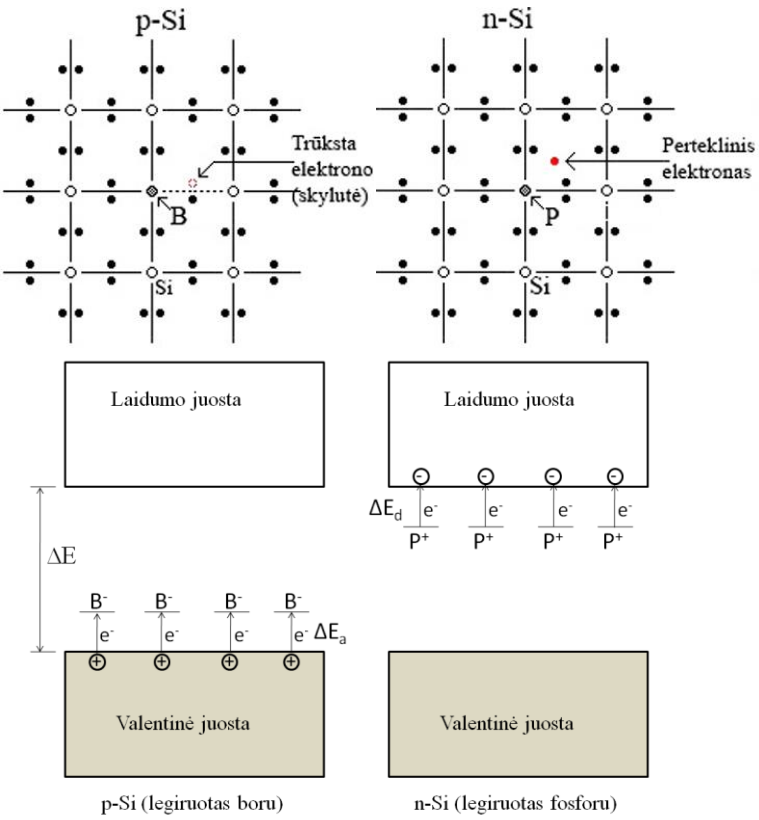
15. SAULĖS ELEMENTAS DAŽAIS JAUTRINTO TITANO DIOKSIDO PAGRINDU

Įvadas

Saulės elementas (solar cell, photovoltaic cell) yra įrenginys, kuris verčia saulės energiją į elektros energiją dėka fotoelektrinio efekto.

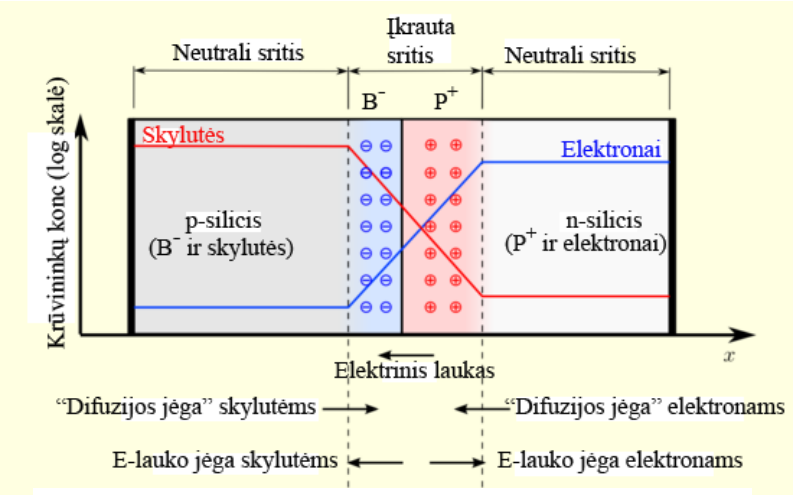
Šiuo metu plačiai naudojami saulės elementai yra pagaminti iš didelio paviršiaus p-n jungčių (sandūrų) suformuotų silicio puslaidininkyje. P-tipo puslaidininkis silicis gaunamas, legiruojant silicį elemento atomais su mažesniu valentinių elektronų skaičiumi (B, Al,...). Jie sukuria akceptorinius energijos lygmenis silicio energetinių juostų struktūroje (draustinių energijų juostoje). Pakanka nedidelės terminės energijos(ΔE_a), kad elektronai iš valentinės juostos būtų sužadinti į akceptorinius lygmenis (1 pav.). Dėl to, boro atomai virsta B^- jonais, o valentinėje juostoje lieka nesukompensuotas teigiamas krūvis, susidaro taip vadinama skylutė - teigiamo krūvio kvazidalelė (1 pav.). Tokiame silicyje laisvieji krūvininkai, galintys pernešti krūvį, yra skylutės. N-tipo puslaidininkis silicis gaunamas, kai silicis legiruojamas elemento atomais su didesniu valentinių elektronų skaičiumi (P, As,...). Jie draustinių energijų juostoje sukuria donorinius lygmenis. Elektronai iš donorinių lygmenų nedidelės terminės energijos (ΔE_d) yra sužadinami į laidumo juostą. Netekę elektrono, P atomai virsta P^+ jonais. Tokiame silicyje laisvieji krūvininkai yra elektronai laidumo juostoje.



1 pav. p-Si (legiruoto B) ir n-Si (legiruoto P) kristalo struktūra ir energetinių juostų diagrama. ΔE – draustinių energijų juostos plotis; ΔE_a – akceptorinių lygmenų sužadinimo energija; ΔE_d – donorinių lygmenų sužadinimo energija

Savitajame puslaidininkyje silicyje (grynas Si), jo valentiniai elektronai, išsidėstę valentinėje energetinėje juostoje (Si-Si jungtyse), sužadinami tiesiai į laidumo juostą, susidarant skylutės valentinėje juostoje ir elektrono laidumo juostoje porai (eksitonui). Tam reikalinga didesnė terminė energija (ΔE), todėl kambario temperatūroje laisvų krūvininkų (eksitonų) koncentracija gryname silicyje nedidelė, nedidelis ir jo elektros laidumas, lyginant su p- ir n-tipo siliciu.

