

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2020 518**
(22) Paraiškos padavimo data: **2020-04-06**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2021-10-11**
(45) Patento paskelbimo data: **2021-11-10**

(73) Patento savininkas:

Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT

(72) Išradėjas:

**Voitech STANKEVIČ, LT
Saulius BALEVIČIUS, LT
Nerija ŽURAUSKIENĖ, LT
Česlovas ŠIMKEVIČIUS, LT
Skirmantas KERŠULIS, LT**

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

**Virgina Adolfina DRAUGELIENĖ, 8, UAB TARPINĖ,
A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT**

LT 6865 B

(54) Pavadinimas:

Skaliarinis magnetinio lauko matavimo zondas

(57) Referatas:

Išradimas susijęs su matavimo priemonėmis. Zondas transformuoja magnetinės indukcijos reikšmes į elektrinį signalą - varžos pokytį, panaudojant tris magnetovaržinius manganito plonasluoksnius jutiklius. Sumontavus šiuos jutiklius statmenai vienas kitam ir sujungus nuosekliai į elektrinę grandinę, gaunama kelis kartus mažesnė matavimo paklaida dėl magnetinio lauko krypties pasikeitimo, negu naudojant vieną magnetovaržinį jutiklį. Išradimas gali būti panaudotas matavimo, kontrolės ir monitoringo sistemose, kuriose yra atliekami nuolatinio arba kintančio skaliarinio magnetinio srauto tankio matavimai.

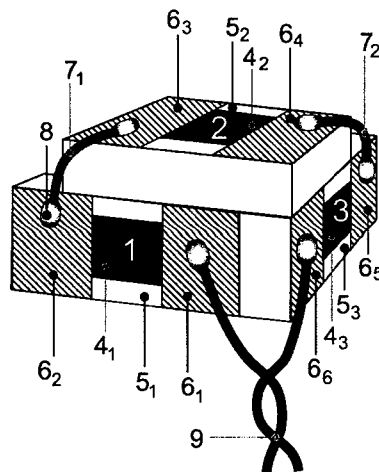


Fig. 1

TECHNIKOS SRITIS

Išradimas susijęs su matavimo priemonėmis, matuojančiomis magnetinį lauką. Išradimas gali būti panaudotas matavimo, kontrolės ir monitoringo sistemose, kuriose yra atliekamas nuolatinio arba kintančio skaliarinio magnetinio srauto tankio (magnetinės indukcijos) matavimas.

TECHNIKOS LYGIS

Yra žinomi varžiniai magnetinio lauko jutikliai, kuriuose jautrusis elementas yra rezistorius, kurio varža keičiasi priklausomai nuo magnetinio lauko stiprio ir nepriklauso nuo magnetinio lauko krypties jautriojo elemento plokštumoje (žiūr. US Patent Nr. 6232776). Jo trūkumas yra tai, kad jutiklio varža priklauso nuo magnetinio lauko krypties, kai laukas nėra orientuotas jautriojo elemento plokštumoje, o sudaro su ja tam tikrą kampą, dėl ko atsiranda didelės matavimo paklaidos, jei nėra žinoma magnetinio lauko kryptis.

Artimiausias siūlomam sprendimui yra skaliarinis magnetinio lauko zondas, kuris matuoja magnetinio srauto tankio (magnetinės indukcijos) modulį, nepriklausomai nuo krypties. Jis susideda iš dviejų magnetovaržinių jutiklių, kurių abiejų varžos keičiasi priklausomai nuo magnetinio lauko stiprio, tačiau jų varžos bei magnetovaržos priklausomybės nuo temperatūros pobūdis yra skirtingas (žiūr. EU Patent Nr. 2040088). Jutiklius sudaro manganito polikristaliniai ir monokristaliniai plonieji sluoksniai, užnešti ant nelaidaus padėklo taip, kad būtų lygiagrečiose plokštumose, ir keturios metalinės kontaktinės aikštelės, prie kurių yra prijungiami laidai. Sujungus nuosekliai šiuos du magnetovaržinius jutiklius galima sumažinti jų suminės varžos ir magnetovaržos priklausomybę nuo temperatūros. Šio magnetinio lauko zondo trūkumai yra ne pilnai užtikrinama nepriklausomybė nuo magnetinio lauko krypties: t.y. vis tik stebima tam tikra zondo suminės varžos kitimo magnetiniame lauke priklausomybė nuo magnetinio lauko krypties, ypač, kai magnetinio lauko kryptis nėra lygiagreti plonųjų sluoksnių plokštumai.

