

(19)



(10) **LT 5819 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(11) Patent numeris: **5819**

(51) Int. Cl. (2011.01): **H01L 31/00**
G02B 17/00

(21) Paraiškos numeris: **2011 055**

(22) Paraiškos padavimo data: **2011 06 09**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2011 12 27**

(45) Patent paskelbimo data: **2012 03 26**

(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:

Eugenijus ŠATKOVSKIS, LT
Viktor ZAGADSKIJ, LT
Ramūnas MITKEVIČIUS, LT

(73) Patent savininkas:

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

—

(54) Pavadinimas:

Saulės elementas su paslėptos tekstūros emiteriu

(57) Referatas:

Aprašomi fotoelektriniai puslaidininkų saulės elementai ir priemonės, taikomos šiuose saulės elementuose efektyvumui padidinti: praskaidrinantieji ketvirčio šviesos bangos ilgio storio dielektriniai ir nanovamzdelių sluoksniai, paviršiaus tekstūravimas. Šios priemonės taikomos padengiant saulės elemento paviršių specialiu medžiagos sluoksniu arba saulės elemento paviršių specialiuoju būdu paveikiant. Pažymimi trūkumai liekantieji kai tekstūruojamas tik saulės elemento paviršius. Skirtingai nuo žinomų saulės elementų patentuojamame saulės elemente yra papildomas tekstūruotas sluoksnis sudarytas ir paslėptas emiterio tūryje, nepaveikiant (nepažeidžiant) saulei nukreipto paviršiaus ir p-n sandūros. Paslėpta saulės elemento emiterio tūrio tekstūra padidina saulės elemento efektyvumą dėka daugkartinio atspindžio saulės elemento emiterio tūryje, dėka šviesos sklaidimo krypties pakeitimo, dėka padidėjusio šviesos spindulių emiterio tūryje nueito optinio kelio ir didesnio krūvininkų, pasiekiančių p-n sandūrą, skaičiaus, bei geresnio jų surinkimo p-n sandūros srityje. Papildomai paliekama galimybę visoms įprastinėms efektyvumo didinimo priemonėms praskaidrinant saulės elemento paviršių, jį tekstūruojant bei įrengiant atspindintį galinį kontaktą.

Technikos sritis, kuriai priskiriamas išradimas

Saulės elementas su paslėptos tekstūros emiteriu skirtas saulės šviesos energijai konvertuoti į elektros energiją, fotoelektros sričiai. Jis gali būti naudojamas fotoelektriniuose saulės elementuose, iš tų elementų kuriant saulės elementų modulius ir statant fotoelektrines saulės elektrines.

Technikos lygis

Fotoelektrinio Saulės energijos konversijos būdo tobulinimas ir diegimas plačiu mastu yra viena iš mokslo ir technologijų krypčių, kuria šiandiena einama sprendžiant ekologiškos ir atsinaujinančios energijos gavimą pasauliui. Sprendžiant šią problemą vienas iš aktualių mokslo ir saulės elementų technologijos uždavinių yra fotoelektrinių puslaidininkinių saulės elementų efektyvumo didinimas. Pramoniniu būdu gaminama daug puslaidininkinių saulės elementų rūšių, tačiau daugiausia gaminama saulės elementų iš monokristalinio silicio. Nuo mikroelektronikos vystymosi pradžios silicio technologija yra daugiausiai pažengusi, ištobulinta ir paplitusi. Silicio saulės elementai yra atspariausi klimato poveikiui ir mažiausiai kenksmingi ekologiniu požiūriu.