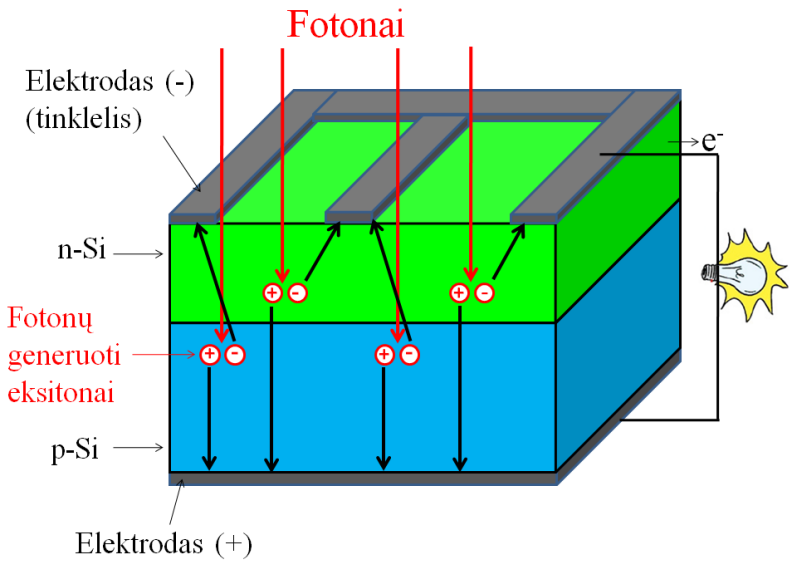
Sudarius kontaktą tarp p ir n-tipo Si, t.y., suformavus p-n sandūrą, joje atsiranda įdomūs ir praktinį pritaikymą randantys reiškiniai (2 pav.). Iš n-tipo Si, turinčio didelę laisvų elektronų koncentraciją, dėl koncentracijos skirtumo elektronai spontaniškai difunduoja per sandūrą į p-tipo Si, turintį didelę skylučių koncentraciją. Skylučių difuzija iš p-tipo Si vyksta analogiškai atvirkščia kryptimi. Sandūroje susitikę elektronai ir skylutės rekombinuoja tarpusavyje (laisvi krūvininkai išnyksta). Dėl to n-tipo Si srityje šalia p-n sandūros lieka nesukompensuoti teigiami krūviai (P^+ jonai), o p-tipo Si šalia sandūros – nesukompensuoti neigiami krūviai (B^- jonai). Susidarius krūviams priešingose sandūros pusėse, atsiranda elektrinis laukas (įtampa), kurio jėga veikia priešinga kryptimi, t.y., stabdo elektronų ir skylučių difuziją per sandūra ir skatina jų judėjimą atvirkščia difuzijai kryptimi. Nusistovi dinaminė pusiausvyra. Sandūroje atsiradusio elektrinio lauko įtampa pusiausvyros sąlygomis vadinama p-n sandūros įtampą. Ši įtampa pagrindinai priklauso nuo puslaidininkio draustinės juostos pločio, pavyzdžiui, Si puslaidininkio p-n sandūros įtampa yra 0.6-0.7 V. Susidariusioje siauroje srityje abipus p-n sandūros nebėra laisvųjų krūvininkų, ji yra nelaidi ir vadinama nuskurdinta sritimi (depletion zone).



2 pav. Si p-n sandūra terminėje pusiausvyroje. Krūvininkais nuskurdinta sritis abipus sandūros pažymėta šviesiai mėlyna (teigiamai įkrauta sritis) ir raudona (neigiamai įkrauta sritis) spalvomis. Rodyklėmis parodytos kryptys, kuriomis elektronus ir skylutes veikia elektrostatinė ir difuzijos jėgos sandūroje.

Saulės elemente, p-Si ir n-Si paviršiai padengiami metaliniais kontaktais, kurie prijungiami prie išorinės apkrovos (elektros lemputės, elektros motoro). Kas vyksta, kai p-n sandūra apšviečiama saulės šviesa, supaprastintai galima paaiškinti taip (3 pav.). Fotonai, turintys didesnę energiją, negu Si puslaidininkio draustinių energijų juostos plotis (ΔE ~1.1 eV), arba jai lygią, sužadina Si elektronus iš valentinės į laidumo juostą abiejose sandūros pusėse (ir p, ir n-Si). Atsirandant papildomiems laisviesiems krūvininkams (elektronams

laidumo juostoje ir skylutėms valentinėje juostoje, eksitonams) nusistovėjusi terminė laisvųjų krūvininkų pusiausvyra p-n sandūroje suardoma. Sandūros srityje susidarę laisvi krūvininkai (elektronai ir skylutės) sandūros elektrinio lauko yra išskiriami, t.y., elektronai pernešami per p-n sandūrą į n-tipo Si, o skylutės į p-tipo Si. Pertekliniai elektronai n-tipo silicyje, veikiami susidariusio elektrinio lauko, per metalinį elektrodą juda išorine grandine per apkrovą iki metalo-p-Si kontakto. Pasiekę p-tipo Si, elektronai susitinka su priešinga kryptimi judančiomis skylutėmis ir rekombinuoja. Taip saulės elementai gamina pastovią elektros srovę. Srovė teka tol, kol elementas apšviečiamas saulės šviesa, generuojančia laisvuosius krūvininkus silicyje.



