

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2020 562**
(22) Paraiškos padavimo data: **2020-12-10**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2022-06-10**
(45) Patento paskelbimo data: **2022-08-10**

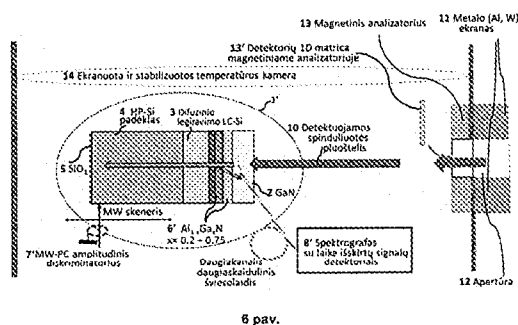
(73) Patento savininkas:
Vilniaus Universitetas, Universiteto g. 3, LT-01513 Vilnius, LT
(72) Išradėjas:
Eugenijus GAUBAS, LT
Tomas ČEPONIS, LT
Laimonas DEVEIKIS, LT
Jevgenij PAVLOV, LT
Vytautas RUMBAUSKAS, LT
(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Otilija KLIMAITIENĖ, 35, AAA Law, A. Goštauto g. 40B, Verslo centras „Dvyniai“, LT-03163 Vilnius, LT

LT 6931 B

(54) Pavadinimas:
Hibridinis daugiasluoksnis jutiklis ir didelių įtėkių bei srautų matavimo metodas

(57) Referatas:

Šis išradimas atskleidžia hibridinį daugiasluoksnį jutiklį (1) ir didelio įtėkio dozimetrijos bei fluksmetrijos, naudojant šį jutiklį, būdus. Jutiklis (1) apima scintiliatorių (2) ir fotoelektrinį jutiklį (4) j, veikiantį impulsinės ir nuostovios (dc) apšvitos režimais, kur scintiliatorius (2) ir fotoelektrinis jutiklis (4) yra atskirti matomos šviesos spektro filtro sluoksniu (3), pagamintu iš aukšto laidumo silicio. Dozimetrijos ir fluksmetrijos metu, scintiliatoriaus (2) bei fotoelektrinio jutiklio (4) signalai yra registruojami išoriniais prietaisais – šviesolaidžiais prijungtu spektrofotometru (8) ir mikrobangų adatiniu zondų, prijungtu prie mikrobangų matavimo sistemos (7). Dalelių tipų ir energijų įvertinimas vykdomas, koreliuojant scintiliatoriaus (2) spektro struktūrą ir mikrobangomis zonduojamo fotolaidumo amplitudę bei relaksacijos trukmę, kur daugiasluoksnis scintiliatorius (2) ir fotoelektrinio atsako jutiklis (4) veikia kaip vienas kitą papildantys detektoriai. Šis daugiasluoksnis jutiklis (1), kartu su signalų nuskaitymo prietaisais (7, 8, 14) ir atitinkamais matavimo būdais, yra skirtas vykdyti nesąlytinę dozimetriją ir fluksmetriją, kuri reikalinga aukšto spinduliuotės lygio objektų stebėsenai ir mišrių dalelių pluoštelių kontrolei branduoliniuose reaktoriuose, branduolinio kuro atliekų saugyklose, dideliuose dalelių greitintuvuose bei neutronų nuskėlėjuose (spalatoriuose).



IŠRADIMO SRITIS

Šis išradimas susijęs su didelės energijos elektromagnetinės ir dalelių spinduliuotės dozimetrija bei fluksmetrija. Tiksliau, jame aprašytas hibridinis daugiasluoksnis jutiklis ir didelio įtėkio dozimetrijos bei fluksmetrijos, naudojant šį jutiklį, būdas.

TECHNIKOS LYGIS

Didelės energijos dalelių ir didelių įtėkių dozimetrijos ir fluksmetrijos jutiklių pavyzdžiai yra fosforescenciniai „sumuštinio“ tipo (angl. „Phoswich“ - „phosphor sandwich“) rentgeno spinduliuotės registravimo ir vaizdinimo hibridiniai detektoriai.

„Phoswich“ detektoriai paprastai naudojami aptikti mažo intensyvumo ir mažos energijos gama bei rentgeno spinduliuotės, kartu su alfa ir beta dalelėmis, didesnės energijos aplinkos fone. Kai kurių konstrukcijų detektoriai gali vienu metu matuoti ir atskirai identifikuoti krintančiųjų spinduliuočių energijas. „Phoswich“ detektorius – tai derinys skirtingų impulso formos charakteristikų scintiliatorių (pavyzdžiui, trisluoksnė medžiaga iš skirtingos liuminescencijos gesimo trukmės scintiliatorių, aprašyta mokslinėje literatūroje, pvz., [1]), kurių susieti su apšvitos spektru optiniai signalai yra registruojami bendru fotodaugintuvu (PMT). „Phoswich“ detektoriaus impulso formos arba didelių statistinių apšvitos ansamblių spektrinė analizė (vykdoma PSD – impulso formos arba SSD – spektro formos diskriminatoriais) identifikuoja stochastinių scintiliacijos įvykių sekos signalus, kuriuos jonizuojančioji spinduliuotė generuoja skirtinguose „Phoswich“ sluoksniuose. Tačiau, kad sukaupti patikimus stochastinių įvykių signalų ansamblius ir atskirti krintančiųjų dalelių PSD/SSD parametrus, apšvitos trukmė turi būti gana ilga. Kita vertus, dėl didelio PMT jautrumo pasireiškia PMT atsako visiško įsotinimo efektas, esant gana didelio intensyvumo scintiliacijai dėl didelio srauto / didelio įtėkio švitinimo laukų, tad nebelieka galimybės identifikuoti krintančiąsias daleles ir atskirti jų parametrus (energijas, tankius, ir t.t.). Gana maža gama bei rentgeno spinduliuotės arba krintančių dalelių (alfa, beta, protonų, pionų) energija gali būti aptinkama, naudojant plonus „Phoswich“ scintiliatorius, naudojamus efektyviam sužadinimui (mažame stabdymo intervale) ir liuminescencinės šviesos surinkimui (kad būtų išvengta pakartotinės sugerties efekto) gauti. Todėl „Phoswich“ detektoriai nėra tinkami

identifikuoti ir atskirti skvarbiasias (didelės energijos) daleles. Gaminant daugiasluoksnius „Phoswich“ detektorius, būtina standžiai mechanškai susieti kelis plonus scintiliatorius ir naudoti kitas technologines priemones, kad būtų išvengta interferencinių ir antrinio sužadinimo efektų keleto scintiliatorių derinyje. Tai sunku įgyvendinti, naudojant paprastą scintiliatorių klijavimo būdą sluoksniniam detektoriumi suformuoti ir bendrą PMT optiniam atsakui registruoti, ypač didelio intensyvumo apšvitos atvejais.

Moksliniuose straipsniuose [1], [2] ir patentiniuose dokumentuose aprašyti keli „Phoswich“ detektorių pavyzdžiai. Japonijos patente JPH06123777A aprašytas „Phoswich“ detektorius su optiniu filtru scintiliatoriaus signalo amplitudinei vertei bei priekinio fronto trukmei kontroliuoti siekiant valdyti scintiliatoriaus signalus, keičiant fluorescencijos šviesos slopinimą arba blokavimo lygį.

Kita „Phoswich“-tipo hibridinė sistema išorinės dozimetrijos nuotoliniams matavimams aprašyta JAV patente US7566881B2 „*DIAL-Phoswich hybrid system for remote sensing of radioactive plumes in order to evaluate external dose rate*“, kuriame radioaktyvios spinduliuotės kamuolių dozimetrijai siūloma naudoti interaktyvią „Phoswich“ detektorių matricų kombinaciją su skirtuminės sugerties lazeriniu lokatoriumi (lidaru).

„Phoswich“ detektorių alternatyva yra hibridiniai taškiniai detektoriai, naudojami spinduliuočių dozimetrijai ir fliuksmetrijai. Hibridinis taškinis detektorius (angl. *Hybrid Pixel Detector, PHD*) – tai jonizuojančiosios spinduliuotės detektorius, sudarytas iš taškinių puslaidininkinių diodų matricos ir jų signalų nuskaitymo elektroninių komponentų. Hibridiškumą nulemia pagrindiniai PHD elementai – puslaidininkiniai jutikliai ir nuskaitymo elektronikos lustas, kurie yra gaminami atskirai, o po to elektriškai sujungiami lydmetalio rutuliukų matricos sudūrimo būdu. Jonizuojančioji dalelių spinduliuotė aptinkama registruojant elektronų-skylių poras, sukurtas jutiklio elementuose, įprastai iš silicio arba kadmio telūrido pagamintuose dioduose. Detektorių matrica yra segmentuota į taškinis elementus (pikselius), apimančius reikiamus elektroninius komponentus elektriniams signalams jutiklio sluoksnyje aptikti, stiprinti ir matuoti. Hibridiniai taškiniai detektoriai, gebantys išskirti pavienius fotonus, žinomi kaip hibridiniai fotonų skaičiavimo detektoriai (HPCD). Pastarųjų detektorių skiriamoji geba leidžia skaičiuoti fotonus per tam tikrą laiko intervalą, pavienių įvykių tikslumu. HPCD detektoriai tapo standartiniais prietaisais

daugelio sinchrotroninės ir rentgeno spinduliuotės matavimų srityje. Nepaisant to, hibridiniai taškiniai detektoriai, veikiantys dozimetrom režimu, yra greitai pažeidžiami apšvitų, ir jų atsako matavimus reikia nuolat kalibruoti iš naujo, siekiant gauti patikimus rezultatus. Juo labiau, HPCD prietaisai yra jautrūs ir brangūs, todėl didelių jėkių dozimetrijoje signalų registravimas jais yra negrįžtama ir brangi procedūra.

Hibridinių taškinių detektorių pavyzdžiai aprašyti moksliniuose straipsniuose [3], [4]. Iš publikuotų patentų bei patentinių paraiškų, artimiausias šiam išradimui būdas ir prietaisas yra aprašyti JAV patente US7388206B2 „Didelio jautrio izotopų identifikavimo PSD būdas ir prietaisas su integruotu neutronų-gama spinduliuotės detektoriumi“ (*“Pulse shape discrimination method and apparatus for high-sensitivity radioisotope identification with an integrated neutron-gamma radiation detector”*): čia, neutronų ir gama spinduliuotės išskirti naudojamas impulsinis fotoelektrinis detektorius optinių scintiliatorių signalų registravimui, kuris optiškai susietas su gama ir neutronų scintiliatoriais, o šių scintiliatorių gesimo trukmių įvertinimui ir spinduliuotės tipo išskyrimui pasitelkiami analoginis-skaitmeninis (ADC) bei krūvio-skaitmeninis (QDC) keitikliai.

