

## (12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2024 537**

(22) Paraiškos padavimo data: **2024-10-30**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2026-05-11**

(71) Pareiškėjas:

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

(72) Išradėjas:

**Eimutis JUZELIŪNAS, LT**  
**Skirmantė TUTLIENĖ, LT**  
**Aldis ŠILĖNAS, LT**  
**Asta GRIGUCEVIČIENĖ, LT**  
**Konstantinas LEINARTAS, LT**  
**Laurynas STAIŠIŪNAS, LT**

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

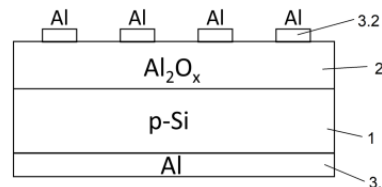
**Otilija KLIMAITIENĖ, 35, AAA Law, A. Goštauto g. 40B, Verslo centras „Dvyniai“, LT-03163 Vilnius, LT**

(54) Pavadinimas:

**Silicio puslaidininkis įtaisas su plonu metalo oksido sluoksniu ir jo gamybos būdas**

(57) Referatas:

Išradimas priklauso puslaidininkių įtaisų ir jų gamybos techninei sričiai. Konkrečiau, išradimas atskleidžia puslaidininkį įtaisą, apimantį p-puslaidininkio (p-silicio) substrato sluoksnį (1), ant kurio suformuotas plonas nanometrinio storio amorfinis  $Al_2O_x$  sluoksnis (2), su kontaktiniais išvadais (3.1, 3.2) iš kiekvieno šių sluoksnių. Įtaisas pasižymi tuo, kad  $Al_2O_x$  sluoksnis (2) nėra n-puslaidininkis, tačiau hetero-jungtis sudaryta tarp p-puslaidininkio substrato (1) ir  $Al_2O_x$  sluoksnio (2) pasižymi p-n puslaidininkių sandūrai būdingomis elektrinėmis savybėmis. Taip pat, atskleidžiamas šio įtaiso gamybos būdas zolių-gelių metodu. Šis puslaidininkis įtaisas suteikia analogišką funkcionalumą, kaip ir p-n puslaidininkių sandūros įtaisai, tačiau techniškai jis ir jo gamyba efektyvesni. Taikymai: optoelektronika, šviesos jutikliai, diodai, fotodiodai, fotovoltiniai prietaisai, elektrocheminiai fotoelektrodai.



1 pav.

## SILICIO PUSLAIDININKIS ĮTAISAS SU PLONU METALO OKSIDO SUOKSNIU IR JO GAMYBOS BŪDAS

### TECHNIKOS SRITIS

Išradimas priklauso puslaidininkių įtaisų ir jų gamybos techninei sričiai. Konkrečiau, šis išradimas atskleidžia puslaidininkį įtaisą, apimantį p-puslaidininkio (p-silicio) substrato sluoksnį, ant kurio suformuotas plonas amorfinis aliuminio oksido  $Al_2O_x$  sluoksnis, su kontaktiniais išvadais iš kiekvieno sluoksnio. Taip pat, atskleidžiamas šio įtaiso gamybos būdas zolių-gelių metodu. Taikymo sritys: optoelektronika, šviesos jutikliai, diodai, fotodiodai, fotovoltiniai prietaisai, elektrocheminiai fotoelektrodai.

### 10 TECHNIKOS LYGIS

Tipinio puslaidininkinio įtaiso (pavyzdžiui, elektros srovės lyginimo diodo) savybes lemia n- ir p- tipų puslaidininkių p-n tipo sandūra. Šioje p-n sandūroje susiformuoja pereinamoji zona, kurioje iš n-tipo puslaidininkio srities elektronai difunduoja į p-tipo puslaidininkio sritį, o priešinga kryptimi difunduoja skylės. Tokia puslaidininkių p-n sandūra sąlygoja vienpusį elektrinį laidumą: puslaidininkio įtaiso sluoksnių sistema yra elektriškai laidi tiesiogine kryptimi - kuomet teigiamas srovės šaltinio terminalas jungiamas prie p-tipo puslaidininkinio terminalo, o neigiamas srovės šaltinio terminalas jungiamas prie n-tipo puslaidininkinio terminalo. Priešingos (atvirkštinės) krypties jungimo atveju, p-n sandūra praktiškai nepraleidžia elektros srovės. Tačiau, p-n sandūrą apšvietus šviesos srautu, jos elektrinis laidumas atgaline kryptimi padidėja: ši įtaiso sluoksnių sistema pradeda veikti kaip fotovoltinis įrenginys, keičiantis šviesos energiją į elektros energiją. Pavyzdžiui, saulės baterija arba elektrocheminis fotoelektrodas. Tuo tarpu, eksploatuojant p-n sandūrą tamsoje, jos minėtas vienpusis elektrinis laidumas gali būti naudojamas keisti kintamąją elektros srovę į nuolatinę srovę (taip veikia elektros srovės lygintuvai – puslaidininkiai diodai).

Minėta puslaidininkių p-n sandūra gali būti suformuota ir panaudojant plonus puslaidininkio sluoksnius. Ploni neorganinių puslaidininkių sluoksniai yra formuojami terminio purškimo ir kondensacijos vakuume būdu. Taip pat, puslaidininkių sluoksniai gali

būti formuojami ir cheminiu garų nusodinimo iš metalų organinių junginių fazės, fizikiniu nusodinimo iš garų fazės metodais.

Tradicinių fotodiodų gamyba yra technologiškai sudėtinga ir brangi dėl p- ir n- zonų formavimo aukšto grynumo silicyje. Pavyzdžiui, įterpant boro ir fosforo priemaišas, yra  
5 reikalinga tiksli proceso kontrolė ir palyginti sudėtingos technologinės procedūros.

Pagal gamybos principą ir techninę paskirtį artimiausias analogas yra aprašytas straipsnyje F. Yakuphanoglu, Y. Caglar, M. Caglar, S. Ilican, [ZnO/p-Si heterojunction photodiode by sol-gel deposition of nanostructure n-ZnO film on p-Si substrate](#). Mater Sci Semiconduct Proc 2010, 11, 137- 140. DOI: 10.1016/j.mssp.2010.05.005. Žinomas  
10 hetero-jungties fotodiodas veikia ultravioletinės srities trumpųjų bangų diapazone ir buvo suformuotas zolių-gelių metodu, padengiant p-tipo silicij n-tipo cinko oksido (n-ZnO) sluoksniu. Šio analogo trūkumas yra fotodiodo gamybai reikalinga tiksli oksido sluoksnio nusodinimo kontrolė, nes reikalinga suformuoti n-tipo puslaidininkio sluoksnį su tam tikra donorų (elektronų) koncentracija. Tai pasiekti ir kontroliuoti atliekant zolių-gelių sintezę  
15 yra sudėtinga. Kitas trūkumas yra tai, kad aprašyto fotodiodo veikimas ir taikymas yra apriboti tik ultravioletine šviesos spektro sritimi, šis fotodiodas neaktyvus regimojoje šviesoje. Taip pat, siekiant oksido sluoksnio ilgalaikio stabilumo, yra reikalinga naudoti inertiškus tauriųjų metalų kontaktus, kas yra brangu. Stabilumą yra galima pasiekti ir naudojant oksidui giminingą metalą, kuris šiuo atveju būtų cinkas (Zn). Tačiau, cinkas  
20 atmosferoje yra nestabilus, jis greitai degraduoja dėl aktyvios korozijos, ypatingai būdamas kontakte su kitu elektrinės grandinės metalu, pavyzdžiui, su variu.

