

- (11) Patent numeris: **6703** (51) Int. Cl. (2020.01): **G01T 1/00**
G01T 3/00
(21) Paraiškos numeris: **2018 025** **H01L 23/00**
H01L 27/00
(22) Paraiškos padavimo data: **2018-07-11** **H01L 31/00**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2020-01-27**
(45) Patent paskelbimo data: **2020-02-25**
(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 GAUBAS, LT
Tomas ČEPONIS, LT
Domas PAIPULAS, LT
Česlovas PAVASARIS, LT
Vidas Kalesinskas, LT
(73) Patent savininkas:
Vilniaus Universitetas, Universiteto g. 3, LT-01513 Vilnius, LT
(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Jurga PETNIŪNAITĖ, AAA Law, A. Goštauto g. 40B, Verslo centras „Dvyniai”,
LT-03163 Vilnius, LT

- (54) Pavadinimas:
Dvigubo atsako jonizuojančios spinduliuotės detektorius ir matavimo būdas

- (57) Referatas:

Pasiūlymas yra iš jonizuojančiosios spinduliuotės matavimų srities ir gali būti naudojamas spinduliuotės srauto, pėdsako ir įtėkio (suminės dozės) parametrų matavimams, sinchroniškai kontroliuojant antrinių (ir tretinių) krūvininkų porų dreifo srovės sandų ir spinduliuote indukuotos liuminescencijos intensyvumo kitimus, siekiant įvertinti spinduliuotės spektrą, stabdymo ilgį ir spinduliuotės pluošto skerspjūvio parametrus, ir yra tinkamas jonizuojančiųjų spinduliuočių poveikių kontrolei tiek apšvitęs metu, tiek po apšvitės. Pasiūlyti penkių konstrukcijų juosteliniai detektoriai, formuojami plačiatarpių puslaidininkių pusiau-izoliuojančių medžiagų mezastruktūrų pagrindu, sudarant ominių/blokuojančių bei Šotkio kontaktus, p-n sandūras, ir šviesolaidinių zondų liniuotes, sinchroniškai matuojant optinio ir elektrinio atsako signalus. Aprašyti jonizuojančiųjų spinduliuočių detektavimo būdai, matavimų režimų esminiai bruožai ir paskirtis, pasitelkiant pasiūlytą konstrukcijų detektorius.

Pasiūlymas yra iš jonizuojančiosios spinduliuotės aptikimo ir matavimo sričių, ir gali būti naudojamas surinktosios dozės/įtėkio matavimams po aukštųjų energijų spinduliuočių apšvitos, lokalsios kumuliacinės dozės įvertinimui, mišrių γ ir hadronų spinduliuotės šaltinių identifikavimui ir jų lokalizavimui.

Detektoriaus analogas yra puslaidininkinis darinys, susidedantis iš plokštelės pavidalo p – laidumo puslaidininkinio padėklo, ant kurio pirmojo paviršiaus suformuotas dielektriko sluoksnis, kuriame suformuota kiaurymė iki padėklo pirmojo paviršiaus – optinis langas, kuriame padėklo pirmajame paviršiuje suformuotas metalo sluoksnis – Šotkio sandūra, kurios perimetru ant metalo sluoksnio suformuotas metalo ominis kontaktas su pirmuoju išvadu, padėkle po metalo sluoksniu optinio lango perimetru suformuotas n^+ – laidumo žiedas, o padėklo antrajame paviršiuje suformuotas ominis kontaktas su antruoju išvadu (US Patent, No 4533933A, Aug. 6, 1985, Fig. 1).

Detektoriaus analogo trūkumas yra tai, kad dėl apšvitos pluošto išplitimo padėklo paviršiuje yra nepakankama detektoriaus erdvinė skiriamoji geba. Kitas trūkumas yra tai, kad nėra galimybės registruoti detektoriuje sužadinto optinio atsako. Dar vienas trūkumas yra tai, kad Šotkio sandūra labai apriboja detektoriaus aktyviosios srities medžiagų pasirinkimą. Taip pat trūkumas yra tai, kad Šotkio sandūros tamsinė srovė yra santykinai didelė, ir todėl yra santykinai maža pramušimo įtampa. Dar kitas trūkumas yra tai, kad Šotkio sandūra yra jautri foninei spinduliuotei, pavyzdžiui, optinio spektro šviesai.

Detektoriaus analogo trūkumams pašalinti, puslaidininkinis darinys padarytas kitaip, o būtent, pločio x , aukščio y ir ilgio z plokštelės pavidalo padėklas, čia x , y ir z – Dekarto sistemos koordinatės, padarytas iš dielektriko, ant kurio pirmosios plokštumos paviršiaus suformuotas buferinis kristalines gardeles suderinantis sluoksnis, ant kurio paviršiaus, statmenai padėklo plokštumai, suformuotas a pločio, H aukščio ir l ilgio stačiakampio pavidalo labai silpnai donorinėmis priemaišomis $N_d \leq 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ legiruotas n^- – laidumo, arba homogeninis pusiau-izoliuojantis plačiatarpis binarinis puslaidininkis, kurio draustinių energijų tarpas $\Delta E_g > 5 \text{ eV}$, ir todėl užtikrina nejautrą saulės spektro šviesai, mezadarinys, kuris padarytas, pavyzdžiui, juostelės pavidalo, kai $l > a$, o l^*a plokštuma orientuota statmenai mezadarinio kristalo poliarizacijos c ašiai. Mezadarinio viršutinis laisvasis paviršius, lygiagretus padėklo

pirmosios plokštumos paviršiui, yra detektoriaus optinis langas. Mezadarinio juostelės pirmojo ir antrojo šoninių paviršių plotai $S_{s(1;2)} = l \cdot H$ yra padengti metalo sluoksniais, sudarančiais su mezadarinio kristalu du atitinkamus Šotkio kontaktus – pirmąjį ir antrąjį su atitinkamais išvadais – pirmuoju ir antruoju. Pirmasis šoninis paviršius S_{s1} padengtas metalo sluoksniu visiškai – nuo buferinio sluoksnio iki aukščio $H_1 = H$, o antrasis šoninis paviršius S_{s2} padengtas metalo sluoksniu dalinai – nuo buferinio sluoksnio iki aukščio $H_2 < H$. Prie mezadarinio juostelės galų atitinkamų galinių paviršių $S_{g(1;2)} = a \cdot H$ statmenai yra sumontuotos vienmodžių šviesolaidžių atitinkamos grupės $M_{(1;2)(1-N)}$ po $N = 1; 2; 3; \dots$ šviesolaidžių – pirmoji grupė $M_{1(1-N)}$ ir antroji grupė $M_{2(1-N)}$. Atitinkamos grupės $M_{(1;2)(1-N)}$ šviesolaidžiai išdėstyti išilgai atitinkamo paviršiaus $S_{g(1;2)}$ įstrižainės, kai šios įstrižainės nėra lygiagrečios.

Antrame detektoriaus konstrukcijos variante, kitaip negu pirmajame variante, mezadarinio juostelės viršutiniame paviršiuje, lygiagrečiame padėklo pirmajam paviršiui, per visą juostelės ilgį l padarytas V– formos griovelis, kurio plotis $d \approx a$, o gylis $h < H$. V– griovelio trikampio viršūnė yra padaryta atstumu a_1 nuo juostelės pirmojo šoninio paviršiaus S_{s1} su pirmuoju metalo sluoksniu ir atstumu a_2 nuo juostelės antrojo šoninio paviršiaus S_{s2} su antruoju metalo sluoksniu, kai $a_1 + a_2 = a$. Mezadarinio juostelės atitinkamų šoninių paviršių plotai $S_{s(1;2)} = l \cdot H$ yra padengti metalo sluoksniais, sudarančiais su mezadarinio kristalu du atitinkamus ominių kontaktus – pirmąjį ir antrąjį su atitinkamais išvadais – pirmuoju ir antruoju. Atitinkamos šviesolaidžių grupės $M_{(1;2)(1-N)}$ šviesolaidžių pirmieji galai yra išdėstyti tiesėje išilgai atitinkamo juostelės galo atitinkamo galinio paviršiaus $S_{g(1;2)}$ pločio a , atitinkamai žemiau gylis h ir santykinai arti mezadarinio ribos su buferiniu sluoksniu, ir statmenai paviršiams $S_{g(1;2)}$.

