

(12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2025 005**
(22) Paraiškos padavimo data: **2025-04-04**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2025-10-10**

(71) Pareiškėjas:
Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, LT

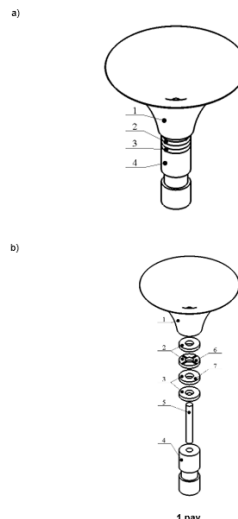
Vytauto Didžiojo universitetas, K. Donelaičio g. 58,
44248 Kaunas, LT
(72) Išradėjas:
Piotr VASILJEV, LT
Dalius MAŽEIKA, LT
Andrius ČEPONIS, LT
Sergejus BORODINAS, LT
Regimantas BAREIKIS, LT
Arūnas STRUCKAS, LT

(54) Pavadinimas:

Ultragarsinis akustinės levitacijos įrenginys

(57) Referatas:

Išradimas skirtas sukurti ultragarsinį akustinės levitacijos įrenginį, kuris sukuria aukšto intensyvumo vertikalią akustinį lauką su kampiniu poslinkiu. Įrenginį sudaro tulpės formos akustinio lauko spinduoelis (1), keturi pjezoelektriniai žiedai (6, 7) su skirtingomis elektrodų konfigūracijomis, cilindro formos atsvaras (4) ir smeigė (5), kuri sujungia visas sudedamąsias dalis į vieną įrenginį. Siekiant sukurti vertikalią aukšto intensyvumo akustinį lauką, antra pjezoelektrinių žiedų grupė (3) naudojant signalų generatorių (8) paveikiama harmoniniu signalu kol pirma pjezoelektrinių žiedų grupė (2) lieka pasyvi. Sukurtame vertikaliame akustiniame lauke patalpinus objektą gaunamas jo levitacijos efektas. Siekiant gauti kampinį levituojančio objekto poslinkį, pirma pjezoelektrinių žiedų grupė (2) paveikiama keturiais harmoniniais signalais, kurių fazių skirtumas yra $\pi/2$. Taip sukuriamas kampinis akustinio lauko poslinkis, kurio dėka gaunamas objekto kampinis poslinkis. Siekiant gauti objekto reversinį kampinį poslinkį, pirmos pjezoelektrinių žiedų grupės (2) žadinimo signalų fazės keičiamos į priešingas.



Ultragarsinis akustinės levitacijos įrenginys

IŠRADIMO SRITIS

Išradimas priskiriamas elektro-mechaninių, akustinių ir mechatroninių sistemų sritims. Įrenginys skirtas sukurti bekontaktį mažų gabaritų objektų pozicionavimą erdvėje vertikalia kryptimi ir jį sukanant aplink akustinės levitacijos įrenginio simetrijos ašį. Įrenginys gali būti taikomas kuriant bekontakčio bandinių, gaminių ar kitų mažo gabarito objektų transportavimo ir pozicionavimo erdvėje sistemas.