3 pav. Elektros srovės generavimo saulės elemente schema.

Tačiau saulės elementai tik nedidelę saulės šviesos energijos dalį konvertuoja į elektros energiją. Vienas elementas sukuria labai nedidelę galią (įtampa × srovė), tad elementai paprastai sujungiami į baterijas. Saulės šviesa sudaryta iš įvairios energijos (bangos ilgio) fotonų. Atėjusi iki Si paviršiaus, ji gali praeiti per jį, būti atspindėta arba absorbuota. Paprastai prasiskverbti gali tik žemesnės energijos fotonai ($<\Delta E_{Si}$). Dalis fotonų atspindima Si paviršiaus. Atspindžiui sumažinti naudojami antireflektiniai sluoksniai. Absorbuojami fotonai, turintys energiją $\geq\Delta E_{Si}$, kurie sužadina Si elektronus iš valentinės į laidumo zoną ir taip generuoja krūvininkus. Jei absorbuoto fotono energija didesnė už ΔE_{Si}, elektrono sužadinimui panaudojama tik dalis fotono energijos, kita energijos dalis virsta šiluma. Kadangi saulės spektre yra tik nedidelė dalis fotonų, kurių energija lygi ar šiek tiek didesnė už ΔE_{Si}, tik ta dalis šviesos energijos gali būti paverčiama elektrine. Silicio saulės elementuose tik apie 15-25 % saulės šviesos energijos konvertuojama į elektrinę, priklausomai nuo p-n jungtims panaudoto Si formos (monokristalinis Si, polikristalinis Si, ploni sluoksniai) ir elemento konstrukcijos. Saulės elementų gamyboje vis dar dominuoja silicis, tačiau tiriamos (ir jau naudojamos) ir kitos medžiagos, siekiant padidinti energijos konversijos laipsnį saulės elemente. Pavyzdžiui, vietoje silicio jau naudojamos ir kitų puslaidininkinių medžiagų (CdTe, $CuInSe_2$, $CuGaSe_2$, $CuIn_xGa_{(1-x)}Se_2$) p-n sandūros plonų sluoksnių formoje. Šios medžiagos

turi kitokias, negu Si, ΔE reikšmes, tad absorbuoja kitokios energijos fotonus. Šie plonasluoksniai elementai yra pigesni, bet jų konversijos efektyvumas (10-20 %) kol kas dar mažesnis už silicio elementų. Padidintu efektyvumu pasižymi multi-sandūrų saulės elementai. Jie sudaryti iš daug skirtingų puslaidininkių plonų sluoksnių, nusodintų epitaksijos iš cheminių garų būdu. Pavyzdžiui, trigubos sandūros elementai pagaminti iš susluoksniuotų trijų puslaidininkių GaAs, Ge, $GaInP_2$ p-n sandūrų. Kiekvieno sluoksnio puslaidininkis turi jam charakteringą ΔE reikšmę, todėl saulės elementas gali absorbuoti fotonus platesniame energijų spektre, t. y., konvertuoti į elektrinę energiją didesnę saulės šviesos energijos dalį. Laboratorijos sąlygomis šiuose elementuose pasiektas konversijos rekordas yra virš 40 %. Tačiau jų gamyba dar brangi, tad jie kol kas naudojami tik kosmininių tyrimų įrangoje.

Dabar plačiai tiriami organiniai ir polimeriniai saulės elementai, tačiau kol kas jų konversijos laipsnis mažas, palyginus su elementais neorganinių medžiagų pagrindu.

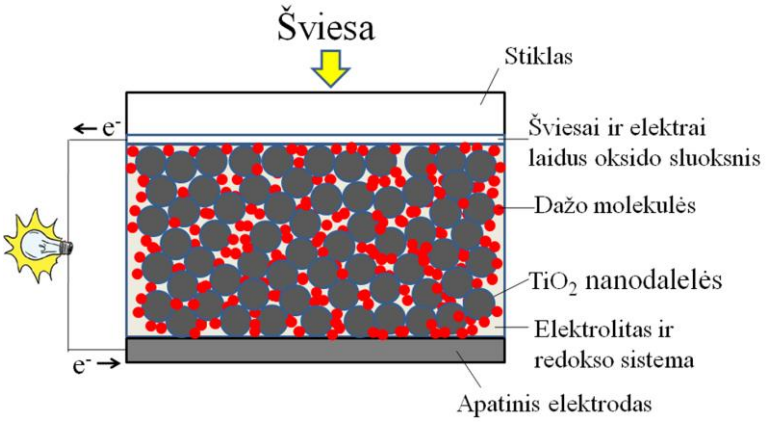
Šiuo metu saulės elementų tyrimai jau pereina į nanotechnologijų sritį. Intensyviai pradėti tirti elementai nanotaškų (nanodots) pagrindu. Tai kvantinės nanostruktūros, pvz anglies nanovamzdeliai, indžio fosfido nanovielos ar kitų medžiagų nanodalelės, įterptos į polimerinę ar porėtą metalo oksido matricą. Keičiant nanotaškų dydį, galima keisti ΔE ir absorbuojamų fotonų energiją. Nors šie tyrimai yra dar tik pradinėje stadijoje, laboratorijose jau pasiekiamas 42 % konversijos efektyvumas.