SPRENDŽIAMA TECHNINĖ PROBLEMA

Siūlomu išradimu siekiama sumažinti skaliarinio magnetinio lauko matavimo zondo magnetovaržos anizotropiją, t.y. pagerinti matavimo tikslumą, jei matavimai vykdomi, kai nėra žinoma magnetinio lauko kryptis.

IŠRADIMO ESMĖS ATSKLEIDIMAS

Uždavinio sprendimo esmė pagal pasiūlytą išradimą yra ta, kad skaliariniame magnetinio lauko matavimo zonde, apimančiame pirmąjį ir antrąjį magnetovaržinius jutiklius, kurių kiekvienas turi dielektrinį padėklą, padengtą plonu sluoksniu iš medžiagos, kurios elektrinė varža kinta priklausomai nuo magnetinio lauko, o ant kiekvieno magnetovaržinio jutiklio jo plonojo sluoksnio lokaliai suformuotos elektrai laidžios kontaktinės aikštelės, prie kurių prijungti jungiamieji laidai, skirti elektros srovės šaltiniui prijungti, sudarant nuoseklą elektros grandinę per minėtų magnetovaržinių jutiklių plonuosius sluoksnius, o visas zondas yra padengtas hermetizuojančiu užpildu, kuriame yra numatytas trečias magnetovaržinis jutiklis, turintis dielektrinį padėklą, padengtą plonu sluoksniu iš medžiagos, kurios elektrinė varža kinta priklausomai nuo magnetinio lauko, ir ant trečiojo magnetovaržinio jutiklio plonojo sluoksnio lokaliai suformuotos elektrai laidžios kontaktinės aikštelės, prie kurių prijungti jungiamieji laidai, skirti elektros srovės šaltiniui prijungti, o visi trys minėti magnetovaržiniai jutikliai išdėstyti taip, kad kiekvieno minėto magnetovaržinio jutiklio plonojo sluoksnio plokštuma yra statmena kitų dviejų jutiklių plonųjų sluoksnių plokštumoms, o visų trijų jutiklių elektrai laidžios kontaktinės aikštelės ir jungiamieji laidai tarpusavyje sujungti taip, kad nuosekliai sujungtų visų minėtų trijų magnetovaržinių jutiklių plonuosius sluoksnius, suformuojant bendrą zondo varžą lygią atskirų minėtų jutiklių varžų sumai.

Plonųjų sluoksnių medžiaga, kurios elektrinė varža kinta priklausomai nuo magnetinio lauko yra polikristalinis lantano-stroncio-mangano oksidas arba polikristalinis lantano-kalcio-mangano oksidas arba polikristalinis lantano-stroncio-mangano-kobalto oksidas.

IŠRADIMO NAUDINGUMAS

Siūlomas magnetinio lauko zondas pasižymi mažais gabaritais, todėl gali matuoti magnetinę indukciją mažuose tūriuose. Kadangi zonde sumontuoti trys tarpusavyje statmeni magnetovaržiniai jutikliai, tai zondas nėra jautrus magnetinio lauko krypties pasikeitimams ir matuoja skaliarinę magnetinės indukcijos reikšmę.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kur

Fig.1 pavaizduota magnetinio lauko zondo struktūrinė schema,

Fig.2 pavaizduota vieno magnetovaržinio jutiklio magnetovaržos

priklausomybė nuo kampo tarp jautriojo sluoksnio plokštumos ir magnetinio lauko krypties ir trijų elektriškai sujungtų jutiklių, sumontuotų statmenai vienas kitam, magnetovaržos priklausomybė nuo minėto kampo.