Trečiajame detektoriaus konstrukcijos variante, pavyzdžiui, pirmojo arba antrojo konstrukcijų variantų detektoriai sudaro matricą, kurioje $Q = 1; 2; 3; \dots$ lygiagrečios detektorių juostelės yra sumontuotos ant bendro padėklo viršutinės plokštumos atstumuose $r \geq a$ kryptimi, statmena juostelėms, šalia vienas kito su atitinkamai atskirtais elektriniais ir optiniais išvadais. Todėl detektorių matrica turi Q kartų daugiau atitinkamų porų elektrinių ir optinių grupių išvadų.

Ketvirtajame detektoriaus konstrukcijos variante, kitaip negu pirmajame variante, mezadarinys padarytas dviejų laiptelių pavidalu su viršutiniais paviršiais, lygiagrečiais padėklo viršutinio paviršiaus plokštumai ir laiptelių paviršiai sudaro dvi

atitinkamas lygiagrečias juosteles. Pirmojo laiptelio – mezadarinio aukštis H_1 , H_2 – antrojo laiptelio – mezadarinio aukštis ir $H_1 < H_2$. Laiptelių atitinkami ilgiai $l_1 = l_2 = l$, o atitinkami pločiai $a_1 \approx a_2 < l$. Antrojo laiptelio viršutiniame paviršiuje suformuotas akceptorinėmis priemaišomis $N_a \geq 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ stipriai legiruotos p^+ – laidumo medžiagos santykinai plonas sluoksnis, sudarantis vertikalią p^+n^- sandūrą su antrojo laiptelio n^- – laidumo medžiagos sluoksniu, gylyje $h_1 = H_2 - H_1$ nuo viršutinio paviršiaus suformuotas santykinai siauras rekombinacinis sluoksnis – aktyvioji optinės spinduliuotės sritis. Laiptelių viršutiniai paviršiai yra padengti atitinkamais plonais metalo sluoksniais, sudarančiais su kristalu atitinkamus ominių kontaktus su atitinkamais išvadais – pirmuoju ir antruoju, kai ploni metalų sluoksniai yra skaidrūs registruojamai spinduliuotei. Atitinkamos šviesolaidžių grupės $M_{(1; 2)(1-N)}$ šviesolaidžių pirmieji galai išdėstyti tiesėje išilgai antrojo laiptelio juostelės atitinkamų galų paviršių $S_{g 2 (1; 2)}$ pločio a_2 , atitinkamai aukštyje H_1 , kuriame yra aktyvioji optinės spinduliuotės sritis, ir statmenai paviršiams $S_{g 2 (1; 2)}$.

Penktajame detektoriaus konstrukcijos variante, kitaip negu ketvirtame variante, pirmojo laiptelio aukščio H_1 mezadarinio sritis $V_1 = (a_1 + a_2) \cdot l \cdot H_1$ yra stipriai legiruota donorinėmis priemaišomis $N_d 1 \geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, sudarančiomis elektroninio laidumo n^+ – sritį, o likusioji antrojo laiptelio mezadarinio sritis $V_2 = a_2 \cdot l \cdot (H_2 - H_1)$ yra stipriai legiruota akceptorinėmis priemaišomis $N_a 1 \geq 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, sudarančiomis skylinio laidumo p^+ – sritį, kuri su n^+ – sritimi sudaro vertikalią p^+n^+ sandūrą, kurioje nėra specialiai sudaryto rekombinacinio sluoksnio. Atitinkamos šviesolaidžių grupės $M_{(1; 2)(1-N)}$ šviesolaidžių pirmieji galai išdėstyti tiesėje išilgai atitinkamų laiptelių juostelių atitinkamų galų paviršių $S_{g (1; 2) (1; 2)}$ pločių $a_{(1; 2)}$, statmenai atitinkamų juostelių galų paviršiams $S_{g (1; 2) (1; 2)}$ ir išilgai n^+ – srities aukštyje $\sim H_1/2$ nuo buferinio sluoksnio viršutinio paviršiaus.

Jonizuojančiosios spinduliuotės matavimo būdo analogas yra seka matavimų ir būtinų sąlygų, kuriame jonizuojančią spinduliuotę paduoda į spinduliuotei jautrų detektorį, matuoja laisvųjų radikalų koncentraciją apšvitintame tabletiniame arba juosteliniame alanino dozimetre elektronų sukinių paramagnetinio rezonanso būdu (EPR spektrometrijos metodas), ir iš EPR spektro tam tikrų linijų amplitudžių santykio apskaičiuoja dozometro sugertos energijos vertę, tenkančią dozometro masės vienetui, ir tai atitinka dozę. Šis santykis siauruose energijų intervaluose priklauso tiesiškai nuo apšvitos įtėkio. Laikoma, kad alanino dozometro atsakas į apšvitinimą γ –

spinduliuote, aprašomas tiesine priklausomybe nuo dozės dydžio (Patentas WO2008077891, G01T1/04, 2008-07-03).

Jonizuojančiosios spinduliuotės matavimo būdo analogo trūkumas yra tai, kad įvairios sudėties spinduliuotei (γ -spinduliuotei, elektringoms dalelėms, neutronams ir t. t.) reikia koreguoti dozimetrom atsaką, įvedant santykinį efektyvumą, kuris ženkliai priklauso nuo detalaus spinduliuotės spektro, ir todėl gali būti sumodeliuotas tik žinant dalelės krūvį, greitį, dalelių įtėkį ir dozės radialinį pasiskirstymą dalelės pėdsako srityje, ir turint visą seką siaurų dozės verčių sričių Mn reperius.

Jonizuojančiosios spinduliuotės matavimo būdo analogo trūkumams pašalinti, kitaip negu būdo analoge yra naudojami aukščiau aprašytos konstrukcijos dvigubo atsako detektoriai, kurių optinio ir elektrinio atsako signalus registruoja sinchroniškai, skenuojant jonizuojančiosios spinduliuotės aukštųjų energijų („elementariųjų“, tokių kaip γ -spekto fotonų, neutronų, protonų, pionų ir kt.) dalelių praskriejimo detektoriaus jautrioje spinduliuotei medžiagoje pėdsaką, bei prasiskverbimo (stabdymo) gylį, o apšvitos įtėkį (dozę) įvertina iš optinių bei elektrinių signalų verčių sumažėjimo dėl sukaupiamų radiacinių defektų tankio padidėjimo.

Jonizuojančiosios spinduliuotės detektoriaus pirmojo, antrojo, ketvirtojo ir penktojo variantų konstrukcijų skersiniai pjūviai y - x plokštumoje yra parodyti atitinkamai Fig. 1a, Fig. 2a, Fig. 4a ir Fig. 5a, o visų variantų konstrukcijų planariniai vaizdai iš viršaus – atitinkamai Fig. 1b, Fig. 2b, Fig. 3, Fig. 4b ir Fig. 5b. Fig. 1–Fig. 5 skaitmenimis ir simboliais pažymėta: 1 – plokštelės pločio x , aukščio y ir ilgio z pavidalo padėklas, pavyzdžiui, safyras, čia x , y , z – Dekarto koordinatės; 2 – ant padėklo 1 viršutinio paviršius suformuotas kristalų gardelių suderinimo sluoksnis; 3 – stačiakampio, pavyzdžiui, juostelės pavidalo H aukščio, a pločio ir l ilgio silpnai donorinėmis priemaišomis N_d legiruotas n^- – elektroninio laidumo arba pusiauizoliuojančio (siekiant, kad spinduliuočių sukuriamų antrinių krūvininkų tankis būtų didesnis už pusiausvirųjų krūvininkų, ir tuo būdu užtikrinant reikiamą detektoriaus jautrį) puslaidininkinis mezadarinys, pavyzdžiui, GaN, sintetinis deimantas ir kiti; 4 ir 5 – mezadarinio 3 priešinguose šoninių plokštumų, pavyzdžiui, lygiagrečiuose plokštumai y - z , paviršiuose, statmenuose padėklui 1, suformuoti metalo sluoksniai, sudarantys pirmąjį ir antrąjį Šotkio (arba ominius) kontaktus su atitinkamais elektriniais išvadais 4.1 ir 5.1; 6 ir 7 – atitinkamos vienmodžių optinio diapazono