Kitas panašus detektorius kelių skirtingų tipų spinduliuočių (sinchroninei beta ir gama spinduliuočių spektroskopijai) vienašakiu registravimui aprašytas JAV patente US7683334B2. Čia beta ir gama spinduliuotėms aptikti pasitelkti trisluoksniai scintiliatoriai. Detektoriaus impulsinis atsakas sužadinamas spinduliuotei sąveikaujant su trisluoksniu scintiliatoriniu detektoriumi. Atsakas yra klasifikuojamas kaip „beta“, „gama“ arba „nežinomas“ spinduliuotės tipas. Impulsas priskiriamas „beta“ įvykiui, jei impulsas yra sukuriamas pirmojo scintiliatoriaus spektro arba tik pirmojo ir antrojo scintiliatoriaus būdingų spektrinių komponentų signalų. Impulsas tik iš trečiojo scintiliatoriaus spektrinės srities registruojamas kaip „gama“ įvykis.

Aukščiau apžvelgtų „Phoswich“ ir HPD jutiklių pagrindinis trūkumas yra tas, kad jie tinkami mažo intensyvumo ir jėkio spinduliuotei detektuoti. Tuo tarpu, esant didelio srauto spinduliuotei, ypač karštose apšvitų aplinkose (branduoliniuose reaktoriuose, dalelių greitintuvuose ir pan.), „Phoswich“ ir HPD jutikliai yra greitai įsotinami arba nustoja veikti dėl radiacinės pažaidos bei yra netinkami didelio intensyvumo spinduliuotės bei dalelių tipo identifikavimui.

TRUMPAS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Šis didelio įtėkio dozimetrijos bei srauto matavimo (fliuksmetrijos) hibridinis daugiasluoksnis jutiklis apima scintiliatoriaus jutiklių sluoksnius ir fotoelektrinį jutiklį, veikiantį impulsiniu ir DC režimu. Skirtingai nei ankstesniame dokumente US7683334B2 aprašyto išradimo atveju, šiame jutiklyje daugiasluoksnis scintiliatorius atskirtas nuo fotoelektrinio jutiklio regimojo EM spektro filtru, kuris sudarytas iš didelio laidumo silicio (Si) sluoksnio, o scintiliatoriaus ir fotoelektrinio jutiklio signalai yra skenuojami bent dviem išoriniais prietaisais – spektrofotometru su šviesolaidine sąsaja ir adatine mikrobangų antena, prijungta prie mikrobangomis zonduojamo fotolaidumo atsako registravimo trakto, kur dalelių tipo ir energijos išskyrimas vykdomas, koreliuojant scintiliatoriaus spektro struktūros ir mikrobangomis zonduojamo fotolaidumo amplitudės bei relaksacijos gyvavimo trukmės signalų charakteristikas ir kur daugiasluoksnis scintiliatorius bei fotojutiklis veikia kaip to paties spinduliuotės srauto lygiagrečiai ir sinchroniškai veikiantys detektoriai.

Šis daugiasluoksnis jutiklis skirtas naudoti nesąlytinės dozimetrijos ir fliuksmetrijos srityje, kontroliuojant didelio spinduliuotės intensyvumo mišrių dalelių pluoštus branduoliniuose reaktoriuose, branduolinio kuro atliekų saugyklose, dideliuose dalelių greitintuvuose bei neutronų nuskėlėjuose (spalatoriuose), pasitelkiant tinkamą jutiklio signalų registravimo aparatūrą ir matavimo būdus.

BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

Brėžiniuose pateiktos hibridinių jutiklių ir spinduliuočių detektavimo jais įgyvendinimo būdų iliustracijos, bet šios iliustracijos nėra išradimo apimtį ribojančios. Nė vienas iš pateiktų brėžinių ir grafikų neturi būti suprantamas kaip ribojantis išradimo apimtį, o tik kaip galimas išradimo įgyvendinimo pavyzdys.

1 pav. Hibridinis jutiklis (1), yra sudaromas kaip kompozicinių detektorių sistema, suduriant atskirai pagamintų puslaidininkinių plokštelių sluoksnius: didelio grynumo didžiavaržio silicio (HP-Si) sluoksnį (4), skirtą dalelių (spinduliuotės) stabdymo gylio skenavimui ir veikiantį kaip mikrobangomis zonduojamo fotolaidumo jutiklis su terminiu SiO₂ pasyvuotais paviršiais (5), atskirtą nuo GaN scintiliatoriaus (2) didelio laidumo silicio (LC-Si) sluoksniu (3), blokuojančiu HP-Si fotojutiklio sužadavinimą GaN scintiliatoriaus šviesa, kur GaN scintiliatorius (2) yra atskirtas nuo

blokuojančio LC-Si (3) safyro tipo izoliatoriumi (6);

2 pav. Hibridinis jutiklis (1'), gali būti suformuotas kristalų auginimo technologijomis kaip vientisa daugiasluoksnė technologinė struktūra, kur didžiavaržio HP-Si padėklas (4), skirtas mikrobangomis zonduojamo fotolaidumo jutiklio sudarymui ir kurio vienas paviršius yra pasyvuotas SiO₂, difuziniu būdu legiruojamas, suformuojant didelio laidumo LC-Si skiriamąjį (scintiliatoriaus šviesą blokuojantį) sluoksnį (3), ant kurio MOCVD būdu užauginamas GaN pagrindinis scintiliatorius (2) naudojant nukleacijos ir gardelių suderinimo Al_{1-x}Ga_xN kietojo tirpalo sluoksnius (6') su skirtingais Al kiekiais x. Pastarieji Al_{1-x}Ga_xN (6') ir GaN (2) sluoksniai tokiu atveju veikia kaip spektriškai išskirtų scintiliatorių matrica;

3 pav. Hibridinio jutiklio signalų nuskaitymas dozimetrijai yra realizuojamas pasitelkiant trispalvį (IR⊕VIS⊕UV) impulsinį lazerį (9), kurio UV spektro pluoštelis sužadina liuminescenciją (PL) GaN sluoksnyje, ir PL (VIS) šviesa daugiaskaiduliniu šviesolaidžiu surenkama į spektrometrą (8), kur registruojamas išskleistas PL spektras, o lazerio IR spektro pluoštelis, spektriškai išskirtas LC-Si sluoksniu, sinchroniškai sužadina perteklinius krūvininkus HP-Si sluoksnyje, kuriame krūvininkų gyvavimo trukmė (τ), nulemta apšvitos poveikių, įvertinama iš mikrobangomis zonduojamo fotolaidumo (MW-PC) impulsinių kinetikų, užregistruotų skirtingame HP-Si gylyje. MW-PC signalai skenuojami MW adatine antena (7). Jonizuojančiosios spinduliuotės arba krintančiųjų apšvitos dalelių stabdymo gylis bei kiti parametrai (tokie kaip dalelių energija, sąveikos skerspįūvis) yra įvertinami pasitelkiant MW-PC- τ skenogramas, arba įgyvendinamas nuoseklusis impulsinis profiliavimas pasitelkiant papildomą IR pluoštelį, atskeltą iš trispalvio (IR⊕VIS⊕UV) lazerio pluoštelio. Apšvitos įtėkio (Φ)/dozės (D) vertės surandamos, palyginant išmatuotas ir kalibracines rekombinacijos trukmės τ -įtėkio ir PL spektrinės juostos intensyvumo-įtėkio charakteristikas;

4 pav. Hibridinio jutiklio nuostovių (dc) signalų nuskaitymas (fliuksmetro režimu) apšvitos metu nuostovaus pluoštelio dalelių identifikavimui /srauto (F) įvertinimui, kur mišrių dalelių nuostovusis pluoštelis veikia hibridinio sensoriaus (HS) scintiliatorių, sužadindamas dalelių sukeltą liuminescenciją (PI-L), kurios šviesa surenkama daugiaskaiduliniu šviesolaidžiu į spektrofotometrą ir registruojamas PI-L išskleistas spektras, o PI-L šviesos prasiskverbimas į HP-Si sluoksnį yra blokuojamas

LC-Si sluoksniu. Tuo pat metu MW zondų matrica nuskenuojamas mikrobangų dažnių ruožo nuostovaus (dc) laidumo komponento (σ -MW) pasiskirstymo HP-Si sluoksnio gylyje profilis. Krintančių dalelių srautas (F) ir krintančiųjų dalelių tipas (S) yra įvertinami palyginant išmatuotas ir kalibracines σ - F ir PI-L spektrinės struktūros charakteristikas. HP-Si sluoksnio storis ir σ -MW profiliavimo gylis parenkami pagal numatomų testuoti dalelių tipą ir energijų sritį;

5 pav. Hibridinis jutiklis (1'), suformuotas kristalų auginimo būdu kaip vientisa daugiasluoksnė technologinė struktūra, gali būti naudojamas ir impulsinių apšvitų pluoštelių srauto bei dalelių tipo pluoštelyje įvertinimui, pasitelkiant išskleistų laike hibridinio jutiklio atsakų registravimą. Matavimo principai yra panašūs, kaip ir nuostoviojo pluoštelio analizės atveju (4 pav.), tačiau šiuo atveju registruojami laike išskleisti PI-L signalai, naudojant spektrografą su laike išskirtų signalų detektoriais (8') ir PI-L šviesos surinkimo lęšį, sumontuotą ant daugiaskaidulinio šviesolaidžio, o perteklinių krūvininkų porų tankio pasiskirstymo HP-Si sluoksnio gylyje profilis skenuojamas kalibruotos MW amplitudės impulsiniais diskriminatoriais (7');

6 pav. Hibridinis jutiklis (1') kaip vientisa struktūra, išskleistų laike ir skenavimo gylyje hibridinio jutiklio atsakų registravimą papildant krūvio poliarumo išskyrimo magnetiniu analizatoriumi (13), įėjimo apertūra (12) ir ekranu (11) bei temperatūros stabilizavimo (14) sistema;

7 pav. Krūvininkų rekombinacinės gyvavimo trukmės (15) kitimų charakteristika didelio grynumo Si aplinkoje, priklausanti nuo hadronų (pionų, protonų ir reaktoriaus neutronų) įtekio, kalibruoto pagal ekvivalentų medžiagos pažeidimą 1 MeV neutronais;

8 pav. Krūvininkų rekombinacinės gyvavimo trukmės charakteristika (16), gauta apšvitinus gryną-Si protonais;

9 pav. Krūvininkų rekombinacinės gyvavimo trukmės pasiskirstymo gryno (didelės varžos) Si plokštelės gylyje profilis (17), po apšvitos žemos energijos trumpo stabdymo intervalo protonais, stabdymo gyliui/ energijai įvertinti;

10 pav. Krūvininkų pagavimo trukmės variacijos (18) neutronais apšvitintuose ir izochroniškai iškaitintuose Si plokštelių fragmentuose, priklausomai nuo apšvitos neutronais įtekio. Atsirandanti pagavimo (asimptotinės relaksacijos fotolaidumo kinetikose) dedamoji, priklausanti nuo temperatūros, reiškia, kad hadronai sukuria

tiek išplitusius, tiek taškinius defektus, priklausomai nuo terminės Si kristalo būsenos. Todėl, patikimiems rezultatams gauti, terminių apdorojimų aplinka turi būti nekintama.