Čia liko neaptarta daug krypčių, kuriomis dabar vystosi technologiniai tyrimai saulės elementų srityje, siekiant padidinti jų energijos konversijos efektyvumą ir sumažinti kainą. Paskutinė kryptis, kurią reikia aptarti, nes susijusi su šiuo laboratoriniu darbu, yra dažais jautrinti (day-sensibilized) saulės elementai, kuriuose šviesos absorbanto rolę atlieka organiniai dažai. Tai fotoelektrocheminė systema, priskiriama plonų sluoksnių saulės elementų grupei, kurios veikimas nėra pagrįstas p-n sandūra, kaip silicyje. Silicio saulės elementuose krūvių atskyrimas ir judėjimas vyksta dėka elemente susidariusio elektrostatinio lauko įtampos. Silicio elemente Si kartu yra ir fotoelektronų šaltinis (apšvietus), ir sukuria elektros lauką. Dažais jautrintuose elementuose dominuojantis krūvininkų (elektronų) judėjimo būdas yra jų difuzija dėl skirtingos koncentracijos. Siliciui būdingos dvi funkcijos dažais jautrintuose elementuose yra atskirtos. Juose esantis puslaidininkis panaudojamas tik krūvių transportui, o fotoelektronai sukuriami fotojautriame daže apšvietus. Krūviai atsiskiria sąlyčio paviršiuose tarp dažo, puslaidininkio ir elektrolito.

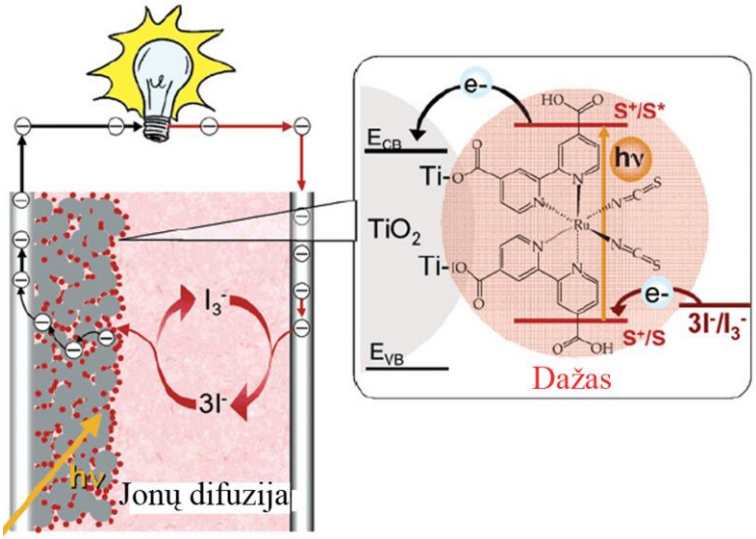
Dažais jautrinto saulės elemento sandara pavaizduota 4 pav. Norint gauti didelę šviesos absorbciją ir elemento efektyvumą, dažo molekulės turi būti paskirstytos kuo didesniame paviršiaus plote gana storame absorbuojančiame sluoksnyje, t.y., didelio paviršiaus ploto 3D matricoje. Tam panaudojamos puslaidininko TiO_2 nanodalelės (~10 nm

dydžio). Elemento viršutiniu elektrodu naudojama stiklo plokštelė su jos apačioje padengtu šviesai ir elektrai laidžiu oksido sluoksniu (pvz., SnO_2). Laidaus oksido sluoksnis padengiamas TiO_2 miltelių (nanodalelių dydžio) sluoksniu, kuris turi labai porėtą sandarą su didžiuliu paviršiaus plotu. Taip paruošta stiklo plokštelė pamerkiama į fotojautraus dažo tirpalą. Tam dažniausiai naudojami rutenio-polipiridininiai dažai. Mirkant TiO_2 sluoksnį, ant nanodalelių paviršiaus lieka plonas dažo molekulių sluoksnis, kovalentiškai surištų su TiO_2 paviršiumi. Tada prie TiO_2 sluoksnio prispaudžiamas kitas elektrodas (platinos plokštelė arba laidžiu sluoksniu padengta kita stiklo plokštelė). Tarpas tarp elektrodų prisotinamas elektrolito tirpalu, kuris turi jodido ir trijodido jonų ($3I^-/I_3^-$ redokso pora).

Dažais jautrinto saulės elemento veikimo principas (5pav.). Saulės šviesa įeina į elementą per virsutinę stiklo plokštelę ir šviesai laidų elektrodą. Pats titano dioksidas absorbuoja nedaug šviesos ir tik UV srityje. Dažo molekulės absorbuoja matomos šviesos spektro fotonus, o sužadintas dažo elektronas "injektuojamas" į TiO_2 laidumo juostą ir juda (difuzija dėl elektronų koncentracijos skirtumo) per TiO_2 sluoksnį iki šviesai laidaus viršutinio elektrodo. Dažo molekulė taip netenka elektrono (t.y., oksiduojasi), tad jei jo praradimas nebus kompensuotas, molekulė suirtų. Dažo molekulė atgal redukuojama jodido jonais, taip atgaudama prarastą elektroną (kuris vėl galės būti sužadintas šviesa). Jodido jonai, redukuodami dažą, patys oksiduojasi iki trijodido jonų. Šis redokso procesas vyksta taip greitai, kad sužadintas dažo elektronas nespėja rekombinuoti. Dažo atiduoti fotoelektronai, per TiO_2 sluoksnį atėję prie viršutinio elektrodo, toliau juda išorine



4 pav. Dažais jautrinto saulės elemento sandara.



5 pav. Dažais jautrinto saulės elemento veikimo principas. Dažas: cis-$RuL_2(NCS)_2$ (raudonas), kur L = 2,2'-bipiridil-4,4'-dikarboksilinė rūgštis.

grandine per apkrovą iki apatinio elektrodo. Per jį į sistemą įvesti elektronai atiduodami prie elektrodo difundavusiems I_3^- jonams, kurie tokiu būdu vėl redukuojasi iki I^- jonų. Taip susidaro uždaras fotoelektrocheminis ciklas, kuriame šviesos poveikyje gaminama elektros srovė.