Pagal gamybos būdą iš dalies artimas ir pagal techninę paskirtį artimas analogas yra aprašytas straipsnyje F. Yakuphanoglu, F. S. Shokr, R. K. Gupta, Ahmed A. Al-Ghamdi, S. Bin-Omran, Yusuf Al-Turki, Farid El-Tantawy, [A new type photodiode: p-Si/GaN pn junction in series with GaN/Ag Schottky diode](#). Journal of Alloys and  
25 Compounds 2015, 650, 671-675. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.08.025. Žinomas p-n jungties fotodiodas suformuotas naudojant zolių-gelių sintezės metodą n-tipo galio nitrido milteliams paruošti ir jie naudojami terminiam nusodinimui ant p-tipo silicio. Šio analogo trūkumas yra aukštos kokybės GaN puslaidininkių formavimo specializuotos technikos  
30 poreikis, net jei ir naudojamas zolių-gelių sintezės metodas pirminiems galio nitrido

milteliams gaminti, vis tiek yra reikalinga vakuuminė terminio nusodinimo technika fotodiodui formuoti.

JAV patentinė paraiška „Semiconductor Device and Method of Forming Shallow P-N Junction with Sealed Trench Termination“ numeriu [US20150123240A1](#) atskleidžia efektyvesnius puslaidininkinių įtaisų gamybos procesus: puslaidininkinio įtaiso pagrindas turi pirmojo laidumo tipo puslaidininkinės medžiagos, o pirmasis sluoksnis - antrojo laidumo tipo puslaidininkinės medžiagos, todėl riboje tarp pirmojo sluoksnio ir pirmojo laidumo tipo puslaidininkinės medžiagos yra p-n sandūra. Pirmajame sluoksnyje anizotropinio ėsdinimo būdu suformuojama vertikali įduba, apvalios arba daugiakampės formos, kurios gylis tęsiasi bent iki sandūros ribos, bet nedaugiau nei 40 mikronų. Ši įduba/ertmė padengiama ar pilnai užpildoma izoliacine medžiaga, dielektriku. Taip izoliacine medžiaga užpildyta įduba, padidina pramušimo įtampą ir sumažina gamybos laiką bei sudėtingumą. Toks patobulintas puslaidininkinis įtaisas gali būti diodu, tranzistoriumi, lygintuvu, nepastoviųjų įtampų slopintuvu, silicio valdomu lygintuvu ir triodu. Šis dokumentas [US20150123240A1](#) nesiūlo keisti gerai žinomų puslaidininkinių ar izoliatoriaus savybių turinčių medžiagų, nesiūlo keisti ir sudėtingų sluoksnių formavimo metodų, aprašomi tradiciniai puslaidininkiniai junginiai bei sudėtingiems puslaidininkiniams įtaisams formuoti naudojami metodai, tokie kaip cheminis dangų nusodinimas, terminis garinimas, laminavimas, poliravimas, ėsdinimas, fizikinis nusodinimas iš garų fazės ir pan. O aliuminio oksidas  $Al_2O_3$  minimas kaip gerai žinoma ir naudojamas izoliacinė medžiaga iš kurios būtų galima formuoti dielektrinį sluoksnį.

JAV patentas „Integrated circuits utilizing amorphous oxides“ numeriu [US8203146B2](#) įtaisuose n-tipo puslaidininkinei sričiai sudaryti siūlo naudoti amorfinius oksidus. Patentas pateikia 15 prietaisų pavyzdžių kuriems pagaminti naudojami mišrūs amorfiniai oksidų variantai, kurie pasižymi n-tipo puslaidininkinėms savybėmis. Dokumente pateikiami puslaidininkiniai įtaisai ir grandynai, kuriuose naudojamos skaidrios oksido plėvelės. Puslaidininkinis įtaisas turi p-tipo sritį ir n-tipo sritį, o n-tipo sričiai naudojami amorfiniai oksidai, kurių elektronų nešiklių koncentracija yra mažesnė nei  $10^{18}/cm^3$ , tačiau didesnė nei  $10^{12}/cm^3$ . Siūlomi amorfiniai oksidai turi sudėtyje turėti In, Ga ir Zn elementų, o mišrus junginys siūloma turėtų būti iš įvairių galimų  $In_{2-x}M_3xO_3$

$(Zn_{1-y}M_2yO)_m$ , junginio sudėčių, čia  $M_2$  yra Mg ar Ca;  $M_3$  yra B, Al, Ga ar Y;  $0 \leq x \leq 2$ ;  $0 \leq y \leq 1$ ; m nuo 0 iki 6. Šiame patente aprašyti įtaisai pulsinio lazerio nusodinimo metodu.

JK patentinė paraiška „Avalanche photodiode“ [GB2054957A](#) atskleidžia lavininį fotodiodą, kuriame stiprinimo sritis suformuota iš p-n sandūros pirmojoje puslaidininkinėje medžiagoje, kurią iš vienos pusės tiesiogiai arba netiesiogiai riboja antrosios puslaidininkinės medžiagos sluoksnis, kuriame sugerama šviesa ir kuriame elektronų ir skylių jonizacijos koeficientų santykis yra artimesnis vienetui nei atitinkamas santykis pirmojoje stiprinamosios srities medžiagoje. Paprastai stiprinančiosios srities puslaidininkinė medžiaga yra Si, o sugeriančiojo sluoksnio - Ge, GaInAsP, GaInAs arba CnInSe<sub>2</sub>. Aprašyto fotodiodo puslaidininkiniai sluoksniai yra elementiniai puslaidininkiai, tokie kaip Ge arba Si, sudėtiniai puslaidininkiai, tokie kaip GaAs, InP arba CuInSe<sub>2</sub>, arba puslaidininkių lydiniai, tokie kaip Ga<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>As arba Ga<sub>1-x</sub>In<sub>1-x</sub>As<sub>1-y</sub>Py. Šis dokumentas aprašo „klasikinio“ puslaidininkinio įtaiso struktūrą ir savybes, ir nurodo, jog svarbu yra sluoksnių kristališkumas, tai yra, pageidautina, kad sluoksniai yra monokristalai, o ypač stiprinimo sritis turėtų būti aukščiausios kokybės kristalai. Absorbuojantis sluoksnis gali būti ir polikristalinis arba amorfinis, tik tokiu atveju, jei tarp stiprinančiosios srities ir absorbuojančio sluoksnio yra naudojama lauko stiprį mažinanti sritis.