11 pav. Efektinės krūvininkų pagavimo spartos priklausomybės nuo apšvitos 300 MeV gama spinduliuotės dozės skirtingai apdorotuose (deguonimi priemaišinto – 19 ir didelio grynumo –20) Si plokštelių fragmentuose, naudojamos spinduliuotės tipo bei energijos įvertinimo patikimumui padidinti;

12 pav. Protonais sužadintos GaN liuminescencijos spektro juostų (ultravioletinės (UV) -21, mėlynosios (B)-22, geltonai žaliosios (YG)-23) evoliucijos charakteristika, priklausoma nuo 1.6 MeV protonų įtėkio.;

13 pav. GaN scintiliatoriaus YG-L spektrinės juostos intensyvumo kitimo funkcija (24), priklausanti nuo apšvitos įtėkio;

14 pav. Skirtingų GaN liuminescencijos spektro juostų intensyvumo amplitudžių (B-25, YG-26, R-27) kitimai, kaip funkcijos, priklausančios nuo 1.6 MeV protonų apšvitos įtėkio;

15 pav. Laike išskirtos liuminescencijos (TR-L) spektre (UV-28, YG-29, B-30) dominuojančių smailių amplitudžių kitimai, kaip funkcijos, priklausančios nuo apšvitos reaktoriaus neutronais įtėkio;

16 pav. Laikinės skyros kamera užregistruoti spektrai GaN (silpnai legiruoto – LD (31) ir stipriai legiruoto – HD (32)) scintiliatoriuose: pavaizduotos užregistruotosios (taškinės linijos) ir sumodeliuotos (ištisinės linijos, naudojant trijų Gauso formos spektro juostų metodą) charakteristikos. Modeliuojamieji spektro komponentai pavaizduoti taškinėmis kreivėmis $n=1, 2, 3$;

17 pav. Laike išskirtosios liuminescencijos TR-L relaksacijos kinetikų, užregistruotų LD (31) ir HD (32) GaN scintiliatoriuose, palyginimas;

18 pav. Identiškų GaN scintiliatorių liuminescencijos spektrų, užregistruotų po apšvitos 18 MeV elektronais (33), 1.8 MeV protonais (34) ir 0.8 MeV gama spinduliuote (35), struktūrų palyginimas;

IŠSAMUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Šis išradimas susijęs su daugelio funkcinų sluoksnių (1 pav.), sudurtų

viename jutiklyje (1) derinio, sudaryto iš mikrobangomis zonduojamo fotoelektrinio jutiklio (4), kuris yra pagamintas iš didelio grynumo, didelės savitosios varžos puslaidininkio homogeniškos vidinės struktūros plokštelės, kuri atskirta stipriai legiruoto, didelio laidumo puslaidininkio sluoksniu (3), veikiančiu kaip atkirtimo spektrinis filtras, kuris neleidžia abipusiai sužadinti didelės savitosios varžos puslaidininkio sluoksnio (4) ir viršutinio scintiliatoriaus plono sluoksnio (2) su šio viršutinio sluoksnio sukurta liuminescencija. Viršutinis scintiliatoriaus sluoksnis (2) suprojektuojamas, atsižvelgiant į scintiliatoriaus šviesos komponentų sugerties gyli, kurių spektro struktūra yra būdinga krintančių dalelių tipui bei apibrėžtai radiacijos dozei, sukauptai scintiliatoriaus medžiagoje, kai jutiklis veikia dozimetriniu režimu. Šis viršutinis scintiliatoriaus sluoksnis (2) generuoja specifinę liuminescencijos spektro struktūrą, būdingą apibrėžtos sudėties dalelių tipų apšvitai, kai hibridinis jutiklis (1) veikia fliuksmetrijos / dalelių rūšių identifikavimo režimu, taigi, veikia kaip spektro formos diskriminatorius. Viršutinio scintiliatoriaus sluoksnio (2) generuojamos liuminescencijos intensyvumas sukalibruojamas arba sureguliuojamas taip, kad būtų proporcingas krintančių didelės energijos dalelių tankiui arba UV spinduliuotės intensyvumui, kai lazerio spindulių pluoštas naudojamas kaip scintiliatoriaus, kuris sukaupė atitinkamą jonizuojančiosios spinduliuotės įtaką, spektrinis skaitlys. Spektro struktūros analizė pasitelkiama krintančių dalelių tipui išskirti, kai liuminescencija yra sužadinama krintančios spinduliuotės pluoštelio, naudojant hibridinį jutiklį fliuksmetrijos / dalelių tipų identifikavimo režimu. Stipriai legiruoto, didelio laidumo puslaidininkio tarpinis sluoksnis (3) veikia kaip užtvarinis filtras, blokuojantis didelio grynumo puslaidininkio antrinį sužadinimą optinio spektro diapazono liuminescencine šviesa. Be to, stipriai legiruoto puslaidininkio sluoksnis gali būti naudojamas mažo stabdymo gylio jonizuojančiosios spinduliuotės, kuri sukuria labai didelį įtaką, skenogramoms gauti. Viršutinio (2) ir tarpinio sluoksnio (3) storiai parenkami taip, kad būtų sumažintas nepageidaujamos spinduliuotės poveikis. Trečiasis hibridinio jutiklio (1), fotoelektrinio detektoriaus elementas (4) yra didelio grynumo, didelės savitosios varžos puslaidininkio homogeniškos vidinės struktūros sluoksnis (4), skirtas fotolaidumo parametrų pasiskirstymo sluoksnio gylyje skenavimui, krūvininkų rekombinacinės ir pagavimo trukmės matavimui, hibridiniam sensoriui veikiant dozometro režimu arba antrinių krūvininkų porų tankio pasiskirstymui skenuoti, naudojant hibridinį jutiklį fliuksmetrijai/dalelių tipo išskyrimui. Didelio grynumo puslaidininkio plokštelės (4) storis parenkamas atsižvelgiant į numatomų detektuoti

dalelių stabdymo gylių diapazoną. Minėti hibridinio jutiklio (1) sluoksniai įprastai yra atskiriami arba pasyvuojami dielektriko sluoksniais, tokiais kaip safyras (6) ir silicio dioksidas (5), atitinkamai. Technologiškai toks hibridinis daugiasluoksnis jutiklis (1') gali būti suformuotas kristalų auginimo būdu, kaip vientisa daugiasluoksnė technologinė struktūra, pasitelkiant nitridų MOCVD auginimo ant silicio padėklų technologiją. Pastaruoju atveju, pradinis didžiavaržės medžiagos padėklas turėtų būti pradinis fotoelektrinio detektoriaus sluoksnis (4), ant kurio didelio laidumo medžiagos sluoksnis (3) toliau formuojamas difuzinio ar implantacinio legiravimo būdu ir, galiausiai, AlGa_N / Ga_N scintiliatorių sluoksniai (6' ir 2) auginami, taikant MOCVD metodą, pasitelkiant AlGa_N nukleacijos/gardelių suderinimo nanometrinio storio AlGa_N sluoksnius (6') (2 pav.).

Šis hibridinis daugiasluoksnis jutiklis (HMLS) yra pranašesnis už „Phoswich“ tipo detektorius tuo, kad:

HMLS veikia žymiai didesne sparta, nes sinchroniškai detektuoja stiprius / intensyvius registruojamos spinduliuotės poveikius, kai patikimus rezultatus (būdingą spektro struktūrą) galima gauti net iš vieno impulso, išmatuojamo per milisekundines trukmes, kai „Phoswich“ tipo PSD / SSD diskriminatorius turėtų rinkti duomenis parą / valandas, kad būtų gauta patikima charakteristika dalelių tipo išskyrimui;

Dėl didelės signalų registravimo spartos HMLS galima naudoti momentinės apšvitos būsenos kontrolei;

HMLS sensoriai neturi fizinių HMLS signalo amplitudės diapazono apribojimų, o PMT fotodaugintojo signalų amplitudės kitimų įsotinimas riboja krįntančiųjų dalelių tankio bei energijų verčių diapazoną, kai naudojami „Phoswich“ konstrukcijos PSD/PSS diskriminatoriai;

HMLS detektorių formavimo būdai (suduriant atskirai užaugintų skirtingų medžiagų plokštelių sluoksnius arba formuojant HMLS kristalų auginimo būdu kaip vientisą daugiasluoksnę technologinę struktūrą, naudojant nitridų auginimo ant silicio padėklų MOCVD technologiją) yra tinkami HMLS sluoksnių funkcinės paskirties užtikrinimui.

Šis hibridinis jutiklis (HMLS) taip pat yra pranašesnis už hibridinius taškinis (HPD) detektorius tuo, kad:

HMLS formavimo būdai leidžia išvengti sudėtingų ir brangių technologinių

procedūrų formuojant HPD;

HMLS užtikrina sensoriaus atsako nuskaitymą/skenavimą nesąlytiniais būdais;

HMLS, palyginant su HPD, yra žymiai pigesnis prietaisas. HMLS gali veikti be išorinio įtampos šaltinio (maitinimo šaltinio);

HMLS registruoja platesnį charakteristikų spektrą (sinchroniškai matuojant krintančios spinduliuotės stabdymo gylį arba antrinių krūvininkų porų tankio pasiskirstymo profilį kartu įvertinant nuo įtėkio ir dalelių tipo priklausančią scintiliatorių liuminescencijos spektro struktūrą) patikimai identifikuojant krintančiųjų dalelių tipą;

HMLS nuskaitymas vykdomas nesąlytiniais būdais, sinchroniškai matuojant apšvitinto HS scintiliatoriaus sluoksnio ultravioletiniu lazeriu sužadintos liuminescencijos šviesos (surinktos į spektrofotometrą daugiaskaiduliniu šviesolaidžiu) spektrinius ir erdvinius komponentus (3 pav.) dozimetrijos režime, arba krintančiųjų dalelių spinduliuotės sukeltos liuminescencijos spektro struktūrą (naudojant fliuksmetro / dalelių tipo identifikavimo režimą, kaip pavaizduota 4 pav. ir 5 pav.) bei registruojant krūvininkų rekombinacijos (veikiant hadronų apšvitai) ir/arba pagavimo (veikiant gama ir elektronų apšvitai) trukmės kitimų gylyje skenogramas (naudojant dozimetrijos režimą) arba antrinių krūvininkų porų tankio pasiskirstymo profilius didelio grynumo medžiagos sluoksnyje (naudojant dalelių tipo išskyrimo režimą) mikrobangomis zonduojamo fotolaidumo atsako registravimo būdu. Krūvininkų gyvavimo trukmės pasiskirstymo fotoelektrinio sensoriaus gylyje skenavimas atliekamas, adatine antena registruojant mikrobangų signalų kitimus, kai fotolaidumui sužadinti pasitelkiami didelio laidumo sluoksniu išskirtos lazerio infraraudonosios šviesos impulsai. Dalelių tipo identifikavimo režime fotolaidumą sužadina krintančiųjų dalelių spinduliuotė. Šiuo atveju lazerio impulsu sužadintų krūvininkų porų tankio kalibruotų dydžių matavimai yra kombinuojami su mikrobangomis zonduojamo fotolaidumo HMLS atsako amplitudės matavimais, veikiant nuostovaus intensyvumo pluošteliui. Apšvitos impulsiniais dalelių pluoštais atveju mikrobangų atsakas registruojamas panašiai kaip ir naudojant sužadinimą lazerio impulsu.

HMLS veikimo ir nuskaitymo dozimetrijos taikymų režime schema yra pateikta 3 pav.

HMLS taikymų ir nuskaitymo schemos dalelių tipui išskirti (identifikuoti) yra pateiktos 4, 5 ir 6 pav.

