

(11) Patent numeris: **6796** (51) Int. Cl. (2021.01): **G02B 26/00**

(21) Paraiškos numeris: **2020 015**

(22) Paraiškos padavimo data: **2020-05-14**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2020-11-25**

(45) Patent paskelbimo data: **2021-01-25**

(62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —

(85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —

(30) Prioritetas: —

(72) Išradėjas:

**Piotr VASILJEV, LT
Dalius MAŽEIKAS, LT
Vytautas JÜRĖNAS, LT
Sergejus BORODINAS, LT**

**Regimantas BAREIKIS, LT
Vytautas OSTAŠEVIČIUS, LT
Genadijus KULVIETIS, LT**

(73) Patent savininkas:

**Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio alėja 11, LT-10223
Vilnius, LT
Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, LT-44249 Kaunas, LT
Vytauto Didžiojo universitetas, K. Donelaičio g. 58, 44248 Kaunas, LT**

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

—

(54) Pavadinimas:

Optinio spindulio intensyvumo valdymo sistema su pjezoelektrine pavara

(57) Referatas:

Šis išradimas yra optinio spindulio intensyvumo valdymo sistema su pjezoelektrine pavara, pasižyminti valdymo tikslumu, dinaminėmis charakteristikomis bei išplėstu funkcionalumu. Sistemą sudaro pjezopavara (3), sukanti šviesos intensyvumą keičiantį elementą (5), šviesos intensyvumo jutiklis (25) ir valdiklis-generatorius (10). Gali papildomai būti naudojami spindulį kreipiantys veidrodžiai (2) ir lęšiai (21). Pjezopavara (3) yra simetrinio bimorfino tipo ir ją sudaro du siauresni plonasieniai pjezoelektriniai žiedai (11) pritvirtinti koncentriškai prie platesnio tampraus plonasienio žiedo formos disko (7), kurio vidinės dalies paviršius perforuotas pailgomis kiaurymėmis (8), nukreiptomis smailiu kampu į cilindro (6) paviršiaus sudaromąją. Prie cilindro (6) išorinio paviršiaus tampriai prispaustas rotorius (4) su šviesos intensyvumą keičiančiu elementu (5). Pjezoelektrinė pavara (3) suka šviesos intensyvumą keičiantį elementą (5), deformuojant diską (7) radialine kryptimi. Pavaros (3) funkcionalumas praplečiamas spindulio šviesos srauto tankio reguliavimo galimybe, jei prie disko (7) išorinės dalies yra pritvirtinamas optinis lęšis (21) taip, kad jo optinė ašis sutaptų su disko (7) simetrijos ašimi ir su pjezoelektrinė pavara (3) galėtų judėti kartu su lęšiu išilgai savo optinės ašies, kai diske (7) sukuriama simetrinė lenkimo deformacijos išilgai optinės ašies (24).

IŠRADIMO SRITIS

Išradimas priskiriamas mechatroninių sistemų ir robototeknikos sritims. Tai sistema, skirta dideliu tikslumu valdyti optinio spindulio intensyvumą keičiančio elemento kampinę padėtį ir reguliuoti optinio spindulio, sklindančio pro spindulio intensyvumą keičiantį elementą, šviesos srauto tankį.

TECHNIKOS LYGIS

Naudojant lazerius gamybos procese susiduriama su problema, kaip tiksliai ir pagal tam tikrą dėsnį valdyti lazerio spindulio intensyvumą arba stabilizuoti lazerio spindulio intensyvumą ilgai trunkančio technologinio proceso metu. Šiuo metu yra žinomi keli techniniai sprendimai ir patentai, kuriuose sprendžiama ši problema.

JAV patente US7706069B2 aprašyta lazerio spindulio intensyvumo valdymo sistema (taip pat: <http://www.eksmaoptics.com>), kurioje naudojami sukamojo judesio elektriniai žingsniniai varikliai arba slenkamojo judesio elektromechaninės pavaros, skirtos generuoti lazerio spindulio intensyvumą keičiančio elemento (optinio spindulio fazinė plokštelė arba kintamo optinio tankio filtras) precizinį sukamąjį arba linijinį judesį. Pagrindiniai parametrai, apsprendžiantys tokios optinio ar lazerio spindulio intensyvumo valdymo sistemos kokybę, yra pavaros greitaveika ir poslinkio skyra, tai yra, mažiausias poslinkio (kampinis arba linijinis) dydis, kurį dar galima realizuoti. Šių techninių sprendimų trūkumai – ribotas lazerio spindulio intensyvumą keičiančio elemento judesio tikslumas, kuris priklauso nuo naudojamos elektromechaninės pavaros tikslumo.