Dažais jautrintas TiO_2 sluoksnis absorbuoja tik dalį matomos šviesos fotonų, kurių energija priklauso nuo dažo šviesos absorbcijos maksimumo padėties spektre. Lyginant su Si, naudojami dažai absorbuoja mažiau raudonos šviesos, vadinasi, tokiame elemente mažesnė matomos šviesos fotonų dalis panaudojama srovei gaminti. Tradiciniai Si saulės elementai duoda ~ 0.6 V įtampą ir ~35 mA/cm^2 srovę, o dažais jautrinti saulės elementai duoda 0.6-0.7 V įtampą ir ~ 20 mA/cm^2 srovę (konversijos laipsnis apie 11 %).

Dažais jautrinti saulės elementai laikomi labai perspektyviais, todėl labai plačiai tiriami. Pagrindinis jų privalumas – jiems gaminti gali būti panaudotos pigios medžiagos, pigi ir pati gamybos technologija. Jų komercinį pritaikymą uždelsė sunkiai spręstos cheminio stabilumo problemos, kurios dabar jau baigiamos išspręstos. Nepaisant vis dar santykinai mažesnio elektros energijos gaminimo efektyvumo, numatoma, kad dažais jautrinti saulės elementai artimiausioje ateityje sudarys rimtą konkurenciją tradiciniams silicio elementams, pagrindinai dėl kainos/efektyvumo santykio.

Šio darbo tikslas yra pagaminti dažais jautrinto TiO_2 saulės elementą ir nustatyti jo charakteristikas.

Darbo eiga.

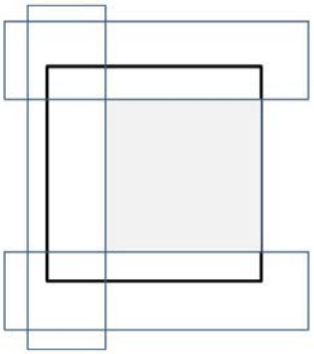
1. Saulės elemento gaminimas ir tyrimas.

Saulės elementas gaminamas naudojant dvi stiklo plokšteles (~2.5 cm × 2.5 cm), padengtas elektrai laidaus ir šviesai pralaidaus oksido (TCO-Transparent onducting Oxide) sluoksniu, pvz., alavu legiruoto indžio oksido (In_2O_3-SnO_2) arba fluoru legiruoto alavo oksido (SnO_2-F).

1.1. TiO_2 sluoksnio suformavimas

TiO_2 sluoksnis ant stiklo plokštelės, padengtos TCO sluoksniu, padengiamas užtepimo būdu.

Paimama viena stiklo plokštelė su padengtu laidžiu sluoksniu. Plokštelė iš abiejų pusių nuplaunama skystu muilu, vandeniu, distiliuotu vandeniu, etanoliu ir nusausinama sugeriančiu popieriu. Matuojant varžą nustatome plokštelės laidžią pusę. Padedame plokštelę ant apverstos stiklinės Petri lėkštelės. Ant plokštelės trijų kraštų, laidaus sluoksnio pusėje, užklijuojamos to paties storio lipnios plėvelės juostelės (žiūr. 6 pav.). Užklijuotų kraštų plotis turi būti apytikriai po 3 mm dviejuose priešinguose kraštuose, o trečias kraštas – apie 5-6 mm (skirtas kontaktams uždėti saulės elemento charaktristikų matavimo metu). Juostelės kartu priklijuoja plokštelę ir prie Petri lėkštelės.



6 pav. Juostelių užklijavimo schema

Atsveriama 0.50 g nanokristalinio TiO_2 miltelių, jie suberiami į mažą parcelianinę grūstuvę ir stikline Pastero pipete įlašinama 30 lašų labai praskiestos acto rūgšties (1:1000). Mišinys gerai išmaišomas trinant su grūstūvėliu. Gaunama skysta vienalytė koloidinė suspensija. Tada plastikine Pastero pipete pridedamas 1 lašas skaidraus indų ploviklio ir vėl gerai išmaišoma trinant (prie grūstuvėlio prikibusią pastą vis nugramdant mentele ir grąžinant į grūstuvę). Jei gauta pasta per tiršta tepimui, galima ją praskiesti 2-3 lašais acto rūgšties ir vėl gerai išmaišyti.

Dalis paruoštos TiO_2 pastos metaline mentele perkeliama ant stiklo plokštelės (tarp užklijuotų lipnių juostelių). Tada pasta braukiama su mentele (kartu mentelę spaudžiant prie juostelių), stengiantis pastą tolygiai paskleisti po visą neužklijuotą paviršių. Jei nepavyko, braukiame iš naujo. Gali pastą braukti daug kartų, kol gausis tolygus plonas sluoksnis, kurio storis būtų kaip uklijuotų lipnių juostelių (apie ~40-60 μm). Užteptas sluoksnis turi būti tolygus ir be skylučių ar tarpelių jame. Kadangi užtepto TiO_2 pastos sluoksnio kokybė didele dalimi lemia saulės elemento kokybę, būtina parodyti suformuotą sluoksnį dėstytojui ar laborantui, ir tęsti darbą tik gavus jų leidimą. Toliau atsargiai nuplėšiamos lipnios plėvelės juostelės, stengiantis nepažeisti užtepto TiO_2 sluoksnio. Plokštelė su TiO_2 sluoksniu padžiovinama kelias minutes džiovinimo krosnyje (~100°C). Tada ji kaitinama, padėjus ant keraminio padėklo (TiO_2 sluoksniu į viršų), esančio virš dujinio degiklio,

krašto. Stengiamasi plokštelę įkaitinti palaipsniui (kad nuo staigaus terminio šoko nesuskilinėtų TiO_2 sluoksnis). Todėl plokštelė įstumiama į karščiausią zoną centre palaipsniui (~per 2-3 min) ir paliekama ten kaisti ~15 min. (temperatūra centre yra ~450-500 ^oC). Kaitinant organiniai priedai išdega, todėl pradžioje sluoksnis pasidaro rudas, pabaigoje gaunama balta TiO_2 danga. Išjungiamas dujų degiklis ir plokštelė ataušinama.

