

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2021 524**
(22) Paraiškos padavimo data: **2021-05-28**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2022-12-12**
(45) Patento paskelbimo data: **2022-12-27**

(73) Patento savininkas:
Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius, LT

(72) Išradėjas:
Steponas AŠMONTAS, LT
Jonas GRADAUSKAS, LT
Asta GRIGUCEVIČIENĖ, LT
Konstantinas LEINARTAS, LT
Kazimieras PETRAUSKAS, LT
Laurynas STAIŠIŪNAS, LT
Algirdas SUŽIEDĖLIS, LT
Aldis ŠILĖNAS, LT
Edmundas ŠIRMULIS, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Virgina Adolfina DRAUGELIENĖ, 8, UAB TARPINĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT

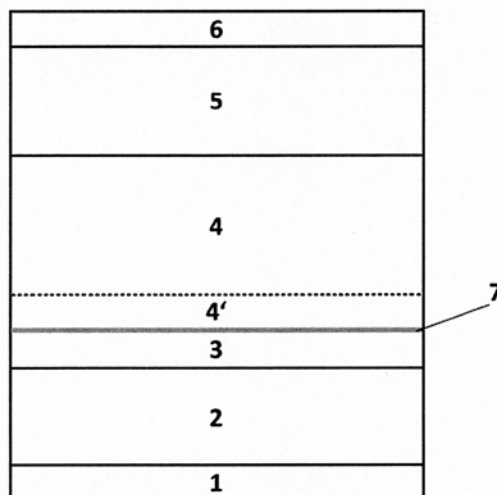
LT 6970 B

(54) Pavadinimas:

Dviejų išvadų tandeminis saulės elementas iš daugiasluoksnio darinio

(57) Referatas:

Išradimas skirtas saulės elementų sričiai. Dviejų išvadų tandeminis saulės elementas iš daugiasluoksnio darinio, kuriame yra dviejų tipų fotoaktyvieji sluoksniai, kurių vienas pagamintas iš perovskito, o kitas iš silicio, kur ant elektroninio laidumo kristalinio silicio bazės išdėstytas skylinio laidumo silicio emiteris, o ant jo elektronų pernašos sluoksnis, ant kurio išdėstytas perovskito sluoksnis, kur tarp skylinio laidumo silicio emiterio ir elektronų pernašos sluoksnio yra suformuota tunelinė sandūra. Siekiant sumažinti technologinių operacijų skaičių, bei padidinti konversijos efektyvumą, tunelinė sandūra yra suformuota legiruojant donorine priemaiša elektronų pernašos sluoksnio sritį, esančią prie minėto skylinio laidumo silicio emiterio paviršiaus, šio sluoksnio auginimo metu.



TECHNIKOS SRITIS, KURIAI SKIRIAMAS IŠRADIMAS

Išradimas skirtas saulės elementų sričiai.

TECHNIKOS LYGIS

Pasiūlyme aprašytas dviejų elektros išvadų tandeminis saulės elementas sudarytas iš dviejų skirtingo draudžiamosios energijos tarpo - perovskito ir kristalinio silicio - saulės elementų. Šie elementai aprašomajame tandeminiame saulės elemente yra sujungti nuosekliai, o gerą mažų elektrinių ir optinių nuostolių sąlytį tarp jų teikia puslaidininkinė tunelinė sandūra.

Perspektyvi ir ekologiška saulės elementų gaminama elektra šiuo metu vis dar yra brangesnė už elektros energiją gaunamą iš iškastinio kuro. Norint sumažinti saulės elementų gaminamos elektros energijos kainą, reikia mažinti pačių elementų kainą ir didinti jų konversijos efektyvumą. Tai pasiekama tobulinant ir plėtojant naujas gamybos technologijas, naujas medžiagas ir naujas koncepcijas. Šiuo metu gaminamų vienos p-n sandūros saulės elementų efektyvumas vis dar nesiekia teorinės Shockley-Queisser ribos. Pavyzdžiui, silicio saulės elementų ši teorinė riba lygi 32 %, tačiau praktiškai šiai dienai yra pasiektas tik 26,1 % efektyvumas.

Viena iš mažo puslaidininkinių saulės elementų efektyvumo priežasčių yra neefektyvus saulės spinduliuotės spektro panaudojimas konversijai. Anot Shockley-Queisser teorijos, efektyviai panaudojami tik tie šviesos fotonai, kurių energija yra lygi puslaidininkio draudžiamosios energijos tarpui; mažesnės energijos fotonai išvis nesugeriami, o didesnės energijos fotonų perteklinė energija yra eikvojama elemento kaitinimui tuo dar sumažinant jo efektyvumą.