Kita žinoma lazerio spindulio intensyvumo valdymo sistema aprašyta JAV patente US8203253B2. Šioje sistemoje naudojamas pjezoelektrinis vykdyklis, galintis suteikti lazerio spindulio intensyvumą keičiančiam elementui precizinį slenkamąjį judesį dviem viena kitai statmenomis kryptimis. Viena kryptimi elementas juda žingsniniu režimu, kai vykdyklyje yra sužadinami asimetrinės formos impulsai, o kita kryptimi (kuri statmena pirmajai) elementas juda, kai gembiskai įtvirtintame vykdyklyje sužadinamos kvazistatinės lenkimo deformacijos. Šiuo atveju vykdyklio generuojama žingsnio judesio skyra yra žymiai blogesnė, bet eiga žymiai didesnė, nei lenkimo deformacijų, o šių dviejų judesių kryptys yra statmenos viena kitai. Tuo būdu lazerio spindulio intensyvumą keičiančio elemento precizinio pozicionavimo tikslumas ir judesio eiga skirtingomis kryptimis labai skiriasi, kas blogina lazerio spindulio

intensyvumo valdymo sistemos efektyvumą. Be to, prie gėmibiškai įtvirtinto pjezoelektrinio vykdklio prijungtas lazerio spindulio intensyvumą keičiantis elementas labai pablogina pavaros dinamines charakteristikas.

IŠRADIMO ESMĖ

Šio išradimo esmė ir tikslas yra padidinti optinio spindulio intensyvumo valdymo sistemos tikslumą, pagerinti jos dinamines charakteristikas ir išplėsti funkcines galimybes.

Išradimo tikslas pasiekiamas tuo, kad nauja optinio spindulio intensyvumo valdymo sistema spindulio intensyvumą keičiantį elementą (optinio spindulio fazinė plokštelė (*angl.* retardation plate) arba kintamo optinio tankio filtras) pasuka dideliu tikslumu, naudodama pjezoelektrinę pavarą, sudarytą iš plonasienio žiedo formos tampraus disko, kurio vidinis plokščias paviršius yra perforuotas pailgomis kiaurymėmis, nukreiptomis smailiu kampu į plonasienio cilindro, kuris vienu savo galu tampriai pritvirtintas prie disko vidinio paviršiaus, sudaromąją. Prie minėto cilindro kito galo išorinio cilindrinio paviršiaus yra tampriai prispaustas ir guolinėje atramoje patalpintas rotorius, prie kurio yra pritvirtintas optinio spindulio intensyvumą keičiantis elementas. Plonasienis žiedo formos diskas ir prie jo plokščios išorinės žiedo dalies abiejų pusių koncentriškai pritvirtinti du plonasienio žiedo formos pjezoelektriniai elementai sudaro bimorfinį žiedo formos pjezoelektrinį vykdklį, kurio pjezoelektrinių elementų elektrodai yra prijungti prie valdomo signalų generatoriaus, generuojančio arba asimetrinį elektrinį signalą, kurio dažnis artimas plonasienio bimorfinio žiedo formos pjezoelektrinio vykdklio radialinių virpesių modai, arba nuolatinės srovės elektrinį signalą su valdoma amplitude.

Kai pjezoelektriniai bimorfinio vykdklio elektrodai žadinami signalu, kurio dažnis artimas pjezoelektrinio vykdklio radialinių virpesių modai, tai rotorius su optinio spindulio intensyvumą keičiančiu elementu yra sukamas apie išilginę cilindro ašį žingsniniu režimu su neribota kampinio poslinkio eiga bei vieno mažiausio sugeneruoto žingsnio skyra. Kai bimorfinio pjezoelektrinio vykdklio pjezoelektriniai elementai žadinami nuolatinės srovės signalu, pjezoelektriniame bimorfiniame vykdyklyje yra sužadamos kvazistatinės radialinės deformacijos, kurios dėl perforuotų pailgų kiaurymių, nukreiptų smailiu kampu į cilindro paviršiaus sudaromąją, pastarajam cilindrai ir tuo pačiu rotorui kartu su optinio spindulio intensyvumą keičiančiu elementu suteikia sukamąjį judesį, kuris gaunamas su

kvazistatinės radialinės deformacijos sąlygota kampinio poslinkio amplitudė ir labai didelė skyra.

Siekiant padidinti rotoriaus sukimosi greitį, minėtas cilindras gaminamas iš aukštos mechaninės kokybės standžios medžiagos, o jo ilgis parenkamas kartotinis ketvirčiui sukimo virpesių bangos, žadinamos cilindre, ilgio.

Siekiant praplėsti optinio spindulio intensyvumo valdymo sistemos funkcines galimybes, prie perforuoto plonasienio žiedo formos tampraus disko plokščios išorinės žiedo dalies, koncentriškai jam pritvirtintas optinis lęšis taip, kad jo optinė ašis sutampa su minėto disko simetrijos ašimi, o tampraus disko išorinė dalis, laisva nuo pjezoelektrinių elementų yra perforuojama koncentrinėmis išpjovomis taip, kad pjezoelektrinė pavara kartu su lęšiu galėtų judėti išilgai jo optinės ašies atžvilgiu, o minėtų pjezoelektrinių elementų elektrodai sujungiami prie valdomo asimetrinių signalų generatoriaus, kurio dažnis artimas perforuoto plonasienio žiedo formos tampraus disko vienai iš lenkimo virpesių modų, taip, kad žiede būtų sužadinami lenkimo virpesiai.

BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

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

Pav. 1 a-c Optinio spindulio intensyvumo valdymo sistemos su pjezoelektrine pavara principinė schema:

(a) sistemos konfigūracija su optiniu elementu (disku), kuris spindulio intensyvumą keičia dėl pavaros sukamojo judesio,

(b) sistemos konfigūracija, papildyta optinį spindulį nukreipiančiais veidrodžiais.