šviesolaidžių grupės – pirmoji ir antroji, turinčios po $N = 1; 2; 3; \dots$ šviesolaidžių, kurie prišliфуoti/prilydyti ir sumontuoti atitinkamų galų plokštumose statmenai mezadarinio 3 juostelės, lygiagrečiose y - x plokštumai, kai juostelės galų plokštumos yra optiškai glotnios ir elektriškai pasyvuotos; 8 – mezadarinio 3 viršutiniame paviršiuje, lygiagrečiame plokštumai x - z , per visą mezadarinio 3 plotį a ir ilgį l suformuotas V– formos griovelis, kurio gylis h nuo viršutinio paviršiaus parenkamas $h < H$, siekiant užtikrinti reikiamą elektrinio lauko E stiprį V– formos griovelyje ir kartu detektoriaus erdvinę skiriamąją gebą, kai išorinis įtampos šaltinis U yra prijungtas prie išvadų 4.1 ir 5.1; 9 – detektorių 3.(1– M) matricos bendrasis padėklas; 10 – akceptorinėmis priemaišomis N_a stipriai legiruota sritis; 11 – rekombinacinis sluoksnis – aktyvioji optinės spinduliuotės sritis; Φ – jonizuojančios spinduliuotės detektuojamas srautas.

Jonizuojančios spinduliuotės detektoriaus (Fig.1) pirmojo varianto konstrukcija sudaryta iš plokštelės pavidalo padėklo 1, padaryto iš dielektriko, pavyzdžiui, iš safyro, ant kurio viršutinio paviršiaus suformuotas buferinis (suderinimo) sluoksnis 2, kurio kristalinės gardelės parametrai artimi puslaidininkinio mezadarinio 3 medžiagos struktūriniais parametrams. Ant buferinio sluoksnio 2 viršutinio paviršiaus suformuotas H aukščio, a pločio ir l ilgio stačiakampio, pavyzdžiui, juostelės pavidalo, kai $l > a$, mezadarinys 3, kurio viršutinis paviršius yra lygiagretus padėklo 1 viršutiniam paviršiui. Mezadarinio 3 ilgis l orientuotas statmenai mezadarinio 3 kristalo poliarizacijos c kryptčiai. Mezadarinys 3 padarytas, pavyzdžiui, iš silpnai donorinėmis priemaišomis $N_d < 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ legiruoto n^- laidumo puslaidininkio, arba homogeninio pusiau-izoliuojančio plačiatarpio binarinio puslaidininkio, kurio draustinių energijų tarpas $\Delta \mathcal{E}_g > 5 \text{ eV}$, ir todėl tai užtikrina nejautrą Saulės spektro šviesai. Mezadarinio 3 viršutinis paviršius yra optinis langas, per kurį patenka jonizuojančios spinduliuotės detektuojamas srautas Φ . Mezadarinio 3 juostelės pirmojo ir antrojo šoninių paviršių plotai $S_{\text{š}} (1; 2) = l \cdot H$ yra padengti atitinkamais metalo sluoksniais 4 ir 5, sudarančiais su mezadarinio 3 kristalu du atitinkamus Šotkio kontaktus – pirmąjį ir antrąjį su atitinkamais išvadais – pirmuoju 4.1 ir antruoju 5.1. Pirmasis šoninis paviršius $S_{\text{š} 1}$ yra visiškai padengtas metalo sluoksniu 4 – nuo buferinio sluoksnio 2 viršutinio paviršiaus iki aukščio $H_1 = H$, o antrasis šoninis paviršius $S_{\text{š} 2}$ padengtas metalo sluoksniu 5 dalinai – nuo buferinio sluoksnio 2 viršutinio paviršiaus iki aukščio $H_2 < H$. Prie mezadarinio 3 juostelės galų atitinkamų galinių paviršių $S_g (1; 2) = a \cdot H$ yra statmenai sumontuotos atitinkamų

vienmodžių šviesolaidžių grupių 6 ir 7 atitinkamų šviesolaidžių (6.1–6.N) ir (7.1–7.N) pirmieji galai, kai šviesolaidžių grupėse 6 ir 7 yra po $N = 1; 2; 3; \dots$ šviesolaidžių. Atitinkamos grupės 6 ir 7 šviesolaidžių (6.1–6.N) ir (7.1–7.N) pirmieji galai išdėstyti statmenai ir išilgai juostelės atitinkamų galinių paviršių $S_{g(1;2)}$ atitinkamų įstrižainių, kai šios priešingos įstrižainės nėra lygiagrečios. Mezadarinio 3 juostelės galai yra nupjauti statmenai, nupoliruoti optiniu glotnumu ir elektriškai izoliuoti, o prie jų atitinkamai prispausti pripoliruoti arba prilydyti atitinkamų grupių 6 ir 7 vienmodžių šviesolaidžių sekų (6.1–6.N) ir (7.1–7.N) pirmieji galai, kai grupių 6 ir 7 atitinkamų šviesolaidžių (6.1–6.N) ir (7.1–7.N) antrieji galai yra komutuojami su optinių signalų registravimo daugiakanaliais įrenginiais.

Jonizuojančios spinduliuotės detektoriaus antrojo varianto konstrukcija (Fig.2) sudaryta analogiškai pirmojo varianto konstrukcijai (Fig.1), tik šiuo atveju mezadarinio 3 juostelės viršutiniame paviršiuje – optiniame lange per visą juostelės 3 ilgį l padarytas V– formos griovelis 8, kurio plotis $d \approx a$, o gylis h nuo juostelės 3 viršutinio paviršiaus padarytas $h < H$. Ši sąlyga leidžia užtikrinti reikiamą elektrinio lauko E stiprį po V– formos grioveliu 8 mezadarinyje 3 ir kartu padidinti detektoriaus erdvinę skiriamąją gebą, kai išorinis įtampos šaltinis U yra prijungtas prie išvadų 4.1 ir 5.1. Mezadarinio 3 juostelės šoninių paviršių plotai $S_{s(1;2)} = l \cdot H$ yra padengti atitinkamais metalo sluoksniais 4 ir 5, sudarančiais su mezadarinio 3 kristalu du atitinkamus ominių kontaktus – pirmąjį ir antrąjį su atitinkamais išvadais – pirmuoju 4.1 ir antruoju 5.1. Atitinkamos šviesolaidžių grupės 6 ir 7 šviesolaidžių (6.1–6.N) ir (7.1–7.N) pirmieji galai išdėstyti per visą mezadarinio 3 plotį a tiesėje išilgai pločio a ir statmenai juostelės atitinkamiems galiniams paviršiams $S_{g(1;2)}$, kai išdėstymo tiesė yra tarp buferinio sluoksnio 2 viršutinio paviršiaus ir V– kanalo 8 dugno. V– formos griovelio 8 dugno vieta yra padaryta atstumu a_1 nuo juostelės šoninio paviršiaus S_{s1} su metalo sluoksniu 4 ir atstumu a_2 nuo juostelės šoninio paviršiaus S_{s2} su metalo sluoksniu 5, kai $a_1 + a_2 = a$.

Jonizuojančios spinduliuotės detektoriaus trečiojo varianto konstrukcija (Fig.3) sudaryta, pavyzdžiui, iš $Q = 1; 2; 3; \dots$ pirmojo arba antrojo variantų konstrukcijų (Fig.1, Fig.2) detektorių 3.1–3.Q, kurie sudaro matricą, kurioje Q mezadarinių 3.1–3.Q yra sumontuoti ant bendro padėklo 9 viršutinio paviršiaus plokštumos vienoje tiesėje O–O išilgai mezadarinių 3.1–3.Q plokčių a šalia vienas kito su atitinkamai išskirtais elektriniais 4.1-5.1 ir atitinkamais optiniais 6-7 išvadais. Todėl

detektorių matrica turi Q kartų daugiau atitinkamų porų elektrinių 4.1-5.1 ir optinių grupių 6-7 atitinkamų išvadų.