Siekiant padidinti dalelių tipo identifikavimo patikimumą, apšvitos triukšmų sumažinimui HMLS įrenginio įėjimo apertūra turėtų būti apsaugota gana storais metalų lakštais (pavyzdžiui, iki 10 cm storio Al arba volframo), kaip pavaizduota 6 pav. Krintančiųjų dalelių krūvio būsenos identifikavimui į dalelių tipo HMLS diskriminavimo įrenginį papildomai gali būti įtrauktas magnetinis analizatorius.

Apšvitos įtėkio arba srauto įvertinimo bei krintančiųjų dalelių tipo išskyrimo principai didelių dozių ir dalelių energijos srityje.

Didelio įtėkio (dozės) hadronų apšvita sukuria didelio tankio išplitusius defektus sensoriuje, kurių koncentracija yra proporcinga surinktam įtėkiui. Yra žinoma, kad visi elementarieji hadronai, tokie kaip neutronai, protonai ir pionai, kurių energija > 10 MeV, sukelia vieno tipo radiacinius pažeidimus, kurie keičia krūvininkų rekombinacijos trukmę apšvitinto sensoriaus medžiagoje, ir rekombinacijos trukmės kitimai, priklausantys nuo apšvitos hadronais įtėkio, yra nusakomi universalia hiperboline funkcija (15) (7 pav.), nepriklausančia nuo krintančiųjų hadronų tipo ir didelio grynumo Si sensoriaus medžiagos auginimo technologijos (Cz, MCZ, FZ), kai sensoriaus sluoksnio paviršiai yra pasyvuoti terminiu oksidu. Vieneksponentinės fotolaidumo relaksacijos kinetikos yra realiai registruojamos hadronais apšvitintose didelio grynumo Si medžiagose dėl vyraujančių rekombinacijos procesų.

Parametrų pasiskirstymo sensoriaus gylyje skenavimo būtinybė. Rekombinacijos trukmė šiek tiek priklauso nuo apšvitinimo dalelių energijos (16), kaip pavaizduota 8 pav. Dalelių identifikavimo ir įtėkio / srauto matavimų tikslumui padidinti HS nuskaitymo metodikoje numatytas krūvininkų gyvavimo trukmės arba MW signalo amplitudės / laidumo (σ -MW) pasiskirstymo sensoriaus gylyje skenavimas. Krūvininkų rekombinacijos trukmės kitimų sensoriaus gylyje profilis (17), iliustruojamas 9 pav., teikia galimybę įvertinti krintančiosios dalelės stabdymo gylių intervalą, o palyginant šią charakteristiką su SRIM modeliuojamu profiliu, įvertinama krintančiosios spinduliuotės energija.

Elektronų ir gama / rentgeno spinduliuočių tipo identifikavimui bei atskyrimui nuo hadronų poveikio gali būti pasitelktos pagavimo gyvavimo trukmės charakteristikos. Krūvininkų pagavimo centrai įprastai yra priskiriami taškiniams

radiaciniais defektams. Pastaruosius galima išryškinti analizuojant fotolaidumo relaksacijos kinetikų asimptotinį komponentą, kai pagavimo centrų parametrai skiriasi ir priklauso nuo sensoriaus iškaitinimo (18) HS (po švitinimo hadronais, 10 pav.), Si sensoriaus medžiagos auginimo technologijos (MCZ, DOFZ Si, (19) ir (20), atitinkamai), apšvitos dalelių tipo (elektronų arba gama / rentgeno spinduliuote) (11 pav.).

Labai gryno silicio (Si) fotolaidumo relaksacijos kinetikos yra sudarytos iš greitos rekombinacijos ir lėto pagavimo dedamųjų. Atvirkštinė rekombinacijos trukmė yra proporcinga radiacinių defektų koncentracijai, o tiesinis atvirkštinės rekombinacijos trukmės augimas (11 pav.), proporcingas γ -spinduliuotės dozei, reiškia pastovią pažeidų sudarymo spartą. Atvirkštinė pagavimo trukmė įsisotina didžiausių dozių intervale. Šis efektas būdingas tik n-tipo HP-Si, o MCZ p-Si atveju stebima rekombinacijos ir pagavimo defektų beveik nekintama sparta. Apšvitinimas didelės energijos elektronais taip pat sukelia taškinių defektų susidarymą. Įprastai yra aptinkami pagavimo trukmės temperatūriniai kitimai sietini su įvairios prigimtės taškiniais radiaciniais defektais, gerai žinomais DLTS nomenklatūroje. Todėl pagavimo trukmės kitimų, veikiant įvairioms spinduliuotėms, pobūdis turėtų būti gerai žinomas apibrėžtos technologijos HP-Si medžiagose, naudojamose gaminant HMLS.

GaN scintiliatorių liuminescencijos spektrai priklauso nuo apšvitos hadronais įtėkio (12 pav.), ir ši priklausomybė, kalibruotai priskirta skirtingoms liuminescencijos spektro juostoms, gali būti panaudota stipriai absorbuojamų dalelių (alfa dalelių, mažos energijos protonų ir neutronų) dozimetrijai. Liuminescencijos intensyvumo kalibruoto dydžio kitimai, priskiriami skirtingoms spektro juostoms (21–23), kalibruojantys apšvitos įtėkį, sudaro kalibravimo kreives (13 pav., 14 pav.), įtėkiui vertinti.

GaN scintiliatoriaus liuminescencijos intensyvumo įvairiose spektro juostose (ultravioletinėje -28, žaliojoje -29, mėlynojoje -30) kitimai itin trumpos trukmės laikų skalėje (laike-išskirti) gali būti pasitelkti impulsinių apšvitų įtėkų įvertinimui (15 pav.).

Padidintos laikinės skyros impulsinių apšvitų sužadintos liuminescencijos (L) signalų kitimų kalibravimui gali būti pasitelktas žybsinės kameros („Streak-Camera“ (SC)) metodas, įprastai taikomas impulsinės apšvitos didelių srautų poveikiams kalibruoti (kai krūvininkų porų koncentracija yra itin didelė, $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$). Čia švitinimo

įtėkiui arba dalelių srautui emuliuoti naudojama impulsinė UV šviesa. Žybsninės kameros (SC) kalibravimuose įprastai registruojami / nagrinėjami GaN sluoksnio liuminescencijos (L) signalai žaliame-geltoname-raudoname (G-Y-R) L spektriniame diapazone (16 pav.). SC liuminescencijos (L) spektrai, netgi gauti esant fiksuotam UV sužadavimo energijos tankiui ir trumpam (200 fs impulsui) (16 pav.), įprastai sudaro asimetrinę, turinčią spektrinę struktūrą SC juosta 450–700 nm bangos ilgių diapazone. Beveik monotoninė vienos smailės (esant 530 nm) juosta yra būdinga SC spektrui, užrašytam mažai legiruotoje (LD-31) GaN medžiagoje, o didelio legiravimo GaN medžiagoje (HD -32) galima išskirti dvi smailes (esant 535 ir 595 nm). Todėl norint pagaminti patikimą GaN scintiliatorių impulsinių apšvitų registravimui, reikia kruopščiai pasirinkti GaN scintiliatoriaus legiravimo laipsnį. Gauso formos spektrinės dedamosios, kurių smailės yra ties skirtingais bangos ilgiais ir kurių santykinės amplitudės (B) bei juostų pločiai (w) skiriasi, gali būti pasitelktos detaliam spektro komponentų parametru įvertinimui ir apšvitų poveikių priskyrimui, nagrinėjant kartu su TR-L liuminescencijos relaksacijos kinetikomis (17 pav.). TR-L relaksacijos kinetikos apima gana plačią (iki dešimties milisekundžių) laikų sritį. Tuo būdu, TR-L relaksacijos atsako funkcijos gali būti panaudojamos apšvitos dalelių tipo diskriminavimui ir identifikavimui, esant dideliame apšvitos įtėkiui ir srautui.

$\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ ir GaN scintiliatorių (18 pav.) TR-L spektrų struktūros (formos) ir kinetinių komponentų trukmių kitimai, priklausantys nuo apšvitos dalelių tipo, o taip pat spektro integruotų sričių plotų analizė yra pasitelkiami apšvitos dalelių identifikavimui.

NEPATENTINĖ LITERATŪRA

S.Yamamoto and J.Hatazawa. Development of an alpha/beta/gamma detector for radiation monitoring, Review of Scientific Instruments 82, 113503 (2011); <https://doi.org/10.1063/1.3658821>.

A.Förster, et al. Transforming X-ray detection with hybrid photon counting detectors, Published 2019 Medicine, Physics Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences, <https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0241>.

A. Rahimi et al. Radiation-Hard Optical Hybrid Board for the ATLAS Pixel Detector, International Journal of Modern Physics A Vol. 20, No. 16 (30 June 2005) 3805-3807, <https://doi.org/10.1142/S0217751X05027679>.

4. J. H. Jungmann-Smith et al. Radiation hardness assessment of the charge- integrating hybrid pixel detector JUNGFRAU 1.0 for photon science. Review of Scientific Instruments 86, 123110 (2015); <https://dx.doi.org/10.1063/1.4938166>

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Hibridinis daugiasluoksnis jutiklis, skirtas aptikti ir išmatuoti sukaupią didelės energijos apšvitos įtekį,

b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jutiklis (1) apima bent

- pirmąjį viršutinį sluoksnį (2), kaip scintiliatorių, kur scintiliatoriaus liuminescencijos spektriniai ir laikiniai pokyčiai priklauso nuo krintančiosios spinduliuotės sukaupio įtekio ir dalelių tipo,
- antrąjį sluoksnį (4), skirtą krūvininkų relaksacijos trukmės pasiskirstymo šio sluoksnio gylyje skenogramoms registruoti, priklausomai nuo apšvitos įtekio arba spinduliuotės sužadintų antrinių krūvininkų porų tankio parametrų, susijusių su apšvitos dalelių tipu ir energija,
- tarpinį sluoksnį (3), veikiantį kaip spektrinis filtras, blokuojantis antrojo sluoksnio (4) sužadintą su scintiliatoriuje (2) generuojama liuminescencijos šviesa, kur apšvitos įtekio parametrai yra įvertinami matuojant liuminescencijos signalus iš scintiliatoriaus sluoksnio (2) ir fotolaidumo signalus iš antrojo sluoksnio (4), pasitelkiant spektriškai nepriklausomų matavimų kanalus (7, 8), ir koreliuojant scintiliatoriaus spektro struktūros ir mikrobangomis zondojuojamo fotolaidumo amplitudės bei relaksacijos trukmių charakteristikas.

2. Jutiklis pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad scintiliatoriaus sluoksnio (2) storis yra parenkamas taip, kad atitiktų (ne mažesnis už) liuminescencijos šviesos savaiminės sugerties gylių; fotoelektrinių signalų skenavimo sluoksnio (4) storis parenkamas taip, kad atitiktų (ne mažesnis už) skvarbiausiųjų krintančiosios spinduliuotės dalelių prasiskverbimo gylių, o tarpinio sluoksnio (3) storis yra parenkamas taip, kad blokuotų scintiliatoriaus sluoksnio (2) liuminescencijos šviesą.