(c) sistemos konfigūracija, papildyta optinį spindulį nukreipiančiais veidrodžiais bei šviesos srauto tankį keičiančiu optiniu elementu, pavyzdžiui, lęšiu.

Pav. 2 Plonasienių cilindro ir žiedo junginio konstrukcijos vaizdas.

Pav. 3 Pjezoelektrinės pavaros pagrindinio mazgo vaizdas.

Pav. 4 Pjezoelektrinės pavaros rotoriaus tvirtinimo konstrukcijos vaizdas.

Pav. 5 2 laisvės laipsnių (2D) pjezopavaros principinė schema.

Pav. 6 Tampraus junginio (6,7,11) radialinių ir sukamųjų virpesių iliustracija.

Pav. 7 Tampraus junginio (6,7,11) lenkimo ir slenkamųjų virpesių iliustracija.

BRĖŽINIAI – pažymėtų objektų aprašymas

lazerio spindulys, optinis spindulys;

lazerio spindulio kryptį valdantys veidrodžiai;

pjezoelektrinė pavara, pjezopavara;

rotorius;

spindulio intensyvumą keičiantis elementas;

cilindras;

perforuotas plonasienis žiedo formos tamprus diskas;

plonasienio žiedo formos tamprus disko pailgos kiaurymės, nukreiptomis smailiu kampu (α) į cilindro 6 sudaromąją;

laisva nuo perforavimo plonasienio žiedo formos tampraus disko dalis;

valdiklis-signalų generatorius;

plonasieniai žiedo formos pjezoelektriniai elementai, poliarizuoti pagal jų storį;

asimetrinė generatoriaus signalo forma;

plokščia spyruoklė;

pjezopavaros korpusas;

tampraus tvirtinimo tilteliai;

koncentrinės išpjovos, mažinančios tampraus disko (7) tvirtinimo korpuse (14) standumą radialine kryptimi;

guolis;

guolio laikiklis;

cilindro (6) aukštis;

optinio lęšio laikiklis;

optinis lęšis;

koncentrinės išpjovos, mažinančios tampraus disko (7) tvirtinimo korpuse (14) standumą lęšio optinės ašies kryptimi;

optinio lęšio judėjimo kryptis;

optinė lęšio ašis;

šviesos intensyvumo jutiklis.

DETALUS IŠRADIMO IR JO ĮGYVENDINIMO VARIANTŲ APRAŠYMAS

Čia ir toliau išradimas ir jo įgyvendinimo variantai aprašomi su nuorodomis į brėžinius, tačiau išradimo įgyvendinimo variantai nėra ribojami čia atskleistiems išradimo įgyvendinimo variantams ir įvairios įgyvendinimo variantų modifikacijos yra galimos.

Detalus sistemos aprašymas. Optinio spindulio intensyvumo valdymo sistemą (Pav. 1 a) sudaro valdiklis-signalų generatorius (10), šviesos intensyvumo jutiklis (25) ir pjezoelektrinė pavara (3), kurios rotorius (4) suka lazerio spindulio (1) intensyvumą keičiančią grandį (elementą) (5). Optinio spindulio intensyvumo valdymo sistemoje gali būti papildomai įmontuoti lazerio spindulio (1) kryptį valdantys veidrodžiai (2), nukreipiantys spindulį (1) per cilindą (6), kaip parodyta Pav. 1 b. Pjezoelektrinė pavara (3) sudaryta iš perforuoto plonasienio žiedo formos tampraus disko (7) ir cilindro (6) tampraus junginio (Pav.2). Plonasienio žiedo formos tampraus diskas (7) perforuotas pailgomis kiaurymėmis (8), nukreiptomis smailiu kampu (α) į cilindro (6) paviršiaus sudaromąją. Nuo kampo α dydžio priklauso pjezoelektrinės pavaros rotoriaus (4) kampinis greitis ir sukimo momentas. Sužadinus žiedo formos tampraus disko (7) asimetrinius radialinius virpesius arba statiškai jį deformuojant radialine kryptimi, perforuotų kiaurymių (8), nukreiptų kampu α į cilindro (6) paviršiaus sudaromąją dėką, yra generuojami asimetriniai sukamieji cilindro (6) virpesiai arba cilindro (6) kvazistatinis kampinis poslinkis, kurie dėl frikcinio kontakto tarp cilindro (6) ir rotoriaus (4) atitinkamai sužadina kryptingą sukamąjį rotoriaus (4) judesį arba rotoriaus kvazistatinį posūkį.

Prie plokščios, laisvos nuo perforavimo, žiedo formos tampraus disko (7) dalies (9) pritvirtinti (priklijuoti) du ploni žiedo formos pjezoelektriniai elementai (11) (Pav. 1a, 1b), poliarizuoti jų storio kryptimi, o jų poliarizacijos vektoriai nukreipti

priešpriešiais. Pjezoelektrinių elementų (11) elektrodai prijungti prie valdomo asimetrinių signalų generatoriaus (10), kurio generuojamo signalo (12) dažnis artimas perforuoto plonasienio žiedo formos tampraus disko (7) radialinių virpesių modai, kaip parodyta (Pav. 7). Prie cilindro (6) išorinio paviršiaus (Pav. 3) plokščia spyruokle (13) prispaustas rotorius (4) taip, kad būtų galimybė sukti spindulio intensyvumą keičiantį elementą (5) (Pav. 1). Plonasienio žiedo formos tamprus diskas (7) prijungtas prie pavaros korpuso (14) per tiltelius (15) gautus koncentrinių išpjovų (16) pagalba (Pav. 2). Savo ruožtu (Pav. 1), pavaros rotorius (4) sukamai sujungtas su korpusu (14) per guolį (17) ir guolio laikiklį (18).