Jonizuojančios spinduliuotės detektoriaus ketvirtojo varianto konstrukcija (Fig.4) sudaryta analogiškai pirmojo varianto konstrukcijai (Fig.1), tik šiuo atveju juostelės mezadarinys 3 padarytas dviejų laiptelių 3.h1 ir 3.h2 pavidalu su viršutiniais paviršiais, lygiagrečiais padėklo 1 viršutinio paviršiaus plokštumai, ir laiptelių 3.h1 ir 3.h2 paviršiai sudaro dvi atitinkamas lygiagrečias juosteles. Pirmojo laiptelio – mezadarinio 3.h1 aukštis H_1 , antrojo laiptelio – mezadarinio 3.h2 aukštis H_2 taip, kad $H_1 < H_2$. Laiptelių 3.h(1; 2) atitinkami ilgiai $l_1 = l_2 = l$, o atitinkami pločiai $a_1 \approx a_2 < l$. Antrojo laiptelio 3.h2 viršutiniame paviršiuje suformuotas akceptorinėmis priemaišomis $N_{a2} \geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ stipriai legiruotas p^+ – laidumo santykinai plonas sluoksnis 10, sudarantis vertikalią $p^+ - n^-$ sandūrą, o antrojo laiptelio 3.h2 gylyje $h_1 = H_2 - H_1$ nuo viršutinio paviršiaus suformuotas santykinai siauras rekombinacinis sluoksnis 11 – aktyvioji optinės spinduliuotės sritis 11, pavyzdžiui, padaryta supergadelės struktūros. Laiptelių 3.h(1; 2) viršutiniai paviršiai padengti atitinkamais metalo sluoksniais 4 ir 5, sudarančiais su mezadarinių 3.h(1; 2) kristalais atitinkamus ominių kontaktus su atitinkamais išvadais – pirmuoju 4.1 ir antruoju 5.1, kai ploni metalų sluoksniai 4 ir 5 yra skaidrūs registruojamai spinduliuotei. Atitinkamų šviesolaidžių grupių 6 ir 7 šviesolaidžių 6.1–6. N ir 7.1–7. N pirmieji galai išdėstyti per visą antrojo laiptelio 3.h2 plotį a_2 tiesėje išilgai antrojo laiptelio 3.h2 atitinkamų galų pločio a_2 ir statmenai juostelės 3.h2 atitinkamų galų paviršiams $S_{g\ h2\ (1; 2)}$, atitinkamai aukštyje H_1 , kuriame yra aktyvioji optinės spinduliuotės sritis 11.

Jonizuojančios spinduliuotės detektoriaus penktojo varianto konstrukcija (Fig.5) sudaryta analogiškai ketvirtojo varianto konstrukcijai (Fig.4), tik šiuo atveju mezadarinio 3 pirmojo laiptelio 3.h1 aukščio H_1 mezadarinio 3 sritis $V_1 = (a_1 + a_2) \cdot l \cdot H_1$ yra stipriai legiruota donorinėmis priemaišomis $N_{d1} \geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, sudarančiomis elektroninio laidumo n^+ – sritį, o likusioji antrojo laiptelio 3.h2 mezadarinio 3 sritis $V_2 = a_2 \cdot l \cdot (H_2 - H_1)$ yra stipriai legiruota akceptorinėmis priemaišomis $N_{a1} \geq 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, sudarančiomis skylinio laidumo p^+ – sritį, kuri su n^+ – sritimi sudaro vertikalią $p^+ - n^+$ sandūrą, kurioje nėra specialiai sudaryto rekombinacinio sluoksnio. Atitinkamų šviesolaidžių grupių 6 ir 7 šviesolaidžių 6.1–6. N ir 7.1–7. N pirmieji galai išdėstyti tiesėje išilgai atitinkamų laiptelių 3.h(1; 2) atitinkamų galų atitinkamų paviršių $S_{g\ (h1; h2)\ (1; 2)}$ atitinkamų pločių $a_{(1; 2)}$, statmenai atitinkamų juostelių 3.h(1; 2) galų paviršiams

$S_g(h_1; h_2)$ (1; 2), ir išilgai n^+ – srities 3.h1 aukštyje $\sim H_1/2$ nuo buferinio sluoksnio 2 viršutinio paviršiaus.

Pirmojo varianto konstrukcijos jonizuojančios spinduliuotės detektorius (Fig.1) veikia taip.

Tarp detektoriaus elektrinių išvadų 4.1 ir 5.1 prijungia užtvarinio asimetrinės sandūros (pasirenka iš voltamperinių charakteristikų – Fig.6) poliškumo išorinio šaltinio U įtampą U_R , ir į detektoriaus mezadarinį 3 per viršutinį juostelės paviršių paduoda detektuojamą jonizuojančiosios spinduliuotės srautą Φ . Apšvitos rautas Φ mezadarinio 3 tūryje generuoja antrines (nepusiausvyrines) elektronų (n) ir skylių (p) poras (np), ir atitinkama matavimo įranga registruoja antrinių skylių ir elektronų dreifo srovės kinetiką arba krūvio ekstrakcijos srovę. Sinchroniškai dalis antrinių krūvininkų np rekombinuoja per liuminescencijos kanalus. Liuminescencijos intensyvumą optinėje liuminescencijos spektro juostoje registruoja šviesolaidžių „liniuotėmis“ 6 ir 7 su daugiakanaliu liuminescencijos spektro ir kinetikų analizatoriumi. Derindami sinchroniškai užregistruotas srovės bei liuminescencijos charakteristikas (intensyvumo pasiskirstymą liuminescencijos šviesolaidiniuose zonuose 6.1–6.N ir 7.1–7.N, srovės sandų amplitudines vertes, ir kt.), modelines fiksuotos spektro srities spinduliuotės stabdymo detektoriaus mezadarinio 3 medžiagoje gylio, skylių ir elektronų dreifo ilgio, bei tranzito trukmės, pagal sukurtą algoritmą įvertina krintančios spinduliuotės Φ spektrinę sudėtį (pagal efektyvų stabdymo ilgį, išskiriamą detektoriaus galų įstrižainėje išdėstytais šviesolaidiniais zondais 6 ir 7, ir sukurtų antrinių porų np skaičių, kurį įvertina iš srovės kitimų laike (t), ir srautą (pagal srovės stiprio sandus – Fig.6), bei spinduliuotės pėdsaką. Spinduliuotės Φ įtekį (sukauptą dozę) įvertina sinchroniškai matuodami krūvio surinkimo efektyvumą (srovės grandinėje) ir liuminescencijos intensyvumo kitimą apšvitos metu, arba palygina registruojamų elektrinių ir optinių parametrų vertes su kalibracinėmis šių kitimų charakteristikomis po apšvitos. Slenkant detektorius statmenoje srautui Φ plokštumoje atlieka krintančios spinduliuotės Φ pluošto skerspjūvio (formos) skenavimą (Fig.7).

Antrojo varianto konstrukcijos jonizuojančios spinduliuotės detektorius (Fig.2) veikia taip.

