

(19)



(10) **LT 5402 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(11) Patent numeris: **5402**

(51) Int. Cl. (2006): **G01N 21/17
G03H 1/00
G01R 31/26**

(21) Paraiškos numeris: **2005 020**

(22) Paraiškos padavimo data: **2005 03 01**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2006 09 25**

(45) Patent paskelbimo data: **2007 02 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:

**Kęstutis JARAŠIŪNAS, LT
Markas SŪDŽIUS, LT**

(73) Patent savininkas:

**Kęstutis JARAŠIŪNAS, Ežero g. 23, 14159 Antezeriai, Vilniaus r., LT
Markas SŪDŽIUS, Saulėtekio al. 35-52, 10222 Vilnius, LT**

(74) Patentinis patikėtinis:

—

(54) Pavadinimas:

Puslaidininkinių medžiagų fotoelektrinių parametų holografinis matavimo būdas ir įrenginys

(57) Referatas:

Pasiūlymas yra iš medžiagų metrologijos srities, o būtent- puslaidininkinių medžiagų fotoelektrinių parametų matavimo srities, ir gali būti panaudotas puslaidininkinių kristalų bei jų darinių fotoelektriniams parametrams išmatuoti bekontakčiu būdu. Puslaidininkinių medžiagų holografiniame fotoelektrinių parametų matavimo būde, kuriame erdviškai moduluotą optinį žadinimo kanalą suformuoja panaudodami optinį transparantą ir tiriamajame objekte sukuria erdviškai periodinę sužadintų juostelių seką, tiriamąjį objektą zondoja kitu optinės spinduliuotės šaltiniu, naujai erdviškai moduluotą optinį žadinimo kanalą suformuoja panaudodami fazinį optinį transparantą - difrakcinę gardelę, kurios pagalba sukuria du vienodai pakreipto bangos fronto optinius žadinimo pluoštelių- du optinio žadinimo kanalus, kuriais apšviečia tiriamojo objekto paviršių ir jame užrašo dinaminę gardelę, zondojuojančiu optiniu pluoštelio išmatuoja šios gardelės difrakcinį efektyvumą ir iš difrakcinio efektyvumo charakteristikų nustato tiriamojo objekto medžiagos fotoelektrinius parametrus. Matavimo būdą realizuojančiame

įrenginyje, sudarytame iš optinio žadinimo kanalo - impulsinės spinduliuotės pirmojo šaltinio, optinio transparanto, tiriamojo objekto ir pirmojo fotodetektoriaus, bei optinio zondavimo kanalo- zonduojančios spinduliuotės antrojo šaltinio, optinio vėlinimo įrenginio, tiriamojo objekto ir už jo patalpinto antrojo fotodetektorius, fotodetektoriai sujungti su duomenų surinkimo bloku, naujai optinis transparentas padarytas difrakcinės gardelės pavidalu, o tarp difrakcinės gardelės ir tiriamojo objekto papildomai patalpinti du justiravimo elementai, išdėstyti šalia vienas kito skirtingose naujai sudarytose optinio žadinimo kanalų ašyse, papildomai patalpintas trečias fotodetektorius, kuris nukreiptas į papildomą difragavusį zondavimo pluoštelį, trečiasis fotodetektorius sujungtas su duomenų surinkimo bloku.

Pasiūlymas yra iš medžiagų metrologijos srities, o būtent- puslaidininkinių medžiagų fotoelektrinių parametrų matavimo srities, ir gali būti panaudotas puslaidininkinių kristalų bei jų darinių fotoelektriniams parametrams išmatuoti bekontakčiu būdu. Pasiūlytu būdu gauti matavimo rezultatai gali būti naudojami įvairių puslaidininkinių medžiagų bei jų darinių gamybos technologijos kiekybiniam įvertinimui bei įvairių technologinių poveikių įtakos medžiagų savybėms tyrimui (pavyzdžiui, gilių priemaišų įvedimas, palegiravimas seklija donorine/akceptorine priemaiša, paviršiaus pasyvavimas, terminis atkaitinimas specifinėje atmosferoje, jonų implantacija, radiacinių defektų sukūrimas ir kita).

