietuosiuose kūnuose, kuriuose bangos sužadinamos kitokiais būdais nei pjezoefektu, nes atsiranda papildoma potencinė energija, sąlygota pjezoelektrinio ryšio.

Elektrinio lauko stiprį $\boldsymbol{E}$ galime išvesti iš skaliarinio potencialo Φ :

$$\boldsymbol{E} = -\nabla \Phi \; ; \tag{2.2.4}$$

Tuomet galima užrašyti medžiagos pjezoelektrinės būsenos lygtis:

$$T_{ij} = c^{E}_{ijkl} \frac{\partial u_l}{\partial x_k} + e_{kij} \frac{\partial \Phi}{\partial x_k} \tag{2.2.5}$$

$$D_j = e_{jkl} \frac{\partial u_l}{\partial x_k} + \varepsilon^{S}_{jk} \frac{\partial \Phi}{\partial x_k} \tag{2.2.6}$$

Kai medžiaga yra dielektrikas, turi būti tenkinama Poisson‘o lygtis $\frac{\partial D_j}{\partial x_j} = 0$:

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = c^{E}_{ijkl} \frac{\partial^2 u_l}{\partial x_j \partial x_k} + e_{kij} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_j \partial x_k} \; ; \tag{2.2.7}$$

$$e_{jkl} \frac{\partial^2 u_l}{\partial x_j \partial x_k} - \varepsilon^{S}_{jk} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_j \partial x_k} = 0 \; . \tag{2.2.8}$$

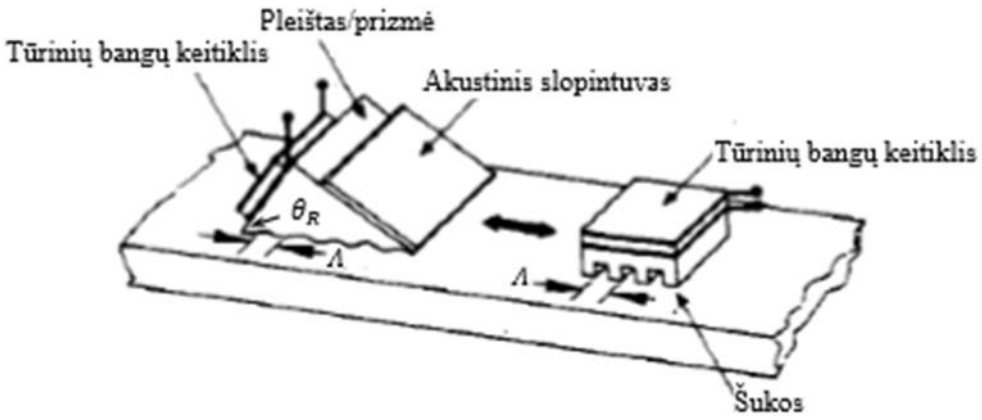
Kai išsprendžiamos šios trys lygtys, galima rasti judėjimo lygties sprendinius, kurie aprašo kūno dalelių poslinkius ir greičius.

3. Paviršinių akustinių bangų žadinimas

Paviršines akustines bangas galima sužadinti įvairiais būdais. Tai gali būti mechaninis sužadinimas, pjezoelektrinis, magnetinis, optinis arba terminis. Priklausomai nuo pasirinkto žadinimo būdo, ant kristalo paviršiaus fotolitografijos būdu yra suformuojami keitikliai.

Mechaninis sužadinimas dažnai naudojamas norint sugeneruoti akustinę bangą ant ne pjezoelektrinės medžiagos paviršiaus pasinaudojant mechaniniais keitikliais, taip vadinamais pleišto ir šukų tipo keitikliais, kaip pavaizduota 7 paveiksle.

Pjezoelektrinių tūrinių bangų keitiklių pleište sužadinama tūrinė akustinė banga, kuri sklisdama tam tikru kritiniu kampu, gali kristalo paviršiuje sužadinti paviršinę akustinę bangą. Prizmės kampas yra parenkamas atsižvelgiant į tūrinės akustinės bangos ir paviršinės akustinės bangos greičius. Antrasis keitiklis yra metalinė plokštelė, panaši į šukas: su stačiakampiais dantukais ir grioveliais, kuris pavaizduotas 7 paveiksle dešinėje pusėje. Generuojamų PAB bangų ilgis priklauso nuo dantukų periodo. Išilginės tūrinės bangos susižadina per dantukus, kurie liečiasi su kristalo paviršiumi, sužadindamos paviršines akustines bangas[7].



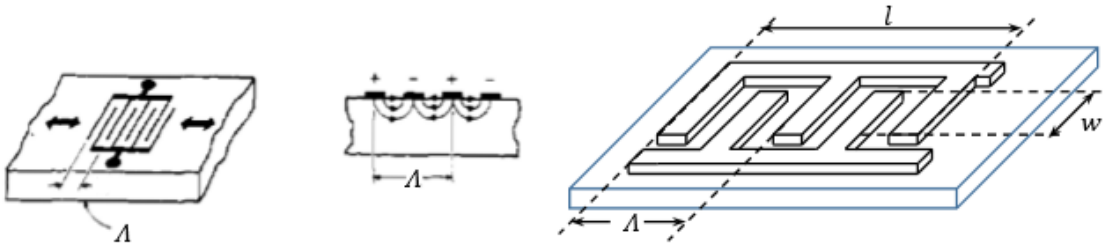
7 pav. Mechaninio sužadinimo 2 būdai (pleišto/prizmės ir šukų keitiklio)

Pirmuosiuose paviršinių akustinių bangų įtaisuose, bangoms sužadinti ir joms pakeisti į elektrinius virpesius, buvo naudojami tūrinių akustinių bangų keitikliai. Elektrodinių keitiklių (IDT – *Inter Digital Transducer*) naudojimosi pradžia, kokybiškai sužadinant akustines bangas, yra 1965m, kai šiuos keitiklius pasiūlė naudoti amerikiečių inžinieriai R. White‘as ir F. Voltmer‘as.