Siekiant padidinti pjezoelektrinės pavaros (3) efektyvumą ir rotoriaus (4) sukimosi greitį, cilindro (6) ilgis (19) parenkamas kartotiniu ketvirčiui sukimo virpesių bangos, žadinamos cilindre (6), ilgio (Pav. 2), o cilindras (6) ir plonasienis žiedo formos tamprus diskas (7) yra gaminami iš medžiagų, kurios pasižymi aukštu atsparumu dinaminėms apkrovoms ir mažu akustiniu slopinimu, pvz.: legiruoto plieno lydiniai (440C, CPM10V) ar titano lydiniai (Ti6Al4V, Ti6Al6V2Sn).

Siekiant praplėsti optinio spindulio intensyvumo valdymo sistemos funkcines galimybes (Pav. 6), ją panaudojant skaitmeninėse technologijose (pvz. Direct Metal Laser Sintering), valdant lazerio spindulio šviesos intensyvumo pasiskirstymą (angl. beam shaper) reguliuojančio optinio elemento padėtį, prie perforuoto plonasienio žiedo formos tampraus disko (7) plokščios išorinės dalies per laikiklį (20), koncentriškai diskui pritvirtintas optinis lęšis (21) taip, kad jo optinė ašis (24) sutampa su minėto disko (7) simetrijos ašimi, o disko (7) išorinis plokščias paviršius, laisvas nuo pjezoelektrinių elementų, yra perforuojamas koncentrinėmis išpjovomis (22) taip, kad pjezoelektrinė pavara (Pav. 5) kartu su lęšiu (21) galėtų judėti (23) išilgai jos optinės ašies atžvilgiu (24), o minėtų pjezoelektrinių elementų (11) elektrodai prijungiami prie valdomo asimetrinių signalų generatoriaus (10), kurio generuojamo signalo (12) dažnis nustatomas artimas perforuoto plonasienio žiedo formos tampraus disko (7) vienai iš lenkimo virpesių modų, taip, kad žiede būtų sužadinami lenkimo virpesiai.

Sistemos veikimo aprašymas. Aprašytoje sistemoje galimi trys optinio spindulio intensyvumo valdymo režimai (variantai).

1 veikimo variantas. Pirmą veikimo variantą iliustruoja Pav. 1. Padavus į pjezoelektrinių elementų (11) elektrodus iš valdomo signalų generatoriaus (10)

asimetrinį elektrinį signalą (12), kurio dažnis f_1 artimas perforuoto plonasienio žiedo formos tampraus disko (7) radialinių virpesių modai, diske sužadinami radialiniai virpesiai, kurie dėl perforuotų kiaurymių (8), nukreiptų smailiu kampu (α) į cilindro (6) paviršiaus sudaromąją veikiami, sukelia periodinius asimetrinius cilindro (6) sukamuosius virpesius (Pav. 7). Kadangi cilindras (6) (Pav. 1a, 1b) slystamai ir paspyruokliuotai (Pav. 3) sujungtas su rotoriumi (4) spyruokle (13) (Pav. 3), tai rotorius (4), asimetrinių sukamųjų virpesių veikiamas, kryptingai sukasi kartu su nejudamai pritvirtintu prie jo spindulio intensyvumą keičiančiu elementu (5). Radialinių virpesių sklaidimą į pavaros korpusą (14) izoliuoja tilteliai (15).

Lazerio spindulys tiesiogiai (Pav. 1a) arba per kreipiančiuosius veidrodžius (Pav. 1 b, c) praeina pro spindulio intensyvumą valdantį elementą (5). Reikiamas lazerio šviesos intensyvumas yra gaunamas, pasukant minėtą elementą (5), kuris nejudamai pritvirtintas prie rotoriaus (4), apie ašį (24) reikiamu kampu.

Pagaminus cilindrą (6) taip, kad jo aukštis (19) būtų lygus kartotiniam ketvirčiui sukimo virpesių bangos, žadinamos cilindre (6), ilgiui, cilindras (6) tampa rezonansiniu ir ženkliai padidindamos sukimo virpesių amplitudės, o tuo pačiu, esant reikalui - ir pavaros sukimosi greitis.

