

(11) Patento numeris: **6691** (51) Int. Cl. (2020.01): **H01L 21/00**
H01L 31/00

(21) Paraiškos numeris: **2018 524**

(22) Paraiškos padavimo data: **2018-06-13**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2019-12-27**

(45) Patento paskelbimo data: **2020-01-27**

(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:

Algirdas SUŽIEDĖLIS, LT
Steponas AŠMONTAS, LT
Jonas GRADAUSKAS, LT
Angelė STEIKŪNIENĖ, LT
Gytis STEIKŪNAS, LT
Maksimas ANBINDERIS, LT

(73) Patento savininkas:

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

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

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

(54) Pavadinimas:

Mikrobangų ir terahercų dažnių elektromagnetinės spinduliuotės jutiklis

(57) Referatas:

Išradimas skirtas puslaidininkinių įtaisų sričiai ir yra susijęs su puslaidininkiniais elektromagnetinės spinduliuotės jutikliais. Pasiūlytas jutiklis, apima peteliškės pavidalo puslaidininkio planarinį darinį, asimetriškai plėtojantį iš centro į priešingas puses, kur darinio viena pusė plėtojama staigiau nei kita priešinga jai pusė, taip suformuojant jutiklio staigiai plėtojančią dalį ir lėtai plėtojančią dalį. Planarinis darinys apima puslaidininkio pagrindą, turintį puslaidininkio aktyviąją sritį, kurią apibrėžia staigiai plėtojanti dalis, ir stipriau, ne mažiau kaip dviem eilėmis lyginant su aktyviąja sritimi, legiruoto puslaidininkio sritis, kurias apibrėžia lėtai plėtojanti dalis ir bent dalis, kuri pratęsia staigiai plėtojančią dalį į išorę. Stipriai legiruoto puslaidininkio sritys yra padengtos metalo sluoksniu, tarp kurio ir stipriai legiruoto puslaidininkio srities suformuotas ominis sąlytis. Siekiant padidinti jutiklio jautrį metalo sluoksnius, dengiantis puslaidininkio dalį, kuri pratęsia staigiai plėtojančią dalį į išorę, yra pratęstas centro kryptimi virš puslaidininkio aktyviosios srities plačiosios dalies dalinai ją perdengiant ir suformuojant sklendę, kuri turi neominį sąlytį su po ja esančia puslaidininkio aktyviosios srities dalimi.

Technikos sritis, kuriai skiriamas išradimas

Išradimas skirtas puslaidininkinių įtaisų sričiai ir yra susijęs su puslaidininkiniais elektromagnetinės spinduliuotės jutikliais. Tiksliau, šis išradimas yra susijęs su nuostoviosos ir impulsinės mikrobangų bei terahercų dažnių spinduliuotės aptikimu ir galios matavimu.

Technikos lygis

Pasiūlyme aprašytas nuostoviosos ir impulsinės mikrobangų ir terahercų dažnių spinduliuotės jutiklis, kuris gali būti naudojamas spinduliuotei aptikti, jos galiai matuoti, o taip pat ir jos impulso formai tirti. Tokie elektromagnetinės spinduliuotės jutikliai gali būti pritaikomi bangolaidžiuose, kitose perdavimo linijose ar tiriant mikrobangų bei terahercų dažnių elektrinio lauko pasiskirstymą atviroje erdvėje naudojant atskirus jutiklius ar iš jų sudarytas jutiklių matricas.

Vienas iš būdų matuoti mikrobangų ir terahercų dažnių spinduliuotės galią yra panaudoti krūvininkų kaitimo reiškinius puslaidininkiuose stipriame spinduliuotės elektriniame lauke. Tokie jutikliai, lyginant juos su kitais šios paskirties prietaisais, pasižymi tokiais privalumais, kaip sugebėjimu atlaikyti didelę spinduliuotės galią, ilgą laiką išlaikyti elektrinių parametrų stabilumą. Fundamentiniai fizikiniai veikimo principai leidžia tokiems jutikliams dirbti plačiame elektromagnetinės spinduliuotės dažnių diapazone, o taip pat detektuoti trumpus spinduliuotės impulsus, kadangi jų veikimo sparta yra ribojama krūvininkų impulso ir krūvininkų energijos relaksacijos trukmėmis, kurios įprastose puslaidininkinėse medžiagose yra pikosekundžių eilės.