Saulės elementų efektyvumo didinimas buvo ir yra vienas svarbiausių fotoelektros srities tikslų. Tam plačiai naudojami saulės elementų priešakinio paviršiaus (paviršiaus į kurį nukreipiama saulės šviesa) praskaidrinimas ir tekstūravimas, o taip pat saulės spektro sugerties optimizavimas. Seniausiai žinomas ir ištobulintas yra saulės elementų paviršiaus praskaidrinimas. Šiuo metu ketvirčio šviesos bangos ilgio sluoksnių arba nanovamzdelių sluoksnių pagalba silicio saulės elementų paviršiaus atspindys monochromatinei šviesai sumažinamas iki 2 % (*Chen, Chen; Jia, Rui; Yue, Huihui; Li, Haofeng; Liu, Xinyu; Wu, Deqi; Ding, Wuchang; Ye, Tianchun; Kasai, Seiya; Tamotsu, Hashizume; Chu, Junhao; Wang, Shanli*. : Journal of Applied Physics , Issue Date: 2010, page(s): 094318 - 094318-5, ISSN: 0021-8979). Vėliau už praskaidrinimą išrastas paviršiaus tekstūravimas taip pat tapo vienu reikšmingiausių veiksnių, padidinusį silicio saulės elementų efektyvumą (*Zhao, J., A. Wang, M. A. Green, and F. Ferrazza, "19.8% efficient "honeycomb" textured*

multicrystalline and 24.4% monocrystalline silicon solar cells", *Applied Physics Letters*, vol. 73, no. 14: AIP, pp. 1991-1993, (1998)). Paviršiaus tekstūravimo naudos esmė yra paviršiaus, į kurį patenka šviesos pluoštas, ploto padidinimas ir daugkartinio atspindžio nuo tekstūruoto paviršiaus briaunų panaudojimas šviesos kvantų pluošto sugerties padidinimui, pakartotinai nukreipiant atspindėtą šviesą į saulės elementą. Tačiau paviršiaus tekstūravimas dažniausiai užtikrina tik vienkartinį papildomą atspindėtos šviesos nukreipimą į paviršių ir nedaro teigiamos įtakos kitiems saulės elementų parametrams, turintiems įtakos elemento efektyvumui. Tuo tarpu efektyviai saulės šviesos kvantų energijos konversijai į elektros energiją būtina, kad šviesos kvantai būtų ne tik mažai atspindimi nuo elemento paviršiaus, bet ir kad jie efektyviai, optimaliai ir tinkamoje elemento vietoje būtų sugeriami, sukurdami nepusiausvyriuosius krūvininkus. Be to, būtina, kad nepusiausvyrieji krūvininkai nerekombinuotų ir pasiektų *p-n* sandūrą. Todėl saulės šviesai atkreipta saulės elemento dalis, vadinama emiteriu, gaminama optimaliai plona. Optimizuojant atsižvelgiama į saulės šviesos spektro ir puslaidininkio draudžiamų energijų tarpo santykius. Saulės elemento iš kristalinio silicio atveju emiterio storis yra apie $0,5\ \mu\text{m}$. Dėl puslaidininkio sugerties koeficiento spektrinės priklausomybės ir tiesiniai šviesos sugerčiai galiojančio Bugerio-Lamberto dėsnio, bet kuriuo atveju dalis šviesos kvantų sugerama labai arti paviršiaus, o kita dalis, (ypač kvantai energijos arti puslaidininkio draudžiamų energijų tarpo) praeina kiaurai per visą saulės elemento storį. Siekiant panaudoti šią šviesos dalį, apatinis (nugarinis) saulės elemento paviršius taip pat tekstūruojamas ir padengiamas atspindinčiu metalo sluoksniu (Zhao, J., A. Wang, M. A. Green, and F. Ferrazza, "19.8% efficient "honeycomb" textured multicrystalline and 24.4% monocrystalline silicon solar cells", *Applied Physics Letters*, vol. 73, no. 14: AIP, pp. 1991-1993, 1998.), kuris tuo pačiu metu atlieka elektrinio kontakto funkciją. Nepaisant minėtų priemonių dalis šviesos kvantų ir nepusiausvyrių krūvininkų prarandama dėl rekombinacijos ir riboto krūvininkų surinkimo.