2 veikimo variantas. Antras veikimo variantas (Pav. 5, 1c) leidžia panaudojus tą patį elementų junginį (perforuotą plonasienio žiedo formos tamprus diską (7) ir cilindrą (6)), gauti minėto junginio ir pritvirtinto prie jo optinio elemento, pavyzdžiui, lęšio (21), slenkamąjį judesį rotoriaus (4) atžvilgiu. Padavus į pjezoelektrinių elementų (11) elektrodus valdomą asimetrinį generatoriaus (10) elektrinį signalą (12), kurio dažnis f_2 nustatytas artimas perforuoto plonasienio žiedo formos tampraus disko (7) lenkimo virpesių modai (Pav. 8.), diske (7) sužadinami asimetriniai lenkimo virpesiai, kurie sukelia periodinį asimetrinį cilindro (7) judesį lygiagrečiai ašiai (24). Kadangi rotoriaus judesys ašies (24) atžvilgiu yra apribotas guoliu (17), todėl asimetrinių virpesių veikiamas cilindro-disko junginys (6-7) gali judėti slenkamai rotoriaus (4) atžvilgiu. Plonasienio žiedo formos tampraus disko (7) išorinis plokščias paviršius laisvas nuo pjezoelektrinių elementų perforuotas koncentrinėmis išpjovomis (22), kurios sąlygoja didelį disko (7) standumą radialine kryptimi ir mažą standumą išilgai optinės lęšio ašies (24), tuo būdu apriboja cilindro-disko junginio (6-7) judesį radialine kryptimi, bet leidžia jam slankioti išilgai ašies (24).

3 veikimo variantas. Trečias optinio spindulio intensyvumo valdymo sistemos

veikimo režimas galimas, kai prie perforuoto plonasienio žiedo formos tamprus disko (7) (Pav. 1) pritvirtinti pjezoelektriniai elementai (11) yra žadinami nuolatinės srovės signalu (12). Tada plonasienio žiedo formos tampriame diske (7) yra sužadinamos kvazistatinės radialinės deformacijos, kurios dėl perforuotų pailgų kiaurymių (8) (Pav. 2), nukreiptų smailiu kampu į cilindro (6) paviršiaus sudaromąją, pastarajam ir tuo pačiu rotorui (4) (Pav. 1) su optinio spindulio intensyvumą keičiančiu elementu (5) suteikia sukamąjį judesį su kvazistatinės radialinės deformacijos sąlygota kampinio poslinkio amplitude ir labai didele skyra. Rotoriaus (4) su optinio spindulio intensyvumą keičiančiu elementu (5) kampinio poslinkio amplitudė priklauso elektrinio signalo (12) įtampos dydžio ir perforuoto plonasienio žiedo formos tampraus disko (7) kiaurymių nukreipimo kampo α .

APIBRĖŽTIS

1. Optinio spindulio (1) intensyvumo valdymo sistema, apimanti

- vieną ar daugiau optinių elementų, keičiančių spindulio (1) intensyvumą,

- šiuos optinius elementus valdančią pjezoelektrinę pavarą,

besiskirianti tuo, kad

pjezoelektrinė pavana (3) sudaryta iš plonasienio žiedo formos tampraus disko (7), kurio vidinis plokščias paviršius yra perforuotas pailgomis kiaurymėmis (8), nukreiptomis smailiu kampu (α) į plonasienio cilindro (6), savo vienu galu tampriai pritvirtinto prie disko (7) vidinio paviršiaus, sudaromąją, o prie tampraus disko (7) plokščios išorinės žiedo dalies abiejų pusių koncentriškai pritvirtinti du plonasienio žiedo formos pjezoelektriniai elementai (11), kurių elektrodai prijungti prie pjezopavaros valdymo signalų generatoriaus (10),

kur prie pavaros (3) plonasienio cilindro (6) kito galo išorinio cilindrinio paviršiaus tampriai prispaustas ir guolinėje atramoje (18) patalpintas rotorius (4), laikantis optinį elementą (5), kuris keičia spindulio (1) intensyvumą dėl rotoriaus (4) sukamojo judesio.

2. Sistema pagal 1 punktą, besiskirianti tuo, kad pjezopavaros (3) pjezoelektriniai elementai (11) žadinami pjezopavaros valdymo generatoriaus (10) signalais (12), kurie yra asimetriniai, o jų dažnis parenkamas artimas tampraus disko (7) nuosavų radialinių virpesių modai.

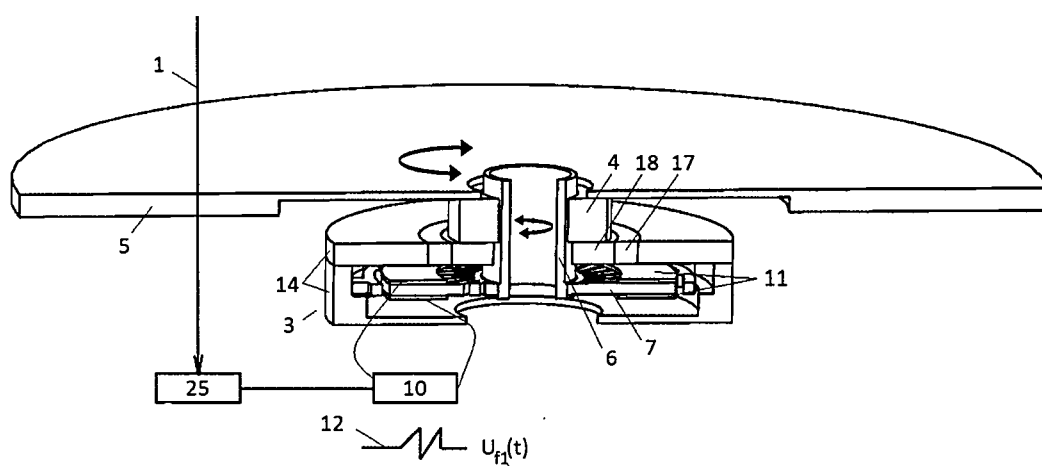
3. Sistema pagal 1 ir 2 punktus, besiskirianti tuo, kad dėl rotoriaus (4) sukimo geresnių dinaminių charakteristikų, pjezoelektrinės pavaros (3) plonasienis cilindras (6) pagamintas iš didelio standumo ir aukštos mechaninės kokybės medžiagos, o jo ilgis parinktas kartotinis ketvirčiui sukimo virpesių bangos, žadinamos cilindre (6), ilgio.