1.2. TiO_2 sluoksnio jautrinimas dažu.

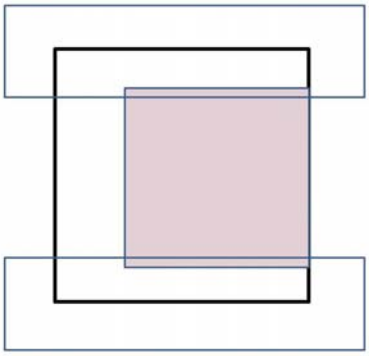
Grūstuvėje iš granato vaisiaus grūstuvėliu išspaudžiamos sultys ir perpilamos į mažą Petri lėkštelę. Į koncentruotas sultis pamerkiama stiklo plokštelė su iškaitintu TiO_2 sluoksniu, ir ten laikoma ~30 min. Tinka ir sultys iš šaldytų gervuogių ar aviečių. Visos minėtos sultys turi antocianinų. TiO_2 nanodalelių paviršius adsorbuoja dažo molekules iš sulčių, todėl TiO_2 sluoksnio spalva pasikeičia (nanodalelių paviršiuje esantys Ti atomai sudaro kompleksą su antocianinais). Plokštelė ištraukiama iš sulčių, apiplaunama etanoliu (etanolis nuplauna nešvarumus ir išplauna vandenį iš porėto TiO_2 sluoksnio), atsargiai nusausinama sugeriančiu popieriumi, po to dar trumpai padžiovinama šiltu oru (su fenu).

1.3. Saulės elemento sumontavimas.

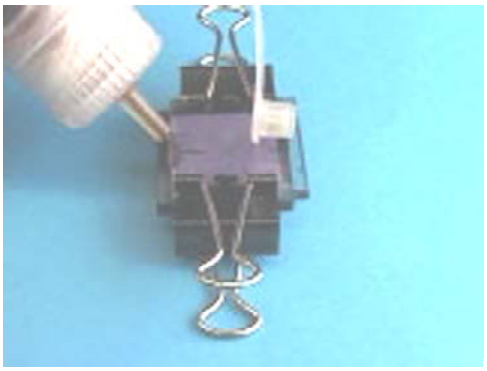
7 pav. Stiklo plokštelės laidaus sluoksnio padengimas suodžiais

Paimamama antra stiklo plokštelė su padengtu laidžiu oksido sluoksniu. Ji nuplaunama taip pat, kaip ir pirma plokštelė. Laidus paviršius padengiamas suodžiais žvakės liepsnoje. Uždegama žvakė ir plokštelė (laidžiu sluoksniu į apačią) greitai braukoma per liepsnos vidurinę dalį (žiūr. 7 pav.), kol plokštelės paviršius pasidengia nestoru suodžių sluoksniu (ne juodas, o pilkas, dar permatomas sluoksnis). Tada plokštelės kraštai iš trijų pusių nuvalomi (vatos tamponu) nuo suodžių, suformuojant apytikriai tokio pat pločio tris nepadengtus kraštus, kaip ir pirmoje plokštelėje. Suodžiai katalizuoja I_3^- redukcijos į I^- reakciją.

Pirmos plokštelės, turinčios dažu jautrintą TiO_2 sluoksnį, du nepadengti priešingi kraštai užklijuojami plona lipnia juostele taip, kad ji užklotų ir TiO_2 sluoksnio dalį (apie 1-2 mm, žiūr. schemą 8a pav.). Išsikišusios plėvelės dalys nukerpamos su žirklėmis. Abi paruoštos plokštelės suglaudžiamos taip, kad TiO_2 ir suodžiais padengtos dalys susiglausdamos daugmaž sutaptų, o nepadengti platesni kraštai išsikištų (kontaktams prijungti). Suglaustos plokštelės suspaudžiamos spaustukais (žiūr. 8b pav.). Kraštas tarp plokštelių iš vienos pusės sudrėkinamas (8b pav.) keliais lašais elektrolito KI_3/KJ tirpalo (tai tirpalas, turintis 0.5 M KI ir 0.05 M I_2 bevandeniame etilenglikolyje). Veikiamas kapiliarinių jėgų, elektrolito tirpalas pasiskleidžia ir užpildo tarpą tarp stiklo plokštelių.



8a pav. Juostelių užklijavimo schema ant stiklo plokštės su dažu jautrintu TiO_2 sluoksniu.



8b pav. Saulės elemento surinkimas ir užpildymas elektrolitu.