Paprasčiausias elektrodinis keitiklis yra vienfazis. Tarp keitiklio elektrodų, veikiant elektriniam virpesiui, pjezoelektrinės medžiagos plokštelėje susikuria elektrinis laukas. Pjezoelektriko paviršiniame sluoksnyje, ant kurio sudarytas šukų pavidalo metalinis elektrodas, be normalinės elektrinio lauko dedamosios, veikia tangentinė dedamoji, kuri koordinatės x kryptimi silpnėja. Kaip tik ši dedamoji sužadina paviršinę akustinę bangą.[1]

Dvifazio keitiklio elementai susideda iš metalinių elektrodų ir jų galuose esančių kontaktinių aikštelių, kurie ant kristalo yra padengiami fotolitografijos būdu. Pagrindiniai keitiklių elementai yra metaliniai elektrodai, pakaitomis sujungti su dviem kontaktinėmis aikštelėmis. Atstumas tarp elektrodų sujungtų ta pačia kontaktine aikštele yra lygus žadinamos paviršinės akustinės bangos ilgiui ($d = \Lambda$, kur d yra keitiklio periodas). Elektrinio signalo sąlygotas kintamas potencialų skirtumas sukuria pjezoelektriko paviršiniame sluoksnyje kintamas deformacijas, kurios atkartoja elektrodinio keitiklio periodiškumą. Šios kitamos deformacijos ir sukelia dvi bėgančias į priešingas puses paviršines akustines bangas.[3]

Žadinimas pjezoefektu yra plačiausiai naudojamas ir bene efektyviausias būdas sužadinti paviršines akustines bangas. [7] Naudojantis laidžių elektrodų, išdėstytų ant pjezoelektrinės medžiagos, kaip šukos, metodu, banga gali sklisti kūno paviršiumi, dėl kūnui būdingų pjezoelektrinių savybių. Į elektrodus paduodama kintama įtampa, kristalo paviršiuje sukelia kintamus elektrinius laukus, kurių periodiškas kitimas dėl atvirkštinio pjezoefekto sukelia įtampos ir deformacijos jėgas, kurios keičia kūno paviršiaus reljefą.



8 pav. Sunertiniai keitikliai ant kristalo paviršiaus. Šiais ketikliais atvirkštinio pjezoefekto būdu yra žadinamos PAB.

8 paveiksle matome, kad atstumas tarp šukų yra lygus norimos gauti akustinės bangos ilgiui, ir, kaip pasiskirstę elektriniai laukai ant pjezoelektrinės medžiagos.

Išsimatavus elektrodų parametrus: elektrodo plotį, tarpą tarp elektrodų ir porų skaičių, galima apsiskaičiuoti keitiklio parametrus: rezonansinį dažnį, praleidžiamų dažnių juostą ir elektrinį impedansą, kurie labai praverčia norint surasti praėjusią akustinę bangą per pjezoelektriką.

Akustinės bangos ilgį randame iš formulės:

$$\Lambda = \frac{v}{f_0}, \tag{3.1}$$

kur *v*- akustinės bangos greitis kristale, f_0 – rezonansinis keitiklio dažnis.

Taip pat galime išsireikšti ir praleidžiamų dažnių juostos plotį:

$$\frac{\Delta F}{f_0} \cong \frac{2}{N}, \tag{3.2}$$

kur ΔF – praleidžiamų dažnių juostos plotis, N – keitiklio elektrodų porų skaičius.

Iš (3.2) išraiškos galima gauti praleidžiamų dažnių juostos pločio išraišką per akustinės bangos greitį ir keitiklio ilgį:

$$\Delta F \cong \frac{2f_0}{N} = \frac{v}{l}. \tag{3.3}$$

3.1 Keitiklių gaminimo technologija

Keitiklių elektrodai ir kontaktinės aikštelės paprastai gaminami iš plonos aliuminio plėvelės, naudojant fotolitografijos technologiją.[3] Dažniausiai norint pagaminti aukštadažnius keitiklius, jų kontaktinės aikštelės yra padengiamos storesniu aliuminio sluoksniu, todėl galima pasiekti ir 300MHz rezonansinius dažnius. Aptartų paviršinių akustinių bangų keitiklių pagrindai gaminami iš kvarco, $LiNbO_3$, $LiTaO_3$, $Bi_{12}GeO_{20}$, pjezokeramikos ir kitų pjezoelektrinių medžiagų. Svarbiausieji šių medžiagų parametrai – paviršinės akustinės bangos sklidimo greitis, elektromechaninio ryšio koeficientas, temperatūrinis vėlinimo laiko koeficientas.[1] Galima naudoti ir medžiagas, kurios nepasižymi pjezoelektrinėmis savybėmis, bet tuomet keitiklius reikia padengti plonu pjezoelektrinės medžiagos sluoksniu.

Pagrindiniai PAB įtaisų privalumai yra jų maži gabaritai ir puikios techninės charakteristikos. Maži matmenys yra galimi dėl palyginti lėto akustinių bangų sklidimo. Pavyzdžiui, paviršinių akustinių bangų greitis kristaluose yra 10^5 kartų mažesnis už elektromagnetinių bangų sklidimo greitį. Puikias PAB įtaisų charakteristikas nulemia geros naudojamų kristalų elastinės ir pjezoelektrinės savybės, bei gamybos technologija. Plačiajuosčių filtrų, kodavimo ar dekodavimo įtaisų gamybai naudojamos medžiagos, pasižyminčios didelėmis elektromechninio ryšio konstantų vertėmis.[3] Elektromechaninio ryšio koeficientas priklauso nuo medžiagos pjezoelektrinių savybių, PAB sklidimo krypties kristalografinių ašių atžvilgiu ir kitų PAB charakteristikų. PAB įtaisų gamyboje naudojama tradicinė fotolitografijos technologija, neatsiejamai susijusi su mikroelektronikos pramone. Dėl ištobulintos gamybos technologijos ir nedidelio pjezoelektrinės medžiagos suvartojimo, PAB įtaisų kaina nėra didelė.