Artimiausias čia pateikiamam išradimui yra saulės elementas, aprašytas Europos patente *Improved Optical Design for Photo-cells*, EP 0 607 251 B1. Patente aprašomos skirtingos konstrukcijos, dangos ir tekstūros, išdėstytos saulės elemento priešakiniame paviršiuje, kurių paskirtis yra pagauti ir nukreipti trimačiu būdu į prietaiso paviršių krintantį šviesos pluoštą. Išskiriama tokios dangos ir tekstūros kombinacija su fotoelementu, turinčiu šviesą sugeriantį paviršių, tai yra, įskaitant saulės elementą. Tačiau patente nekalbama ir nieko neužsimenama apie šviesą sugeriančio saulės elemento tūrio išskirtines konstrukcijos savybes. Saulės elemento tūris lieka nepakeistas. Pateikiamo

išradimo išskirtinis bruožas yra saulės elemento tūrio sandaros ypatumai, užtikrinantys didesnę saulės elemento našumą (efektyvumą).

Išradimo tikslas ir esmė

Išradimo tikslas yra saulės elemento efektyvumo padidinimas sudarant sąlygas prasiskverbusiai pro priešakinį paviršių saulės šviesai būti sugertai geriau ir optimaliausioje emiterio vietoje. Tuo tikslu, emiterio tūrio (erdvės) viduje papildomai sudaromos sąlygos daugkartiniam šviesos fotonų atspindžiui, jų sklaidimo krypties pakeitimui ir optinio kelio pailgėjimui saulės elemento tūryje. Pateikiamame išrastame saulės elemente šviesa valdoma jau po to, kai ji yra prasiskverbusi pro priešakinį paviršių, tai yra, esanti arčiau p - n sandūros. Tik tuomet pakeičiama jos sklaidimo kryptis ir padidinamas optinis kelias. Šiuo atveju krūvininkai sužadinami arčiau p - n sandūros, ir tai lemia geresnę šviesos energijos konversiją į elektros srovės energiją. Tikslas pasiekiamas papildomai pagaminant tekstūruotą sluoksnį emiterio tūryje, tai yra emiterio erdvėje, esančioje giliau už apšviečiamo paviršiaus, bet tuo pačiu metu nepažeidžiant paties priešakinio paviršiaus, ir nepažeidžiant p - n sandūros. Tekstūros sluoksnis yra emiterio tūryje ir iš išorės nepasiekiamas ir nematomas, tai yra, tekstūros sluoksnis yra paslėptas emiterio tūryje. Prasiskverbusios pro priešakinį saulės elemento paviršių šviesos tik nedidelė dalis sugerama netekstūruotame emiterio medžiagos sluoksnyje iš karto už paviršiaus, kaip įprastame saulės elemente, o nesugerta pagrindinė šviesos srauto dalis, dėl daugkartinio atspindžio ir sklaidos ant paslėptos tekstūros paviršių keičia sklaidimo kryptį, nueina emiterio tūryje didesnę optinį kelią ir efektyviai sugerama. Papildomas teigiamas poveikis saulės elemento efektyvumui pasiekiamas dėl to, kad šviesa efektyviai kuria nepusiausvyrius krūvininkus arti p - n sandūros. Nepusiausvyrieji krūvininkai greičiau pasiekia p - n sandūrą. Dėl to mažesnė jų dalis rekombinuoja nepasiekusi p - n sandūros.

Saulės elemento su paslėptos tekstūros emiteriu skersinio pjūvio schema pavaizduota fig.1.

Saulės elemento p - n sandūra **1** yra n -tipo (arba p -tipo) ir p -tipo (arba n -tipo) n - ir p -elektrinio laidžio sričių lietimosi srityje, kaip įprastame puslaidininkių saulės elemente. Emiterio tūryje paslėptas tekstūruotas sluoksnis scheme pažymėtas skaičiumi **2**. Paslėptas tekstūruotas sluoksnis **2** yra atskirtas nuo priešakinio paviršiaus ir nuo p - n sandūros **1** atitinkamai netekstūruotais sluoksniais **3** ir **3'**. Tokiu būdu tekstūruotas sluoksnis **2** nekeičia

p-n sandūros ir priešakinio paviršiaus morfologijos. Tokiomis sąlygomis priešakinis paviršius gali būti ir tekstūruojamas, ir prašviesinamas bei dengiamas apsauginiu sluoksniu kaip žinomuose įprastiniuose saulės elementuose naudojant žinomas technologijas. Fig.1 skaičiai 4', 4 ir 5 atitinkamai žymi tinklo pavidalo (arba skaidrų) viršutinį ir ištisą apatinį metalinius kontaktus. Saulės elementas su paslėptos tekstūros emiteriu realizuotas saulės elemente iš monokristalinio silicio. Pirmtakas, pirminis monokristalinio silicio saulės elementas, buvo suformuotas *p*-tipo, 450 μm storio silicio plokštelėje. Emiterio, *n*-tipo, stotis 0,5-0,8 μm .