4. Sistema pagal 1 punktą, besiskirianti tuo, kad pjezoelektrinė pavana (3) vykdo cilindro (6) kvazistatinius sukamuosius judesius, kurie gaunami iš pjezopavaros valdymo generatoriaus (10) padavus į pjezoelektrinių elementų (11) elektrodus nuolatinės srovės elektrinį signalą su valdoma amplitude (12), sukuriantį tampraus disko (7) radialines deformacijas, kurios dėl perforuotų išpjovų (8) dideliu tikslumu pasuka cilindrą (6) kartu su rotoriumi (4) bei spindulio intensyvumą

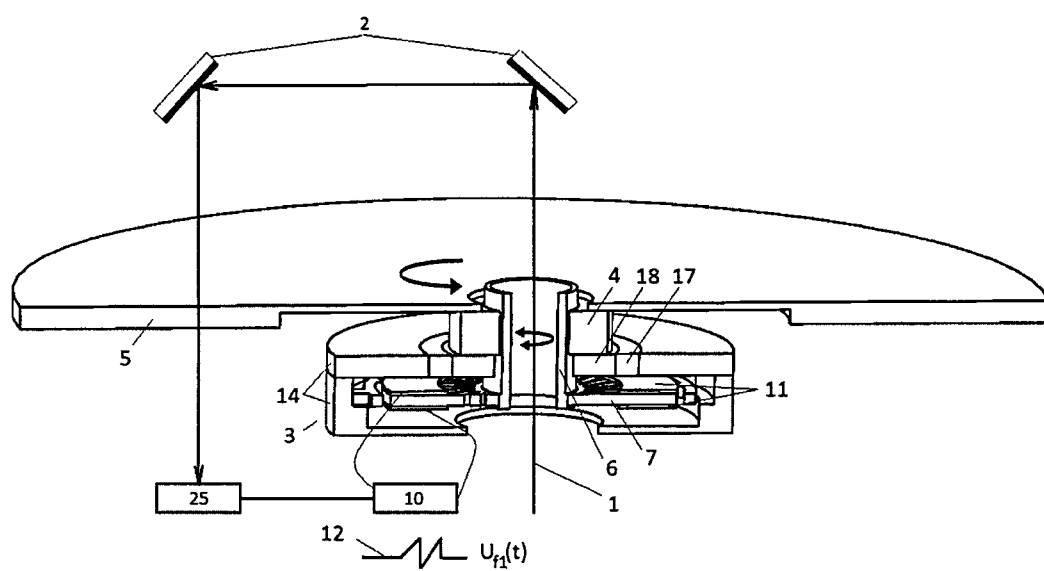
keičiančiu elementu (5).

5. Sistema pagal 1 punktą, besiskirianti tuo, kad pjezopavaroje (3) prie tampraus disko (7) plokščios išorinės žiedo dalies koncentriškai pritvirtintas optinis lęšis (21), kurio optinė ašis sutampa su tampraus disko (7) simetrijos ašimi, o disko (7) išorinis plokščias ir laisvas nuo pjezoelektrinių elementų paviršius yra perforuojamas koncentrinėmis išpjovomis (16, 22) taip, kad pjezopavara (3) kartu su lęšiu (21) galėtų judėti išilgai lęšio optinės ašies (24).

6. Sistema pagal 5 punktą, besiskirianti tuo, kad vykdyti lęšio (21) judesius išilgai optinės ašies (24), pjezoelektriniai elementai (11) yra valdomi generatoriaus (10) asimetriniais signalais (12), kurių dažnis parenkamas artimas tampraus disko (7) vienai iš lenkimo virpesių modų, taip, kad tampriame diske būtų sužadinami lenkimo virpesiai.