Dar vienas straipsnis Dikicioğlu, E., & Polat, B. (2024), [Analysis of Current-Voltage Properties of Al/p-si Schottky Diode with Aluminium Oxide Layer](#), GU J Sci, Part A, 11 (1), 137-146. doi:10.54287/gujssa.1413932, atskleidžia tyrimą, kuriame tirtas metalo oksido (aliuminio oksido, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) plonos plėvelės, esančios tarp metalo ir puslaidininkio, poveikis diodo charakteristikoms. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> plona plėvelė auginta ant p-tipo silicio substrato atominio sluoksnio nusodinimo (ALD) metodu. Tyrimui pagaminta diodo struktūra su oksido tarpsluoksniu. Siekiant iširti pagaminto Šotkio diodo elektrinius parametrus, buvo atlikti srovės nuo įtampos (I-V) matavimai kambario temperatūroje ir 5V įtampos diapazone. Naudojant I-V matavimus, diodų parametrai, tokie kaip barjero aukštis ( $\Phi_b$ ), idealumo koeficientas (n) ir srovės tankis (I<sub>0</sub>), įvertinti naudojant terminės emisijos (TE) teoriją ir Cheungo metodą. Taikant TE metodą ir Cheungo metodą, apytikslės  $\Phi_b$ , n parametru reikšmės apskaičiuotos atitinkamai 0,77 eV, 5,43 ir 0,77 eV, 5,97. Remiantis skaičiavimais, sukurtas Šotkio diodas yra lygintuvas ir nustatyta, kad turi fotodiodinių savybių. Šis tyrimas leidžia suprasti Šotkio prietaisų, kurių pagrindas yra Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, gamybą

ir elektrines charakteristikas. Čia ALD metodu pagaminta  $\text{Al}_2\text{O}_3$  danga/sluoksnis yra kristalinis ir turi stiprias dielektrines savybes, kai  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kristalinio sluoksnio draustinė juosta yra 9 eV.

## IŠRADIMO ESMĖ

5 **Techninė problema.** Šiuo išradimu siekiama sukurti efektyvesnę puslaidininio įtaiso, apimančio p-Si ir metalo oksido plonasluoksnę hetero-sandūrą, struktūrą, pasižyminčią p-n sandūros savybėmis, kur puslaidininkis įtaisas veiktų kaip fotodiodas, diodas ar kitos paskirties įtaisas. Taip pat siekiama optimizuoti/efektyvinti šio puslaidininio įtaiso gamybos būdą, naudojant paprastesnes ir pigesnes gamybos technologijas.

10 **Techninis sprendimas.** Šio išradimo atveju krūvininkų sandūrai formuoti ant p-tipo puslaidininkio nėra naudojamas n-tipo puslaidininkis, kokio nors jo forma. Tai yra - nenaudojama žinoma įprastinė p- ir n- tipo puslaidininkių sandūra.

**Įtaiso struktūra.** Šio išradimo techninis sprendimas: kad ant p-tipo puslaidininkio substrato (sluoksnio) suformuojama hetero-jungtis su plonu nanometriniu (pavyzdžiui, 15 kelių dešimčių–kelių šimtų nanometrų eilės) storio amorfiniu aliuminio oksido  $\text{Al}_2\text{O}_x$  sluoksniu. Nors  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sluoksniai įprastai žinomi ir naudojami kaip dielektrikai. Tai yra, p-tipo puslaidininkis padengiamas (pavyzdžiui, zolių-gelių metodu) plonu (nanometriniu) amorfiniu  $\text{Al}_2\text{O}_x$  sluoksniu, tačiau ties kuriuo spontaniškai formuojasi krūvininkų sąsaja, kaip p-n sandūroje.

20 Tokia p-puslaidininkio ir plono amorfinio  $\text{Al}_2\text{O}_x$  sluoksnio hetero-sandūra tamsoje praleidžia elektros srovę tiesiogine kryptimi, bei nepraleidžia atgaline kryptimi: tai yra, hetero-sandūra atlieka puslaidininkinio diodo funkciją. O šią hetero-sandūrą apšvietus regimąja šviesa, padidėja jos laidumas atgaline kryptimi ir sluoksnių sandūros sistema veikia kaip fotodiodas.

25 Išradimo apimtyje, nanometriniu storio amorfinis aliuminio oksido  $\text{Al}_2\text{O}_x$  sluoksnis formuojamas zolių-gelių metodu, jį adaptavus specialiai šiam tikslui.

Suformuoto  $\text{Al}_2\text{O}_x$  sluoksnio tinkamas storis gali būti nanometrų eilės storio (tai yra, iki 1000 nm). Tinkamiausiu atveju, šio sluoksnio optimalus storis yra ribose nuo 40 nm iki 150 nm. P-tipo silicio paviršiaus modifikavimas zolių-gelių metodu aliuminio oksido  $\text{Al}_2\text{O}_x$

sluoksniu (40 nm – 150 nm) kuomet yra formuojama plonasluoksnė krūvininkų sandūra, pasižyminti p-n sandūros savybėmis.

Puslaidininkinis įtaisas (diodas, fotodiodas) gaminamas su metalo, tinkamiausiu atveju, aliuminio, išoriniais kontaktais.

5 Puslaidininkis įtaisas (diodas) yra gaminamas su ištisiniais aliuminio kontaktais iš abiejų įtaiso pusių, tai yra, p-tipo silicio pusės ir  $Al_2O_x$  sluoksnio pusės. Kai yra gaminamas šviesai jautrus puslaidininkinis įtaisas (fotodiodas) ištisinis aliuminio kontaktas dengiamas iš p-puslaidininkinės pusės, o fragmentuoti aliuminio mini-kontaktai (milimetrų eilės)  $Al_2O_x$  sluoksnio pusėje, t.y. apšviečiamojoje pusėje.

10 Apšvietimui naudojamos šviesos bangos ilgio energija yra didesnė už Si draudžiamąją juostą.

**Gamybos būdas.** Esminis įtaiso gamybos žingsnis yra p-puslaidininkio (pavyzdžiui, p-silicio) padengimas nanometriniu storio amorfiniu  $Al_2O_x$  sluoksniu. Tam naudojamas žinomas zolių-gelių metodas, tačiau, šio išradimo apimtyje zolių-gelių metodas yra optimizuotas taip, kad pagamintas įtaisas turėtų reikalingas esmines savybės. Vienas esminių savybių yra ta, kad  $Al_2O_x$  sluoksnis būtų: 1) reikiamo nanometriniu storio 2) šio sluoksnio storio tikslus nustatymas (dengimo kontrolė), 3)  $Al_2O_x$  sluoksnis turi būti skaidrus ir 4)  $Al_2O_x$  sluoksnis būtų amorfinis, tačiau neturėtų kristalinės struktūros.  $Al_2O_x$  amorfiškumas leidžia šį sluoksnį realizuoti numatyto storio, o taip pat,  $Al_2O_x$  sluoksnis efektingai sukimba su p-puslaidininkio substratu, ir gaunama ženkliai geresnė hetero-jungties (sandūros) kokybė. Toks įtaisas patikimesnis ir atsparesnis įvairiems eksploatacijos faktoriams. Amorfinis  $Al_2O_x$  sluoksnis gaunamas, zolių-gelių metode naudojant tam tikrą padengto  $Al_2O_x$  sluoksnio džiovinimo bei iškaitinimo temperatūras, kuriose  $Al_2O_x$  nesikristalيزuoja, bet išlieka amorfiniu.

25 Tinkamiausiu atveju, įtaiso kontaktai gaminami iš to paties metalo, iš kurio oksido suformuotas ir hetero-jungties metalo-oksido sluoksnis, tai yra, aliuminio. Tokiu atveju, kontakto metalo paviršius yra chemiškai giminingas zolių-gelių metodu suformuotam aliuminio oksido  $Al_2O_x$  nanometriniams sluoksniams ir todėl pasiekama gera adhezija. Taip pat, eksploatacijos metu,  $Al_2O_x$  sluoksnis nedegraduoja dėl kitos rūšies metalo  
30 intervencijos.