VIENAS IŠ IŠRADIMO REALIZAVIMO PAVYZDŽIŲ

Fig. 1 pavaizduota magnetinio lauko zondo struktūrinė schema. Zondas susideda iš trijų magnetovaržinių jutiklių 1, 2 ir 3, kiekviename iš kurių yra suformuotas plonasis manganito jautrusis magnetiniam laukui atitinkamas sluoksnis (4_1 , 4_2 , 4_3). Šio sluoksnio varža mažėja, didėjant magnetiniam laukui. Šis sluoksnis užaugintas ant kiekvieno iš jutiklių (1, 2, 3) atitinkamo padėklo (5_1 , 5_2 , 5_3), pagaminto iš izoliuojančios medžiagos (dielektrinis padėklas). Virš kiekvieno manganito plonojo sluoksnio (4_1 , 4_2 , 4_3) užgarintas metalo sluoksnis ir suformuotos atitinkamos kontaktinės aikštelės (6_1 - 6_6). Pirmasis jutiklis 1 sujungtas su antruoju jutikliu 2 laido 7_1 pagalba, kuris prilituotas lydmetaliu 8 prie kontaktinės aikštelės. Tokiu pat būdu antrasis jutiklis 2 laido 7_2 pagalba yra sujungtas su trečiuoju jutikliu 3. Prie pirmojo ir trečiojo jutiklio laisvų kontaktinių aikštelių yra prijungiami išvadai 9, kuriuos sudaro du bifiliariškai suvyti jungiamieji laidai.

Magnetovaržos anizotropijos sumažinimas siūlomame zonde paaiškinamas taip. Jutiklis, kuris sudarytas tik iš vieno elemento t.y. plono manganito sluoksnio juostelės, užaugintos ant dielektrinio padėklo ir turinčios abiejuose galuose plonasluoksnius metalinius elektrodus (kontaktines aikšteles), pasižymi dviejų tipų magnetovaržos anizotropija (*MRA*). *MRA* yra apskaičiuojama kaip didžiausio magnetovaržos skirtumo, keičiantis kampui tarp magnetinio lauko ir sluoksnio plokštumos, santykis su didžiausia magnetovarža. Pirmoji *MRA* atsiranda kai magnetinis laukas yra padėklo ir juostelės plokštumoje ir yra susijusi su anizotropija dėl kristalinės sluoksnio struktūros bei dėl srovės ir magnetinio lauko krypties nesutapimo. Antroji magnetovaržos anizotropija yra susijusi su demagnetizacijos efektu plonuose sluoksniuose (formos anizotropija), kai magnetinis laukas sudaro kampą su sluoksnio plokštuma. Plonuose manganitų sluoksniuose pirmoji *MRA* yra žymiai mažesnė nei magnetovaržos anizotropija dėl formos efekto. Bendru atveju magnetovarža (absoliuti vertė) zondo, sudaryto tik iš vieno jutiklio priklausomai nuo kampo tarp magnetinio lauko ir sluoksnio plokštumos yra lygi:

$$MR_1(\theta) = MR_{\parallel} + (MR_{\perp} - MR_{\parallel}) \cdot f(\theta); \quad (1)$$

kur $MR_{\parallel}$ magnetovarža (absoliuti vertė), kai magnetinio lauko (B) kryptis yra lygiagreti sluoksnio plokštumai, $MR_{\perp}$ magnetovarža (absoliuti vertė), kai B kryptis yra statmena sluoksnio plokštumai. $f(\theta)$ yra bedimensinė funkcija, kur θ yra kampas kurį sudaro magnetinio lauko vektorius su sluoksnio plokštuma. Funkcija $f(0)$ epitaksinių sluoksnių atveju yra lygi $\sin^2\theta$, o polikristalinių sluoksnių atveju gali būti sudėtinga išraiška: $1/(1+K) \cdot [\sin^2\theta + K \cdot (1 - |\cos\theta|)]$, kur K - konstanta, priklausanti nuo sluoksnio cheminės sudėties ir morfologijos.