Pirmųjų tokių jutiklių konstrukcija buvo taškinis ominis puslaidininkinis sąlytis, prie kurio prijungiamas metalinis zondas. Dėl nevienalyčio elektrinio lauko pasiskirstymo tokiame darinyje susidaro elektrovara, sąlygota nevienalyčio krūvininkų kaitimo elektriniame lauke. Tačiau tokia konstrukcija neleidžia taškinių jutiklių panaudoti aukštų dažnių elektromagnetinių bangų diapazone dėl neišvengiamo jutiklio geometrinių matmenų miniatiūrizacijos ribojimo.

Ši problema buvo išspręsta panaudojant planarinę jutiklio konstrukciją, kai abu jo išvadai yra patalpinti vienoje plokštumoje. Tokiu būdu nuo trimatės jutiklio konstrukcijos pereita prie dvimatės, o puslaidininkinės technologijos leidžia gaminti elektroninius įtaisy, kurių matmenys mažesni už ypač aukšto dažnio (D ruožo) mikrobangų ir net terahercų dažnių spinduliuotės bangos ilgį. Asimetriškai

susiaurintame planariniame vienalyčiame puslaidininkiniame darinyje, dėl nevienalyčio krūvininkų kaitimo veikiant elektromagnetinei spinduliuotei, susidaro bigradientinė elektrovaros jėga.

Artimiausias analogas yra mikrobangų ir terahercų dažnių elektromagnetinės spinduliuotės jutiklis, turintis savyje peteliškės pavidalo puslaidininkio planarinį darinį asimetriškai platėjantį iš centro į priešingas puses, kur darinio viena pusė platėja staigiau nei kita priešinga jai pusė, taip suformuojant jutiklio staigiai platėjančią dalį ir lėtai platėjančią dalį, kur minėtas peteliškės pavidalo planarinis darinys apima puslaidininkio pagrindą, turintį homogeninio puslaidininkio aktyviąją sritį, kurią apibrėžia staigiai platėjanti dalis, ir stipriau, ne mažiau kaip dviem eilėmis lyginant su aktyviąja sritimi, legiruoto puslaidininkio sritį, apimančią likusią darinio dalį, kurią apibrėžia lėtai platėjanti dalis ir dalis, kuri pratęsia staigiai platėjančią dalį į išorę to paties pločio stipriai legiruoto puslaidininkio sritimi, yra padengta metalo sluoksniu, tarp kurio ir stipriai legiruoto puslaidininkio srities suformuotas ominis sąlytis. (S.Ašmontas, J.Grauskas, A.Sužiedėlis, G.Valušis. Submicron semiconductor structure for microwave detection. *Microelectronic Engineering*, V. 53, N. 1-4, p.553-556, 2000.).

Tokia dvimatė konstrukcija funkciniu požiūriu yra artima trimatei taškinio jutiklio konstrukcijai.