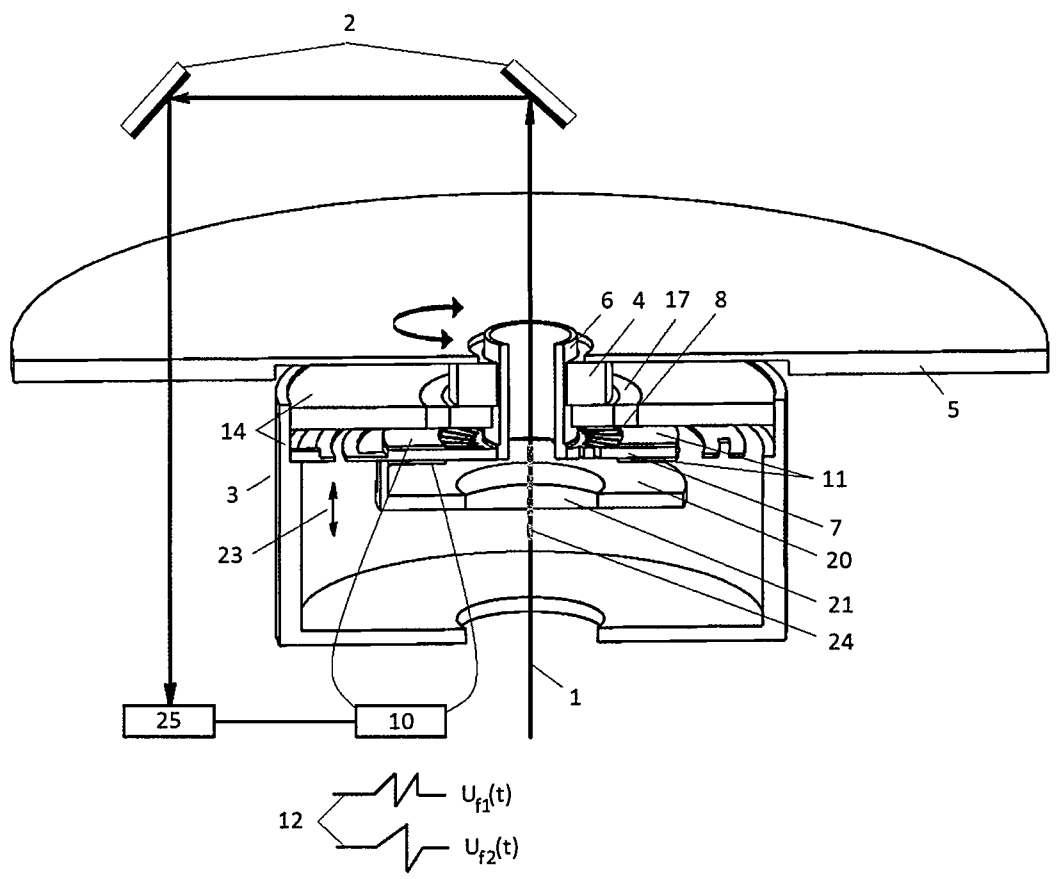


a)



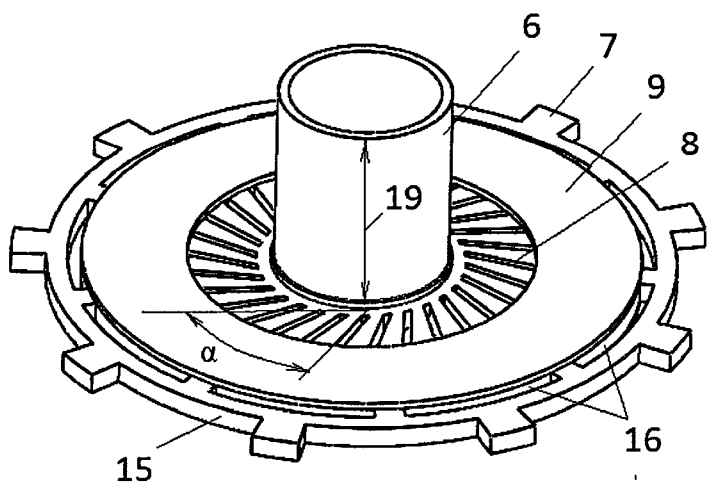
b)

Pav. 1

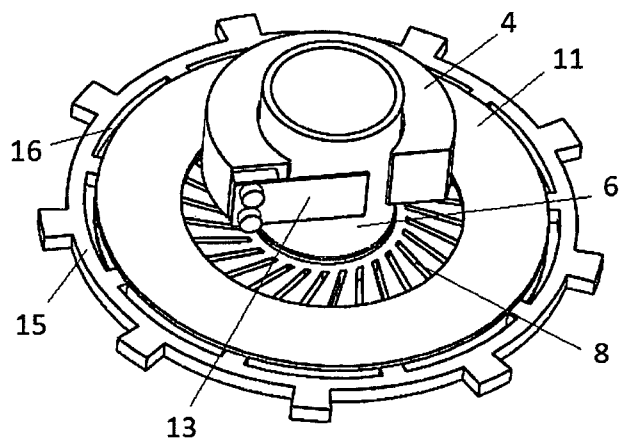


c)