Epitaksinių sluoksnių atveju $MR_1(\theta) = MR_{\parallel} + (MR_{\perp} - MR_{\parallel}) \cdot \sin^2\theta$ ir, kintant kampui tarp magnetinio lauko ir sluoksnio plokštumos nuo 0 iki $\pi/2$, magnetovarža kinta nuo $MR_{\parallel}$ iki $MR_{\perp}$. Sujungus tris vienodus jutiklius iš epitaksinių sluoksnių statmenai plokštumomis vienas kitam į nuoseklus jungimo grandinę bendroji magnetovarža $MR_{3e}(\alpha, \beta, \gamma)$ yra lygi:

$$MR_{3e}(\alpha, \beta, \gamma) = MR_{\parallel} + (MR_{\perp} - MR_{\parallel}) \cdot (\sin^2\alpha + \sin^2\beta + \sin^2\gamma) = MR_{\perp}; \quad (2)$$

čia α , β ir γ yra kampai, kuriuos sudaro magnetinis laukas su trimis ortogonaliosiomis plokštumomis. Kadangi pagal žinomą teoremą $\sin^2\alpha + \sin^2\beta + \sin^2\gamma = 1$, tai $MR_{3e}(\alpha, \beta, \gamma) = MR_{\perp}$. Tai reiškia, kad šiuo atveju atstojamoji magnetovarža nepriklauso nuo magnetinio lauko krypties ir jos anizotropija lygi 0. Todėl tokiu atveju jutiklio atsakas nepriklauso nuo magnetinio lauko krypties, o tik nuo šio lauko vertės.

Kai tokiu pačiu būdu sujungiami 3 polikristaliniai sluoksniai, atstojamoji magnetovarža lygi:

$$MR_{3p}(\alpha, \beta, \gamma) = MR_{\parallel} + [(MR_{\perp} - MR_{\parallel})/3(1+K)] \cdot [1 + K \cdot (3 - |\cos\alpha| - |\cos\beta| - |\cos\gamma|)]; \quad (3)$$

Šiuo atveju magnetovaržos anizotropija priklausys nuo koeficiento K vertės ir bus maksimali, kai magnetinio lauko (B) vektoriaus kryptis kinta nuo orientacijos, atitinkančios $\alpha = 0$; $\beta = 0$; $\gamma = \pi/2$ (magnetinis laukas statmenas vienai iš plokštumų) iki orientacijos, kai B kryptis yra lygiagreti ortogonalios sistemos diagonalei t.y. $\alpha = \beta = \gamma = 35,27^\circ$.

Iš eksperimentinių matavimų (žiūr. Fig. 2, kreivė 1) buvo nustatyta, kad zondo iš vieno polikristalinio jutiklio, veikiant magnetiniam laukui 0,7 T, magnetovarža lygi $|MR_{\parallel}| = 4,63 \%$, kai laukas yra lygiagretusis jutiklio plokštumai, ir $|MR_{\perp}| = 1,98 \%$, kai magnetinis laukas yra statmenas plokštumai. Taip pat buvo nustatyta, kad tokio polikristalinio jutiklio magnetovarža, kaip funkcija nuo kampo tarp magnetinio lauko krypties ir sluoksnio plokštumos, gerai apsiraso naudojant formulę:

$$MR_{1p}(\alpha) = MR_{\parallel} + [(MR_{\perp} - MR_{\parallel})/(1+K)] \cdot [1 + K \cdot (1 - |\cos \alpha|)], \quad (4)$$

kai $K = 2,617$; $|MR_{\parallel}| = 4,63 \%$; $|MR_{\perp}| = 1,98 \%$.

Naudojant šiuos duomenis apskaičiuota tokio jutiklio magnetovaržos anizotropija (MRA), kai magnetinis laukas buvo nukreiptas lygiagrečiai ir statmenai sluoksnio plokštumai. Ši anizotropija buvo lygi $100\% \cdot |(MR_{\perp} - MR_{\parallel})/MR_{\parallel}| = 100\% \cdot (2,65/4,63) = 57,2 \%$.