Žinomas jutiklis turi esminį trūkumą: jo yra mažas voltvatinis jautris, t.y. indukuotos elektrovaros santykio su krintančios spinduliuotės galia vertė. Teoriškai analogo jautris išreiškiamas taip:

$$S = \frac{U}{P_k} = \frac{\rho_n \mu_0}{h d^2 \ln(1 + a/d)} N. \quad (1)$$

Čia U yra elektrovara [V], P_k – krintančios spinduliuotės galia [W], ρ_n – aktyviosios jutiklio dalies savitoji varža [$\Omega \cdot m$], μ_0 – krūvininkų judris [$m^2 \cdot V^{-1} \cdot s^{-1}$], h – planarinio puslaidininkinio darinio storis [m], d – siauriausios darinio dalies plotis [m], a – jutiklio maksimalus plotis statmenai jo simetrijos ašiai [m], N – dydis priklausantis nuo kitų puslaidininkinės medžiagos parametrų (elektronų impulso ir energijos relaksacijos trukmių, Maxwell'o relaksacijos trukmės, elektronų impulso relaksacijos trukmės priklausomybės nuo energijos laipsnio rodiklio), spinduliuotės dažnio, jutiklyje sugertos energijos dalies krintančiosios energijos atžvilgiu.

Siekiant padidinti jautrį, pagal (1) formulę, galima:

- parinkti didesnės savitosios varžos puslaidininkį,
- mažinti darinio storį,
- mažinti siauriausios darinio dalies plotį.

Pažymėtina, kad visi šie būdai tuo pačiu įtakoja ir jutiklio varžą, o tai sukelia sunkumų suderinant ją su bangolaidžio bangine varža.

Kitas būdas padidinti asimetriškai susiaurinto jutiklio jautrį yra staigiai plėtėjančioje aktyviojoje srityje naudoti įvairiatarpių puslaidininkių sandūras, kuriose susidaro dvimačiai elektronų sluoksniai (2DEG sluoksniai) pasižymintys itin dideliu krūvininkų judriu žemoje temperatūroje (D. Seliuta, E. Širmulis, V. Tamošiūnas, S. Balakauskas, S. Ašmontas, A. Sužiedėlis, J. Gradauskas, G. Valušis, A. Lisauskas, H.G. Roskos and K. Köhler. Detection of terahertz/sub-terahertz radiation by asymmetrically-shaped 2DEG layers. Electron. Lett., Vol.40, N 10, p.631-632, 2004), dėl ko ženkliai sumažėja jutiklio elektrinė varža, kas leidžia žymiai padidinti jutiklio sugeriamą elektromagnetinę energiją. Pastarojo metodo trūkumas – jutiklį reikia šaldyti iki skystojo azoto ar net žemesnių kriogeninių temperatūrų siekiant gauti ženklų krūvininkų judrio, o tuo pačiu ir jautrio, padidėjimą.

Sprendžiama techninė problema

Išradimu siekiama padidinti mikrobangų ir terahercų dažnių spinduliuotės jutiklio jautrį.

Uždavinio sprendimo esmė pagal pasiūlytą išradimą yra ta, kad mikrobangų ir terahercų dažnių elektromagnetinės spinduliuotės jutiklyje, apimančiame peteliškės pavidalo puslaidininkio planarinį darinį, asimetriškai plėtėjančią iš centro į priešingas puses, kur darinio viena pusė plėtėja staigiau nei kita priešinga jai pusė, taip suformuojant jutiklio staigiai plėtėjančią dalį ir lėtai plėtėjančią dalį, minėtas peteliškės pavidalo planarinis darinys apima puslaidininkio pagrindą, turintį puslaidininkio aktyviąją sritį, kurią apibrėžia staigiai plėtėjanti dalis, ir stipriau, ne mažiau kaip dviem eilėmis lyginant su aktyviąja sritimi, legiruoto puslaidininkio sritis, kurias apibrėžia lėtai plėtėjanti dalis ir bent dalis, kuri pratęsia staigiai plėtėjančią dalį į išorę, stipriai legiruoto puslaidininkio sritys yra padengtos metalo sluoksniu, tarp kurio ir stipriai legiruoto puslaidininkio srities suformuotas ominis sąlytis, kur metalo sluoksnis,

dengiantis bent puslaidininkio dalį, kuri pratęsia staigiai plėtėjančią dalį į išorę, yra pratęstas centro kryptimi virš puslaidininkio aktyviosios srities plačiosios dalies dalinai ją perdengiant ir suformuojant sklendę, kuri turi neominį sąlytį su po ja esančia puslaidininkio aktyviosios srities dalimi.