4. Naudojamos pjezoelektrinės kristalinės medžiagos

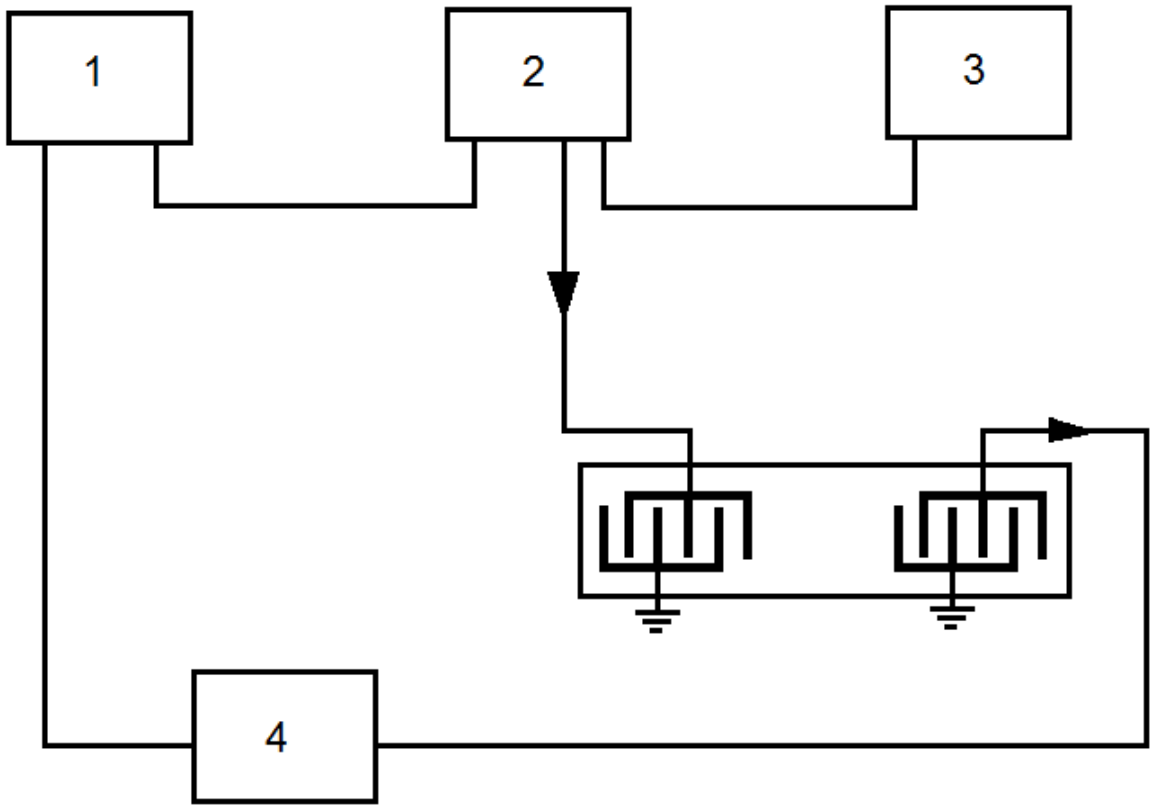
Norint sužadinti paviršines akustines bangas ant kieto kūno paviršiaus pjezoefektu, reikia, kad ta medžiaga būtų pjezoelektrinė ir turėtų savybę konvertuoti iš išorinio šaltinio gautą elektrinę energiją paversti mechanine energija. Dažniausiai naudojamos pjezoelektrinės medžiagos akustinių bangų žadinimui yra: kvarcas (SiO_2), cinko oksidas (ZnO), ličio tantalatas ($LiTaO_3$), ličio niobatas ($LiNbO_3$), bismuto germanatas ($Bi_{12}GeO_{20}$), įvairios pjezokeramikos. Priklausomai nuo to, koks yra norimas rezultatas, pagal įvairias savybes ir parametrus, yra pasirenkama tiriamoji medžiaga: galima pasirinkti pagal taikymą, elektromechaninio ryšio koeficientą, slopinimą, akustinių bangų greitį kristale, arba tiesiog, pagal temperatūrines priklausomybes ar kainą.

Pasirenkant medžiagą, taip pat reikia pasirinkti kristalo pjūvį. Pjūvis įeina į medžiagos pavadinimą prieš kristalo cheminę formulę. Vidinė kristalo struktūra yra siejama su Decart‘o koordinačių sistema, nes tokiu būdu yra nurodomos kristalinės gardelės kryptys. Todėl nurodytos kristalo pavadinime raidės rodo bandinio normalės padėtis ir bangos sklidimo kryptis.

Eksperimento metu buvo naudojami YX – $LiTaO_3$, YZ – $LiNbO_3$ kristalai, kurių paviršiaus normalės kryptis sutampa su Y ašimi, o PAB sklinda X ašies kryptimi $LiTaO_3$ kristale ir Z ašies kryptimi $LiNbO_3$ kristale.

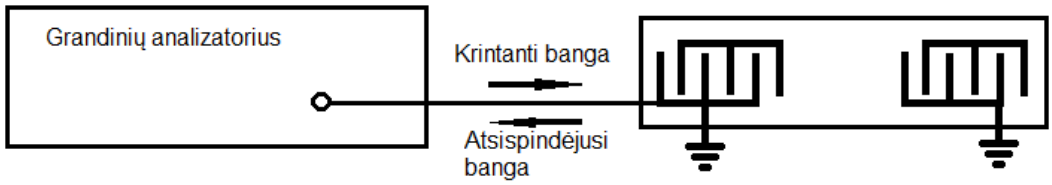
5. Darbo schema

Ši schema buvo naudojama signalo praėjimui stebėti. Eksperimento metu buvo naudojamasi 9 pav. pateikta darbo schema. Stačiakampis 1μs trukmės impulsas yra sugeneruojamas impulsų generatoriumi G5-54 (1), tada jis yra modifikuojamas aukštų dažnių generatoriumi G4-143 (2), kur impulso trukmė yra išlaikoma, bet jis yra užpildomas radijo signalu, suteikus jam didesnę galią, kuri gali būti pasirinkta naudojantis aukštų dažnių generatoriumi. Aukštų dažnių generatoriaus dažnis yra matuojamas dažniamačiu (3) skaitine forma. Aukšto dažnio impulsas iš aukštų dažnių generatoriaus keliauja į tiriamą bandinį (5), o išėjimo signalas yra matomas oscilografe (4).

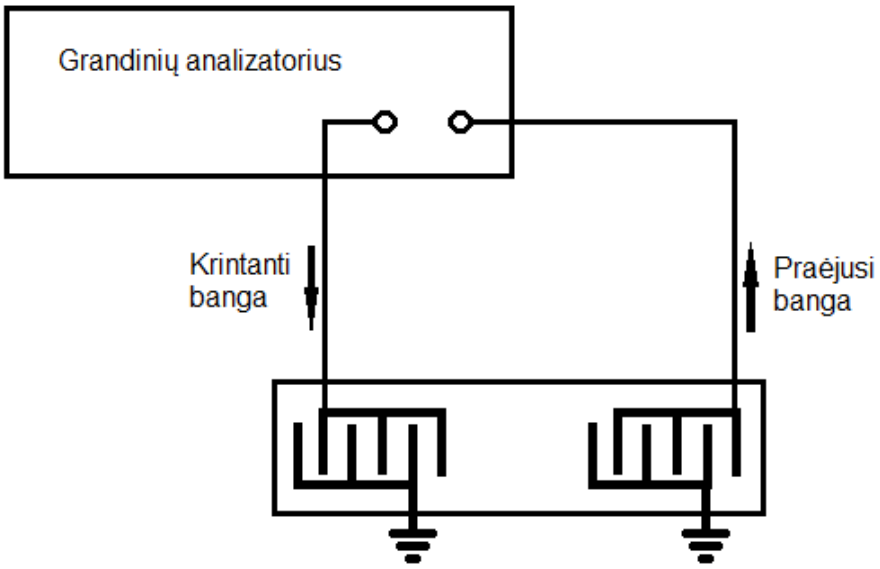


9 pav. Darbo schema. 1 – impulsų generatorius G5-54, 2 – aukštų dažnių generatorius G4-143, 3 – dažniamatis, 4 – oscilografas, 5 – tiriamasis bandinys ($LiTaO_3$ arba $LiNbO_3$)