Panaudojus formulę (3) buvo apskaičiuota magnetovarža ir jos anizotropija, kai ortogonaliai sujungti trys vienodi jutikliai. Didžiausias magnetovaržos skirtumas (anizotropija) gaunamas, kai magnetinis laukas yra nukreiptas statmenai vieno iš jutiklio plokštumai (t.y., $\alpha = 0$; $\beta = 0$; $\gamma = \pi/2$), tada $|MR_{3p}(0, 0, \pi/2)| = 3,7 \%$ ir kai magnetinis laukas nukreiptas pagal koordinačių sistemos diagonalę (t. y., $\alpha = \beta = \gamma = 35,27^\circ$), tada $|MR_{3p}(35,27^\circ, 35,27^\circ, 35,27^\circ)| = 4,03 \%$. Šiuo atveju maksimali anizotropija yra lygi $100\% - (0,33/4,03) = 8,19\%$. Tokiu būdu naudojant pasiūlytą konstrukciją, susidedančią iš trijų jutiklių, galima sumažinti magnetinio zondo magnetovaržos anizotropiją mažiausiai $57,2/8,19 = 6,98$ karto lyginant su vieno jutiklio zondų. Kaip tarpinį atvejį galima apskaičiuoti anizotropiją, kai magnetinis laukas nukreiptas statmenai vieno iš jutiklių plokštumai (t. y., $\alpha = 0$; $\beta = 0$; $\gamma = \pi/2$) ir kai $\alpha = 0$; $\beta = \pi/4$; $\gamma = \pi/4$. Šiam atvejui $|MR_{3p}(0, \pi/4, \pi/4)| = 4,01 \%$, o anizotropija lygi $100\% - (0,31/4,01) = 7,73\%$. Tuo būdu trijų jutiklių zondo magnetovaržos anizotropija yra $57,2/7,73 = 7,41$ karto mažesnė negu zondo, susidedančio iš vieno jutiklio, atveju.

Siūlomo įtaiso funkcionavimas buvo patikrintas, suformuojant zondą tokiu būdu. Ant dielektrinio polikristalinio Al_2O_3 padėklo 5 (žr. Fig. 1) impulsinio injekcinio nusodinimo iš metaloorganinių junginių garų fazės (PI MOCVD) būdu buvo užneštas plonas 400 nm storio polikristalinis $La_{0,83}Sr_{0,17}MnO_3$ sluoksnis 4. Ant jo terminio garinimo per trafaretą būdu buvo užneštos sidabro 1 μm storio kontaktinės aikštelės 5. Padėklas su manganito sluoksniu ir kontaktinėmis aikštelėmis buvo deimantinio disko pagalba padalijamas į $1 \times 0,5 \times 0,25 \text{ mm}^3$ dydžio magnetovaržinius jutiklius. Prie kontaktinių aikštelių buvo prijungti sidabriniai laidai 7 ir izoliuoti vytos poros jungiamieji laidai 9. Laidų ir vytos poros prijungimui panaudojamas švino- sidabro (75% - 25%) lydmetalis 8. Vytos poros laidai 9 buvo naudojami, siekiant išvengti parazitinės elektros jėgos įtakos, kuri gali būti indukuota magnetovaržinio jutiklio laiduose, veikiant kintamam magnetiniam laukui. Taip sujungti magnetovaržiniai

jutikliai buvo padengiami poliuretaniniu hermetizuojančiu užpildu (Fig. 1 nepavaizduotas). Taip pagamintų atskirų magnetovaržnių jutiklių varža kambario temperatūroje nesant magnetinio lauko buvo apie 3,3 k Ω , o juos sujungus kaip parodyta Fig. 1, viso suformuoto zondo varža - apie 10 k Ω .