3. Jutiklis pagal 1 ir 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad scintiliatoriaus sluoksnis (2) apima plačiatarpį puslaidininkį, tokį, kaip GaN arba AlGaIn, o antrasis giluminio skenavimo sluoksnis (4) apima siaurajuostį, didelio grynumo ir didelės savitosios varžos puslaidininkį, geriausia, didelio grynumo, silicij, o tarpinis trečiasis sluoksnis (3) yra didelio laidumo puslaidininkis, geriausia, stipriai legiruotas silicis.

4. Jutiklis pagal bet kurį iš 1–3 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėti trys sluoksniai (2), (3) ir (4) yra atskirti izoliatorių / dielektrikų sluoksniais, tokiais kaip safyras ar silicio dioksidas.

5. Jutiklis pagal bet kurį iš 1–4 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jo daugiasluoksnė struktūra yra suformuota kristalų auginimo būdu kaip vientisas įtaisas, kuriame aukšto grynumo ir didelės varžos puslaidininkio plokštelė (4) naudojama kaip padėklas, ant kurio legirantų difuzijos būdu suformuojamas tarpinis didelio laidumo sluoksnis (3), o scintiliatoriaus sluoksnis (2) MOCVD technologijos priemonėmis užauginamas ant minėto didelės varžos puslaidininkio sluoksnio (3).

6. Jutiklis pagal bet kurį iš 1–5 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad scintiliatoriaus sluoksnis (2) yra auginamas ant difuzinio legiravimo būdu suformuoto tarpinio, didelio laidumo sluoksnio (3), sudarant iki keturių nukleacijos ir gardelių suderinimo nanometrinio storio pasluoksnių, kurie suformuoti kaip įvairaus (x) Al kiekio $\text{Al}_{1-x}\text{GaN}$ heterojunginiai (6') keičiant $x=0,2\div0,75$ intervale, kur minėti pasluoksniai veikia kaip papildomi laikinės impulso arba spektro formos diskriminatoriai krintančiųjų dalelių tipo identifikavimui.

7. Jutiklis pagal bet kurį iš 1–6 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jis yra skirtas didelės energijos spinduliuočių dideliems įtėkiams matuoti bei identifikuoti spinduliuočių tipus, įskaitant gama bei rentgeno spinduliuotes, alfa ir beta daleles, didelės energijos neutronus, elektronus, pionus, pozitronus bei protonus.

8. Didelės energijos spinduliuotės dozimetrijos būdas, naudojant jutiklį (1) pagal 1–7 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima šiuos žingsnius:

- didelės energijos apšvitos įtėkis Φ nukreipiamas į jutiklį ir yra sukaupiamas jutikliu (1) ekspozicijos periodo laikotarpyje, ir po to,
- scintiliatoriaus (2) ir fotoelektrinio sluoksnio (4) signalai registruojami tuo pačiu metu, kur
- dozimetrinio skaitytuvo daugiaspalviu impulsiniu lazeriu (9) yra apšviečiamas scintiliatorius (2) ir atliekama scintiliatoriaus (2) radiacinio atsako laike-integruota spektroskopija, o fotolaidumo sluoksnis (4) yra zonduojamas mikrobangomis ir jo

atsakas skenuojamas, kad išmatuoti nuo įtėkio priklausančių krūvininkų gyvavimo trukmės gylio profilius,

- jutikliu (1) surinkti krintančios spinduliuotės dalelių tipai, energijos, bei įtėkis yra įvertinami kompleksinės analizės būdu, pagal išmatuotus krūvininkų gyvavimo trukmės profilius ir liuminescencijos intensyvumo sukalibruotas charakteristikas.

9. Dozimetrijos būdas pagal 8 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kalibruoto (τ)- įtėkio ir scintiliatoriaus fotoliuminescencijos spektrinių juostų intensyvumo pagal įtėkį charakteristikos yra naudojamos įvertinti apšvitos įtėkį (Φ) / dozę (D).

10. Dalelių srauto F pluošte (10) įvertinimo būdas, naudojant jutiklį (1) pagal 1-7 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima žingsnius:

- hibridinis jutiklis (1) apšvitinamas dalelių srauto F pluoštu (10),
- sinchroniškai registruojami scintiliatoriaus (2) ir fotolaidumo sluoksnio (4) signalai, kur
- atliekama krintančių dalelių srautu F indukuotos scintiliatoriaus (2) liuminescencijos laike-išskirtoji spektroskopija, kad nustatyti liuminescencijos spektrinę struktūrą, ir,
- identifikuojami krintančių dalelių tipai ir jų skvarbos gyliai,
- mikrobangomis zonduojamo fotolaidumo amplitudės matuojamos fotoelektrinio atsako sluoksnyje (4), kad įvertinti dalelių tipus ir nuo apšvitos srauto priklausantį antrinių krūvininkų porų tankį, ir
- įvertinami skvarbiųjų krentančių dalelių parametrai: dalelių tipai, energijos bei tankiai pluošte;
- dalelių tipų identifikavimas, MW fotolaidumo skenogramų ir liuminescencijos intensyvumo kalibracinių charakteristikų kompleksinės analizės būdu.

11. Dalelių identifikavimo būdas pagal 10 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad nuostovaus intensyvumo dalelių pluošto srautui F įvertinti, yra matuojamos bei analizuojamos nuostovių σ -MW signalų skenogramos, o impulsinių pluoštų mišrių dalelių srautui F įvertinti yra registruojami impulsiniai signalai iš scintiliatoriaus (2) ir fotolaidumo sluoksnio (4), bei išmatuojami MW pikinės amplitudės profiliai.

12. Dalelių identifikavimo būdas pagal 10 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad dalelių srautui (F) ir dalelių tipams (Si) įvertinti naudojamos kalibruotos σ -srauto ir

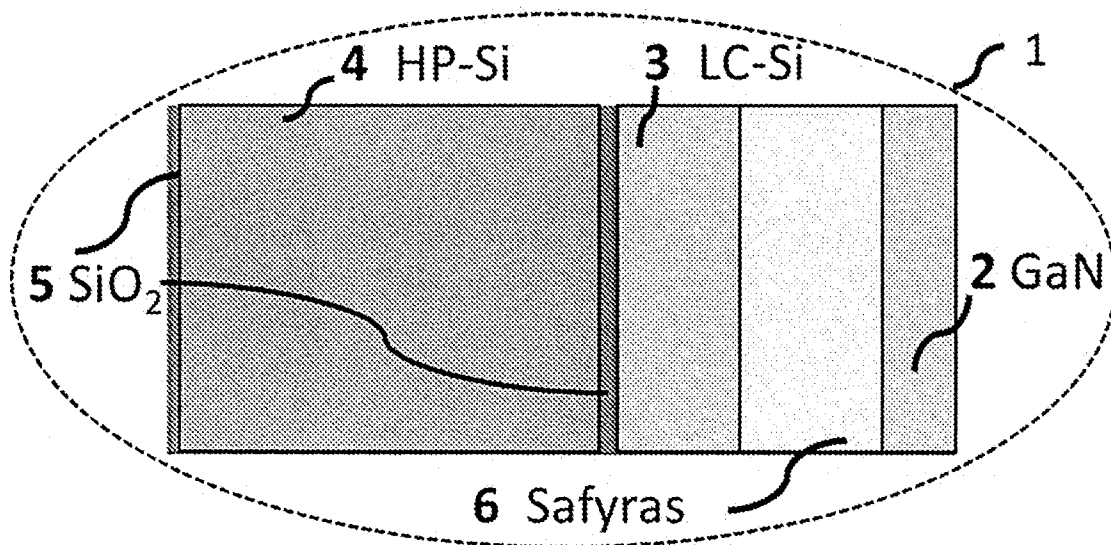
fotoluminescencijos spektrinės struktūros tarpusavio santykio su dalelių tipų srautu charakteristikos.

13. Matavimo sistema impulsinio ir mišrių dalelių pluošto srautui F įvertinti, apimanti jutiklį (1) pagal 1–7 punktus ir b e s i s k i r i a n t i tuo, kad dalelių tipo identifikavimui ir/arba jų parametų matavimo *in situ* (švitinimo metu) matavimų tikslumui bei patikimumui padidinti, matavimo sistema toliau apima:

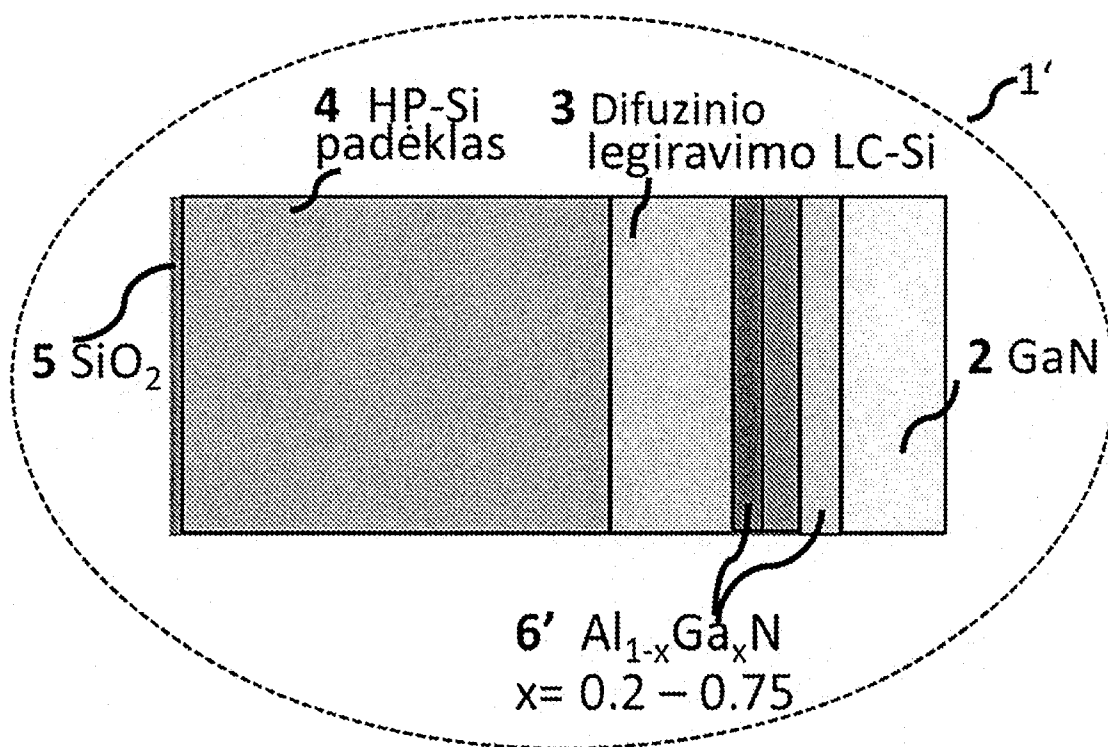
- ekranuotą kamerą (11), gaubiančią minėtą jutiklį (1), kuri papildomai apima:
- ekranuotą pluošto įėjimo apertūrą (12),
- magnetinį analizatorių (13), atskirti daleles pagal jų krūvio būseną, kur dalelių tipai tiksliau identifikuojami tiek impulsiniame, tiek mišriame dalelių sraute F ;
- priemonės (14) stabilizuoti jutiklio (1) darbinę temperatūrą.