Bandiniai buvo tiriami naudojant grandinių analizatorių, kurio pagalba galima stebėti akustinės bangos žadinimą ir praėjimą. Matavimai buvo atliekami atspindžio režime matuojant S11 (10 pav.) ir praėjimo režime matuojant S21 (11 pav.).



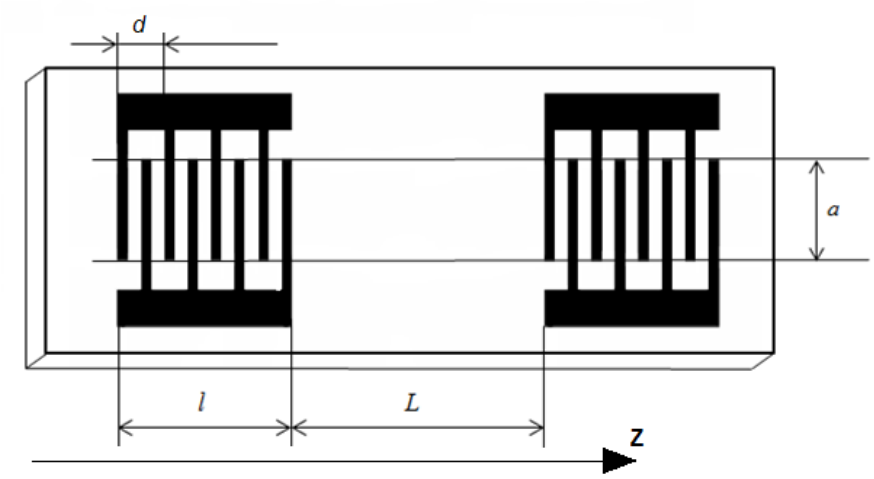
10 pav. Darbo schema naudojantis grandinių analizatoriumi kai stebimas yra bangos atspindys



11 pav. Darbo schema naudojantis grandinių analizatoriumi kai stebimas bangos praėjimas.

6. Rezultatai

Tiriamasis bandinys yra pavaizduotas 12 ir 14 paveiksluose.



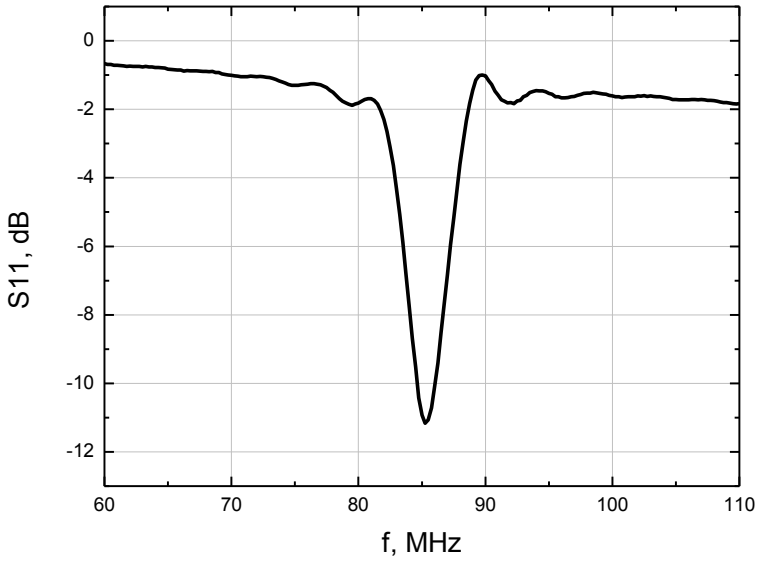
12 pav. Tiriamasis YZ-$LiNbO_3$ bandinys

Ličio niobato bandiniuose fotolitografijos būdu buvo suformuoti PAB keitikliai su žemiau nurodytais parametrais:

d = 40*μm*.; *N* = 20; *L* = 15*mm*. *d* = 32,5 *μm* ; *N* = 15; L = 13*mm*

d =60 *μm; N* =15; *L* =17*mm* *d* =120 *μm; N* =15; *L* =23*mm*

Keitiklio su 40*μm* periodu, suformuoto ant YZ-$LiNbO_3$ kristalo paviršiaus atspindžio charakteristika (S11) pavaizduota 13 paveiksle.



13pav. Atspindžio charakteristika (S11) YZ-$LiNbO_3$ kristale.

Iš paveiklso matome, kad keitiklio rezonansinis dažnis yra 85,6 MHz. Žinant keitiklio periodą (d=40μm) randame paviršinės akustinės bangos greitį:

$$v = d * f \quad .$$

$$v = 40 * 85{,}6$$

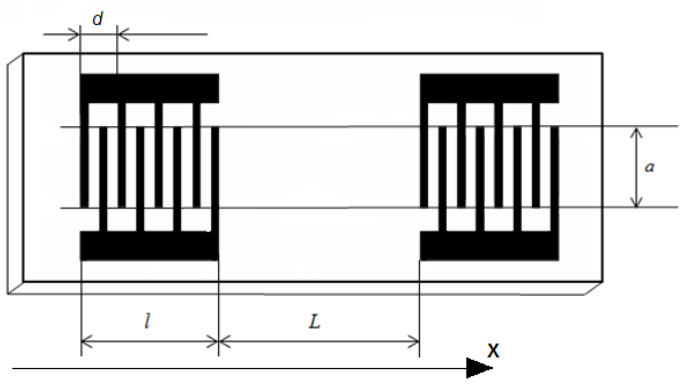
$$v = 3424 m/s$$

Panašiai buvo išmatuotos atspindžio charakteristikos, nustatyti rezonansiniai dažniai ir apskaičiuotos PAB greičio vertės su kito periodo keitikliais. Matavimų rezultatai pateikti 1 lentelėje. Gautos PAB greičių vertės gana gerai sutampa su greičių vertėmis YZ- $LiNbO_3$ kristale pateiktomis literatūroje. [8]: $v = 3488 m/s$

1 lentelė.YZ- $LiNbO_3$ greičio vertės išmatuotos su skirtingo periodo keitikliais

d (µm)	120	60	40	32,5
N	15	15	20	15
f (MHz)	28,6	56,9	86,5	104,6
v (m/s)	3432	3414	3424	3400

Paviršinių akustinių bangų keitikliai buvo suformuoti ir ant YX-$LiTaO_3$ kristalo, kaip pavaizduota 14 paveiksle.