Tarp detektoriaus elektrinių išvadų 4.1 ir 5.1 prijungia užtvarinio (pasirenka iš voltamperinės charakteristikas – Fig.6) asimetrinės sandūros poliškumo išorinio

šaltinio U įtampą U_R ir į detektoriaus mezadarinį 3 per viršutinį juostelės paviršių su V– formos grioveliu 8 paduoda detektuojamą jonizuojančios spinduliuotės srautą Φ . Apšvitos rautas Φ mezadarinio 3 tūryje generuoja antrines poras np , kurių tankis N_{np} susietas su krintančios spinduliuotės Φ kvanto (dalelės) energija $h \cdot \nu$, čia; h – Planko konstanta, ν – elektromagnetinės spinduliuotės dažnis, paviršiniu į detektorius krintančių spinduliuotės Φ kvantų tankiu N_ν , bei apšvitos pobūdžiu (impulsinės spinduliuotės $\Phi(t)$ atveju, per impulso trukmę Δt , nuostoviosios spinduliuotės $\Phi(t) = \text{const}$ atveju per 1 sekundę). Nuostoviosios spinduliuotės atveju išorinėje srovės grandinėje matuoja p–n sandūros trumpojo jungimo nuolatinę srovę, kuri yra proporcinga apšvitos srautui Φ . Impulsinės apšvitos atveju, esant mažam apšvitos srautui, registruoja antrinių skylių ir elektronų dreifo sukeltą slinkties srovės kinetiką, o didelio apšvitos srauto atveju krūvininkų (domeno, plintančio dėl ambipolės difuzijos) ištraukimo srovės kinetiką. Sinchroniškai dalis antrinių krūvininkų rekombinuoja per nespindulinės rekombinacijos centrus mezadarinio 3 medžiagoje ir per liuminescencijos (donor-akceptorinės (DA), juosta-D, A-juosta spindulinės rekombinacijos) kanalus. Liuminescencijos intensyvumą pasirinktoje spindulinės rekombinacijos spektro juostoje registruoja šviesolaidžių „liniuotėmis“ 6 ir 7 (skeneriu) ir perduoda į integruojantį arba laike t išskleistą daugiakanalį liuminescencijos spektro ir kinetikų analizatorių. Derina sinchroniškai užregistruotas srovės bei liuminescencijos charakteristikas (intensyvumo pasiskirstymą tarp liuminescencijos analizatoriaus kanalų, srovės sandų amplitudines vertes, srovės ir liuminescencijos impulsų trukmę, ir kt.) ir modelines charakteristikas, nulemtas fiksuotos spektro srities spinduliuotės stabdymo detektoriaus mezadarinio 3 medžiagoje gylio, skylių ir elektronų dreifo ilgio, bei tranzito trukmės, ir pagal sukurtą algoritmą įvertina krintančios spinduliuotės Φ spektrinę sudėtį (pagal efektyvų spinduliuotės stabdymo ilgį ir sukurtų antrinių krūvininkų porų np skaičių), srautą (pagal srovės stiprio sandus) ir spinduliuotės (lokalizaciją) pėdsaką (pagal liuminescencijos intensyvumo pasiskirstymą šviesolaidinių zondu „liniuotėse“ 6 ir 7). Spinduliuotės Φ įtekį (sukauptą dozę) įvertina sinchroniškai matuodami laike integruotų elektrinio atsako kinetikų (krūvio surinkimo efektyvumo) ir liuminescencijos intensyvumo (pasirinktoje liuminescencijos spektro juostoje) kitimą apšvitos ekspozicijos laike, arba palygina momentines (bei po-apšvitimines) registruojamų elektrinių (pasitelkdami lazerinius spinduliuočių emuliatorius) ir optinių parametrų vertes su kalibracinėmis šių kitimų

charakteristikomis. Sinchroninio elektrinio ir optinio detektoriaus atsakų komponentų registravimo daugiakanaliuose grandynuose sekos kontrolė leidžia registruoti ir pavienių didelės energijos fotonų $h \cdot \nu$ kritimo į detektorių įvykius ir keleto jų sutapimą/išsiskyrimą laike. Skvarbiosiems spinduliuotiems, kurių sąveikos skerspjūvis yra mažas, o stabdymo ilgis ženkliai viršija mezadarinio 3 aukštį H , aprašytu būdu gali būti išmatuotas tik srautas, o spektrui įvertinti būtinas skirtingo aukščio mezadarinių rinkinys.

Trečiojo varianto konstrukcijos jonizuojančios spinduliuotės detektorius (Fig.3) veikia taip.

Lokalių detektorių 3.1–3.M, sudarančių matricą, veikimas yra analogiškas aprašytiems aukščiau procesams. Detektorių 3.1–3.M matricos signalų nuskaitymą per atitinkamų multipleksorių sistemą vykdo sinchroniškai, pluoštelių ir įtėkio planariniam pasiskirstymui registruoti, arba įveda valdomas užlaikymų sistemas, kai siekia registruoti dalelių patekimo bei išėjimo iš lokalių matricos sektorių (detektorių) atitinkamų mezadarinių 3.1–3.M tūrio atitinkamus laiko momentus.

Ketvirtojo varianto konstrukcijos jonizuojančios spinduliuotės detektorius (Fig.4) veikia taip.

Tarp detektoriaus elektrinių išvadų 4.1 ir 5.1 prijungia išorinio šaltinio U įtampą U_R užtvarine $p^+ - n^-$ sandūrai kryptimi. Į detektoriaus mezadarinių 3.h1 ir 3.h2 juostelių 4 ir 5 paviršius paduoda detektuojamą jonizuojančios spinduliuotės srautą Φ . Apšvitos rautas Φ mezadarinio 3 tūryje generuoja antrines krūvininkų poras np , kurie yra generuojami arba antrojo laiptelio mezadarinio 3.h2 ploname viršutiniame p^+ sluoksnyje (itin stipriai stabdomos, mažos energijos fotonų/dalelių spinduliuotės atveju), arba visame $p^{++} - n^-$ darinio tūryje (skvarbiosios spinduliuotės atveju) ir registruoja kaupiamąjį įtėkį apšvitos metu, arba detektorių sužadina kalibruoto intensyvumo lazerinio emuliatoriaus spinduliuote po apšvitos ir sinchroniškai registruoja elektrinį, bei optinius detektoriaus atsakus. Spinduliuotės Φ įtėkį (sukauptą dozę) įvertina (remiantis sukurtu algoritmu) palygindami registruojamų elektrinių ir optinių signalų atitinkamų parametrų vertes su kalibracinėmis šių kitimų charakteristikomis. Išmatuoto įtėkio vertės gali būti perduotos nuotoliniu būdu, užkodavus skaitmeniškai optinius signalus (perduodamus laisvoje erdvėje arba tam skirtu šviesolaidiniu kanalu), generuojamus detektoriaus super-gardelių sluoksnyje

11, kai išorinės įtampos U_R poliarumą pakeičia į tiesioginio poliarumo U_F įtampą.

Penktojo varianto konstrukcijos jonizuojančios spinduliuotės detektorius (Fig.5) veikia taip.

Tarp detektoriaus elektrinių išvadų 4.1 ir 5.1 prijungia išorinio šaltinio U įtampą U_R užtvarinio p^+-n^+ sandūrai poliarumo, kurios vertę valdo ir derina su registruojamų elektrinių signalų verte (priklausomai nuo apšvitos srauto Φ arba sukauptos dozės). Į detektoriaus mezadarinių 3.h1 ir 3.h2 juostelių 4 ir 5 paviršius paduoda detektuojamą apšvitos srautą Φ . Matuoja detektoriaus srovės stiprį ir sinchroniškai registruoja liuminescencijos optinio signalo intensyvumą, kuriuos lemia antrinių/tretinių krūvininkų porų np dreifas, sustiprintas smūginės jonizacijos. Spinduliuotės Φ įtėkis (sukaupta dozė) yra įvertinama, remiantis sukurtu algoritmu, kai palygina registruojamų elektrinių ir optinių signalų atitinkamų parametrų vertes su kalibracinėmis šių kitimų charakteristikomis. Ši detektoriaus konstrukcija ir jo veikimo režimas skirtas mažų spinduliuotės srautų Φ arba didelių įtėkių detektavimui.