Sumontuoti magnetovaržiniai jutikliai (1, 2, 3) buvo testuojami, matuojant varžos priklausomybę nuo magnetinio lauko, esant skirtingoms jutiklio orientacijoms magnetinio lauko atžvilgiu. Piešinyje Fig. 2 pateiktos vieno magnetovaržinio jutiklio magnetovaržos (MR) priklausomybė nuo kampo tarp jutiklio jautriojo sluoksnio plokštumos ir magnetinio lauko krypties (kreivė 1), esant 290 K temperatūrai. Jutiklis buvo montuojamas ant uždaro ciklo helio kriostato laikiklio. Kriostatas buvo naudojamas stabiliai temperatūrai palaikyti. Laikiklis buvo fiksuojamas tarp elektromagneto polių. Šios priklausomybės matavimo metu buvo palaikomas fiksuotas magnetinis laukas 0,7 T ir fiksuota temperatūra 290 K. Matuojant magnetovaržos anizotropiją, elektromagnetas buvo sukamas plokštumoje statmenoje jutiklio plonojo manganito sluoksnio 4 plokštumai. Matome, kad šios magnetovaržos reikšmė kito nuo -4.63 %, kai kampas buvo 0 ir 180°, iki -1,98 %, kai kampas buvo 90° ir 270°. Taigi, magnetovaržos anizotropija (MRA) sudarė $100\% - [(-4,63 - (-1,98)) / (-4,63)] = 57,2$ %, o tai rodo, kad maksimali matavimo paklaida dėl magnetinio lauko krypties pasikeitimo siekia $57,2/2 = 28,6\%$. Analogiškos magnetovaržos priklausomybės nuo kampo buvo gautos ir matuojant kitus du magnetovaržinius jutiklius.

Toliau šie jutikliai buvo sumontuoti taip, kaip parodyta piešinyje Fig.1, ir elektriškai nuosekliai sujungti. Gautas zondas buvo tikrinamas analogiškai kaip ir atskiri magnetovaržiniai jutikliai. Tame pačiame paveiksle (Fig. 2) pateikta ir siūlomo magnetinio lauko zondo, susidedančio iš trijų vienas kitam statmenai sumontuotų ir elektriškai nuosekliai sujungtų tų pačių magnetovaržinių jutiklių, magnetovaržos priklausomybė nuo kampo. Šiuo atveju 0,7 T magnetinis laukas buvo sukamas taip, kad jis buvo visą laiką lygiagretus vienam iš jutiklio paviršių, o atžvilgiu kitų jutiklių kampas tarp paviršiaus ir lauko buvo keičiamas nuo 0° iki 360° ($\alpha = 0$; $\beta = 0 \div 2\pi$; $\gamma = \pi/2 \div 5\pi/2$) (Fig. 2, kreivė 2). Matome, kad magnetovaržos reikšmės kinta nuo -3,59 % iki -3,87 %. Šiuo atveju minimalios ir maksimalios magnetovaržos vertės stebimos esant kitokiems kampams negu atskirų magnetovaržinių jutiklių atveju, tai yra prie 45° ir 90° kampo ir toliau kas 45°.

Apskaičiavus, gauname kad $MRA = 7,23 \%$, o tai reiškia, kad maksimali matavimo paklaida dėl magnetinio lauko krypties kitimo neviršija $3,7 \%$. Taigi, siūlomas magnetinio lauko zondas įgalina sumažinti magnetovaržos anizotropiją, o tuo pačiu ir maksimalią matavimo paklaidą apie $57,2/7,23 = 7,91$ karto palyginus su vieno jutiklio matavimo paklaida dėl anizotropijos, kas rodo panašią anizotropijos sumažinimo vertę, kaip ir numatyta teoriniuose skaičiavimuose.