Įtaiso elektriniai kontaktai formuojami terminio užgarinimo būdu per atitinkamos konfigūracijos šabloną ir kaitinami ties 400 °C inertiškoje (pavyzdžiui, azoto arba argono) atmosferoje.

**Išradimo efektai.** Išradimo esminis efektas yra įtaiso konstrukcinis efektyvumas, bei jo gamybos būdo efektyvumas. Puslaidininkis įtaisas neturi p-n puslaidininkių sandūros, tačiau apima p-puslaidininkio hetero-jungtį su nanometriniu storio  $\text{Al}_2\text{O}_x$  sluoksniu, kur ši hetero-jungtis pasižymi p-n sandūros savybėmis - yra elektriškai gerai laidūs tiesiogine kryptimi ir menkai laidūs atbuline kryptimi. Šios p-n sandūrai būdingos savybės susiformuoja minėtoje hetero-sąsajoje p-silicis/oksidai, sluoksnių padengimo proceso metu. Minėtoms p-n sandūros savybėms gauti, nereikalingas n-tipo puslaidininkio sluoksnio formavimas.

Atitinkamai, antrinis efektas bei privalumas yra tokio puslaidininkio įtaiso ir jo gamybos proceso ekonominis naudingumas bei ekologiškumas. Išradime naudojamas aliuminio oksido  $\text{Al}_2\text{O}_x$  sluoksnio formavimas zolių-gelių metodu yra pigus: nereikalinga sudėtinga ir brangi vakuuminė įranga bei elektronika, nenaudojamos ir brangios medžiagos (pavyzdžiui, taurieji metalai ar žemės retieji elementai). Taip pat,  $\text{Al}_2\text{O}_x$  sluoksnio sintezei naudojamos medžiagos yra palyginti netaršios, nereikalingi sudėtingi metalų organiniai kompleksai/junginiai - naudojamos nesudėtingos metalų organinės druskos, o tirpikliu naudojamas etanolis. Zolių-gelių sintezės metodas plačiai naudojamas ne tik mokslinėse laboratorijose technologijų kūrimui, bet ir pramonėje serijinei gamybai. Todėl išradimas efektyviai įgyvendinamas ir pramoniniu būdu bei mastu.

Pagamintas puslaidininkis įtaisas (konkrečiai, fotodiodas  $\text{Al} / \text{p-Si} / \text{Al}_2\text{O}_x / \text{Al}$ ) yra stabilus agresyvioje aplinkoje. Aliuminio oksido sluoksnis ir aliuminio kontaktai pasižymi aukštu atsparumu atmosferos poveikiui. Pasibaigus eksploatacijai/naudojimui, puslaidininkio įtaiso sudėtiniai komponentai gali būti utilizuojami, nes aliuminis bei jo oksidas gali būti ištirpinti ir regeneruojami, o juos ir likusį aukšto grynumo silicį galima toliau panaudoti pagal žiedinės ekonomikos principus. Panaudojant ploną  $\text{Al}_2\text{O}_x$  sluoksnį vietoje n-tipo tūrinio puslaidininkio, pasiekiamas ekonominis efektas, nes sutaupomas aukšto grynumo silicis ir išvengiama gana brangios donorinių priemaišų įvedimo (pavyzdžiui, fosforo) procedūros.

## TRUMPAS BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

- 1 pav.** Pavaizduota įtaiso (fotoelektrodo, fotodiodo) principinė sluoksninė sandara, kurią sudaro p-Si bazė (substratas) (1), plonas (nanometrinio storio) amorfinis aliuminio oksido  $Al_2O_x$  sluoksnis (2), ir išoriniai šių sluoksnių elektriniai kontaktai (pavyzdžiui, suformuoti iš aliuminio) (3.1) ir (3.2): ištisinis p-puslaidininkio (tamsiojoje) pusėje (3.1) ir fragmentuotas kontaktas (3.2)  $Al_2O_x$  sluoksnio (2) (apšviečiamojoje, kurioje patenka šviesa ant  $Al_2O_x$  sluoksnio) pusėje. P-tipo puslaidininkio substrato sluoksnis (1) yra padengtas nanometrinio storio  $Al_2O_x$  sluoksniu (2), o sluoksniai (1, 2) kiekvienas turi bent po vieną kontaktinį išvadą - (3.1) ant p-tipo puslaidininkio substrato ir (3.2) ant  $Al_2O_x$  sluoksnio.
- 2 pav.** Įtaiso sluoksninės struktūros Al / p-Si /  $Al_2O_x$  / Al (3.1 / 1 / 2 / 3.2) su 40 nm storio amorfiniu aliuminio oksido ( $Al_2O_x$ ) sluoksniu (2) voltamperinė charakteristika, rodanti puslaidininkio įtaiso sluoksnių sistemos (3.1 / 1 / 2 / 3.2) vienpusį laidumą tamsoje (tiesiogine kryptimi) bei laidumo atbuline kryptimi padidėjimą, apšvietus įtaisą (fotodiodą) šviesa.
- 3 pav.** Voltamperinė (I–U) Al / p-Si / Al sluoksninės sistemos (be nanometrinio storio amorfinio  $Al_2O_x$  sluoksnio), atkaitintos 400 °C temperatūroje, ominė elektrinio laidumo charakteristika, rodanti sistemos elektrinį laidumą (ominį pasipriešinimą) ir praleidžiamą srovę I (mA), priklausomai nuo įtampos U (V); sluoksninė sistemos struktūra Al / p-Si / Al - kaitinta 400 °C temperatūroje, azoto ( $N_2$ ) atmosferoje, voltamperinė charakteristika rodo faktiškai tiesinę srovės I (mA) nuo įtampos U (V) priklausomybę, kuri atitinka pastovią sluoksninės struktūros Al / p-Si / Al ominę varžą  $R=36.4 \Omega$ .

## IŠRADIMO ELEMENTAI IR TERMINAI

- 1** puslaidininkinio įtaiso p-tipo puslaidininkio substratas, arba substrato sluoksnis; konkrečiu įtaiso realizacijos atveju, tai p-tipo silicio arba p-Si substratas, arba p-Silicis, arba sluoksnis, arba substrato sluoksnis - aprašyme gali būti vadinamas, šiuo atveju, ekvivalentiškais keliais terminais;

- 2 nanometriniu storio amorfinio aliuminio oksido  $Al_2O_x$  sluoksnis (2);
- 3.1 bent vienas kontaktinis išvadas ant p-tipo puslaidininkio (p-silicio) substrato (1); aprašyme gali būti vadinamas keliais šiuo atveju ekvivalentiškais terminais: išvadas, elektrinis išvadas, kontaktas, kontaktinis išvadas;
- 5 3.2 bent vienas kontaktinis išvadas ant padengto  $Al_2O_x$  sluoksnio (2); aprašyme gali būti vadinamas keliais šiuo atveju ekvivalentiškais terminais: išvadas, elektrinis išvadas, kontaktas, kontaktinis išvadas.

#### DETALUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

**Įtaiso sandara ir įgyvendinimo variantai.** Pusalaidininkio įtaiso (fotodiodo) pagal šį  
 10 išradimą principinė sandara yra pavaizduota 1 paveiksle. P-tipo silicis yra dengiamas  $Al_2O_x$  40 nm – 150 nm storio danga zolių-gelių metodu. Ant oksido dangos, terminio garinimo būdu, per matricą (šabloną) yra suformuojami aliuminio mini-kontaktai.