14. Sistema pagal 13 punktą, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad apima bet kurį iš šių matavimo įtaisų:

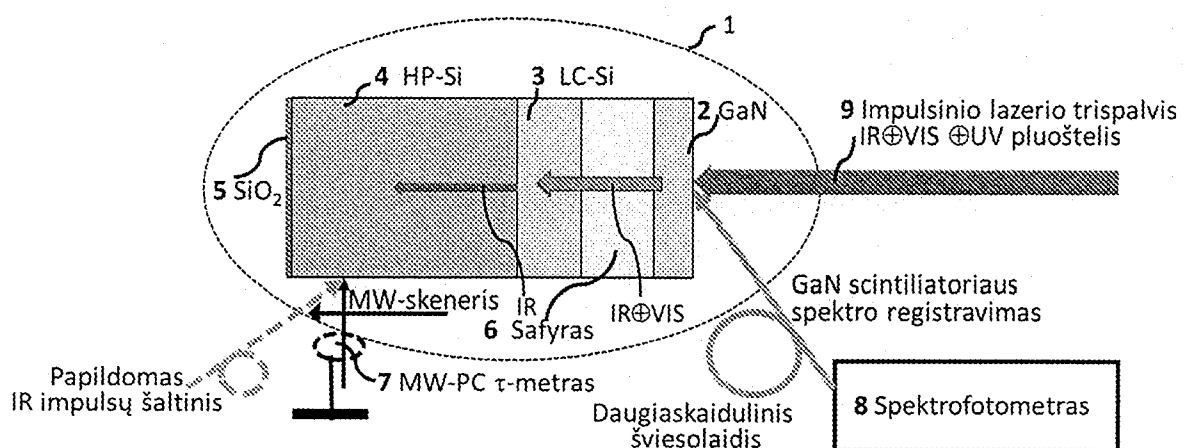
- MW-PC- τ matuoklį;
- MW-PC amplitudės diskriminatorių;
- dc σ -MW skenerį arba MW impulsinį skenerį;
- papildomą Infraraudonosios spinduliuotės impulsų (IRP) šaltinį;
- daugiaskaidulinį šviesolaidį;
- spektrofotometrą;
- MW dc-amplitudės diskriminatorių arba MW dc-amplitudės diskriminatorių matricą;
- spektrografą su laike-išskirtųjų spektrinių signalų detektoriais;
- skaitmeninę signalų apdorojimo įrangą.



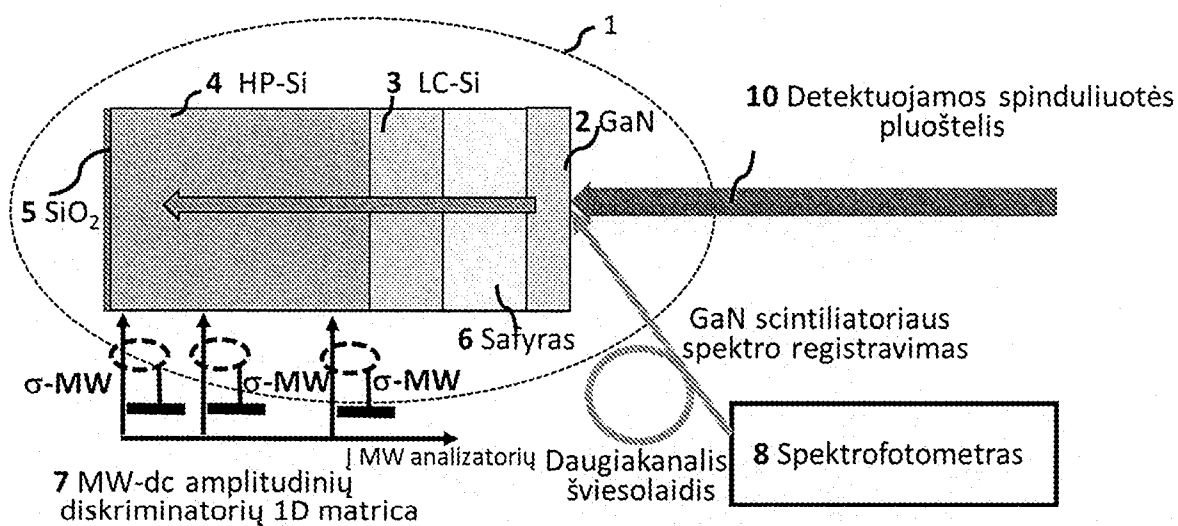
1 pav.



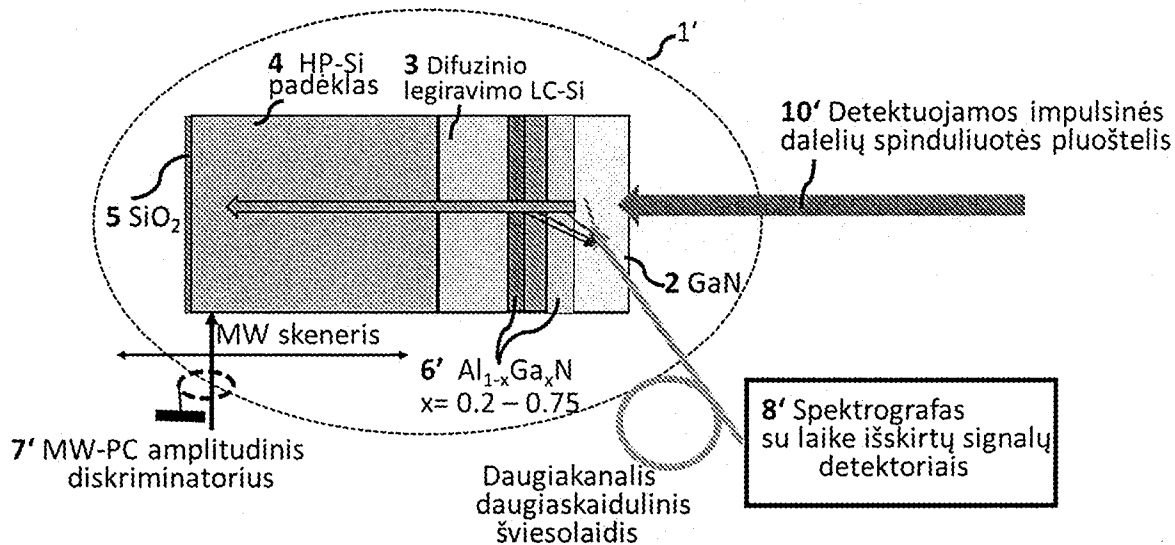
2 pav.



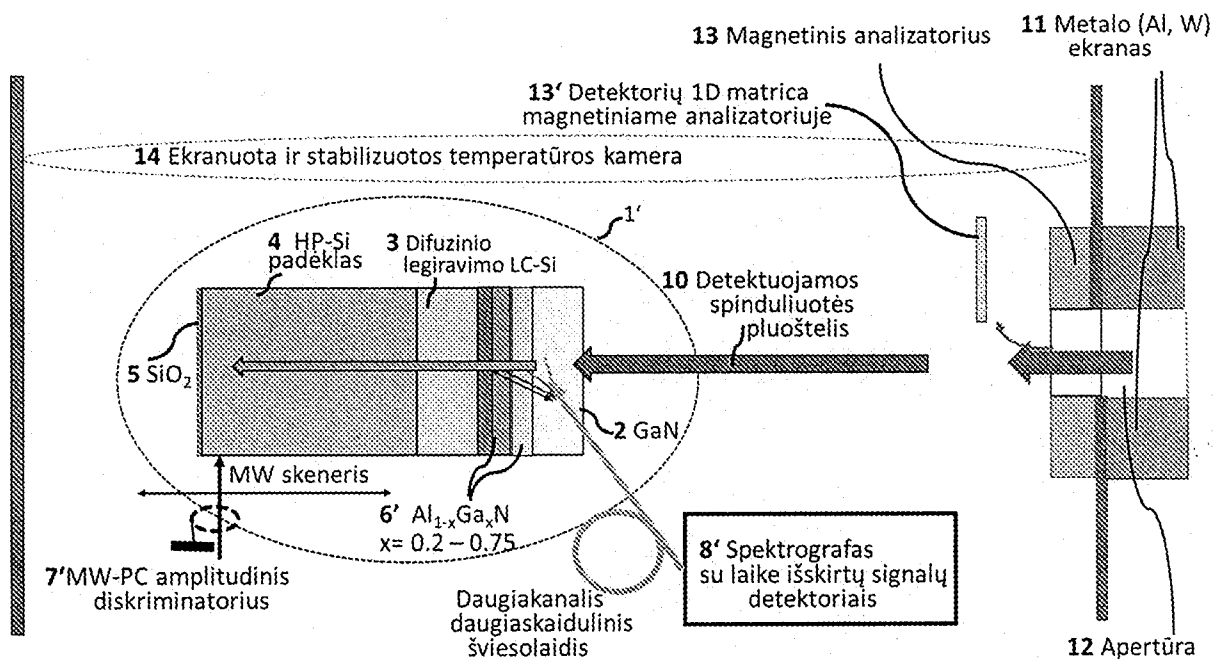
3 pav.



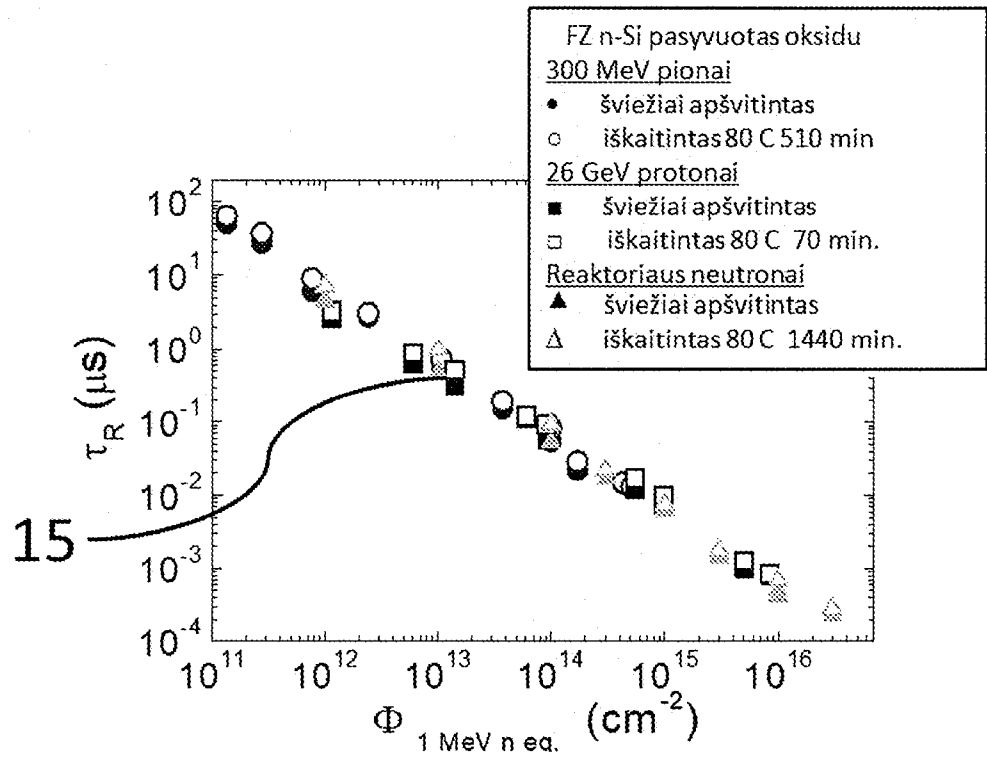
4 pav.