TECHNIKOS LYGIS

Sparčiai vystantis aukšto tikslumo mikroskopijos, puslaidininkių gamybos, mikroelektronikos sritims siekiama sumažinti komponentų ar bandinių fizinį kontaktą su įrankiu keičiant jų lokaciją ar transportuojant į tvirtinimo vietą. Naudojant mažo gabarito objektų fizinius ar kontaktinius tvirtinimo metodus juos transportuojant, susiduriama su nepageidaujamais efektais kaip gaminių bei bandinių deformacijos, išoriniai ir vidiniai įtempiai bei fizinių, mechaninių ar elektromechaninių charakteristikų pokyčiai. Tai sukelia riziką pažeisti ar sugadinti komponentą bei įtakoja galimas bandinių ar gaminių pozicionavimo paklaidas tvirtinimo vietose. Viena iš mokslinių tyrimų kryptių yra siejama su bekontakčiu, mažo gabarito bandinių ar gaminių pozicionavimo ir transportavimo sistemų, pagrįstų akustinės levitacijos principu, kūrimu, kuriose objektai erdvėje pozicionuojami pasitelkiant aukšto intensyvumo akustinį lauką, sukurtą ultragarsiniais pjezoelektriniais keitikliais, kurie transformuoja elektros energiją į ultragarsinį akustinį lauką, kuris užtikrina objekto levitaciją erdvėje. Keičiant akustinio lauko intensyvumą ar pobūdį sudaroma galimybė bandinį ar gaminį pozicionuoti vertikaliai ar koncentriškai netaikant fizinių ar kontaktinių tvirtinimo įrankių ar sistemų bei išvengti fizinių ar kontaktinių įtvirtinimo metodų įtakos bandinių ar gaminių charakteristikoms bei supaprastina patį įtvirtinimo procesą.

Patente CN114421808A aprašomas ultragarsinis akustinės levitacijos kampinio pozicionavimo įrenginys, sudarytas iš Lanževeno tipo pjezoelektrinio keitiklio, ant kurio sumontuotas tamprus diskas, kurio dėka, žadinant Lanževeno keitiklio išilginius mechaninius virpesius, sukuriama koncentruotas vertikalus didelio intensyvumo akustinis laukas. Į sukurtą akustinį lauką patalpinama disko formos platforma, kuri pozicionuojama taip, kad ant disko esančios įpjovos tiesiogiai sąveikautų su akustiniu lauku. Dėl aukšto

sukuriamo akustinio slėgio lygmens platforma levituoja virš Lanževeno keitiklio, o sukamasis platformos judesys sukuriama dėl sukuriama oro srauto sąveikos su platformos įpjovomis.

Patente CN116317684A aprašomas ultragarsinis akustinės levitacijos kampinio pozicionavimo įrenginys, sudarytas iš pjezoelektrinio Lanževeno tipo keitiklio, ant kurio

5 koncentratoriaus patalpintas tamprus diskas su keturiomis netaisyklingos formos nuožulomis. Žadinant Lanževeno keitiklio išilginius mechaninius virpesius, generuojami tampraus disko lenkimo virpesiai, kurie sukuria aukšto intensyvumo akustinį lauką. Akustiniame lauke patalpinama disko formos platforma levituoja virš tampraus disko dėl sukurto akustinio slėgio. Sukamieji platformos judesiai sukuriami dėl tamprame diske

10 suformuotų netaisyklingos formos nuožulų, kurios formuoja nevertikalų oro srautą, ko pasekoje gaunamas sukamasis platformos judesys.

Patente JP2023181041A aprašomas ultragarsinis akustinės levitacijos ir kampinio pozicionavimo įrenginys, skirtas pozicijuoti puslaidininkių plokštę. Įrenginį sudaro pjezoelektrinis Lanževeno tipo keitiklis ir pjezoelektrinis žiedo formos keitiklis. Lanževeno

15 tipo keitiklio koncentratoriaus gale sumontuojamas tamprus diskas, o prie šio disko išorinio krašto sumontuotas žiedo formos pjezoelektrinis keitiklis. Lanževeno tipo keitiklį sužadinus elektriniu signalu sukuriami pirmos išilginės virpesių modos mechaniniai virpesiai, kurie sužadina tampraus disko lenkimo virpesius, ko pasekoje sukuriamas vertikalus akustinis laukas, kurio dėka objektas levituoja virš Lanževeno keitiklio. Žiedo formos pjezoelektrinis

20 keitiklis žadinamas taip, kad sukurtų bėgančios bangos virpesius tamprame diske ir atitinkamai sukurtų sukamąjį akustinį lauką, kuris generuotų kampinį gaminio poslinkį. Siekiant keisti gaminio vertikalų poziciją, keičiamas akustinio slėgio lygis, kuris valdomas keičiant įtampos amplitudę, paduodamą į Lanževeno keitiklį. Norint keisti kampinį objekto poslinkį, keičiama žiedo formos keitiklio žadinimo įtampos amplitudė, taip keičiant

25 sukuriamos bėgančios bangos virpesių amplitudės.