Siekiant įveiktį šį trūkumą, keli skirtingų draudžiamosios energijos tarpo puslaidininkiniai saulės elementai yra apjungiami viename įtaise, t.y. kuriami daugiasandūriniai saulės elementai. Įvairios puslaidininkinės medžiagos, tarp jų ir perovskitai, yra tiriamos kuriant tokius tandeminius saulės elementus. Maksimalus teorinis tandeminio dviejų sandūrų saulės elemento efektyvumas siekia 47 % esant AM1.5G spektro nekoncentruotai saulės apšvitai. Tačiau praktiškai laboratorijose yra pasiektas maksimalus 32,8 % tokių elementų efektyvumas, o silicio/perovskito tandeme - 28,0 %.

Silicio draudžiamosios energijos tarpas yra 1,12 eV. Kuriant maksimalaus efektyvumo tandemą su apatiniu silicio elementu, idealiausias virš jo esančio elemento draudžiamosios energijos tarpas turėtų būti 1,7–1,8 eV. Tam itin tinka perovskitai, kurių draudžiamosios energijos tarpas gali būti keičiamas nuo 1,55 eV iki 2,3 eV parenkant atitinkamą cheminę perovskito sudėtį.

Didžiausia problema kuriant dviejų išvadų tandeminį saulės elementą yra poreikis tarp abiejų sudėtinių saulės elementų sukurti kuo mažesnės varžos sąlytį. Kuo mažesnė sąlyčio varža, tuo mažesni elektros energijos nuostoliai. Dažniausiai toks sąlytis, pasižymintis mažais elektros energijos nuostoliais, yra tunelinės sandūros tipo. Ji pasižymi maža varža ir tiesine elektros srovės priklausomybe nuo įtampos mažų įtampų srityje. Kitas reikalavimas šitam sąlyčiui: jis turi nesugerti saulės spektro šviesos fotonų, kurių energija yra lygi ar didesnė už apatinio saulės elemento draudžiamosios energijos tarpą.

Artimiausias analogas yra dviejų išvadų metalo halido puslaidininkio ir kristalinio silicio daugiasandūrinis saulės elementas su tuneline sandūra (patentas US20160163904). Tunelinė n-p sandūra analoge yra formuojama stipriai legiruojant donorais (10^{19} - 10^{20} cm⁻³) stipriai legiruoto skylinio laidumo kristalinio silicio paviršių, kuris yra kristalinio silicio saulės elemento emiterio paviršius. Vėliau suformuotos tunelinės sandūros stipriai legiruoto elektroninio laidumo sluoksnio paviršius yra dengiamas elektronų pernašos sluoksniu reikalingu perovskite šviesa generuotiems elektronams išvesti. Analogo trūkumai yra šie: 1) tunelinės sandūros gamyba reikalauja papildomos technologinės operacijos - puslaidininkio paviršiaus legiravimo, papildomų medžiagų - puslaidininkio donorinių priemaišų, papildomo laiko ir darbo sąnaudų; 2) tokia tunelinė sandūra, kurios draudžiamosios energijos tarpas yra toks pats kaip ir po ja esančio silicio saulės elemento, sugeria šviesos fotonus reikalingus elektronų ir skylių generavimui silicio saulės elemente ir tokiu būdu sumažina šio elemento, o kartu ir tandeminio elemento, efektyvumą.

SPRENDŽIAMA TECHNINĖ PROBLEMA

Išradimu siekiama sumažinti technologinių operacijų skaičių, laiko ir medžiagų sąnaudas gaminant perovskitas/silicis tandeminį saulės elementą bei padidinti jo konversijos efektyvumą.

Uždavinio sprendimo esmė pagal pasiūlytą išradimą yra ta, kad dviejų išvadų tandeminiame saulės elemente iš daugiasluoksnio darinio, apimančiame elektroninio laidumo kristalinio silicio bazę, kurios apatinis paviršius turi ominią sąlytį su apatiniu elektros išvadu, skylinio laidumo silicio emiterį, išdėstytą ant minėtos kristalinio silicio bazės, elektronų pernašos sluoksnį, išdėstytą virš skylinio laidumo silicio emiterio, tunelinę sandūrą, išdėstytą tarp skylinio laidumo silicio emiterio ir elektronų pernašos sluoksnio, perovskito sluoksnį, išdėstytą ant elektronų pernašos sluoksnio, kur perovskito sluoksnio paviršius turi ominią sąlytį su viršutiniu elektros išvadu, tunelinę sandūrą yra suformuota legiruojant donorine priemaiša elektronų pernašos sluoksnio sritį, esančią prie minėto skylinio laidumo silicio emiterio paviršiaus, šio sluoksnio auginimo metu.