Pagrindo puslaidininkis yra iš homogeninės medžiagos arba sudarytas iš įvairiatarpių puslaidininkinių sluoksnių. Minėtos sklendės su po ja esančia aktyviaja sritimi neominis sąlytis yra Šotkio tipo puslaidininkio ir metalo sandūra. Minėtos sklendės su po ja esančia aktyviaja sritimi neominis sąlytis yra metalas-izoliatorius-puslaidininkis tipo darinys.

Išradimo naudingumas. Pagal išradimą pasiūlytas jutiklis palyginus su analogais turi žymiai didesnę jautrį, kuris pasiekiamas suformuojant metalo sluoksnį-sklendę virš puslaidininkio aktyviosios srities plačiosios dalies dalinai ją perdengiant ir kur suformuota sklendė turi Šotkio tipo arba metalas-izoliatorius-puslaidininkis tipo sąlytį su po ja esančia aktyviosios srities dalimi. Tokios konstrukcijos jutiklyje yra sudarytos sąlygos gauti didesnę spinduliuotės elektrinio lauko gradientą, labiau nevienalytį krūvininkų kaitimą, ir taip gauti didesnę elektrovarą esant toms pačioms spinduliuotės galios vertėms.

Išradimas detaliau paaiškinamas brėžiniais, kur

Fig.1 – pavaizduotas mikrobangų ir terahercų dažnių elektromagnetinės spinduliuotės jutiklis

- a) vaizdas iš viršaus,
- b) išilginio pjūvio vaizdas

Išradimo realizavimo aprašymas

Pasiūlytas jutiklis turi peteliškės pavidalo puslaidininkio planarinį darinį asimetriškai plėtėjančią iš centro į priešingas puses. Struktūros viena pusė plėtėja staigiau ir suformuoja jutiklio staigiai plėtėjančią dalį 1, o kita priešinga pusė plėtėja lėčiau ir suformuoja lėtai plėtėjančią dalį 1a. Asimetriškas puslaidininkio planarinis darinys turi puslaidininkio pagrindą, kuris yra iš homogeninės puslaidininkio medžiagos arba įvairiatarpių puslaidininkio sluoksnių ir sudarytas iš aktyviosios srities, kurią apibrėžia staigiai plėtėjanti dalis 1 ir stipriau, ne mažiau kaip dviem eilėmis lyginant su aktyviaja sritimi 1, legiruoto puslaidininkio sričių 2, kurias apibrėžia lėtai

platėjanti dalis 1a su ją pratęsiančia į išorę išilginės ašies kryptimi dalimi ir dalis 1b, kuri staigiai platėjančią dalį 1 pratęsia į išorę išilginės ašies kryptimi. Stipriai legiruoto puslaidininkio sritys 2 yra padengtos metalo sluoksniu 3 tarp kurio ir stipriai legiruoto puslaidininkio sričių 2 suformuotas ominis sąlytis 4. Metalo sluoksnis 3, dengiantis dalį 1b yra pratęstas centro kryptimi virš puslaidininkio aktyviosios srities 1 plačiosios dalies dalinai ją perdengiant ir suformuojant sklendę 5.

Viename iš jutiklio realizavimo pavyzdžių sklendė 5 turi Šotkio tipo puslaidininkio ir metalo sandūrą su po ja esančia puslaidininkio aktyviosios srities dalimi 1, kur aktyviosios srities (1) puslaidininkis pasirinktinai gali būti homogeninis arba sudarytas iš įvairiatarpių puslaidininkių sluoksnių. Priklausomai nuo pasirinkto pagrindo tuo pačiu ir aktyviosios srities 1 puslaidininkio homogeninės medžiagos ar medžiagos sluoksnių atitinkamai parenkamas sluoksnio 3 metalas, įgalinantis gauti Šotkio tipo puslaidininkis-metalas sandūrą. Pavyzdžiui, jeigu aktyviosios srities 1 homogeninis puslaidininkis yra silicis, tai sluoksnio 3 metalas gali būti platina. Kitu atveju, jeigu aktyviosios srities 1