IŠRADIMO ĖSMĖ

Išradimo tikslas – pagerinti ultragarsinio akustinio levitacijos įrenginio akustines charakteristikas bei praplėsti įrenginio funkcines galimybes.

Išradimo tikslas pasiekiamas tuo, kad ultragarsinį akustinį levitacijos įrenginį, sudaro

30 pjezoelektrinis Lanževeno tipo keitiklis, sudarytas iš cilindro formos atsvaro, keturių pjezoelektrinių žiedų, kurių kiekvieno elektrodai padalinti į keturis lygius segmentus taip, kad gautųsi dvi grupės, ir virpesių koncentratoriaus, kuris atlieka akustinio spindulio funkciją.

Akustiniame levitacijos įrenginyje pjezoelektrinių žiedų pagalba žadinami išilginiai ir lenkimo įrenginio virpesiai, kai į pirmos grupės pjezoelektrinius žiedus paduodami keturi harmoniniai signalai su fazių skirtumu $\pi/2$, kol vienu elektriniu signalu žadinama antroji pjezoelektrinių žiedų grupė, ko pasėkoje virš spinduolio sukuriamas ultragarsinis aukšto intensyvumo valdomas akustinis laukas.

Siekiant pagerinti ultragarsinio akustinio levitacijos įrenginio akustines charakteristikas akustinio spinduolio geometrinė forma parenkama taip, kad jo išorinis ir vidiniai paviršiai eksponentiškai arba pagal kitokią matematinę funkciją platėtų nuo įtvirtinimo taško link spinduolio galo taip suformuojant tulpes formos akustinį spinduolį, o Lanževeno tipo keitiklio ir tulpes formos akustinio spinduolio geometrinės charakteristikos parenkamos taip, kad Lanževeno keitiklio pirmos išilginių ir antros lenkimo virpesių rezonansiniai dažniai sutaptų su akustinio spinduolio lenkimo virpesių rezonansiniais dažniais.

Siekiant praplėsti ultragarsinio akustinio įrenginio funkcines galimybes Lanževeno keitiklyje montuojamos dvi pjezoelektrinių žiedų grupės, kurias žadinant vienu harmoninių elektriniu signalu, kurio dažnis sutampa su pirmuoju akustinio įrenginio išilginių virpesių dažniu, sukuriamas valdomas vertikalus akustinis laukas, o žadinant keturiais harmoniniais elektriniais signalais su fazių skirtumu $\pi/2$, sinchroniškai sužadinami visos konstrukcijos išilginiai ir lenkimo virpesiai, kurių dėka sukuriamas valdomas aukšto intensyvumo akustinis vertikalus laukas su kampiniu akustinio lauko poslinkiu.

BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

Brėžinių paveikslai yra pateikti kaip nuoroda į galimą išradimo įgyvendinimą ir neturi riboti išradimo apimties. Nei vienas iš pateiktų brėžinių ir grafikų neturėtų būti laikomi ribojančiais, o tik kaip galimi išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai.

5 **Pav. 1 a,b** Ultragarsinis akustinės levitacijos įrenginys:

- (a) – izometrinis ultragarsinio akustinės levitacijos įrenginio vaizdas;
- (b) – išskleistinis ultragarsinio akustinės levitacijos įrenginio vaizdas;

10 **Pav. 2** Ultragarsinio akustinės levitacijos įrenginio žadinimo schema;

- (a) – pirmos pjezoelektrinių žiedų grupės su padalintais elektrodais žadinimo schema;
- (b) – antros pjezoelektrinių žiedų grupės su vientisais elektrodais žadinimo schema;

15 **Pav. 3 a,b** Ultragarsinio akustinės levitacijos įrenginio deformacijų modos;