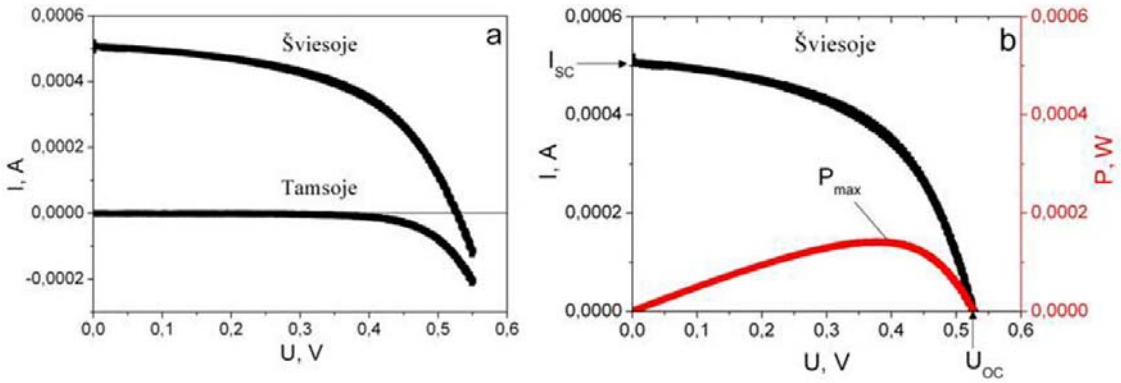
2. Saulės elemento tyrimas

2.1. Generuojamos įtampos ir srovės matavimas

Išsikišę plokštelių kraštai, padengti tik laidžiu SnO_2 sluoksniu, sugnybiami krokodilo spaustukais, kurie laidais prijungiami prie multimetro gnybtų (TiO_2 padengta plokštelė yra neigiamas saulės elemento elektrodas, o suodžiais padengta - teigiamas). Gerai apšviestoje vietoje (geriausiai – tiesioginėje saulės šviesoje) išmatuojama saulės elemento generuojama įtampą ir srovė. Matuojama elementą pakaitomis uždengiant nuo šviesos ir atidengiant į šviesą. Tai pakartojama kelis kartus, užrašomi multimetro parodymai. Panašų testavimą galima atlikti, naudojant ir elektrinį šviesos šaltinį, pvz., galingesnę apšvietimo lempą, projektoriaus lempą arba baltos šviesos diodą, šaltinį pakaitomis įjungiant ir išjungiant. Šitas etapas praleidžiamas, jei matuojama saulės elemento voltamperinė charakteristika (klausti dėstytojo ar laboranto).

2.2. Saulės element voltamperinės charakteristikos matavimas

Pagaminto saulės elemento (SE) kokybės charakterizavimui išmatuojama saulės elemento voltamperinė charakteristika (priklausomybė tarp saulės elemento generuojamos srovės I ir įtampos U). 9a paveiksle pavaizduota tipinė voltamperinės charakteristikos kreivė, išmatuota tamsoje ir apšviečiant. 9b paveiksle duota SE voltamperinė charakteristika (matuota šviesoje) ir iš jos

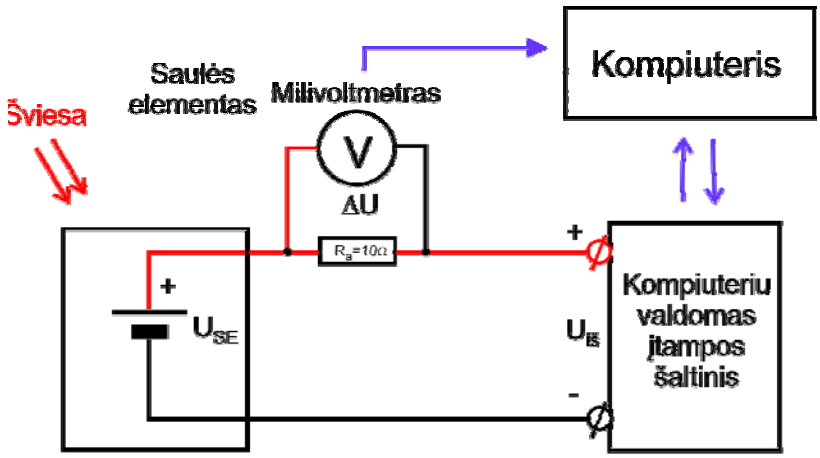


9 pav. Saulės elemento voltamperinė charakteristika

paskaičiuotas SE galios kitimas.

Šiame darbe voltamperinė charakteristika nustatoma saulės elemento įtampos kompensavimo metodu. Supaprastinta matavimo shema pateikta 10 paveiksle.

Kompiuterio valdomu įtampos šaltiniu palaipsniui didinama (skleidžiama) išėjimo įtampa $U_{iš.}$ kol ji susilygina (kompensuoja) su apšviesto saulės elemento generuojama EVJ ir tampa truputi didesnė. Didėjant šaltinio užduodamai įtampai, grandine tekanti srovė mažėja. Susilyginus įtampoms (šaltinio užduodamai ir SE generuojamai), srovė tampa lygi nuliui, o toliau didinant įtampą srovė



10 pav. Saulės elemento voltamperinės charakteristikos matavimo supaprastinta shema.

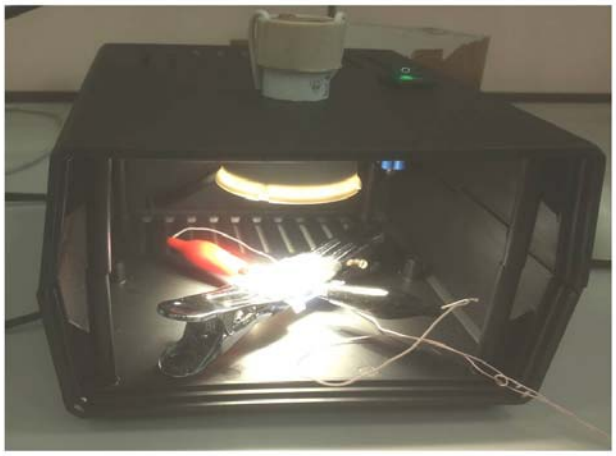
tampa neigiama. Srovė matuojama netiesiogiai: milivoltmetru matuojamas įtampos kritimas (ΔU), atsirandantis į grandinę įterptoje apkrovos varžoje (R_a=10 Ω), o grandine tekanti srovė paskaičiuojama pagal Omo dėsnį $I = \Delta U/R_a$. Kompiuteris registruoja šaltinio skleidžiamą įtampą ir įtampos kritimą apkrovos varžoje, pastarąjį perskaičiudamas į srovę, o matavimo duomenis pateikia grafiniu pavidalu koordinatėse įtampa-srovė. Pradžioje išmatuojama SE voltamperinė charakteristika tamsoje, po to apšviečiant. Šviesos šaltiniu naudojamas 5.5 W baltos šviesos diodas.