P-pusalaidininkio išorinė (fotodiodo atveju ji yra tamsioji) pusė dengiama ištisiniu aliuminio sluoksniu. 2 paveiksle parodyta, kad suformuotas šviesai jautrus puslaidininkis  
 15 įtaisas pasižymi p-n sandūros tipo savybėmis tamsoje: jis yra laidus tiesiogine kryptimi ( $U > 0$ ) ir nelaidus atbuline kryptimi ( $U < 0$ ). Apšvietus įtaisą aliuminio oksido sluoksnio pusėje regimąja šviesa, elektrinis laidumas atsiranda ir atbuline kryptimi. Tokia elgsena yra tipiška p-n sandūrai. 3 paveiksle parodyta, kad p-n sandūrai būdingos elektrinės elgsenos nėra, kuomet p-Si substratas (1) nėra padengtas aliuminio oksido sluoksniu (2).  
 20 Šiuo atveju sluoksninė struktūra Al / p-Si / Al rodo pastovią ominę elgseną: sluoksninė struktūra yra vienodai elektriškai laidu abiem kryptimis, o įtampos  $U$  (V) ir srovės  $I$  (mA) tarpusavio priklausomybė yra tiesinė, sąlygojama pastovios ominės varžos, lygios  $R=36.4 \Omega$ .

Išradimo specifinė savybė yra ta, kad sluoksnių p-Si /  $Al_2O_x$  sąsaja pasižymi p-n  
 25 savybėmis, nors n-tipo puslaidininkio sluoksnis nėra specialiai suformuotas – krūvininkų sluoksnis sąsajoje susiformuoja savaime.

**Įtaiso gamybos būdas.** Pusalaidininkio įtaiso, pavyzdžiui, fotodiodo, gamyba apima šiuos etapus:

- 1) suformuojamas p-tipo silicio substratas (1),

**2)** ant suformuoto p-silicio substrato (1) šviesai neaktyvios (nepoliruotos) pusės suformuojamas ištisinis aliuminio sluoksnis (3.1); pavyzdžiui, terminio garinimo metodu, gaunant Al / p-Si dvisluoksnę struktūrą (3.1 / 1);

**3)** ant Al / p-Si fotoaktyvaus paviršiaus (poliruotos p-Si pusės) formuojamas nanometru eilės storio amorfinis aliuminio oksido sluoksnis ( $Al_2O_x$ ) (2); pavyzdžiui, 40 nm storio, taip gaunamas Al / p-Si /  $Al_2O_x$  trisluoksnė struktūra (3.1 / 1 / 2) – minėtas amorfinis  $Al_2O_x$  sluoksnis (2) suformuojamas zolių-gelių išsukimo metodu, kuriame:

**a)** aliuminio koloidinio tirpalo (zolio) sintezei naudojami komerciniai analitinio grynumo junginiai be papildomo gryninimo: aliuminio sek-butoksidai, acetilacetonas ir absoliutus etanolis. Absoliutus etanolis naudojamas tirpikliu. Aliuminio jonai tirpale, koncentracija 0,1 M, stabilizuojami acetilacetonu, pastarųjų molinis santykis 1:1. Pradinės medžiagos sumaišomos ir maišymas tęsiamas 3 valandas 40 °C temperatūroje inertinėje aplinkoje. Taip stabilizavus aliuminio jonus, paruoštas koloidinis tirpalas (zolis) yra stabilus kambario sąlygomis.

Paruoštas koloidinis tirpalas (zolis) yra skaidrus. Prieš naudojant zolį dengimui, jis filtruojamas nuo galimų dulkių PTFE švirkšto tipo filtru, porų dydis 0,45  $\mu m$ .

**b)** Al/p-Si substratai/plokštelės, prieš  $Al_2O_x$  dangų formavimą, yra kruopščiai nuplaunami ultragarsinėje vonelėje atitinkamai: 15 minučių - RDS25 universalus ploviklio tirpale, po to, skalaujama dejonizuotu vandeniu, 15 minučių - acetonu, 15 minučių – etanoliumi, ir galiausiai džiovinama  $N_2$  dujų srautu – minimaliai 30 s.

**c)** padengti Al/p-Si substrato/plokštelės (3.1 / 1) paviršiaus  $\sim 1 \text{ cm}^2$  plotą nanometriniu amorfiniu  $Al_2O_x$  sluoksniu (2), naudojama 25  $\mu l$  paruošto zolio tirpalo. Danga formuojama fotoaktyvioje, t.y. poliruotoje Al/p-Si substrato pusėje. Dangai formuoti naudojamas dviejų žingsnių išsukimo procesas:

- pirmasis etapas - 600 apsisukimų per minutę sukimas 10 s, kad paruoštas koloidinis tirpalas tolygiai pasiskirstytų ant paviršiaus,
- antrasis etapas - 2500 apsisukimų per minutę sukimas 30 s, kad susidariusi plėvelė būtų homogenizuota ir išgaruotų tirpiklis.

**d)** išsukimo būdu padengta substratas/plokštelė, po to, apdorojama termiškai:

- iš pradžių 1 valandą 150°C temperatūroje, tam, kad visiškai išgaruotų tirpiklis,
- ir tuomet dar 2 valandas kaitinama 400°C temperatūroje. Šiame žingsnyje susiformuoja amorfinio Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub> skaidri nanometrinių storio danga.

4) ant gautos sluoksninės struktūros Al / p-Si / Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub> (3.1 / 1 / 2) aliuminio oksido Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub>

5 sluoksnio (2) paviršiaus – toliau suformuojamas vienas arba daugiau metalinių kontaktų (3.2); pavyzdžiui, naudojant terminio garinimo būdą su matrica (šablonu), kur matricos šablono skylės kontaktams formuoti yra numatyto dydžio, pagal numatytą taikomąją įtaiso paskirtį. Tinkamiausiu atveju, metaliniai kontaktai (3.2) formuojami iš Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub> sluoksniui giminingo metalo, tai yra, aliuminio. Taip gaunama  
10 įtaiso sluoksninė Al / p-Si / Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub> / Al struktūra (3.1 / 1 / 2 / 3.2).

1 paveiksle schematiškai pavaizduotas Al / p-Si / Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub> / Al įtaisas (3.1 / 1 / 2 / 3.2) – konkrečiai, fotodiodas - gautas ant Al / p-Si / Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub> (3.1 / 1 / 2) aliuminio oksido sluoksnio suformavus daugiau negu vieną mini-kontaktus (3.2), pavyzdžiui, naudojant terminio garinimo būdą su matrica (šablonu), kur matricos šablono skylės kontaktams formuoti yra  
15 1,2 x 3,1 mm, o atstumai tarp kontaktų yra apie 1,9 mm.

Pagamintame įtaise - fotodiode Al/p-Si/Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub>/Al (3.1 / 1 / 2 / 3.2), paruošta Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub> sluoksnio danga yra amorfinė ir jos draustinės juostos plotis (3,2eV) atitinka plačiajuosčiams puslaidininkiams būdingo draustinės juostos intervalą (puslaidininkių, priklausomai nuo tipo, draustinės juostos plotis paprastai patenka į 1 iki 4 eV intervale).