Tiriant pagamintą patentuojamą saulės elementą su paslėptos tekstūros emiteriu, esant fiksuotoms apšvietimo sąlygoms nustatyta, kad po patentuojamo patobulinimo, saulės elemento apkrovos voltamperinės charakteristikos užpildos rodiklis padidėjo 12 %. Atitinkamai padidėjo ir elemento konversijos efektyvumas. Kuriama maksimali galia išsiskirianti suderintose apkrovose padidėjo nuo 1,15 iki 2,5 karto lyginant su saulės elementų pirmtakų kurtomis maksimaliomis galiomis iki paslėpto tekstūruoto sluoksnio pagaminimo jame.

Išradimo apibrėžtis

1. Saulės elementas, kurio kūnas susideda iš puslaidininkio medžiagos su viršutiniu ir apatiniu elektrai laidžiais kontaktais, minėtas kūnas turintis dvi skirtingo laidžio tipų puslaidininkio sritis, sudarančias tarpusavyje $p-n$ arba $n-p$ sandūrą, konkrečiai: pirmą apatinę sritį, legiruotą priemaiša vienam puslaidininkio laidžio tipui sudaryti, kontaktuojančią su apatiniu elektrai laidžiu kontaktu ir antrą, į saulės šviesą nukreiptą viršutinę sritį, vadinamą emiteriu, legiruotą priemaiša priešingo tipo elektros laidžiui sudaryti, kontaktuojančią su viršutiniu elektrai laidžiu kontaktu, o minėtas kontaktas suformuotas taip, kad leistų saulės ar kitos kilmės šviesai patekti į viršutinės puslaidininkio medžiagos srities priešakinį paviršių, saulės elemento paviršius tekstūruotas arba netekstūruotas, turi ar neturi prašviesinančią ir apsaugančią dangas b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad viršutinė, į saulę nukreipta saulės elemento emiterio dalis turi tūryje paslėptą tekstūruotą sluoksnį.

2. Saulės elementas pagal 1 punktą b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas emiterio tūryje paslėptas tekstūruotas sluoksnis nesiekia ir nepažeidžia į saulę nukreipto saulės elemento emiterio priešakinio paviršiaus.

3. Saulės elementas pagal 1, 2 punktus b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas emiterio tūryje paslėptas tekstūruotas sluoksnis nesiekia ir nepažeidžia saulės elemento tūryje esančios skirtingų laidžio tipų puslaidininkio medžiagos $p-n$ sandūros.

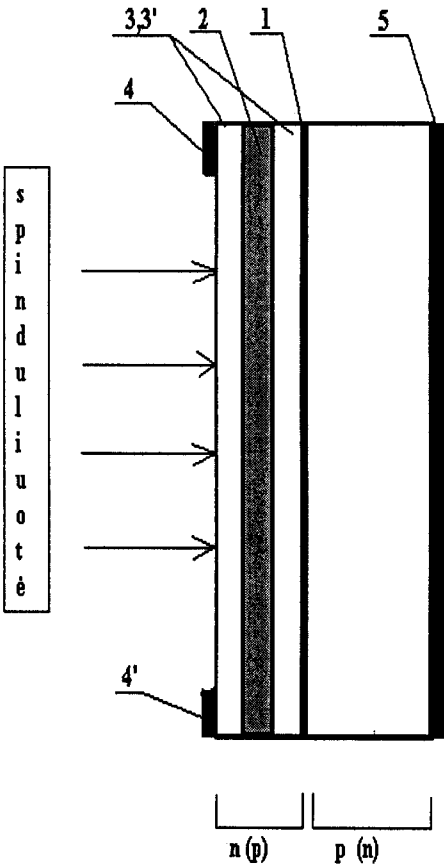


Fig. 1