Gaminant puslaidininkines įvairialytes sandaras ant įvairių padėklų (heterosandras bei homosandras), ypač svarbios yra aktyviojo puslaidininkinio sluoksnio elektrinės savybės (krūvininkų gyvavimo laikų trukmės, judris, rekombinacijos greičiai sandūrose, defektų elektrinis aktyvumas ir t. t.). Iš visų žinomų šių parametrų matavimo metodų elektriniai bei optiniai tyrimo metodai yra patys tiksliausi, tačiau optiniai metodai nereikalauja mechaninio ar elektrinio kontakto su matuojamuoju bandiniu. Pasiūlyto matavimo būdo analogas veikia naudojant Furjė dinaminių gardelių sužadavimo būdą, kuriame erdviškai moduliuotą optinį žadinimo kanalą suformuoja panaudodami fiksuoto periodiškumo amplitudinį optinį transparentą, tiriamajame objekte sužadina stačiakampių šviesių-tamsių juostelių seką, tiriamąjį objektą zonduoja kitu spinduliuotės šaltiniu, kurio pluoštelį skleidžia išilgai juostelės ir tuo metu matuoja šviesių ir tamsių juostelių optinę sugertį, ir pagal sugerties pokyčius nustato tiriamojo objekto medžiagos fotoelektrinius parametrus. Pasiūlyto matavimo būdo analogą realizuojantis įrenginys sudarytas iš optinio žadinimo kanalo, kuris sudarytas iš nuosekliai išdėstytų lazerinio impulsinės spinduliuotės pirmojo šaltinio, optinio transparento ir tiriamojo objekto, kurio matuojamoji plokštuma orientuota statmenai optinio žadinimo kanalo ašiai, o greta tiriamojo objekto atšakotame optinio žadinimo kanale patalpintas pirmasis fotodetektorius, kurio išėjimas sujungtas su oscilografiniu duomenų surinkimo bloko pirmuoju įėjimu, bei optinio zondavimo kanalo, kuris sudarytas iš nuosekliai išdėstytų infraraudonųjų spindulių antrojo šaltinio, optinio vėlinimo įrenginio, zonduojančio infraraudonųjų spindulių pluoštelio fokusavimo įrenginio, tiriamojo objekto, kurio matuojamoji plokštuma orientuota išilgai optinio zondavimo kanalo ašies, ir už tiriamojo objekto optinio zondavimo kanalo ašyje patalpintas antrasis infraraudonųjų spindulių fotodetektorius, kurio išėjimas sujungtas su oscilografiniu duomenų surinkimo bloko antruoju

įėjimu, o tiriamasis objektas mechaniškai sujungtas su mikropozicionavimo įrenginiu (P.Grivickas, J.Linnros, V.Grivickas: "Free Carrier Diffusion Measurements in Epitaxial 4H-SiC with a Fourier Transient Grating Technique: Injection Dependence", Materials Science Forum, vols 338-342, pp.671-674, 2000, Trans Tech Publications, Switzerland). Pasiūlyto matavimo būdo analogo trūkumas yra tai, kad jį naudojant yra būtinas precizinis zondojančio infraraudonųjų spindulių antrojo šaltinio spinduliuotės fokusavimas į kelių mikronų skersmens pluoštelį ir suvedimas į optinio žadinimo kanalą sužadintos juostelės centrą tiriamojo objekto briaunoje, kuri, savo ruožtu, reikalauja specialaus tiriamojo objekto briaunų paruošimo zondojančio pluoštelio įvedimui bei išvedimui. Kitas trūkumas yra tai, kad matavimo eigoje būtinas skirtingo periodiškumo optinių transparantų paruošimas ir jų keitimas, o po eilinio optinio transparanto pakeitimo vėl sekantis precizinis zondojančio infraraudonųjų spindulių pluoštelio fokusavimas ir suvedimas, todėl matavimai reikalauja daug laiko. Dar kitas trūkumas yra pasiūlyto matavimo būdo analogo skiriamoji geba, ribojama sufokusuoto zondojančio pluoštelio apertūros. Pasiūlyto matavimo būdo analogą realizuojančio įrenginio trūkumas yra jo sudėtingumas ir ribota skiriamoji geba.

Analogo trūkumams pašalinti puslaidininkinių medžiagų fotoelektrinių parametrų holografiniame matavimo būde, kuriame erdviškai moduluotą optinį žadinimo kanalą suformuoja panaudodami optinį transparantą ir tiriamajame objekte sukuria erdviškai periodinę sužadintų juostelių seką, tiriamąjį objektą zonduoja kitu optinės spinduliuotės šaltiniu, naujai erdviškai moduluotą optinį žadinimo kanalą suformuoja panaudodami fazinį optinį transparantą, kurio pagalba sukuria du vienodai pakreipto bangos fronto optinius žadinimo pluoštelių - du optinio žadinimo kanalus, kuriais pasirinktu kampu apšviečia tiriamojo objekto paviršių ir jame užrašo dinaminę gardelę, zondojančiu optiniu pluošteliu išmatuoja šios gardelės difrakcinį efektyvumą ir iš difrakcinio efektyvumo charakteristikų nustato tiriamojo objekto medžiagos fotoelektrinius parametrus.