homogeninis puslaidininkis yra GaAs, sluoksnio 3 metalui tinka Al, Pd. Taip pat aktyviosios srities 1 puslaidininkis gali būti sluoksniuotas, pavyzdžiui iš GaAs/AlGaAs sluoksnių arba pasirinktinai iš įvairių šių dviejų medžiagų derinių.

Kitame realizavimo pavyzdyje jutiklio sklendė 5 su po ja esančia aktyviosios srities 1 dalimi turi metalas-izoliatorius-puslaidininkis tipo sąlytį. Šiuo atveju kai aktyvios srities 1 puslaidininkis yra Si, izoliatorius dažniausiai būna SiO₂, o metalas gali būti auksas Taip pat gali būti ir kiti deriniai. Kai aktyvios srities 1 puslaidininkis yra GaAs šiuo atveju taip pat izoliatorius gali būti SiO₂, o metalas – auksas. Šiuo atveju aktyviosios srities 1 puslaidininkis taip pat gali būti sluoksniuotas, pavyzdžiui iš GaAs/AlGaAs sluoksnių arba pasirinktinai iš įvairių šių dviejų medžiagų derinių.

Pagal išradimą pasiūlytas mikrobangų ir terahercų dažnių elektromagnetinės spinduliuotės jutiklis realizuojamas vienu iš šių būdų.

Asimetriškai susiaurinto puslaidininkinio planarinio įrenginio gamybos metu elektriniai išvadai, t.y. metalo sluoksniai 3, sudarantys ominį sąlytį 4 su puslaidininkiu 2, puslaidininkinės technologijos būdu dengiami metalo sluoksniu 3, kuris dengia ominio sąlyčio metalą 4 ir dalinai dengia staigiai platėjančios puslaidininkio aktyviosios srities 1 plačiąją dalį dalinai ją perdengiant ir suformuojant sklendę 5, kuri

nesudarydama omino sąlyčio su puslaidininkiu sudaro Šotkio sąlytį su po ja esančia homogeninio puslaidininkio aktyviosios srities dalimi 1.

Asimetriškai susiaurinto puslaidininkinio planarinio įrenginio gamybos metu staigiai plėtėjančios puslaidininkio srities 1 paviršius prieš metalo sluoksnio nusodinimą puslaidininkinės technologijos būdu dengiamas plonu elektrinio izoliatoriaus sluoksniu; stipriau legiruota puslaidininkio sritis 2 nedengiama izoliatoriaus sluoksniu. Po to vienu atskiru technologiniu etapu nusodinamas metalas ir ant stipriau legiruotų puslaidininkio sričių 2, kur bus formuojami ominiai sąlyčiai, ir virš izoliatoriumi padengtos aktyviosios dalies 1 silpniau legiruotos puslaidininkio srities, kur suformuojama sklendė 5.

Veikiant elektromagnetinei mikrobangų ar terahercų dažnių spinduliuotei, tarp jutiklio elektrinių išvadų susidaro elektrovara. Sklendė įgyja tokį patį elektrinį potencialą, koks yra su ja vientisą metalinį masę sudarančiame išvade. Šis elektrinis potencialas keičia aktyviosios puslaidininkio srities 1 krūvininkų kaitinimo elektriniu lauku sąlygas. Tokiu būdu jutiklio voltvatinis jautris padidėja nuo kelių iki kelių dešimčių kartų.