- (a) – pirma išilginių deformacija moda;
- (b) – antra lenkimo deformacijų moda;

BRĖŽINIAI – pažymėtų objektų aprašymas

- 1 – tulpos formos akustinio lauko spinduolis;
- 2 – pirma pjezoelektrinių žiedų grupė;
- 20 3 – antra pjezoelektrinių žiedų grupė;
- 4 – cilindro formos atsvaras;
- 5 – smeigė;
- 6 – pjezoelektrinis žiedas su keturiais elektrodais;
- 7 – pjezoelektrinis žiedas su vientisu elektrodu;
- 25 8 – elektrinių signalų generatorius;
- 9 – pjezoelektrinių žiedų poliarizacijų kryptys.

DETALUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Čia ir toliau ultragarsinis akustinės levitacijos įrenginys aprašomas su nuorodomis į brėžinius, tačiau techninis įrenginio įgyvendinimas nėra ribojamas pateiktu būdu. Galimos įvairios įgyvendinimo būdų modifikacijos ir tobulinimai.

5 **Detalus ultragarsinio akustinės levitacijos įrenginio aprašymas:** Ultragarsinis akustinės levitacijos įrenginys sudarytas iš tulpes formos akustinio lauko spinduolio (1), dviejų pjezoelektrinių žiedų grupių (2,3) ir cilindro formos atsvaro (4), turinčio skirtingus skersmenis. Visi komponentai sujungti į vieną konstrukciją naudojant smeigę (5). Pirmoji pjezoelektrinių žiedų grupė (2) sudaryta iš dviejų pjezoelektrinių žiedų su keturiais
10 elektrodais (6). Antroji pjezoelektrinė žiedų grupė (3) sudaryta iš dviejų pjezoelektrinių žiedų su vientisais elektrodais (7). Pjezoelektrinių žiedų grupės (2,3) formuojamos taip, kad pjezoelektrinių žiedų (6,7) poliarizacijos kryptys (9) kiekvienoje grupėje (2,3) būtų priešingos. Laisvajame antros pjezoelektrinių žiedų grupės (3) gale montuojamas cilindro formos atsvaras (4) turintis skirtingus skersmenis. Ultragarsinio levitacijos įrenginio
15 geometrinės savybės parenkamos taip, kad Lanževeno keitiklio pirmos išilginių virpesių modos rezonansinis dažnis sutaptų su antru lenkimo modos rezonansiniu dažniu ir taip pat sutaptų su akustinio spinduolio lenkimo virpesių rezonansiniu dažniu.

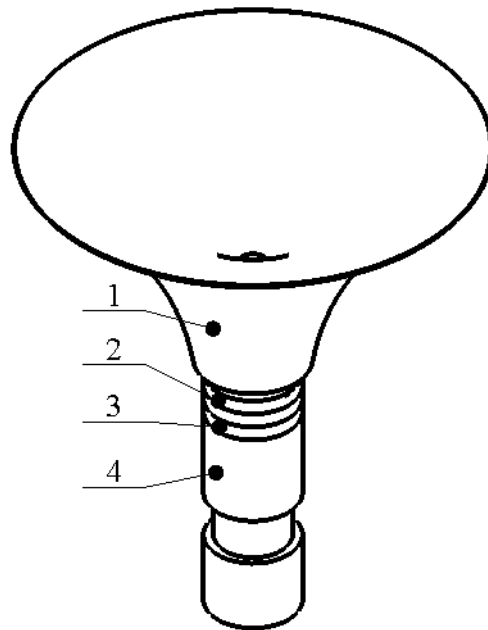
Ultragarsinio akustinės levitacijos įrenginio veikimo aprašymas: Vertikalus aukšto intensyvumo akustinis laukas formuojamas sužadinant tulpes formos akustinio lauko
20 spinduolio mechaninius virpesius, kai generatoriaus (8) sugeneruotais harmoniniais elektriniais signalais paveikiama antra pjezoelektrinių žiedų grupė (3), o pirmą pjezoelektrinių žiedų grupę (2) nežadinama ir lieka pasyvi. Elektrinio signalo dažnis, turi būti, lygus ultragarsinio akustinės levitacijos įrenginio pirmos išilginių virpesių modos dažniui. Patalpinus objektą į akustinį lauką, gaunamas levitacijos efektas. Siekiant keisti objekto,
25 patalpinto į akustinį lauką, vertikalią poziciją, signalų generatoriumi (8) didinama arba mažinama harmoninio žadinimo signalo amplitudė taip, atitinkamai, didinant arba mažinant akustinio lauko intensyvumą ko pasėkoje keičiama objekto vertikali pozicija. Siekiant gauti kampinį objekto, patalpinto į aukšto intensyvumo vertikalų akustinį lauką, poslinkį, pirmą pjezoelektrinių žiedų grupę (2) iš signalų generatoriaus (8) paveikiama keturiais
30 harmoniniais signalais, kurių fazių skirtumas yra $\pi/2$, o dažnis lygus ultragarsinio akustinės levitacijos įrenginio lenkimo virpesių modai taip, dėka sukurtos bėgančios bangos efekto, sukuriant kryptingą akustinio lauko kampinį poslinkį ko pasėkoje gaunamas objekto, patalpinto į akustinį lauką, kampinis poslinkis. Keičiant, pirmos pjezoelektrinių žiedų grupės (2), žadinimo signalų fazes į priešingas, gaunamas objekto, patalpinto į vertikalų akustinį