Analogo trūkumams pašalinti puslaidininkinių medžiagų fotoelektrinių parametrų holografiniame matavimo įrenginyje, sudarytame iš optinio žadinimo kanalo, kuris, savo ruožtu, sudarytas iš nuosekliai išdėstytų lazerinio impulsinės spinduliuotės pirmojo šaltinio, optinio transparanto, tiriamojo objekto, ir atšakotame optinio žadinimo kanale patalpinto pirmojo fotodetektoriaus, bei optinio zondavimo kanalo, kuris, savo ruožtu, sudarytas iš nuosekliai išdėstytų zondojančio optinės spinduliuotės šaltinio, optinio vėlinimo įrenginio, tiriamojo objekto ir už jo optinio zondavimo kanalo ašyje patalpinto antrojo fotodetektoriaus, pirmojo bei antrojo fotodetektorių išėjimai sujungti su duomenų surinkimo bloko pirmuoju bei antruoju įėjimais, atitinkamai, naujai optinis transparantas padarytas fazinės difrakcinės

gardelės pavidalu, o tarp difrakcinės gardelės ir tiriamojo objekto papildomai patalpinti du justiravimo elementai, išdėstyti šalia vienas kito skirtingose naujai sudarytose optinio žadinimo kanalų ašyse, papildomai patalpintas trečias fotodetektorius, kuris nukreiptas į difragavusį zondavimo pluoštelį, ir trečiojo fotodetektoriaus išėjimas sujungtas su trečiuoju duomenų surinkimo bloko įėjimu.

Struktūrinėje puslaidininkių medžiagų fotoelektrinių parametrų holografiniame matavimo įrenginio schemoje parodyta: 1- optinio žadinimo lazerinės spinduliuotės impulsinis šaltinis; 2- optinis žadinimo kanalas; 3- optinis daliklis, 4 - atšakota optinio žadinimo pluoštelio dalis, 5- difrakcinė gardelė (optinis transparantas); 6,7- du atskiri žadinimo pluošteliai- du optinio žadinimo kanalai su vienodai pakreiptais bangos frontais; 8, 9- du justiravimo elementai; 10- tiriamasis objektas; 11- optinis zondavimo kanalas; 12- optinio zondavimo lazerinės spinduliuotės impulsinis šaltinis; 13- optinio vėlinimo įrenginys; 14- zonduojančio optinio pluoštelio fokusavimo įrenginys; 15- sufokusuotas optinio zondavimo kanalo spinduliuotės pluoštelis; 16- papildomas difragavęs zondavimo pluoštelis, 17 - 19- pirmasis, antrasis ir trečiasis fotodetektoriai, atitinkamai; 20- elektroninis duomenų surinkimo blokas.

Puslaidininkinių medžiagų fotoelektrinių parametrų holografinį matavimo būdą realizuojantis įrenginys sudarytas iš optinio žadinimo pirminio kanalo 2, kuris, savo ruožtu, sudarytas iš nuosekliai išdėstytų lazerinio impulsinės spinduliuotės šaltinio 1, optinio transparanto- difrakcinės gardelės 5, už kurios susiformuoja nulinės eilės ir du pirmosios difrakcinės eilės pluošteliai 6 ir 7- du optinio žadinimo kanalai. Šiuose optinio žadinimo kanaluose 6 ir 7 atitinkami įstatyti du justiravimo elementai 8 ir 9, pvz. visiško atspindžio veidrodžiai (arba optinis lęšis), kurie nukreipia optinius žadinimo kanalus 6 ir 7 į tiriamąjį objektą 10. Optinio žadinimo pluoštelio 2 kanale patalpintas optinis daliklis 3 (pvz., stiklo plokštelė), kuris nukreipia atšakoto optinio žadinimo pluoštelio dalį 4 į registravimo įrenginį - fotodetektorių 17. Šalia optinio žadinimo kanalo 2 sudarytas optinio zondavimo kanalas 11, kuris, savo ruožtu, sudarytas iš nuosekliai išdėstytų zonduojančio optinės spinduliuotės šaltinio 12, optinio vėlinimo įrenginio 13, pvz. mechanškai slankomos visiško atspindžio prizmės, zonduojančio optinės spinduliuotės pluoštelio 11 fokusavimo įrenginio 14, pvz. optinio lęšio ar jų sistemos, tiriamojo objekto 10 ir už jo optinio zondavimo kanalo 11 ašyje patalpinto antrojo fotodetektoriaus 18. Šalia antrojo 18 fotodetektoriaus patalpintas trečiasis fotodetektorius 19, kuris nukreiptas į papildomą difragavusį zondavimo pluoštelį 16. Fotodetektorių 17, 18 ir 19 išėjimai sujungti su atitinkamais duomenų surinkimo bloko 20 įėjimais.