20 **Medžiagos ir jų charakteristikos.** Egzistuojančios medžiagos pagal elektrinį laidumą skirstomos į metalus, puslaidininkius ir izoliatorius (dielektrikus). Puslaidininkiai yra medžiagos, pagal jų savitąjį elektrinį laidį pozicionuojamos tarp metalų ir dielektrikų. Keičiantis temperatūrai, slėgiui, veikiant šviesa, jonizuojančiąja spinduliuote, esant stipriam elektriniam laukui, bei įterpiant į medžiagą priemaišinius atomus, puslaidininkių  
25 elektrinis laidis gali kisti plačiose ribose. Svarbiausia puslaidininkių savybė yra jų tam tikras draustinės juostos plotis - energijų intervalas tarp laidumo ir valentinės juostų medžiagos elektroninėje struktūroje. Puslaidininkių draustinės juostos plotis paprastai svyruoja nuo 1 iki 4 eV intervale, o izoliatorių (dielektrikų) draustinės juostos plotis yra didesnis, dažnai didesnis nei 5 eV. Kambario temperatūroje (300 Kelvinų temperatūroje),  
30 šiluminė energija yra maždaug 25 meV, todėl ji yra gerokai mažesnė už energiją, reikalingą elektronui peršokti į laidumo juostą. Tai reiškia, kad kambario temperatūroje

puslaidininkiai turi nedaug krūvio nešiklių. Puslaidininkiai yra labai jautrūs priemaišoms jų kristalinėje struktūroje, nes priemaišos ženkliai pakeičia laisvųjų krūvininkų judrumą ir kiekį. Kontroliuojamas priemaišinių medžiagų įterpimas į puslaidininkio struktūrą vadinamas legiravimu (*angl. doping*). Būtent dėl galimybės kontroliuoti krūvininkų nešiklių skaičių, puslaidininkiai yra svarbūs technologiniu požiūriu. Puslaidininkiai pagal jų prigimtį skirstomi į šias grupes:

- *i*-tipo puslaidininkis – grynasis puslaidininkis, tai yra puslaidininkis be priemaišų;
- *n*-tipo puslaidininkis – elektroninis puslaidininkis, tai yra donorinis puslaidininkis – puslaidininkis, kuriame laisvųjų elektronų tankis didesnis už skylių tankį;
- *p*-tipo puslaidininkis – skylinis puslaidininkis, kuriame skylių tankis didesnis už laisvųjų elektronų tankį.

Pagal elementinę sudėtį, dar yra žinomos tokios didžiausios puslaidininkių junginių grupės (klasės):

- periodinėje elementų sistemoje IV A ir VI A grupėse esantys elementai silicis, germanis, selenas ir telūras, bei anglies alotropinė atmaina fulerenas (C<sub>60</sub>);
- periodinėje elementų sistemoje kai kurie dvinariai III A ir V A grupių cheminių elementų junginiai (pavyzdžiui: GaAs, InSb, GaP, InP);
- II B ir VIIA grupių cheminių elementų junginiai (pavyzdžiui: ZnTe, CdTe, CdS);
- IV A ir VI A grupių cheminių elementų junginiai (pavyzdžiui: PbTe, PbSe, PbS);
- sudėtingesni cheminiai junginiai (pavyzdžiui, Cu<sub>2</sub>O, Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnSnP<sub>2</sub>, CdGeAs<sub>2</sub>);
- išvardintų medžiagų mišiniai, kietieji tirpalai.
- puslaidininkių savybės yra būdingos ir daugeliui elektrai laidžių organinių medžiagų.

Puslaidininkių elektrinių savybių fizikinė prigimtis aiškinama pagal energijos juostų modelį (juostų teorija). Aukštesnėje temperatūroje (dėl atomų virpesių) arba veikiant šviesai elektronai iš valentinės juostos gali peršokti į laidumo juostą, kurioje sužadintieji elektronai ir valentinėje juostoje likusios elektronų neužpildytos būsenos, tai yra, skylės, yra laisvieji krūvininkai (elektriniame lauke perneša krūvį). Puslaidininkių laidumo ir valentinės juostų užpildymas ir elektrinio laidumo tipas (elektroninis ir skylinis elektrinis

laidumas) keičiamas, legiruoiant puslaidininkį donorinėmis arba akceptorinėmis priemaišomis. Įterpiant donorines priemaišas (pavyzdžiui, fosforo atomus į silicio kristalą) draudžiamajoje energijos juostoje netoli laidumo juostos susidaro užimtoji (donorinė) būseną. Elektronai persokę iš šios būsenos į laidumo juostą tampa krūvininkais  
5 (elektroninis, arba n-tipo elektrinis laidumas). Įterpiant akceptorines priemaišas (pavyzdžiui, boro atomus į silicį) netoli valentinės juostos susidaro laisvoji akceptorinė būseną, į kurią gali persokti elektronai iš valentinės juostos, taip valentinėje juostoje susidaro laisvos elektroninės būsenos – skylės (skylinis, arba p-tipo elektrinis laidumas). Silicis yra geriausiai žinomas puslaidininkis, naudojamas daugelio elektros grandinių  
10 pagrindu. Silicis savo valentiniame apvalkale turi keturis elektronus, tai reiškia, kad su keturiais kaimyniniais atomais sudaro „tobulus“ kovalentinius ryšius. Taip susidaro ir jo kristalinė gardelės struktūra. Tokioje kristalinėje gardelėje, jei kristalas yra grynas, nėra laisvų elektronų, kurie galėtų judėti ir pernešti krūvį. Todėl tikrasis puslaidininkis sukuriamas tik jį legiravus, tai yra, įterpus priemaišinių atomų į jo gardelę. Gryno ir  
15 legiruoto silicio monokristalo draustinės juostos plotas yra 1,12 eV nepriklausomai nuo koku elementu jis legiruotas, t.y. ar n-tipo ar p-tipo. Dėl gana siauros draustinės juostos pločio jis yra labai patrauklus fotojautrusis puslaidininkis, tai yra, didelė dalis regimojo šviesos spektro gali sužadinti krūvininkus. Šio puslaidininkio savitasis laidis priklauso nuo legiravimo elemento ir priemaišų koncentracijos ir paprastai svyruoja nuo labai mažo  $10^{-5}$   
20 iki net  $10^4$  S/cm. Praktikoje dažniausiai naudojami puslaidininkiai yra kietosios būsenos (monokristalinės, polikristalinės arba amorfinės medžiagos). Įterpiant į puslaidininkius skirtingų legiravimo priemaišų, sudaromos įvairios puslaidininkinės sandūros. Jei viena puslaidininkių dalis padaroma elektroninio, o kita skylinio laidumo, tarp jų susidaro potencialo barjeras – p-n sandūra, pasižyminti netiesinėmis elektros srovės lyginimo ir  
25 kitomis elektrinėmis savybėmis. Naudojant įvairius plonų sluoksnių formavimo metodus, pavyzdžiui molekulinio pluošto epitaksiją, galima sukurti kelianarią puslaidininkinių medžiagų sandūrą, tai yra, hetero-sandūrą.

Dar viena puslaidininkių junginių kategorija yra amorfiniai puslaidininkiai. Amorfinis, tai – nekristalinis, nesudaręs kristalinės struktūros ar neturintis ilgos tvarkingos atomų  
30 išsidėstymo struktūros, kuri būdinga kristaliniams junginiams. Tokie amorfiniai junginiai yra stiklai, netvarkūs kovalentiniais ryšiais susijungę junginiai. Įprastai amorfiniai

puslaidininkiai yra junginiai iš aukščiau išvardintų puslaidininkių junginių grupių (klasių) medžiagų amorfinės atmainos, arba būdingos elementinės sudėties mišiniai (pvz. CdGeAs<sub>2</sub>), kartais jų oksidai (pvz. V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Neiširta sritis. Tačiau literatūroje neaptikta tyrimų ir/ar patentų kurie aprašytų 5 žinomų dielektrikų, tokių kaip Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> ar HfO<sub>2</sub> pan., jų amorfinėse būsenose, puslaidininkinių savybių. Dėl didesnio nuotolio tvarkos struktūroje nebuvimo, amorfiniai junginiai pasižymi mažesnėmis draustinės juostos reikšmėmis, nei elementine sudėtimi tapačiam junginiui esant kristalinėje būsenoje būtų būdinga.