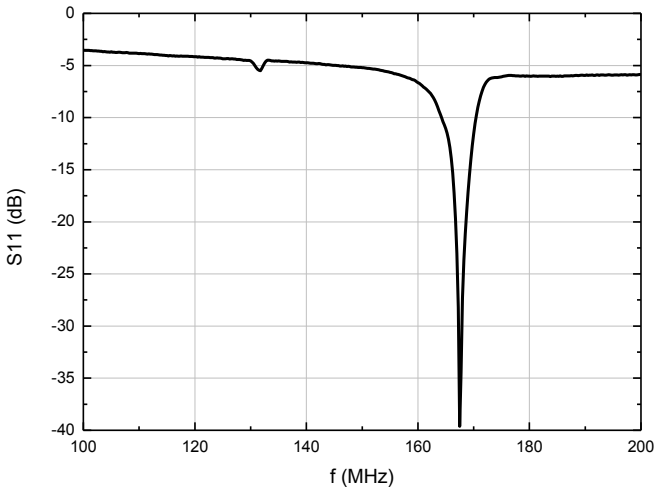
14 pav. Keitiklių matmenų atvaizdavimas YX - $LiTaO_3$ kristale.

Keitiklių parametrai buvo tokie:

d = 24*μm.*; *N* = 75; *L* = 10*mm.* *d* = 32,5 *μm* ; *N* = 15; L = 13*mm*

d =40 μm; N =20; L = 15mm *d =50 μm; N =30; L = 14mm*

Keitiklio su 24*μm* periodu, suformuoto ant YX-$LiTaO_3$ kristalo paviršiaus atspindžio charakteristika (S11) pavaizduota 15 paveiksle.



15pav. Atspindžio charakteristika YX-$LiTaO_3$ kristale(*d* = 24*μm.*; *N* = 75).

Kaip matome iš atspindžio charakteristikos YX-$LiTaO_3$ stebime du rezonansinius dažnius: f_1 = 131,5MHz ir f_2 = 168,9MHz. Pirmas rezonansinis dažnis atitinka Rayleigh‘jaus paviršinės akustinės bangos dažnį, o antras – atitinka nuotėkio paviršinės akustinės bangos rezonansinį dažnį. Kaip matyti iš atspindžio (S11) charakteristikos, nuotėkio paviršinė akustinė banga žadinasi žymiai stipriau, negu Rayleigh‘jaus banga. Žinodami keitiklio periodą ir rezonansinius dažnius, apskaičiuojame šių bangų greičius:

$$v = d * f \quad .$$

Rayleigh‘jaus PAB: v = 24*131,5; $v = 3156\ m/s$

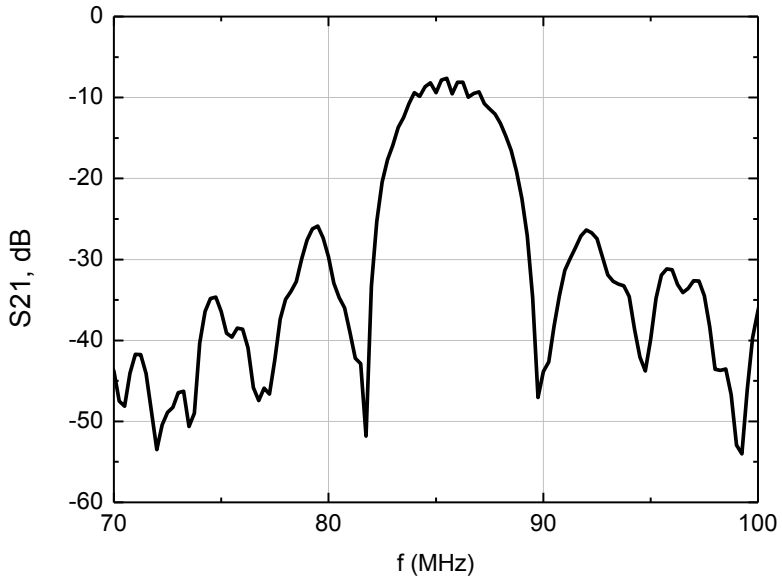
Nuotėkio PAB: v = 24*168,9; $v = 4054\ m/s$

Su skirtingo periodo keitikliais išmatuoti rezonansiniai dažniai YX- $LiTaO_3$ kristale ir apskaičiuotos atitinkamų bangų greičių vertės, kurios pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. YX- $LiTaO_3$ PAB greičių vertės išmatuotos su skirtingo periodo keitikliais.

d (µm)	24	32,5	40	50
N	75	15	20	30
f_R (MHz)	131,5	98,2	79	63,1
f_N (MHz)	168,9	121,1	98,6	79,6
v_R (m/s)	3156	3185	3160	3155
v_N (m/s)	4054	3936	3944	3980

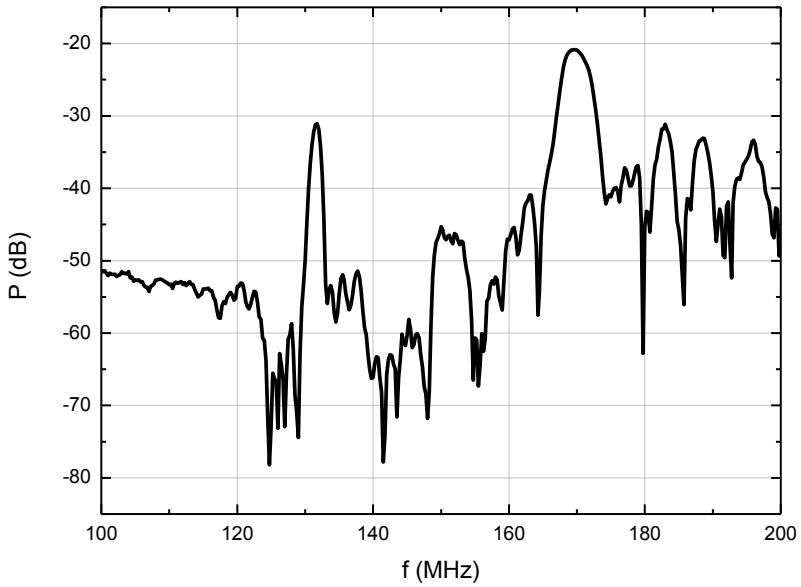
Taip pat buvo išmatuotos šių kristalų perdavimo amplitudinės - dažninės charakteristikos, (S21) naudojantis 11 paveiksle nurodyta matavimo schema. Tipinė YZ- $LiNbO_3$ (d = 40μm.; N = 20; L = 15mm) perdavimo amplitudinė - dažninė charakteristika (S21) parodyta 16 paveiksle:



16 pav. Perdavimo amplitudinė - dažninė charakteristika YZ- $LiNbO_3$ kristale.