Puslaidininkinių medžiagų fotoelektrinių parametrų holografinis matavimo būdas ir įrenginys veikia sekančiai. Lazerinės spinduliuotės pluoštelis iš impulsinio pirmojo šaltinio 1 sklinda optiniu žadinimo pradiniu kanalu 2 ir pereina per optinį transparantą - difrakcinę gardelę 5. Už difrakcinės gardelės 5 susiformuoja nulinės eilės ir du pirmosios difrakcinės eilės optiniai pluošteliai 6 ir 7 - du optinio žadinimo kanalai. Šiuos du pluoštelius 6 ir 7 atitinkami du justiravimo elementai 8 ir 9, pvz. visiško atspindžio veidrodžiai, nukreipia į tiriamąjį objektą 10 ir jo paviršiuje pluoštelių interferencija suformuoja - erdviškai moduliuotą optinio žadinimo dėmelę. Tiriamajame objekte 10 žadinimo dėmelė generuoja nepusiausvyrinčius krūvininkus, kurie erdviškai pakeičia tiriamojo objekto 10 medžiagos optines savybes - lūžio rodiklį ir (arba) sugerties koeficientą. Zondavimo spinduliuotės pluoštelis iš antrojo šaltinio 12 sklinda optiniu zondavimo kanalu 11 ir pereina per optinio vėlinimo įrenginį 13, pvz. elektro-mechaniškai valdomą visiško atspindžio prizmę, kuri zonduojantį pluoštelį α nukreipia į zonduojančio optinio pluoštelio fokusavimo įrenginį 14, pvz. optinį lęšį. Sufokusuotas zonduojančių optinių spindulių pluoštelis 15 nukreipiamas į žadinimo šviesa 6 ir 7 sukurtą difrakcinę gardelę tiriamajame objekte 10 ir nuo jos difraguoja, sukurdamas papildomą difragavusį zondavimo pluoštelį 16 zondavimo kanale 11. Fotodetektoriai 17, 18, ir 19, matuoja žadinimo kanalo 2, zondavimo kanalo 11 bei papildomo difragavusiojo zondavimo pluoštelio 16 energijas ir perduoda proporcingus elektrinius signalus į elektroninį duomenų surinkimo bloką 20. Surinkti duomenys kompiuteriu matematiškai apdorojami ir suskaičiuojamas momentinis difrakcinis efektyvumas D . Difrakcinės charakteristikos matuojamos keičiant vieną iš pasirinktų parametrų, pvz. zonduojančio pluoštelio 16 vėlinimo laiką t , žadinimo kanalo 2 energiją E , arba difrakcinės gardelės periodą Λ . Tokiu būdu matuojamos laikinės, ekspozicinės, kampinės difrakcijos charakteristikos. Pvz., vėlinimo įrenginiu 13 pakeitus zonduojančio pluoštelio 11 pradinio vėlinimą t_0 verte Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, ..., $n\Delta t$ atžvilgiu žadinančių spindulių 6 ir 7, matuojamas ir skaičiuojamas difrakcinis efektyvumas D šioms optinio vėlinimo vertėms $t_0 = t_0$, $t_1 = t_0 + \Delta t$, $t_2 = t_0 + 2\Delta t$, $t_3 = t_0 + 3\Delta t$, ir t.t. ir taip išmatuojama difrakcinio efektyvumo laikinė charakteristika $D = f(t_{k=0 \dots N})$.