Amorfinio Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub> nanosluoksnio savybių tyrimo rezultatai. Mūsų paruoštų mėginių 10 pamatuoti šviesos absorbcijos spektrai rodo, jog sluoksninės struktūros viršuje esančio amorfinio aliuminio oksido (Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub>) sužadavimo energija, tai yra ir draustinės juostos pločio energija, yra 3,2 eV. Ši vertė yra kur kas mažesnė, nei gerai žinomų Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kristalinių junginių, kurie yra dielektrinės medžiagos. Plačiais naudojamais dielektrikais (izoliatoriais) aliuminio oksido kristalinių struktūrų atmainos yra korundas, rubinas ir safyras, jų 15 draustinių juostų plotis svyruoja nuo 5 eV iki 10 eV.

Nors 3,2 eV yra gan plati draustinės juostos vertė, vadovaujantis kitais plačiajuosčiais puslaidininkiais, kaip kad TiO<sub>2</sub>, kurio anatazo kristalinės struktūros atmainos draustinė juosta vertė irgi yra 3,2 eV, galime priskirti mūsų susintetintą Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub> amorfine puslaidininkine danga.

20 Itaiso kontaktų laidininkas. Dauguma laidininkų yra metalai ir dauguma metalų yra laidininkais, bet vieni metalai turi pranašumų prieš kitus. Tiek varis, tiek aliuminis turi geras laidumo savybes, bei yra gerai kalūs, todėl iš jų nesudėtinga gaminti laidus. Bet aliuminis yra atsparus atmosferos poveikiui, nes jo paviršius savaime pasidengia inertišku plonu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sluoksniu, kuris apsaugo elektrinį kontaktą ar laidą, ar kitą gaminį, nuo 25 tolimesnės oksidacijos proceso.

## APIBRĖŽTIS

1. Puslaidininkis įtaisas, apimantis sluoksninę struktūrą, apimančią:

- p-tipo puslaidininkio substrato sluoksnį (1), kuris padengtas n-tipo puslaidininkio funkciją atliekančiu sluoksniu (2),

- 5
- bent vieną kontaktinį išvadą (3.1) ant p-tipo puslaidininkio substrato sluoksnio (1) ir
  - bent vieną kontaktinį išvadą (3.2) ant n-tipo puslaidininkio funkciją atliekančio sluoksnio (2),

b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad n-tipo puslaidininkio funkciją atliekantis sluoksnis (2) yra nanometriniu storio amorfinio aliuminio oksido  $Al_2O_x$  sluoksnis (2).

- 10
2. Įtaisas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad p-tipo puslaidininkio substrato sluoksnio (1) puslaidininkis yra p-tipo silicis.

3. Įtaisas pagal bet kurį iš 1-2 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad amorfinio aliuminio oksido  $Al_2O_x$  nanometriniu sluoksnio (2) storis yra nuo 40 iki 150 nanometrų.

- 15
4. Įtaisas pagal bet kurį iš 1-3 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad bent vienas aliuminio oksido  $Al_2O_x$  sluoksnio (2) kontaktinis išvadas (3.2) yra pagamintas iš aliuminio.

5. Įtaisas pagal bet kurį iš 1-4 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad p-silicio substrato sluoksnio (1) kontaktinis išvadas (3.1) yra pagamintas iš aliuminio.

- 20
6. Įtaisas pagal bet kurį iš 1-5 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad įtaiso sluoksninė struktūra yra aliuminio kontaktinis išvadas (3.1) / p-silicio substrato sluoksnis (1) / nanometriniu storio amorfinis  $Al_2O_x$  sluoksnis (2) / bent vienas aliuminio kontaktinis išvadas (3.2).

- 25
7. Įtaisas pagal bet kurį iš 1-6 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad įtaisas yra šviesai jautrus diodas, kur p-silicio substrato sluoksnio (1) kontaktinis išvadas (3.1) dengia p-silicio substrato sluoksnio (1) plokštumą pilnai, taip sudarydamas tamsiąją neapšviečiamą šviesai jautraus diodo pusę, o nanometriniu storio  $Al_2O_x$  sluoksnio (2) bent vienas kontaktinis išvadas (3.2) tik dalinai dengia  $Al_2O_x$  sluoksnio (2) plokštumą, taip sudarydamas apšviečiamą šviesai jautraus diodo pusę.

8. Įtaisas pagal bet kurį iš 1-7 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad yra vienas iš šių specializuotų įtaisų: šviesos jutiklis, diodas, foto-diodas, fotovoltinis prietaisas, elektrocheminis fotoelektrodas.

9. Sluoksninės struktūros puslaidininkio įtaiso gamybos būdas, apimantis šiuos žingsnius:

- 5 1) paruošiamas p-tipo silicio substrato sluoksnis (1),  
 2) ant p-silicio substrato sluoksnio (1) vienos pusės suformuojamas kontaktinio išvado (3.1) metalo sluoksnis, tinkamiausiu atveju aliuminio sluoksnis, taip gaunama dvisluoksnė Metalas/p-Silicis struktūra (3.1/1);  
 b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad toliau
- 10 3) ant dvisluoksnės struktūros Metalas/p-Silicis (3.1/1), ant jos kitos poliruotos p-Si substrato (1) pusės formuojamas nanometriniu storio  $Al_2O_x$  sluoksnis (2), kur gaunama trisluksnė struktūra Metalas/p-Silicis/ $Al_2O_x$  (3.1/1/2), kur minėtas nanometriniu  $Al_2O_x$  sluoksnis (2) formuojamas zolių-gelių išsukimo metodu, apimančiu šiuos žingsnius ir sąlygas:
- 15 a) paruošiamas, sumaišomas ir išfiltruojamas aliuminio jonų, kompleksus sudarančio ligando ir tirpiklio koloidinis tirpalas – zolis;  
 b) Al/p-Si dvisluoksnis substratas (3.1/1) nuplaunamas ir išdžiovinamas;  
 c) Al/p-Si dvisluoksnis substratas (3.1/1) padengiamas nanometriniu aliuminio jonų sluoksniu, kuris formuojamas dviem išsukimo proceso etapais:
- 20 ▪ pirmasis etapas, kad zolio tirpalas tolygiai pasiskirstytų ant sluoksnio p-Si (1) poliruoto paviršiaus,  
 ▪ antrasis etapas, kad susidariusi plėvelė būtų homogenizuota ir išgaruotų tirpiklis;
- d) padengta zoliu trisluksnė plokštelė (3.1/1/2), po to apdorojama termiškai, 2
- 25 etapais:  
 ▪ pirmasis etapas, kad visiškai išgaruotų tirpiklis,  
 ▪ antrasis etapas, padengto  $Al_2O_x$  sluoksnio (2) atkaitinimas.
- 4) gautoje sluoksninėje struktūroje Metalas/p-Silicis/ $Al_2O_x$  (3.1/1/2), ant aliuminio oksido  $Al_2O_x$  nanosluksnio (2) suformuojamas vienas arba daugiau kontaktų (3.2).