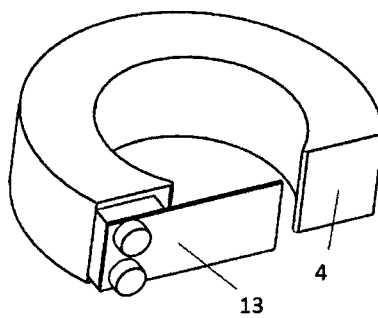
Pav. 1



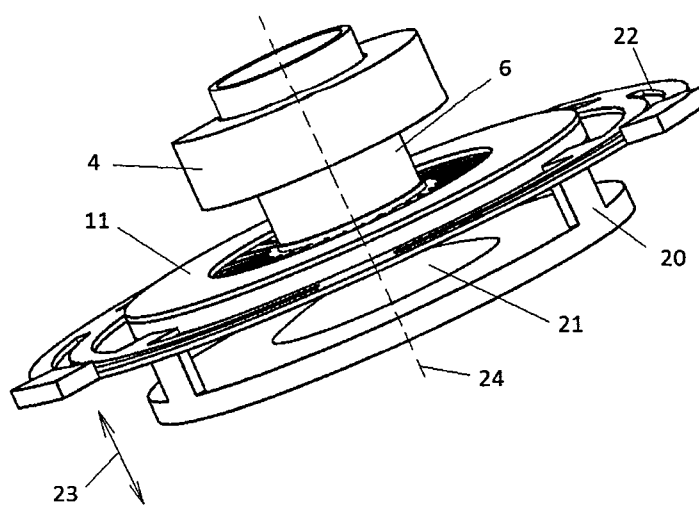
Pav. 2



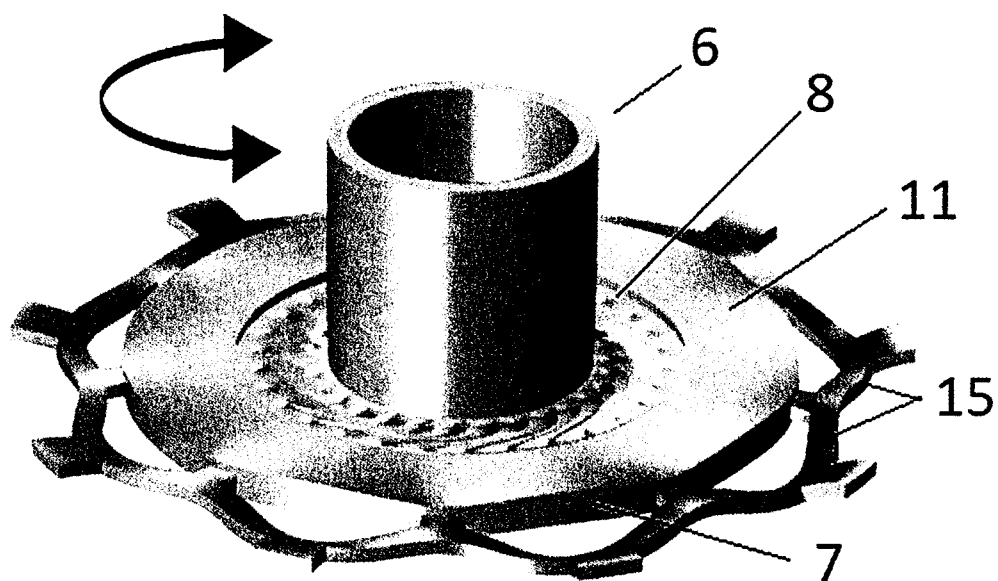
Pav. 3



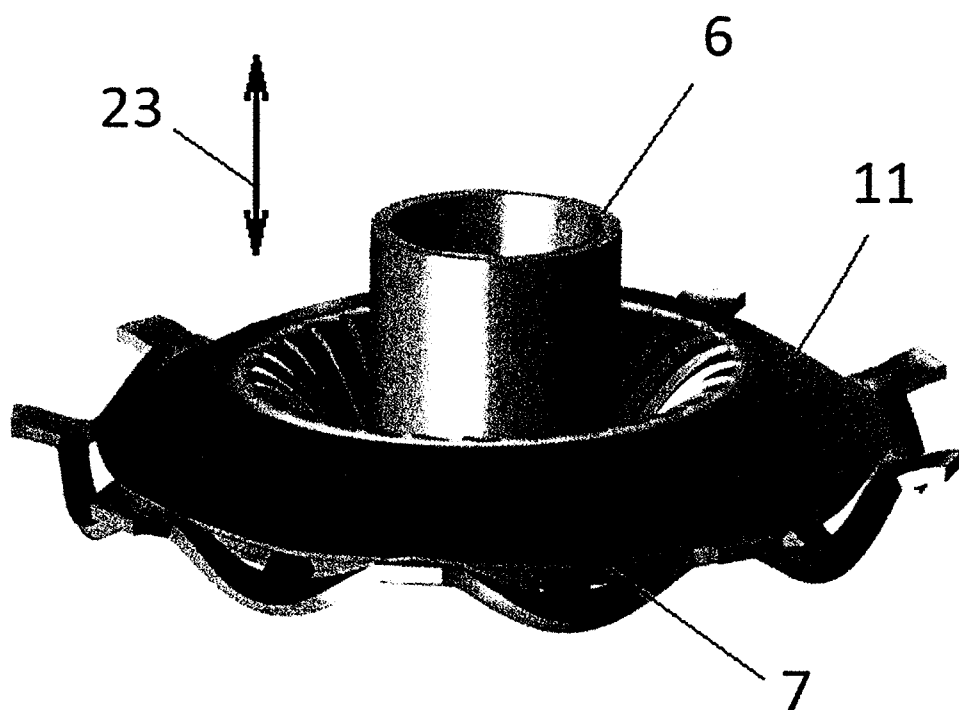
Pav. 4



Pav. 5



Pav. 6



Pav. 7