Iš 16 paveikslo matome, kad keitiklio (d = 40μm) rezonansinis dažnis yra f=86,5MHz ir perdavimo nuostoliai yra - 9dB. Teoriškai turėtų būti - 6dB.

YX- $LiTaO_3$ perdavimo amplitudinė - dažninė charakteristika (S21), (d = 24μm.; N=75; L = 10mm) pavaizduota 17 paveiksle.

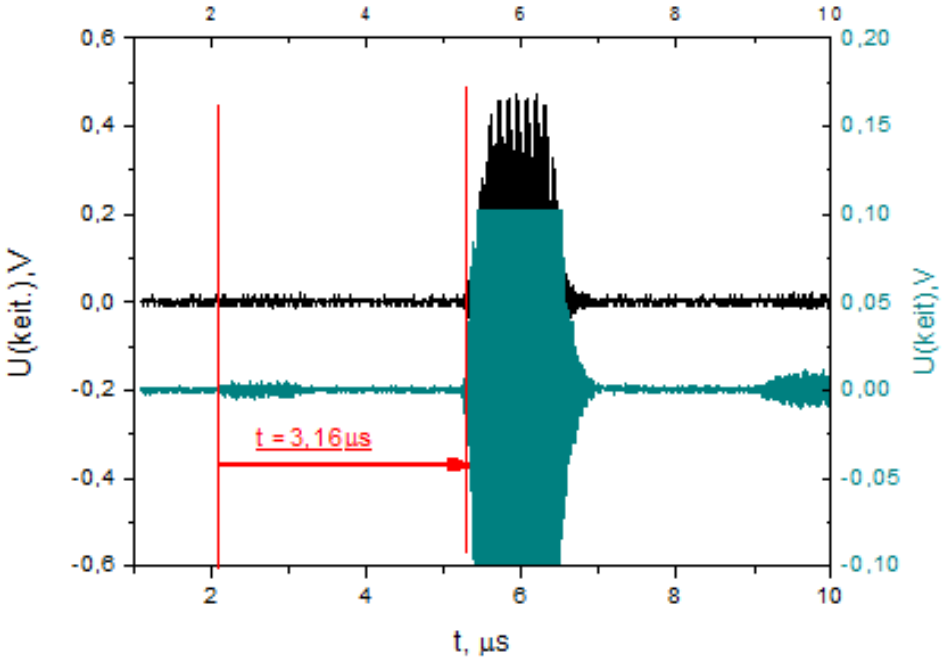


17 pav. Perdavimo amplitudinė - dažninė charakteristika YX - $LiTaO_3$ kristale

Perdavimo charakteristikoje matome du rezonansinius pikus. Pirmasis atitinka Rayleigh‘jaus akustinės bangos praėjimą (f = 131,5MHz), ir antrasis atitinka nuotėkio paviršinės akustinės bangos praėjimą (f = 168,9MHz). Nors, kaip matėme atspindžio charakteristikoje, (15 pav.) nuotėkio banga žadinasi žymiai stipriau, o, tuo tarpu, priimamas nuotėkio bangos signalas priėmime yra gana silpnas, lyginant su Rayleigh‘jaus banga, lyginant su tuo, kas matoma atspindžio charakteristikoje. Tai galima paaiškinti tuo, kad nuotėkio paviršinė akustinė banga, išspinduliuota keitiklio, perspinduliuoja savo energiją į tūrinę akustinę bangą, kuri tam tikru kampu sklinda į kristalo gylį ir atsispindėjusi nuo kristalo apačios gerai (arba blogai) pataiko į priimamąjį keitiklį, priklausomai nuo priimamojo keitiklio vietos. Rayleigh‘jaus banga sklinda kristalo paviršiumi, nesutikdama jokių kliūčių, tačiau jos žadinimas yra labai silpnas.

Naudojantis 9 paveiksle nurodyta darbo schema, oscilografo ekrane buvo stebimas maksimalus paviršinių akustinių bangų signalas, kai žadinančio elektrinio signalo dažnis buvo f_R = 86 MHz. Žemiau pateikti YZ-$LiNbO_3$ kristalo duomenys:

$d = 40\mu m.$; $N = 20$; $L = 11{,}0mm$; $t = 3{,}16\mu s$



18 pav. Praėjusios Rayleigh‘jaus PAB YZ-$LiNbO_3$ kristale oscilograma

18 pav. juoda spalva pažymėtas yra praėjęs signalas. Kadangi norima išsimatuoti PAB sklidimo laiką, reikia matyti indukuotą signalą t.y. žadinančio akustinę bangą elektrinio signalo pradžią. Išsididinus praėjusį signalą, žalsva spalva matyti indukuotas signalas ir galima sužinoti Rayleigh‘jaus PAB sklidimo trukmę(tarp žadinančio ir priimamojo PAB keitiklių): t = 3,16µs. Žinant rezonansinį dažnį, naudojantis keitiklių išmatavimais ir PAB sklidimo trukme, apskaičiuojame PAB greitį dviem būdais:

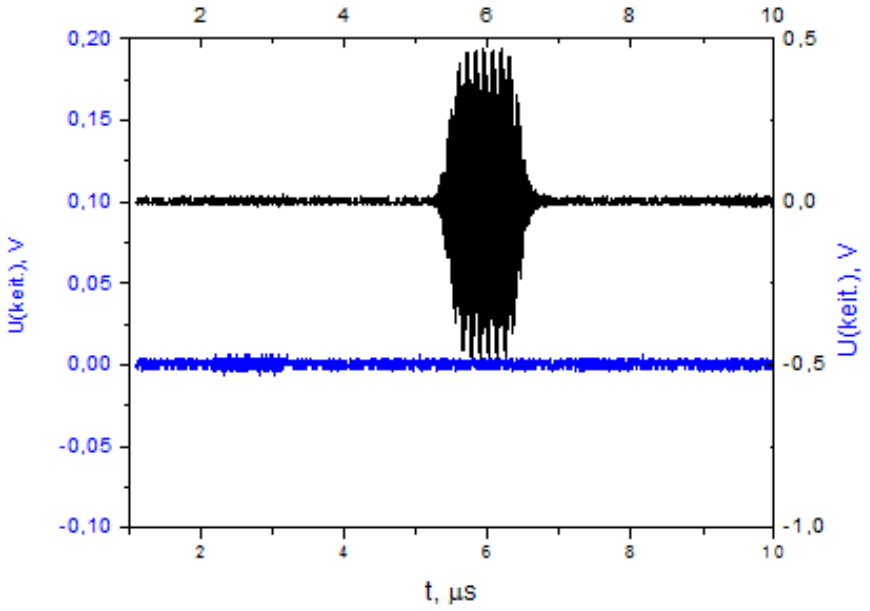
$$v = d * f \quad .$$

v = 86*40; $\quad v = 3440\ m/s$

$$v = \frac{L}{t} \quad .$$

$v = \frac{11,8}{3,16} = 3481 m/s$.

Stebint Rayleigh‘jaus bangos praėjimą oscilografu, ant kristalo paviršiaus buvo uždėtas vandens lašas. Iš 19 paveikslo mėlynai pažymėto signalo praėjimo vaizdo matyti, kad esant paviršiaus užterštumui, (bangos sklidimo kelyje uždėjus vandens lašą) Rayleigh‘jaus banga yra nuslopinama.

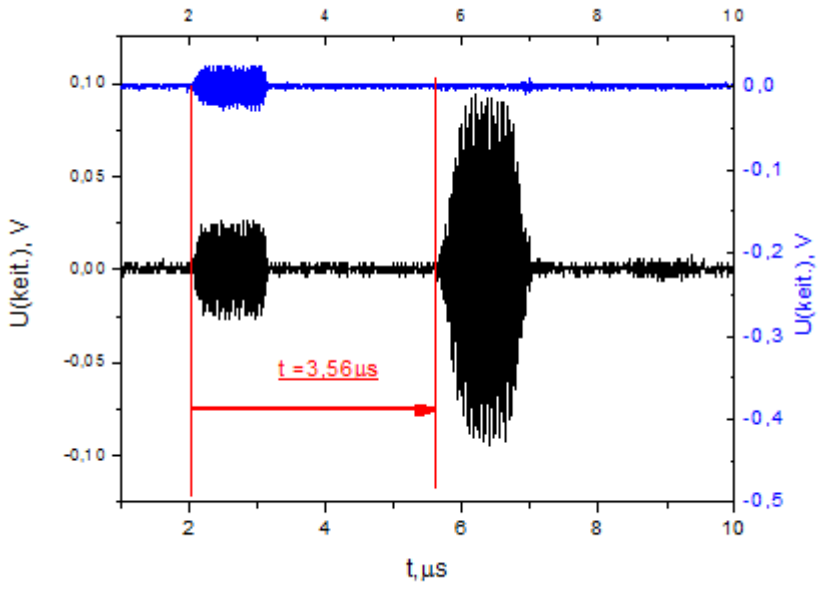


19 pav. Rayleigh‘jaus PAB atvaizdavimas, kai ant paviršiaus yra vandens lašas.

Dėka vertikaliosios bangos virpesio komponentės, bangos energija yra išspinduliuojama į skystį ir nepasiekia priimamojo keitiklio.

Prie 9 paveiksle pavaizduotos darbo schemos prijungus YX-$LiTaO_3$ kristalą, taip pat buvo stebimi praėję signalai. Kaip matome iš 15 ir 17 paveikslų, ličio tantalato kristalu, prie skirtingų rezonansinių dažnių, gali sklisti dviejų tipų paviršinės akustinės bangos: Rayleigh‘jaus ir nuotėkio.

20 paveiksle pavaizduotas Rayleigh‘jaus akustinės bangos praėjimas YX-$LiTaO_3$ kristale, kai kristalo paviršius yra laisvas (juoda kreivė) ir uždėjus bangos sklidimo kelyje vandens lašą (mėlyna kreivė). Kaip matome, vandens lašas bangos sklidimo kelyje nuslopina Rayleigh‘jaus PAB.



20 pav. Rayleigh‘jaus bangos praėjimo signalo oscilograma.

Kaip ir YZ-$LiNbO_3$ atveju, žinodami rezonansinį dažnį,keitiklio duomenis ir akustinės bangos sklidimo laiką, galime apskaičiuoti bangos sklidimo greitį dviem būdais:

d = 40$\mu m.$; N = 20; L = 11,0mm ;

t = 3,56µs; f = 79 MHz

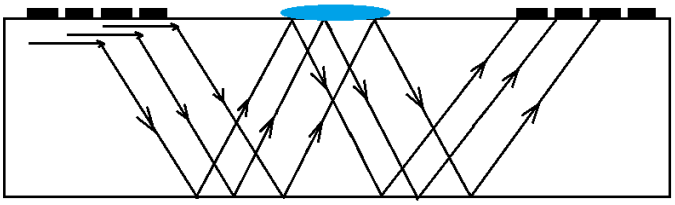
$$v = df \quad .$$

v = 79*40; $v = 3160\ m/s$

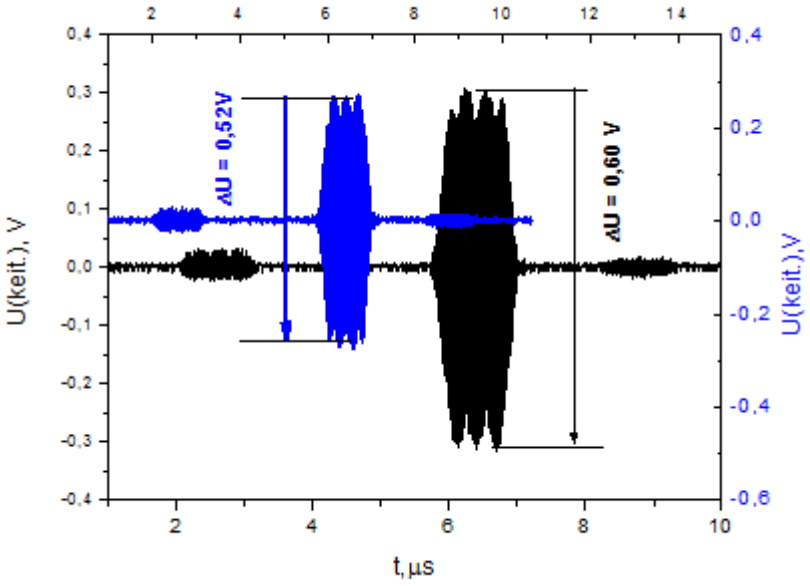
$$v = \frac{L}{t} \quad .$$

$$v = \frac{11{,}0}{3{,}56} = 3090 m/s \quad .$$

Tokiu pačiu būdu buvo stebimas ir nuotėkio PAB signalas. Šiuo atveju, nuotėkio PAB priimama į keitiklį, pasiekia ne tiesiogiai sklisdama kristalo paviršiumi, o sklisdama zigzagine trajektorija kristalo tūriu (22 pav.):