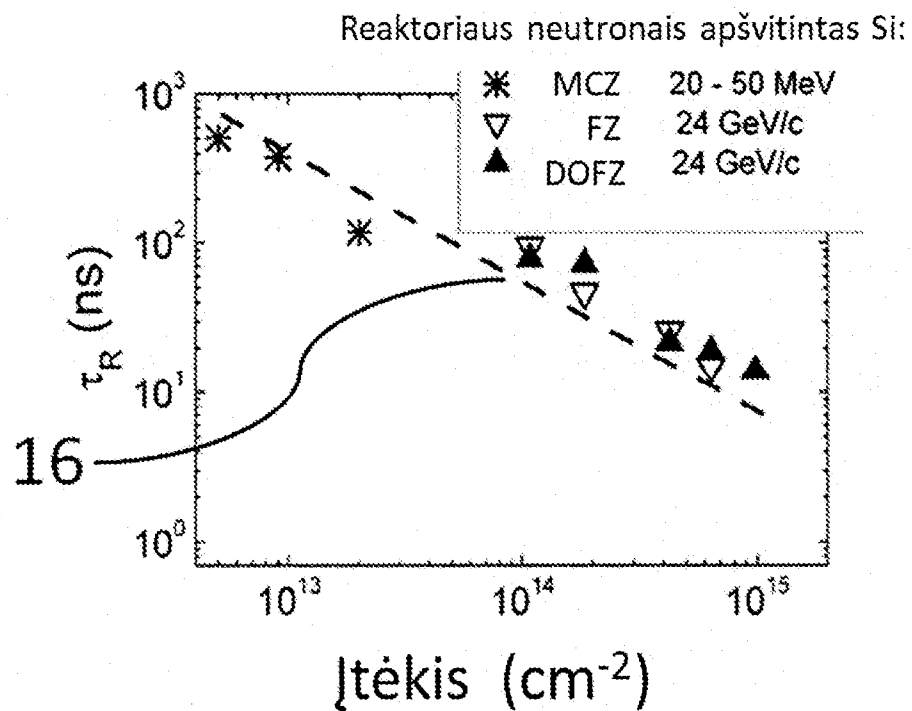
5 pav.



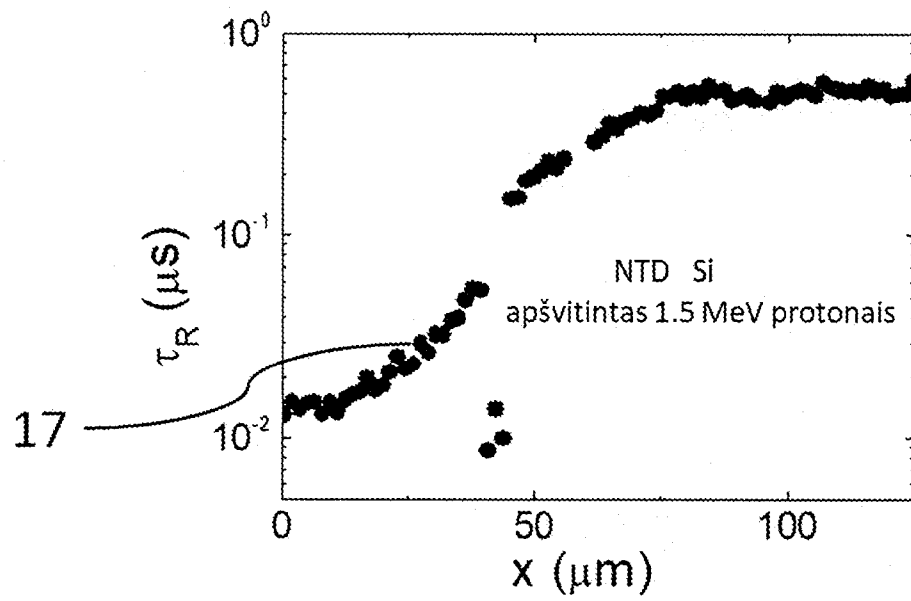
6 pav.



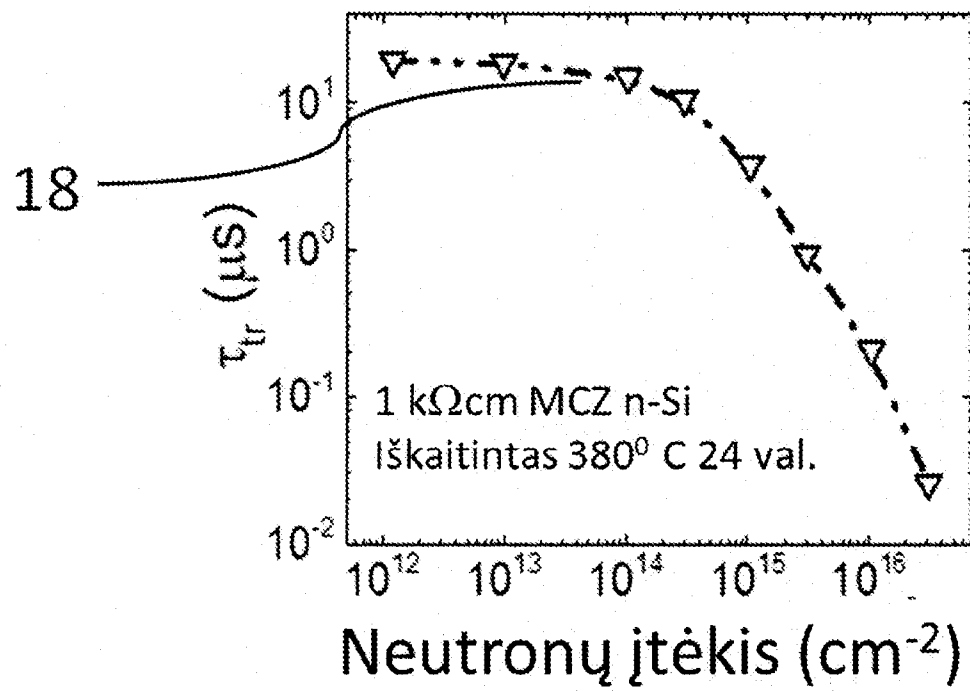
7 pav.



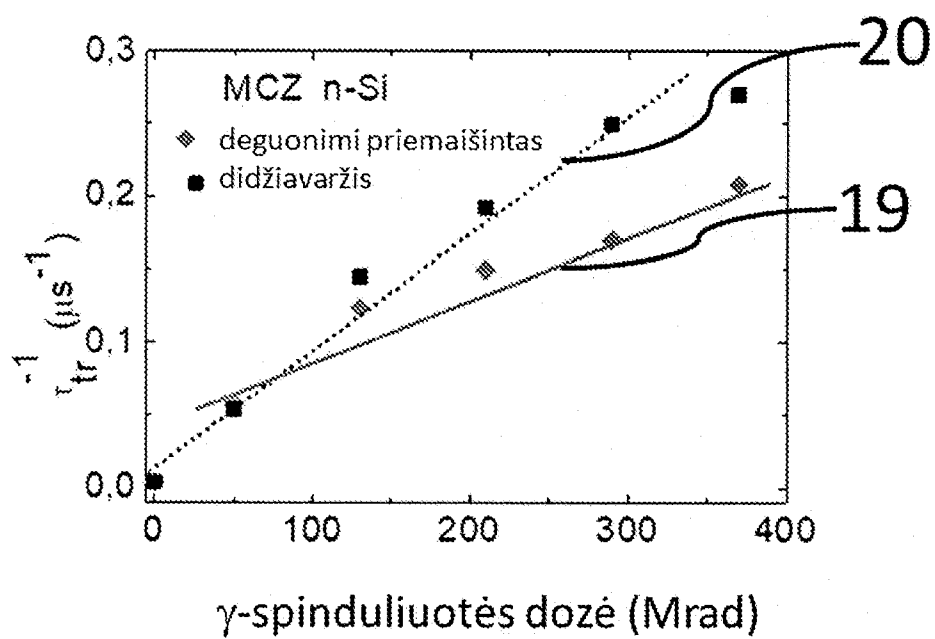
8 pav.



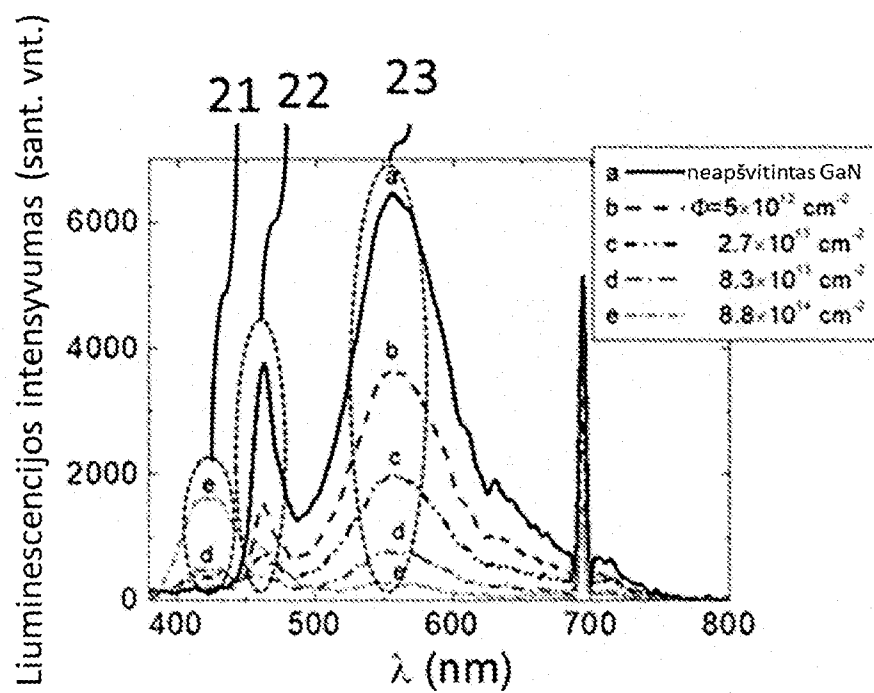
9 pav.