Išradimo apibrėžtis

1. Mikrobangų ir terahercų dažnių elektromagnetinės spinduliuotės jutiklis, apimantis peteliškės pavidalo puslaidininkio planarinį darinį asimetriškai platėjantį iš centro į priešingas puses, kur darinio viena pusė platėja staigiau nei kita priešinga jai pusė, taip suformuojant jutiklio staigiai platėjančią dalį (1) ir lėtai platėjančią dalį (1a), minėtas peteliškės pavidalo planarinis darinys apima:

puslaidininkio pagrindą, turintį:

puslaidininkio aktyviąją sritį, kurią apibrėžia staigiai platėjanti dalis (1), ir stipriau, ne mažiau kaip dviem eilėmis lyginant su aktyviąja sritimi (1), legiruoto puslaidininkio sritis (2), kurias apibrėžia lėtai platėjanti dalis (1a) ir bent dalis (1b), kuri pratęsia staigiai platėjančią dalį (1) į išorę,

stipriau legiruoto puslaidininkio sritys (2) yra padengtos metalo sluoksniu (3), tarp kurio ir puslaidininkio srities (2) suformuotas ominis sąlytis (4), b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad metalo sluoksnis (3), dengiantis minėtą dalį (1b), kuri pratęsia staigiai platėjančią dalį (1) į išorę, yra pratęstas centro kryptimi virš puslaidininkio aktyviosios srities (1) plačiosios dalies dalinai ją perdengiant ir suformuojant sklendę (5), kuri turi neominį sąlytį su po ja esančia puslaidininkio aktyviosios srities (1) dalimi.

2. Jutiklis pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad pagrindo puslaidininkis yra iš homogeninės medžiagos arba sudarytas iš įvairiatarpių puslaidininkių sluoksnių.

3. Jutiklis pagal bet kurį iš 1-2 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtos sklendės (5) su po ja esančia aktyviąja sritimi neominis sąlytis yra Šotkio tipo puslaidininkio ir metalo sandūra.

4. Jutiklis pagal bet kurį iš 1-2 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtos sklendės (5) su po ja esančia aktyviąja sritimi neominis sąlytis yra metalas-izoliatorius-puslaidininkis tipo.

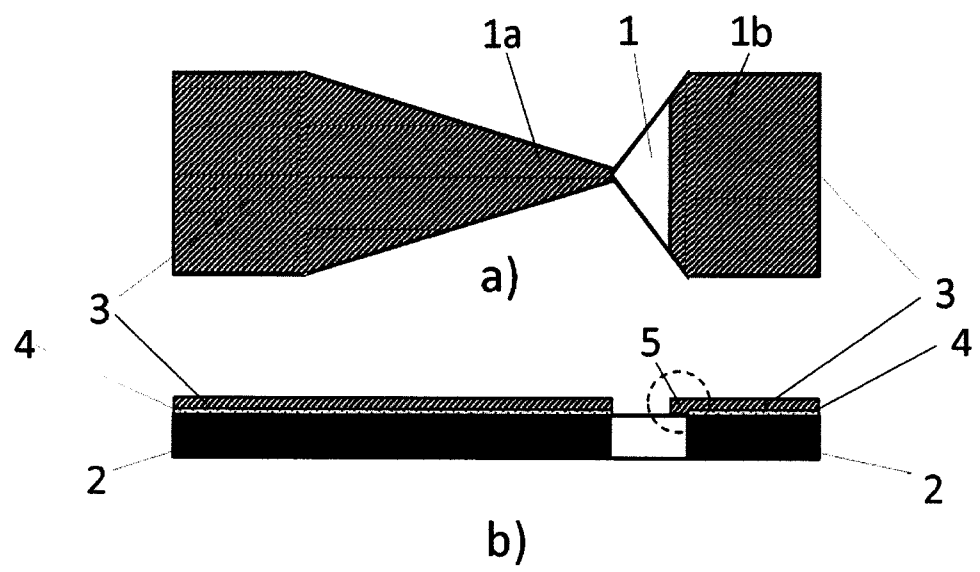


Fig. 1