Jeigu magnetinio lauko matavimai vykdomi žemesnėse negu kambario temperatūrose, yra tikslinga naudoti ne polikristalinius lantano-stroncio-mangano oksido sluoksnius, o, pavyzdžiui, polikristalinius lantano-kalcio-mangano oksido (La-Ca-Mn-O) sluoksnius arba lantano-stroncio-mangano-kobalto oksido (La-Sr-Mn-Co-O) sluoksnius. Pastarieji pasižymi panašiomis magnetovaržos anizotropijos reikšmėmis, bet jų varžos minimalaus temperatūrinio kitimo ruožas yra žemesnėse temperatūrose.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Skaliarinis magnetinio lauko matavimo zondas, apimantis pirmąjį ir antrąjį magnetovaržinius jutiklius (1, 2), kurių kiekvienas turi atitinkamą dielektrinį padėklą (5₁, 5₂), padengtą atitinkamu plonu sluoksniu (4₁, 4₂) iš medžiagos, kurios elektrinė varža kinta priklausomai nuo magnetinio lauko, o ant kiekvieno magnetovaržinio jutiklio (1, 2) plonojo sluoksnio lokaliai suformuotos elektrai laidžios kontaktinės aikštelės, prie kurių prijungti jungiamieji laidai, skirti elektros srovės šaltiniui prijungti, sudarant nuoseklą elektros grandinę per minėtų magnetovaržinių jutiklių plonuosius sluoksnius, o visas zondas yra padengtas hermetizuojančiu užpildu, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad yra numatytas trečias magnetovaržinis jutiklis (3), turintis dielektrinį padėklą (5₃), padengtą plonu sluoksniu (4₃) iš medžiagos, kurios elektrinė varža kinta priklausomai nuo magnetinio lauko, ir ant trečiojo magnetovaržinio jutiklio (3) plonojo sluoksnio lokaliai suformuotos elektrai laidžios kontaktinės aikštelės, prie kurių prijungti jungiamieji laidai, skirti elektros srovės šaltiniui prijungti, o visi trys minėti magnetovaržiniai jutikliai (1, 2, 3) išdėstyti taip, kad kiekvieno iš minėtų magnetovaržinių jutiklių plonojo sluoksnio plokštuma yra statmena kitų dviejų jutiklių plonųjų sluoksnių plokštumoms, o visų trijų jutiklių (1, 2, 3) elektrai laidžios atitinkamos kontaktinės aikštelės (6₁ - 6₆) ir jungiamieji laidai (7₁, 7₂) tarpusavyje sujungti taip, kad nuosekliai sujungtų visų minėtų trijų magnetovaržinių jutiklių (1, 2, 3) plonuosius sluoksnius (4₁, 4₂, 4₃), suformuojant bendrą zondo varžą, lygią atskirų minėtų jutiklių (1, 2, 3) varžų sumai.

2. Zondas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad plonųjų sluoksnių (4₁, 4₂, 4₃) medžiaga, kurios elektrinė varža kinta priklausomai nuo magnetinio lauko yra polikristalinis lantano- stroncio-mangano oksidas arba polikristalinis lantano-kalcio-mangano oksidas arba polikristalinis lantano-stroncio-mangano-kobalto oksidas.