Palyginus su analogais, pasiūlyti jonizuojančių spinduliuočių detektoriaus konstrukcijų variantai bei parametrų matavimo (detektavimo) būdai, pasižymi gera erdvine ir laikine skiriamąja geba, tamsinė detektorių srovė yra santykinai maža, detektorius nėra jautrus foninei (Saulės spektro) spinduliuotei, optinių signalų perdavimo traktai yra nejautrūs elektriniams triukšmams.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Jonizuojančiosios spinduliuotės detektorius, susidedantis iš plokštelės pavidalo, pavyzdžiui, skylinio (p-laidumo) puslaidininkinio padėklo, ant kurio viršutinio paviršiaus suformuotas dielektriko sluoksnis, kuriame suformuota kiaurymė iki padėklo viršutinio paviršiaus – optinis langas – jonizuojančiosios spinduliuotės poveikiui, padėklo apatiniame paviršiuje po optiniu langu suformuotas metalo sluoksnis – Šotkio sandūra, kurios perimetru ant metalo sluoksnio suformuotas metalo ominis kontaktas – pirmasis išvadas, padėkle po metalo sluoksniu jo perimetru suformuotas elektroninio n^+ – laidumo žiedas, o padėklo apatiniame paviršiuje suformuotas kitas ominis kontaktas – antrasis išvadas, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad plokštelės pavidalo padėklas padarytas iš dielektriko, ant kurio viršutinio paviršiaus suformuotas buferinis (suderinimo) sluoksnis, ant kurio viršutinio paviršiaus suformuotas H aukščio, a pločio ir l ilgio, kai $a < H < l$, stačiakampės juostelės pavidalo mezadarinys, kurio viršutinis paviršius –langas spinduliuotei yra mezadarinys lygiagretus padėklo viršutiniam paviršiui, sudarytas iš donorinėmis priemaišomis $N_d \leq 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ silpnai legiruoto n^- – laidumo puslaidininkio arba homogeninio pusiau-izoliuojančio plačiatarpio binarinio puslaidininkio, o l^*a plokštuma yra orientuota statmenai mezadarinio kristalo poliarizacijos c ašiai, mezadarinio juostelės pirmojo ir antrojo šoninių paviršių plotai $S_{\text{š } (1; 2)} = l \cdot H$ yra padengti metalo sluoksniais, sudarančiais su mezadarinio kristalu du atitinkamus Šotkio kontaktus – pirmąjį ir antrąjį su atitinkamais išvadais – pirmuoju ir antruoju, pirmasis šoninis paviršius $S_{\text{š } 1}$ padengtas metalo sluoksniu visiškai – nuo buferinio sluoksnio iki aukščio $H_1 = H$, o antrasis šoninis paviršius $S_{\text{š } 2}$ padengtas metalo sluoksniu dalinai – nuo buferinio sluoksnio iki aukščio $H_2 < H$, prie mezadarinio juostelės galų atitinkamų galinių paviršių $S_{g (1; 2)} = a \cdot H$, statmenų padėklo viršutiniam paviršiui, yra statmenai paviršiams $S_{g (1; 2)}$ sumontuoti vienmodžių šviesolaidžių pirmieji galai, atitinkamai pirmosios šviesolaidžių grupės $M_{1(1-N)}$ – prie paviršiaus $S_{g 1}$, ir antrosios šviesolaidžių grupės $M_{2(1-N)}$ – prie paviršiaus $S_{g 2}$, kai atitinkamose šviesolaidžių grupėse yra po $N = 1; 2; 3; \dots$ šviesolaidžių, o atitinkamos šviesolaidžių grupės $M_{(1; 2)(1-N)}$ šviesolaidžių pirmieji galai išdėstyti išilgai atitinkamų juostelių galinių paviršių $S_{g (1; 2)}$ atitinkamų įstrižainių, kai šios įstrižainės nėra lygiagrečios, ir statmenai šioms paviršiams $S_{g (1; 2)}$.

2. Jonizuojančiosios spinduliuotės detektorius, pagal 1 punktą, b e s i s k i r i

a n t i s tuo, kad mezadarinio juostelės viršutiniame paviršiuje – lange spinduliuotei per visą juostelės ilgį l padarytas V– formos griovelis, kurio plotis $d \approx a$, o gylis $h < H$, o V– formos griovelio dugno vieta yra padaryta atstumu a_1 nuo juostelės pirmojo šoninio paviršiaus su pirmuoju metalo sluoksniu ir atstumu a_2 nuo juostelės antrojo šoninio paviršiaus su antruoju metalo sluoksniu, kai $a_1 + a_2 = a$, mezadarinio juostelės atitinkamų šoninių paviršių plotai $S_{s(1;2)} = l \cdot H$ yra padengti metalo sluoksniais, sudarančiais su mezadarinio kristalu du atitinkamus ominių kontaktus – pirmąjį ir antrąjį, su atitinkamais išvadais – pirmuoju ir antruoju, atitinkamos šviesolaidžių grupės $M_{(1;2)(1-N)}$ šviesolaidžių pirmieji galai išdėstyti tiesėje išilgai juostelės atitinkamų galų atitinkamų paviršių $S_{g(1;2)}$ pločio a , atitinkamai žemiau gylio h ir santykinai arti mezadarinio ribos su buferiniu sluoksniu, ir statmenai paviršiams $S_{g(1;2)}$.

3. Jonizuojančiosios spinduliuotės detektorius, pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad mezadarinys padarytas dviejų laiptelių pavidalu su viršutiniais paviršiais, lygiagrečiais padėklo viršutinio paviršiaus plokštumai, ir laiptelių paviršiai sudaro dvi atitinkamas lygiagrečias juosteles, kai pirmojo laiptelio – mezadarinio aukštis H_1 , antrojo laiptelio – mezadarinio aukštis H_2 taip, kad $H_1 < H_2$, o laiptelių atitinkami ilgiai $l_1 = l_2 = l$, kai jų atitinkami pločiai $a_1 \approx a_2 < l$, antrojo laiptelio viršutiniame paviršiuje suformuotas akceptorinėmis priemaišomis $N_a \geq 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ stipriai legiruotas p^+ – laidumo santykinai plonas sluoksnis, sudarantis vertikalią $p^+ - n^-$ sandūrą, o antrojo laiptelio gylyje $h_1 = H_2 - H_1$ nuo viršutinio paviršiaus suformuotas santykinai siauras rekombinacinis sluoksnis – aktyvioji optinės spinduliuotės sritis, pavyzdžiui, padaryta super-gardelės pavidalu, laiptelių viršutiniai paviršiai padengti atitinkamais plonais metalo sluoksniais, sudarančiais su kristalu atitinkamus ominių kontaktus su atitinkamais išvadais – pirmuoju ir antruoju, kai ploni metalų sluoksniai yra skaidrūs detektuojamai spinduliuotei, atitinkamos šviesolaidžių grupės $M_{(1;2)(1-N)}$ šviesolaidžių pirmieji galai išdėstyti tiesėje išilgai antrojo laiptelio juostelės atitinkamų galų paviršių $S_{g2(1;2)}$ pločio a_2 , atitinkamai aukštyje H_1 , kuriame yra aktyvioji optinės spinduliuotės sritis, ir statmenai paviršiams $S_{g2(1;2)}$.

4. Jonizuojančiosios spinduliuotės detektorius, pagal 3 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad pirmojo laiptelio aukščio H_1 mezadarinio sritis $V_1 = (a_1 + a_2) \cdot l \cdot H_1$ yra stipriai legiruota donorinėmis priemaišomis $N_d \geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, sudarančiomis elektroninio laidumo n^+ – sritį, o likusioji antrojo laiptelio mezadarinio sritis $V_2 = a_2 \cdot l \cdot (H_2$

– H_1) yra stipriai legiruota akceptorinėmis priemaišomis $N_a \geq 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, sudarančiomis skylinio laidumo p^+ – sritį, kuri su n^+ – sritimi sudaro vertikalią $p^+ - n^+$ sandūrą, kurioje nėra specialiai sudaryto rekombinacinio sluoksnio, o atitinkamos šviesolaidžių grupės $M_{(1; 2)(1-N)}$ šviesolaidžių pirmieji galai išdėstyti tiesėje išilgai atitinkamų laiptelių juostelių atitinkamų galų paviršių $S_{g(1; 2)(1; 2)}$ atitinkamų plokščių $a_{(1; 2)}$, ir statmenai atitinkamų juostelių galų paviršiams $S_{g(1; 2)(1; 2)}$, bei išilgai n^+ – srities aukštyje $\sim H_1/2$ nuo buferinio sluoksnio viršutinio paviršiaus.

5. Jonizuojančiosios spinduliuotės detektorius, pagal 1-4 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad pirmojo – ketvirtojo konstrukcijų variantų detektoriai sudaro matricą, kurioje $Q = 1; 2; 3; \dots$ detektorių sumontuoti ant bendro padėklo viršutinės plokštumos vienoje simetrijos tiesėje išilgai mezadarinių juostelių plokščių a šalia vienas kito su atitinkamomis Q porų elektrinių ir $2 \cdot Q \cdot N$ optiniais išvadais.