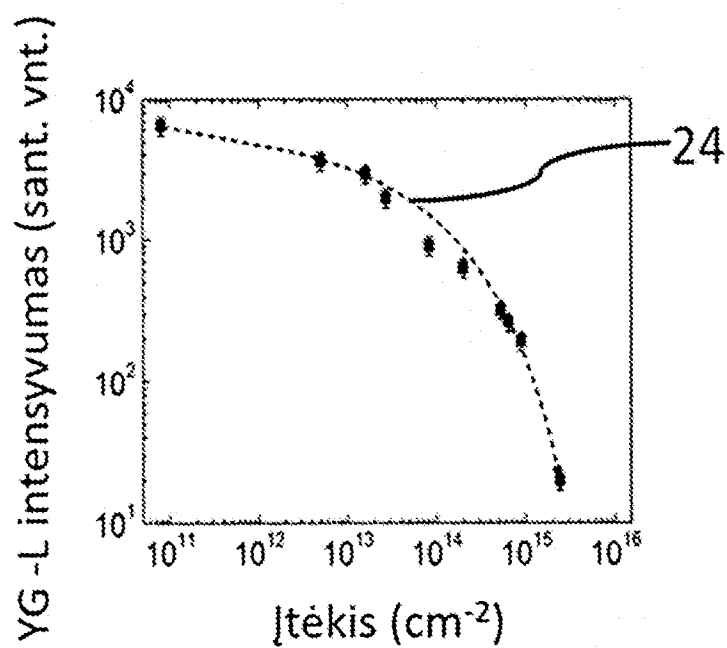
10 pav.



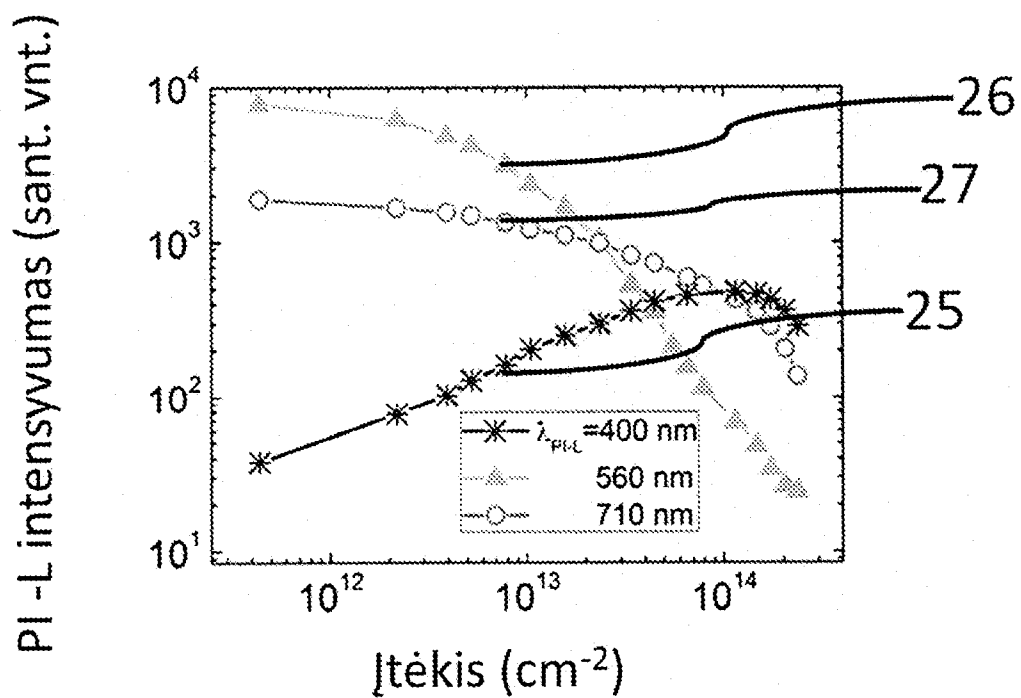
11 pav.



12 pav.

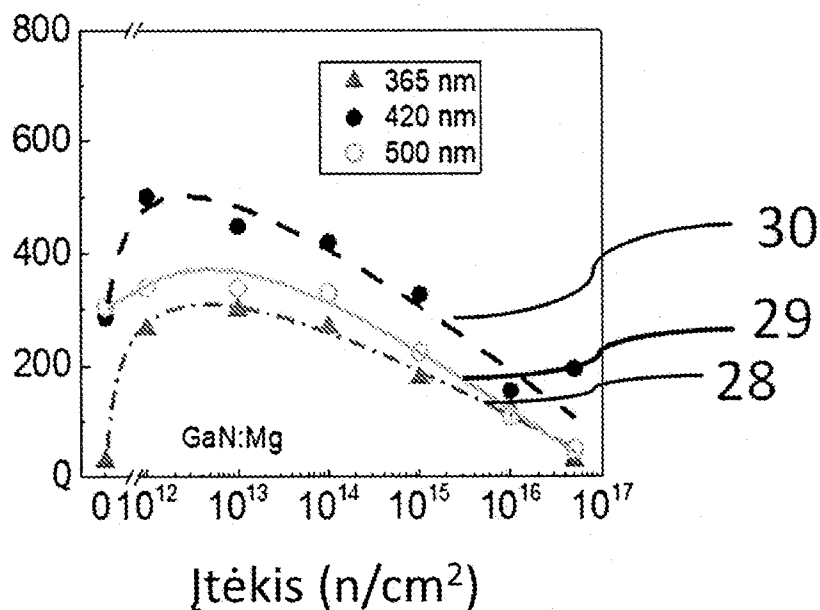


13 pav.



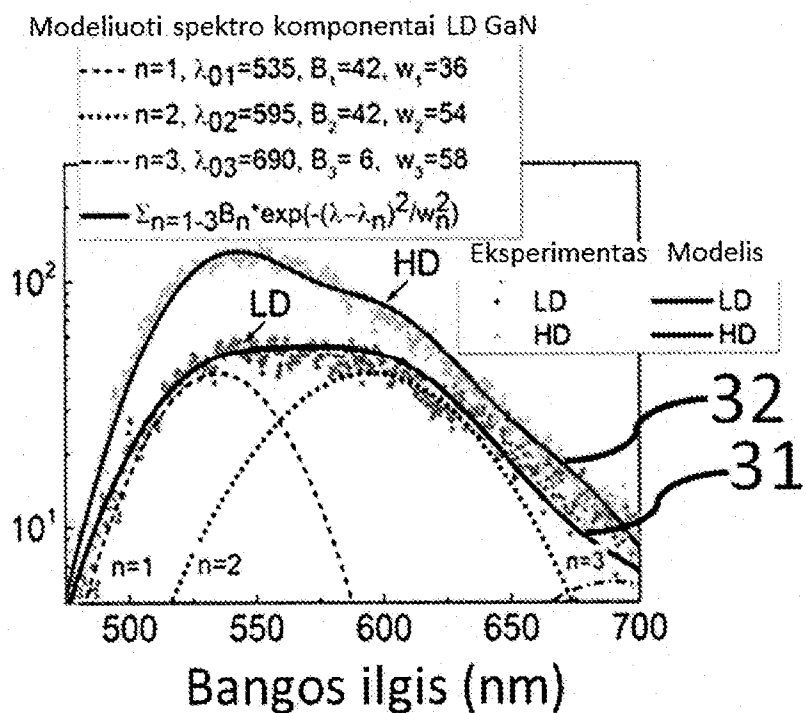
14 pav.

TR-PL intensyvumas (sant. vnt.)

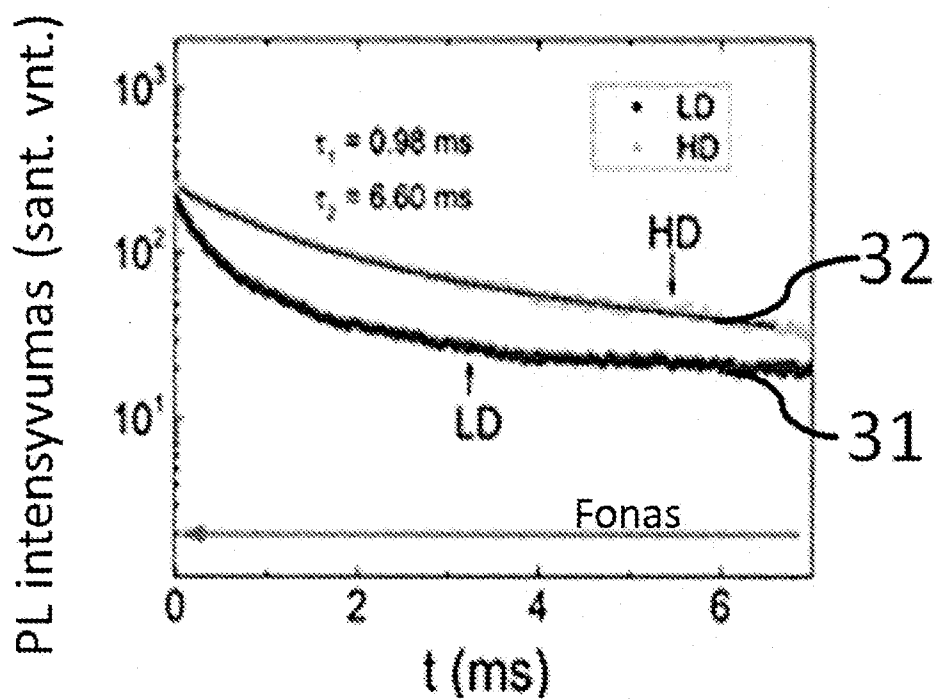


15 pav.

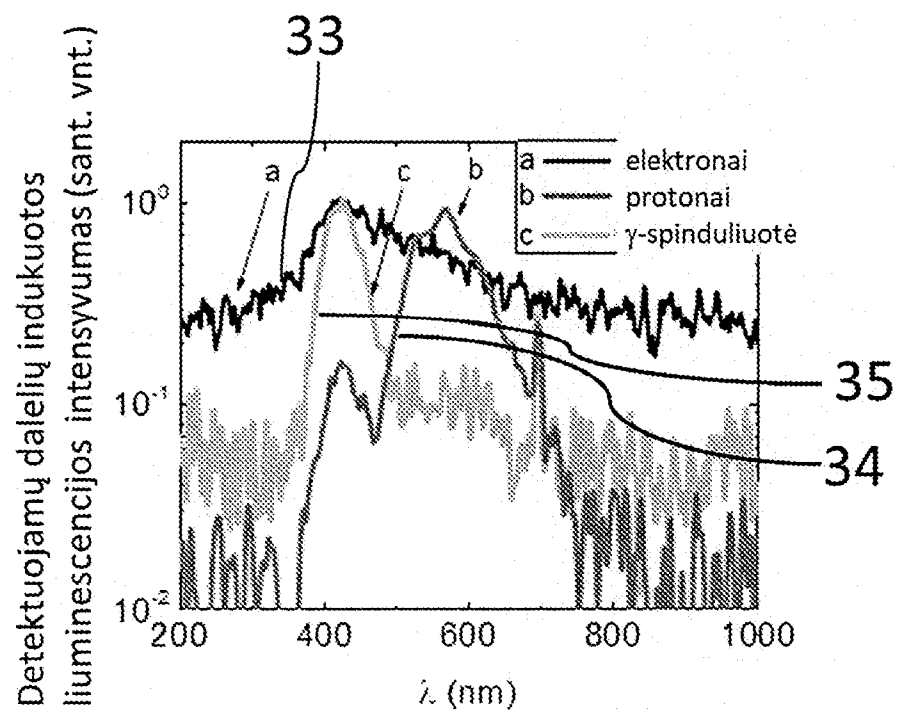
PL intensyvumas (sant. vnt.)



16 pav.



17 pav.



18 pav.