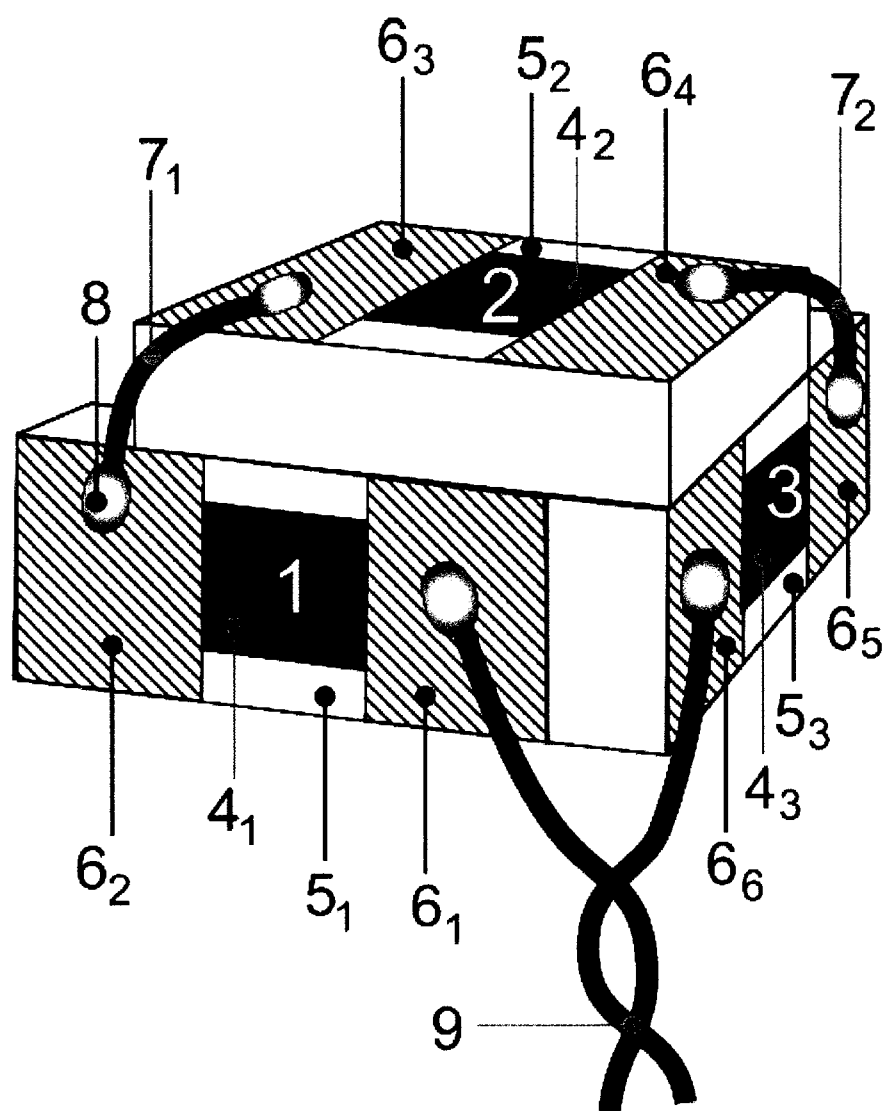


Fig. 1

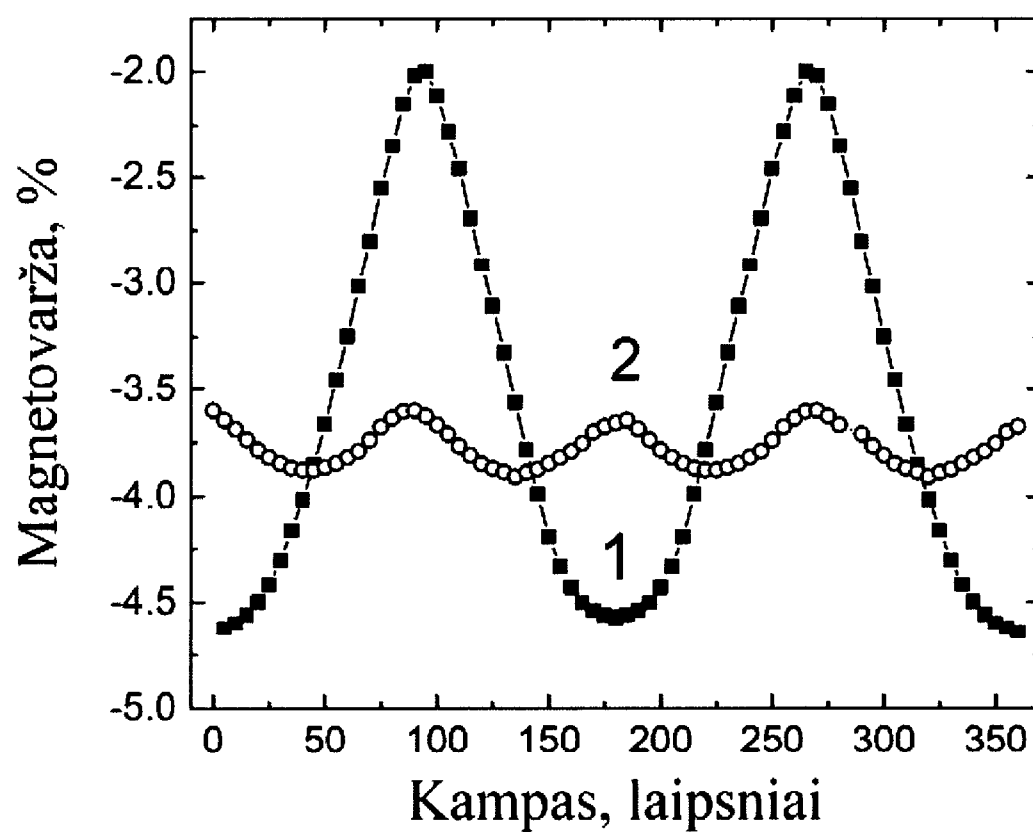


Fig. 2