Elektronų pernašos sluoksnis yra iš titano dioksido, o jo sritis, esanti sąlytyje su skylinio laidumo silicio emiterio paviršiumi, yra auginimo metu legiruota donorine Nb priemaiša suformuojant tunelinę sandūrą.

IŠRADIMO NAUDINGUMAS

Pagal išradimą pasiūlytas dviejų išvadų tandeminis perovskitas/silicis saulės elementas nuo analogo skiriasi tuo, jog jame yra sukuriamas ne atskiras papildomas darinys - tunelinė sandūra - esantis tarp silicio saulės elemento ir elektronų pernašos sluoksnio, bet tunelinė sandūra yra sukuriamą atitinkamai legiruojant patį elektronų pernašos sluoksnį jo auginimo metu. Tokiu būdu tandeminio perovskitas/silicis saulės elemento gamyba apima mažesnę technologinių operacijų skaičių bei reikalauja mažiau medžiagų, o pati tunelinė sandūra, esanti virš silicio saulės elemento ir pasižyminti maža omine varža mažų įtampų intervale, nesugeria šviesos fotonų reikalingų elektronų ir skylių generavimui silicio saulės elemente.

Išradimas detaliau paaiškinamas brėžiniu, kuriame pavaizduotas dviejų elektros išvadų tandeminio perovskitas/silicis saulės elemento skerspjūvis.

VIENAS IŠ IŠRADIMO REALIZAVIMO PAVYZDŽIŲ

Dviejų išvadų tandeminis perovskitas/silicis saulės elementas iš daugiasluoksnio darinio apima apatinį elektros išvadą 1, sudarantį ominią sąlytį su

elektroninio laidumo (n-tipo) silicio baze 2, ant kurios išdėstytas skylinio laidumo stipriai legiruotas (p^{++} -tipo) silicio emiteris 3. Ant silicio emiterio 3 išdėstytas elektroninio laidumo (n-tipo) elektronų pernašos sluoksnis 4, kuris gali būti, pavyzdžiui, TiO_2 sluoksnis, ant kurio išdėstytas perovskito sluoksnis 5, kurio paviršius turi ominię sąlytį su viršutiniu elektros išvadu 6. Pasirinkto elektroninio laidumo (n-tipo) elektronų pernašos TiO_2 sluoksnio 4 apatinė sritis, esanti prie minėto skylinio laidumo silicio emiterio 3 paviršiaus, auginimo metu yra papildomai stipriai legiruota donorine priemaiša, kuri gali būti niobio (Nb) donorinė priemaiša, gaunant elektroninio laidumo stipriai legiruotą (n^{++} -tipo) elektronų pernašos sluoksnio sritį 4', suformuojant tunelinę sandūrą 7 tarp (p^{++} -tipo) silicio emiterio 3 ir n^{++} elektronų pernašos sluoksnio 4 srities 4'. Pasiūlytu būdu suformuota tunelinė sandūra 7 pasižymi maža omine varža mažų įtampų intervale ir nesugeria šviesos fotonų, reikalingų elektronų ir skylių generavimui silicio saulės elemente.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Dviejų išvadų tandeminis saulės elementas iš daugiasluoksnio darinio, apimančio:

- elektroninio laidumo kristalinio silicio bazę (2), kurios apatinis paviršius turi ominią sąlytį su apatiniu elektros išvadu (1),
- skylinio laidumo silicio emiterį (3), išdėstytą ant minėtos kristalinio silicio bazės (2),
- elektronų pernašos sluoksnį (4), išdėstytą virš skylinio laidumo silicio emiterio (3),
- tunelinę sandūrą (7), išdėstytą tarp skylinio laidumo silicio emiterio (3) ir elektronų pernašos sluoksnio (4),
- perovskito sluoksnį (5), išdėstytą ant elektronų pernašos sluoksnio (4), kur perovskito sluoksnio (5) paviršius turi ominią sąlytį su viršutiniu elektros išvadu (6), b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad tunelinė sandūra (7) yra suformuota legiruojant donorine priemaiša elektronų pernašos sluoksnio sritį (4'), esančią prie minėto skylinio laidumo silicio emiterio (3) paviršiaus, šio sluoksnio auginimo metu.

2. Saulės elementas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad elektronų pernašos sluoksnis (4) yra iš titano dioksido, o jo sritis (4'), esanti sąlytyje su skylinio laidumo silicio emiterio (3) paviršiumi, yra auginimo metu legiruota donorine Nb priemaiša, suformuojant tunelinę sandūrą (7).