Keičiant žadinančio pluoštelio energiją E lazerio optiniu atenuatoriumi, tačiau vėlinimo įrenginiu 13 parinkus fiksuotą zonduojančio pluoštelio 11 vėlinimo vertę t_k , matuojamas difrakcinis efektyvumas D skirtingoms optinio žadinimo vertėms intervale $E_1 \dots E_M$ taip išmatuojama ekspozicinė charakteristika $D = f(E_{k=1 \dots M})$. Justiravimo elementais 8 ir 9 pakeitus žadinimo kanalų 6 ir 7 suvedimo kampą į tiriamąjį objektą 10, arba pakeitus optinį

transparantą 5 difrakcine gardele su skirtingu periodu, tiriamajame objekte 10 formuojamas kitas gardelės periodas ir matuojamos jam būdingos laikinės arba ekspozicinės difrakcinės charakteristikos. Iš gautų duomenų atitinkamu matematiniu algoritmu apskaičiuojami tiriamojo objekto 10 medžiagos fotoelektriniai parametrai: krūvininkų gyvavimo trukmė, koncentracija, paviršinės rekombinacijos sparta, difuzijos koeficientas, judris ir t. t.

Palyginus su analogu, pasiūlytas puslaidininkinių medžiagų fotoelektrinių parametrų holografinis matavimo būdas ir įrenginys yra paprastesnis ir universalesnis, nes leidžia naudoti fazinę ir (arba) amplitudinę puslaidininkio optinių savybių moduliaciją, nereikalauja specialaus bandinio briaunų paruošimo zonduojančiam optinių spindulių pluošteliai, turi geresnę erdvinę skyrą, to pasekmėje matavimai atliekami neardančiu būdu ir leidžia išmatuoti puslaidininkio fotoelektrinius parametrus (difuzijos koeficientą, rekombinacijos spartą tūryje bei paviršiuje) platesniame parametrų verčių intervale bei skenuoti fotoelektrinių parametrų pasiskirstymą tiriamoje medžiagoje.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Puslaidininkinių medžiagų fotoelektrinių parametrų holografinis matavimo įrenginys, susidedantis iš optinio žadinimo kanalo, kuris, savo ruožtu, sudarytas iš nuosekliai išdėstytų lazerinio impulsinės spinduliuotės pirmojo šaltinio, optinio transparanto, tiriamojo objekto ir optinio žadinimo kanalo atšakotoje dalyje patalpinto pirmojo fotodetektoriaus, bei optinio zondavimo kanalo, kuris, savo ruožtu, sudarytas iš nuosekliai išdėstytų zonduojančių optinių spindulių antrojo šaltinio, optinio vėlinimo įrenginio, tiriamojo objekto ir už jo optinio zondavimo kanalo ašyje patalpinto antrojo fotodetektoriaus, pirmojo bei antrojo fotodetektorius išėjimai sujungti su duomenų surinkimo bloko pirmuoju bei antruoju įėjimais, atitinkamai, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad optinis transparantas padarytas difrakcinės gardelės pavidalu, o tarp difrakcinės gardelės ir tiriamojo objekto papildomai patalpinti du justiravimo elementai, išdėstyti šalia vienas kito skirtingose naujai sudarytose optinio žadinimo kanalų ašyse, šalia pirmojo ir antrojo fotodetektorius papildomai patalpintas trečias fotodetektorius, kuris nukreiptas į papildomą difragavusį zondavimo pluoštelį, trečiojo fotodetektoriaus išėjimas sujungtas su trečiuoju duomenų surinkimo bloko įėjimu.

2. Puslaidininkinių medžiagų fotoelektrinių parametrų holografinis matavimo būdas, kuriame erdviškai moduluotą optinį žadinimo kanalą suformuoja panaudodami optinį transparantą ir tiriamajame objekte sukuria erdviškai periodinę sužadintų juostelių seką, tiriamąjį objektą zonduoja kitu optinės spinduliuotės šaltiniu, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad erdviškai moduluotą optinį žadinimo kanalą suformuoja panaudodami fazinį optinį transparantą - difrakcinę gardelę, kurios pagalba sukuria du vienodai pakreipto bangos fronto optinius žadinimo pluoštelius - du optinio žadinimo kanalus, kuriais pasirinktu kampu apšviečia tiriamojo objekto paviršių ir jame užrašo dinaminę gardelę, zonduojančiu optiniu pluošteliu išmatuoja šios gardelės difrakcinį efektyvumą ir iš difrakcinio efektyvumo charakteristikų nustato tiriamojo objekto medžiagos fotoelektrinius parametrus.