**10.** Būdas pagal 9 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad zolių-gelių būdu padengto  $\text{Al}_2\text{O}_x$  nanosluoksnio (2) džiovavimo temperatūra d) žingsnyje yra ne didesnė už temperatūrą, prie kurios įvyktų  $\text{Al}_2\text{O}_x$  nanosluoksnio (2) kristalizacija, taip pasiekama, kad suformuotas  $\text{Al}_2\text{O}_x$  nanosluoksnis (2) yra amorfinės būsenos.

5 **11.** Būdas pagal bet kurį iš 9-10 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad zolių-gelių būdu p-Silicio substrato sluoksnio (1) paviršiaus dengimas atliekamas šiomis specifinėmis sąlygomis:

**a)** aliuminio jonų zolio sintezė:

- 10 - pradinės medžiagos: aliuminio sek-butoksidai, acetilacetonas ir absoliutus etanolis, kur absoliutus etanolis naudojamas tirpikliu, o aliuminio jonai tirpale, koncentracija 0,1M, stabilizuojami acetilacetonu, kur aliuminio jonų ir acetilacetono molinis santykis 1:1;
- pradinės medžiagos sumaišomos ir tirpalas maišomas 3 valandas 40°C temperatūroje inertinių dujų aplinkoje;
- 15 - prieš naudojant zolį dengimui, jis filtruojamas PTFE filtru, porų dydis ne daugiau nei 0,45  $\mu\text{m}$ .

**b)** Al/p-Si plokštelės (3.1/1), prieš  $\text{Al}_2\text{O}_x$  sluoksnio (2) formavimą, nuplaunami ultragarsinėje vonelėje:

- 20 - 15 minučių - RDS25 universalus ploviklio tirpale,
- skalaujama dejonizuotu vandeniu,
- 15 minučių - acetonu,
- 15 minučių – etanoliu, ir
- išdžiovinama  $\text{N}_2$  dujų sraute, bent 30 s;

25 **c)** Al/p-Si plokštelės (3.1/1) poliruotas p-Silicio substrato sluoksnio (1) paviršius padengiamas zolio tirpalu, naudojant maždaug 1  $\text{cm}^2$  plotui 25  $\mu\text{l}$  paruošto zolio tirpalo, kur danga formuojama dviejų etapų išsukimo būdu:

- pirmasis etapas - 600 apsisukimų per minutę sukimas 10 s,
- antrasis etapas - 2500 apsisukimų per minutę sukimas 30 s;

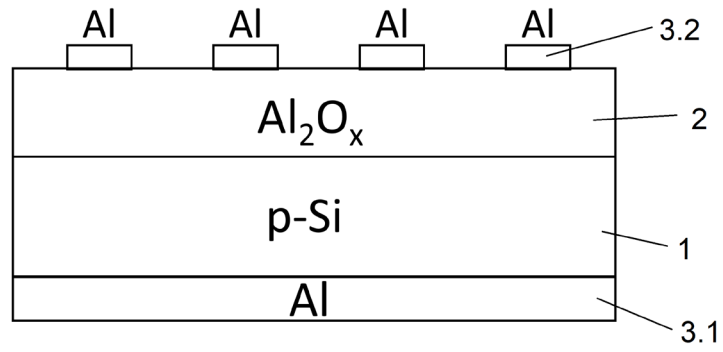
**d)** išsukimo būdu padengtos plokštelės (3.1 / 1 / 2), po to, apdorojami termiškai:

- 30 ▪ iš pradžių 1 valandą 150°C temperatūroje, tam, kad visiškai išgaruotų tirpiklis,

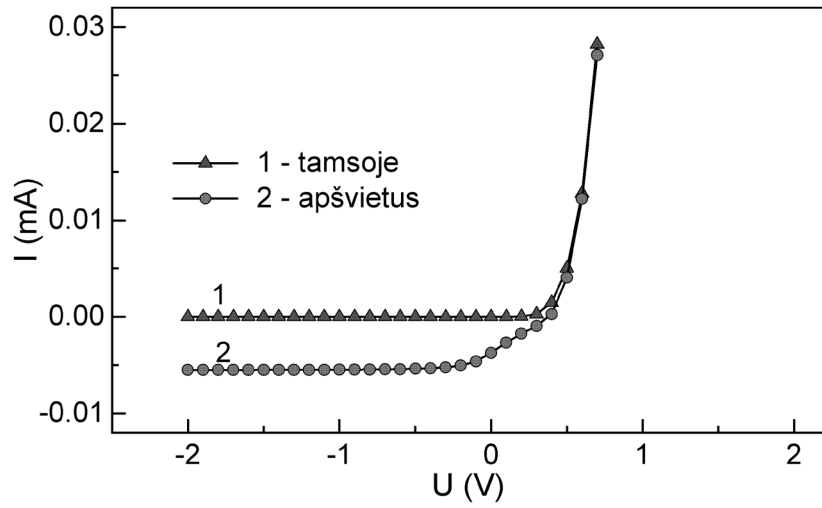
- ir tuomet dar 2 valandas kaitinama 400°C temperatūroje, tam kad susidarytų amorfinis  $Al_2O_x$  sluoksnis (2).

**12.** Būdas pagal bet kurį iš 9-11 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad žingsnyje 2) kontaktinio išvado (3.1) metalo sluoksnis ant silicio substrato sluoksnio (1) paviršiaus suformuojamas terminio garinimo būdu, o žingsnyje 4) vienas arba daugiau kontaktinių išvadų (3.2) ant  $Al_2O_x$  sluoksnio (2) paviršiaus suformuojamas terminio garinimo būdu su matriciniu šablonu, kur šablono skylės kontaktams formuoti yra pagal įtaiso paskirtį numatyto dydžio.

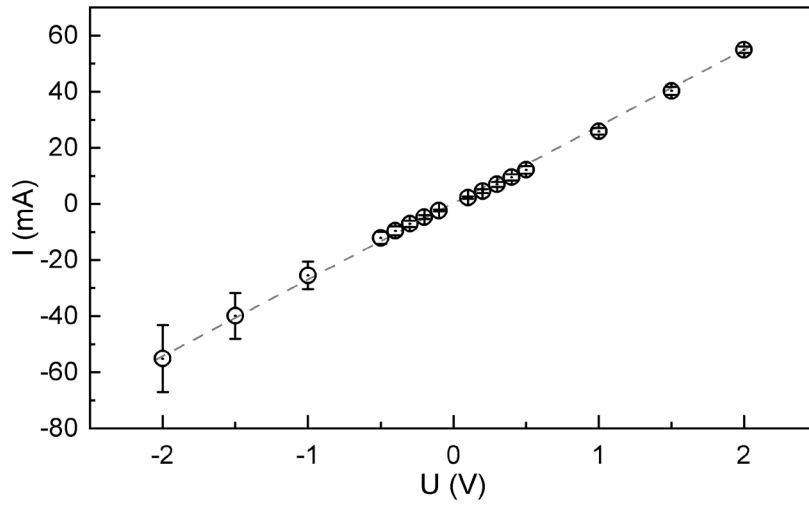
BRĖŽINIAI



1 pav.



2 pav.



3 pav.