22 pav. Nuotėkio PAB sklidimas YX-$LiTaO_3$ kristale.



22 pav. Nuotėkio PAB oscilograma

Juoda kreivė 22 paveiksle vaizduoja priimtą nuotėkio paviršinės akustinės bangos signalą, kai kristalo paviršius yra laisvas, o mėlyna kreivė vaizduoja priimtą signalą, kai NPAB atspindžio vietoje yra uždedamas vandens lašas. Matome, kad nuotėkio PAB yra šiek tiek slopinama. NPAB pasižymi skersine horizontalia poliarizacija, t.y. sklindant bangai, medžiagos dalelės kristalo paviršiuje virpa statmenai bangos sklidimo krypčiai kristalo paviršiuje. Toks medžiagos dalelių virpesys (horizontalus paviršiui) mažai slopina nuotėkio akustinę bangą, todėl šios bangos yra tinkamos jutikliams, veikiantiems skystoje terpėje. Kitas privalumas yra tas, kad mes galime atskirti žadinimo ir priėmimo keitiklius nuo saveikos su tiriamuoju skysčiu.[9]

Žinodami keitiklio periodą ir rezonansinį dažnį galime apskaičiuoti nuotėkio paviršinės akustinės bangos greitį:

d = 40μm.; f = 99MHz;

$$v = d * f \quad .$$

v = 99*40; $\quad v = 3960\ m/s$.

Išvados

1. Darbo metu buvo sužadintos ir priimamos paviršinės akustinės bangos YX - $LiTaO_3$ ir YZ - $LiNbO_3$ kristaluose.

2. Naudojantis matavimo schemomis buvo išmatuotos Rayleigh‘jaus paviršinių akustinių bangų greičių vertės kristaluose: YX - $LiTaO_3$ v_R = 3164m/s, YZ- $LiNbO_3$ v_R = 3420m/s.

3. Parodyta, kad YX - $LiTaO_3$ pjūvio kristale be Rayleigh‘jaus paviršinių akustinių bangų žadinasi ir nuotėkio paviršinės akustinės bangos, kurių greitis v_N = 3979m/s. Gautos greičių vertės gana gerai sutampa su pateiktomis literatūroje.

4. Eksperimentiškai buvo parodyta, kad paviršinės Rayleigh‘jaus bangos yra jautrios paviršiaus užterštumui. Ant kristalo paviršiaus užlašinus vandens Rayleigh‘jaus banga nuslopinama, o nuotėkio paviršinei akustinei bangai kristalo paviršiaus užterštumas neturi didelės įtakos.

Neringa Morkaitytė

Surface acoustic waves in YX-LiTaO3 and YZ-LiNbO3 crystals

Summary

The paper is about surface accoustic waves (SAW) in YX-LiTaO3 and YZ-LiNbO3 crystals. The aim is to generate, propagate, measure propagation speed and recieve surface acoustic waves. The mentioned waves can travel through solid materials, liquids and gasses. Using variuous devices it is possible to use these waves in medicine and electronics. There are some main types of accoustic waves: Bulk accoustic waves – propagates in material‘s bulk, surface waves: Rayleigh waves propagates on material‘s surface and leaky waves – propagates on material‘s surface and part of its energy leaks in the bulk. In this research a piezo effect was used to generate SAW as the most effective way to create and control the accoustic waves. Using alternating current on the electrodes that are connected to the surface of a crystal an alternating electrical field is generated. These electrical fields, because of piezo effect, creates deformation forces inside the crystal which results in changes of the crystals surface. Using a RF network analyser it is possible to measure the resonant frequency and calculate the speed of both surface accoustic waves: Rayleigh and leaky. Using a different method with an oscilograph it is possible to see and register the SAW wave signals. It was noted that when a drop of water is on the surface of the crystal, Rayleigh waves are blocked and only leaky waves can travel further and it was also noted that Rayleigh waves are very dependant on the cleanliness of the crystals surface. Leaky surface acoustic waves can be used as sensors in fluids.

Literatūros sąrašas

[1] S. Štaras, *Puslaidininkinės ir funkcinės elektronikos įtaisai*, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2009 m., p.417-444

[2] L. Rayleigh, *On waves propagated along the plane surface of an elastic solid*, Proc. London Math. Soc., 1885, 17, 4-11.

[3] R. Miškinis, *Paviršinės akustinės bangos judriojo ryšio technikoje*, Ryšių technikos naujienos, 2007m., p. 18-20

[4] A.E.H. Love, *Some problems of geodynamics*, Cambridge University Press, 1911.

[5] Venkata S. Chivukula, Michael S. Shur, and D. Čiplys, *Recent advances in application of acoustic, acousto-optic and photoacoustic methods in biology and medicine*, phys. stat. sol. (a) 204, No. 10, 3209–3236, 2007, p.3211

[6] K. Yamanoutchi, M. Takeuchi, Applications for Piezoelectric Leaky Surface Waves, *Ultrasonics Symposium Proceedings*, 1990, vol. 1, p.11-18.

[7] R.M. White, F.W. Voltmer, *Direct piezoelectric coupling to surface elastic waves*, Appl. Phys. Lett., 1965, 7, p. 314-316.

[8] Pod. redakcijej M. P. Šaskolskoj *Akustičeskije kristaly,* Nauka, Moskva, 1982. (rusų kalba)

[9]R. Rimeika, D. Čiplys, V. Jonkus, M. Shur, *Acoustoelectric effects in reflection of leaky-wave-radiated bulk acoustic waves from piezoelectric crystal-conductive liquid interface*, Ultrasonics 64, 2016, p. 196-199