Matavimo eiga:

Įjungiame kompiuterį ir atidarome saulės elemento voltamperinės charakteristikos matavimo programos langą (SaulesUV.vi, ji yra ekrano darbalaukyje). Programa paleidžiama veikti. Tam su pelyte reikia spustelti programos paleidimo klavišą, kuris yra lango viršuje. Šalia paleidimo klavišo turi užsižiebti programos vykdymo indikatorius.

Saulės elementas matavimo schemoje prijungiamas krokodilo tipo gnybtais: raudona jungtis jungiama prie elemento „plius“ poliaus (suodžiais padengta plokštelė), juoda – prie „minus“ poliaus (dažais jautrintu TiO_2 sluoksniu padengta plokštelė). Elementas įdedamas į matavimo dėžutę (11 paveikslas) po joje esančiu šviesos šaltiniu (dažu jautrintas TiO_2 sluoksnis turi būti nukreiptas į šviesos

šaltinį). Įjungiamas milivoltmetras ir šviesos šaltinis. Stumdant SE šviesos šaltinio atžvilgiu, parenkama tokia SE padėtį, kurioje jo generuojama srovė yra didžiausia (milivoltmetras rodo didžiausią ΔU). Tada šviesos šaltinis vėl išjungiamas.



11 pav. Saulės elemento voltamperinės charakteristikos matavimo dėžutė su šviesos šaltiniu.

Kompiuteryje paleidžiamas duomenų rinkimas. Tam su pele nuspaudžiamas programos lango apačioje kairėje esantis klavišas „Start“. Matavimo programa pradeda brėžti matavimo grafiką. Grafiko apačioje dešineje paspaudžiamas klavišas „Reset“ (įtampos skleidimo nustatymas į pradinę būseną), po to klavišas „Clear Graph“ (duomenų rinkimo grąžinimas į pradinę būseną) ir klavišas dešinėje „Run“ (paleidžiamas įtampos skleidimas). Laukiama, kol užrašoma voltamperinė charakteristika (kol skleidimo įtampa padidės iki maksimalios reikšmės ir vėl sumažės iki nulio). Kai skleidimo įtampa sumažėja iki nulio (stebėti !), iškart įjungiamas šviesos šaltinis ir nepertraukiamai registruojama apšviesto elemento voltamperinė charakteristika. Pasibaigus įtampos skleidimui (pirmyn ir atgal), matavimo programa kompiuteryje sustabdoma klavišu „Stop“ (kuris yra matavimo programos lango apačioje, kairėje pusėje), o matavimo duomenys išsaugomi kaip Excel failas. Tam lango apačioje spaudžiame klavišą „Save“. Atsidariusiame naujame lange klavišu pasirenkama direktorija ir failo vardas (D/Work/Duomenys direktorija, failo vardas–studento pavardė-SE) ir, uždarius pasirinkimo langą, būtinai nuspaudžiamas žemiau esantis klavišas

. Patikriname, ar tikrai failas išsaugotas nurodytoje direktorijoje. Kompiuterio monitoriuje gauta voltamperinė kreivė parodoma laborantui ar dėstytojui. Išsaugotas duomenų failas atsidaromas su Excel programa, padaromas saulės elemento voltamperinės charakteristikos grafikas, atspausdinamas ir duodamas pasirašyti laborantui arba dėstytojui. Tai bus “originalus“ grafikas, kurį būtinai reikės pristatyti darbo gynimo metu kartu su aprašymu.

12 pav. Saulės elemento voltamperinės charakteristikos matavimo įranga.

Papildomai padaromas grafikas, kuriame yra tik apšviesto SE voltamperinės charakteristikos kreivė (U-I) ir SE galios (P=U*I) priklausomybės nuo įtampos kreivė (P-U). Įvertinama apšviesto SE užtrumpinimo srovė (I_{SC} – short circuit current, kai U = 0) ir SE atviros grandinės įtampa (U_{OC} – open circuit voltage, kai I = 0). Iš P-U kreivės nustatoma SE duodama maksimali galia (P_{max}). Paskaičiuojamas užpildymo faktorius procentais (FF – Fill Factor): $FF = P_{max} / U_{OC} * I_{SC}$.

Pabaigus darbą, saulės elementas išmontuojamas, o abi stiklo plokštelės nuplaunamos (klausti laboranto) ir grąžinamos laborantui.

Klausimų temos darbo gynimui

Saulės elementai, jų tipai, naudojamos medžiagos, veikimo principas, charakteristikos. Dažais jautrinti saulės elementai.

Literatūra

1. Greg P. Smestad and Michael Grätzel, "Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter," *Journal of Chemical Education*, 75/6 (1998) 752.
2. http://mrsec.wisc.edu/Edetc/nanolab/TiO2/index.html
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell
4. http://en.wikipedia.org/wiki/P-n_junction
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Dye-sensitized_solar_cells
6. http://www.thesolarplan.com/articles/how-do-solar-panels-work.html