lauką, kampinio poslinkio reversinis poslinkis. Objekto kampinio poslinkio greitis valdomas didinant arba mažinant iš signalų generatoriaus (8) generuojamų žadinimo signalų amplitudes.

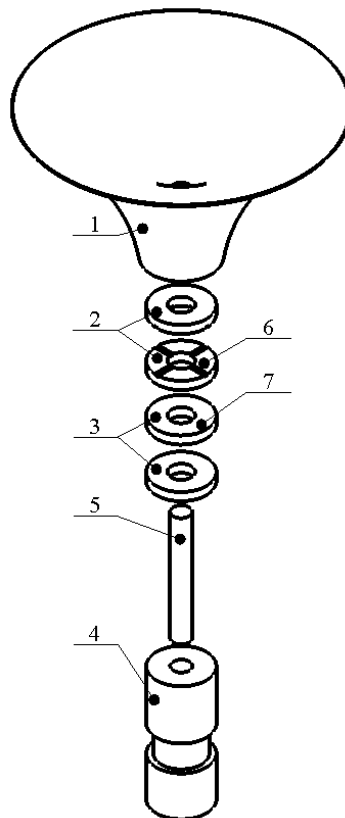
APIBRĖŽTIS

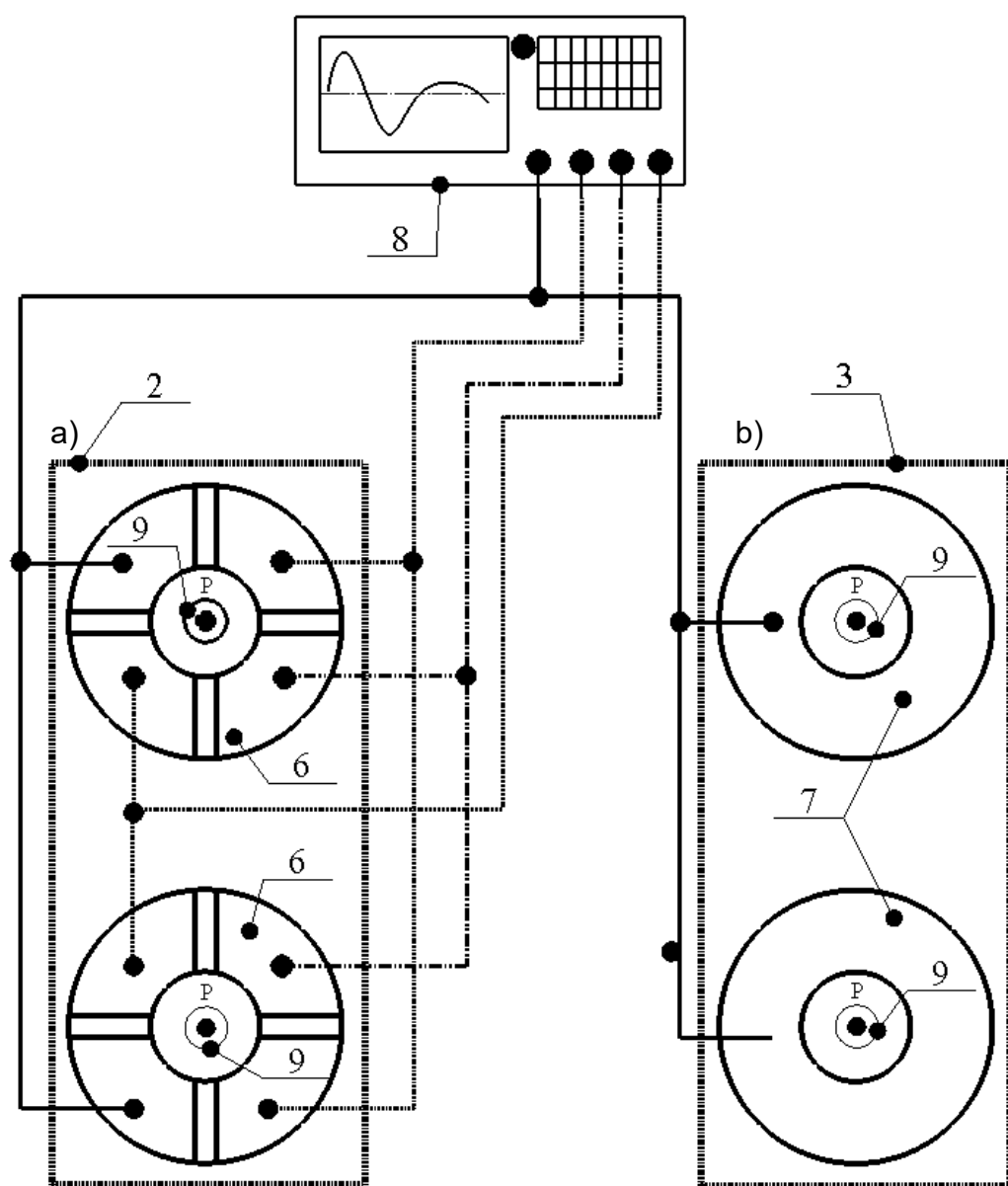
1. Ultragarsinis akustinės levitacijos įrenginys susidedantis iš akustinio lauko spinduolio (1), keturių pjezoelektrinių žiedų (6,7), sugrupuotų į dvi grupes (2,3), cilindro formos atsvaro (4) ir smeigės (5) b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad akustinio lauko spinduolio (1) geometrinė forma parenkamos taip, kad suformuotų tulpės formos profilį.
5
2. Įrenginys pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad įrenginio geometrinės charakteristikos parenkamos taip, kad tulpės formos akustinio lauko spinduolio (1) lenkimo virpesių rezonansinis dažnis, Lanževeno keitiklio pirmos išilginės ir antros lenkimo virpesių modų rezonansiniai dažniai sutaptų.
- 10 3. Įrenginys 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad pjezoelektrinių žiedų grupės (2,3) skirtos įrenginio žadinimui, kur pirma grupė (2) skirta žadinti keturiais harmoniniais signalais, antra grupė (3) skirta žadinti vienu harmoniniu signalu.
- 15 4. Įrenginys pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad pirma pjezoelektrinių žiedų grupė (2) skirta sukurti valdomą akustinio lauko kampinį judesį, antra grupė (3) skirta sukurti valdomą vertikalų akustinį lauką.

a)



b)





2 pav.

a)



b)



3 pav.