6. Jonizuojančiosios spinduliuotės matavimo būdas, kuriame jonizuojančios spinduliuotės srautą Φ paduoda į spinduliuotei jautrų detektorį, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jonizuojančios spinduliuotės srautą Φ paduoda į dvigubo atsako detektorį, kurių konstrukcija padaryta pagal punktus 1–5, kurių optinio ir elektrinio atsako signalus registruoja sinchroniškai, skenuojant aukštųjų energijų (jonizuojančiosios) spinduliuotės („elementariųjų“, tokių kaip γ – spektro fotonų, neutronų, protonų, pionų ir kt.) dalelių praskriejimo detektoriaus jautrioje spinduliuotei medžiagoje pėdsaką, bei prasiskverbimo (stabdymo) gylį, o apšvitos įtekį (dozę) įvertina iš optinio bei elektrinio signalų verčių sumažėjimo dėl sukaupiamų radiacinių defektų tankio padidėjimo.

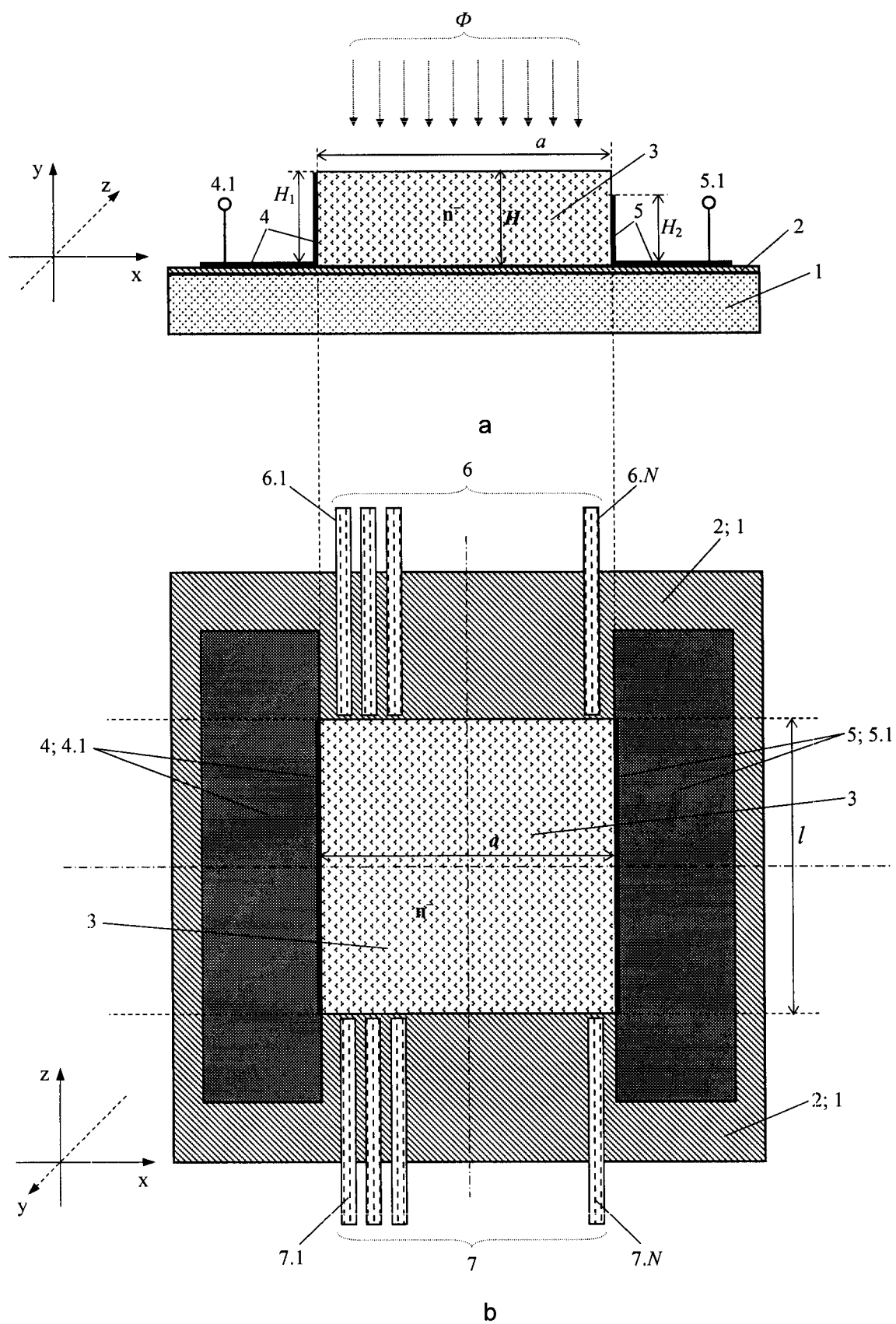


Fig. 1

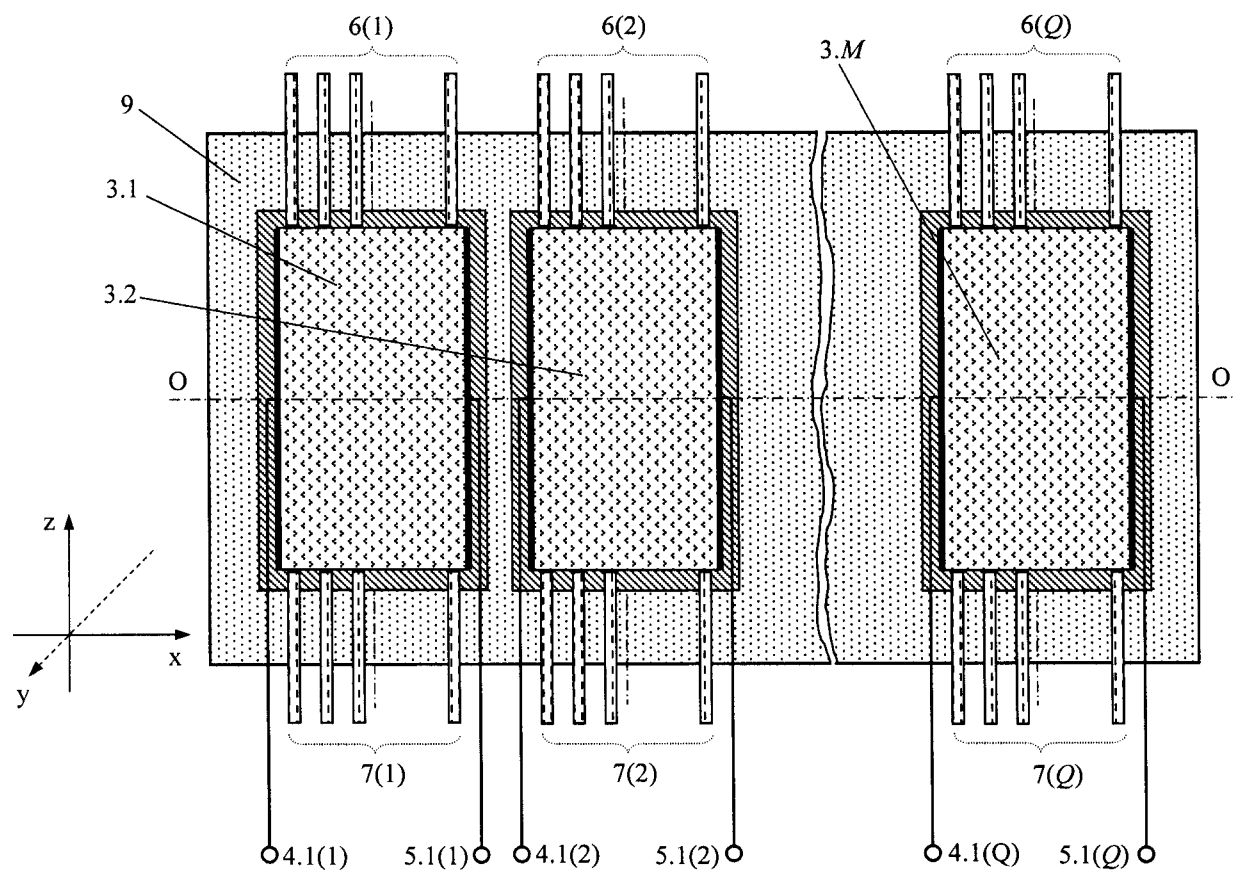


Fig. 3

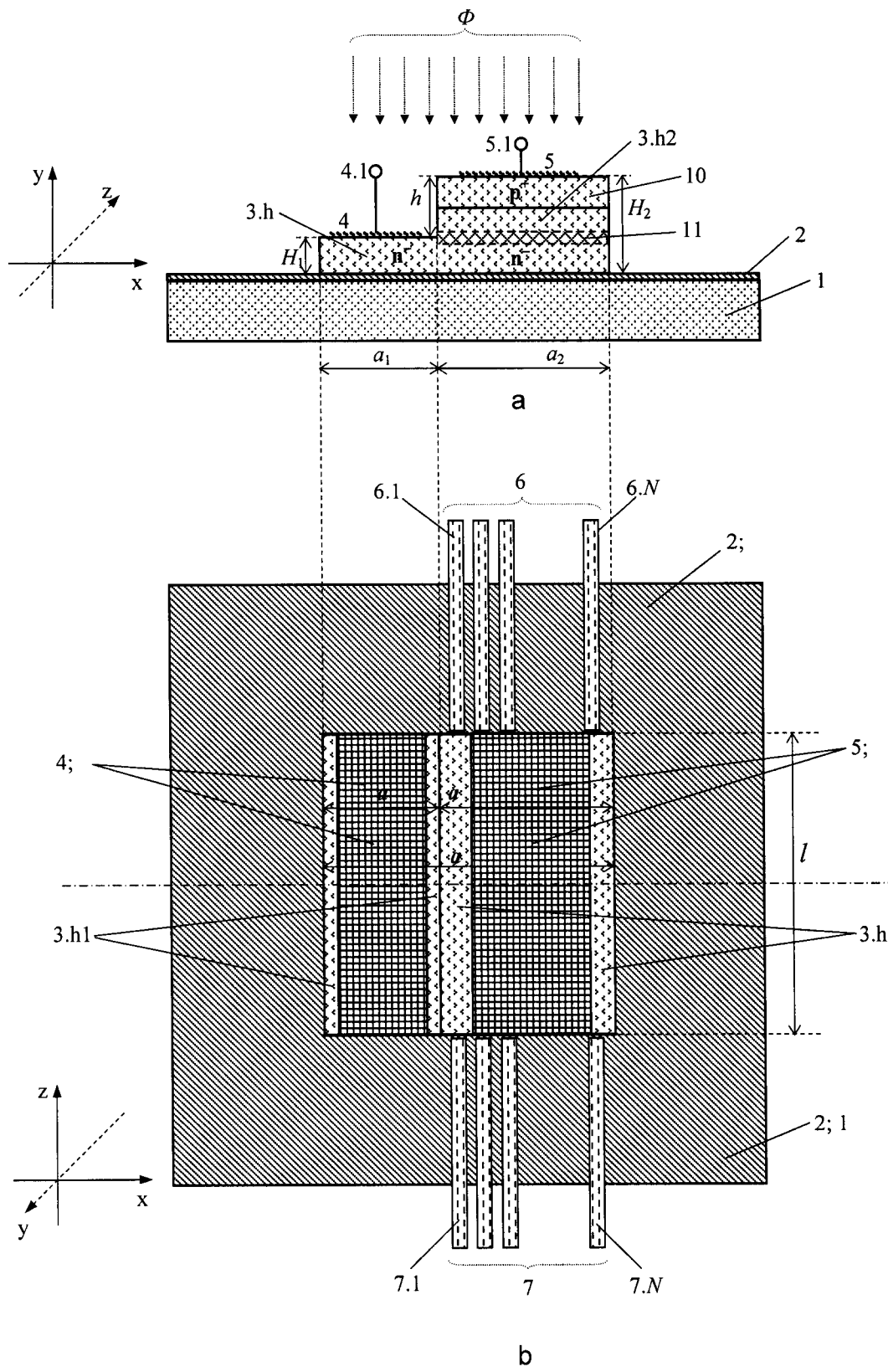


Fig. 4

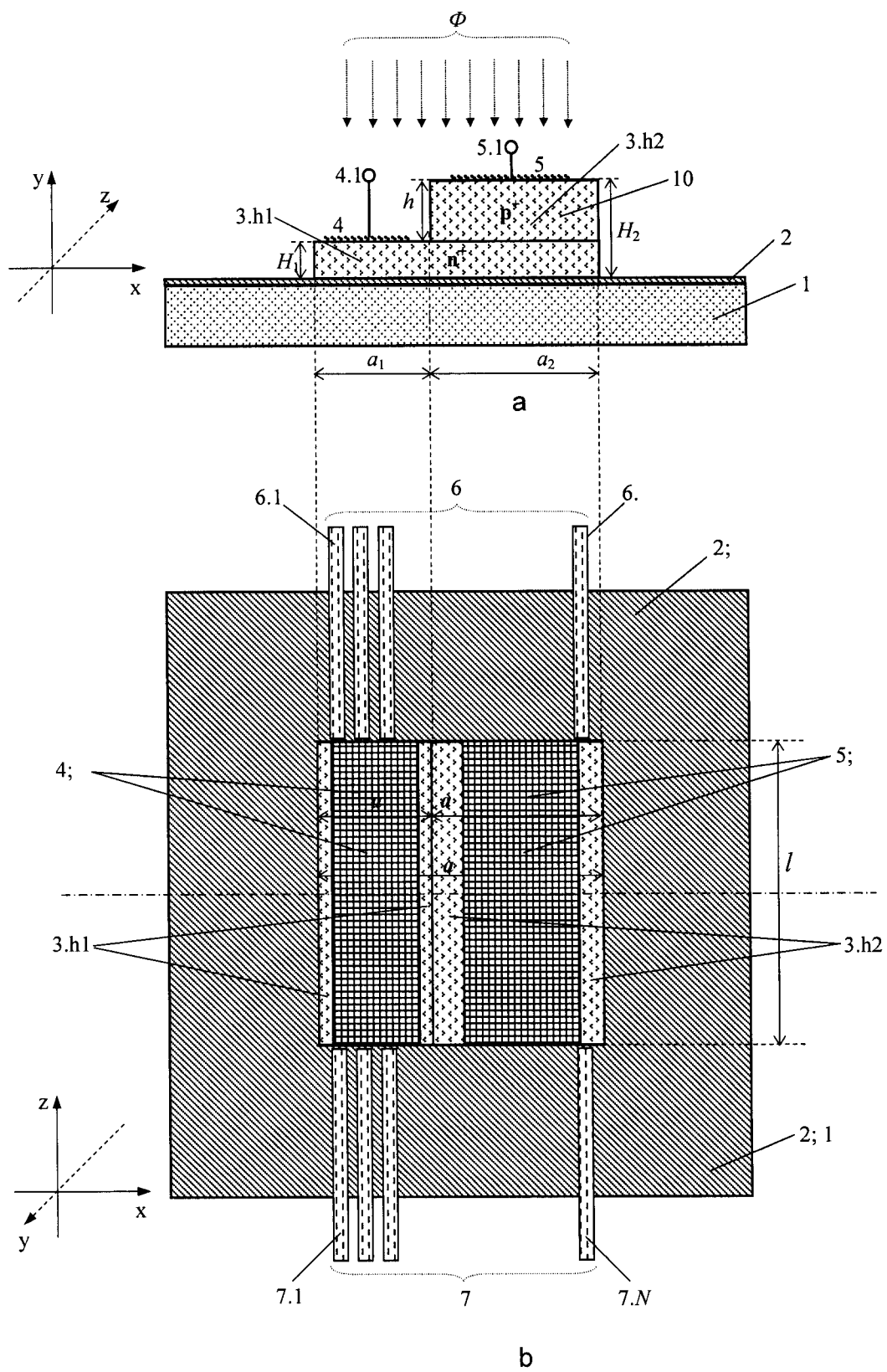


Fig. 5

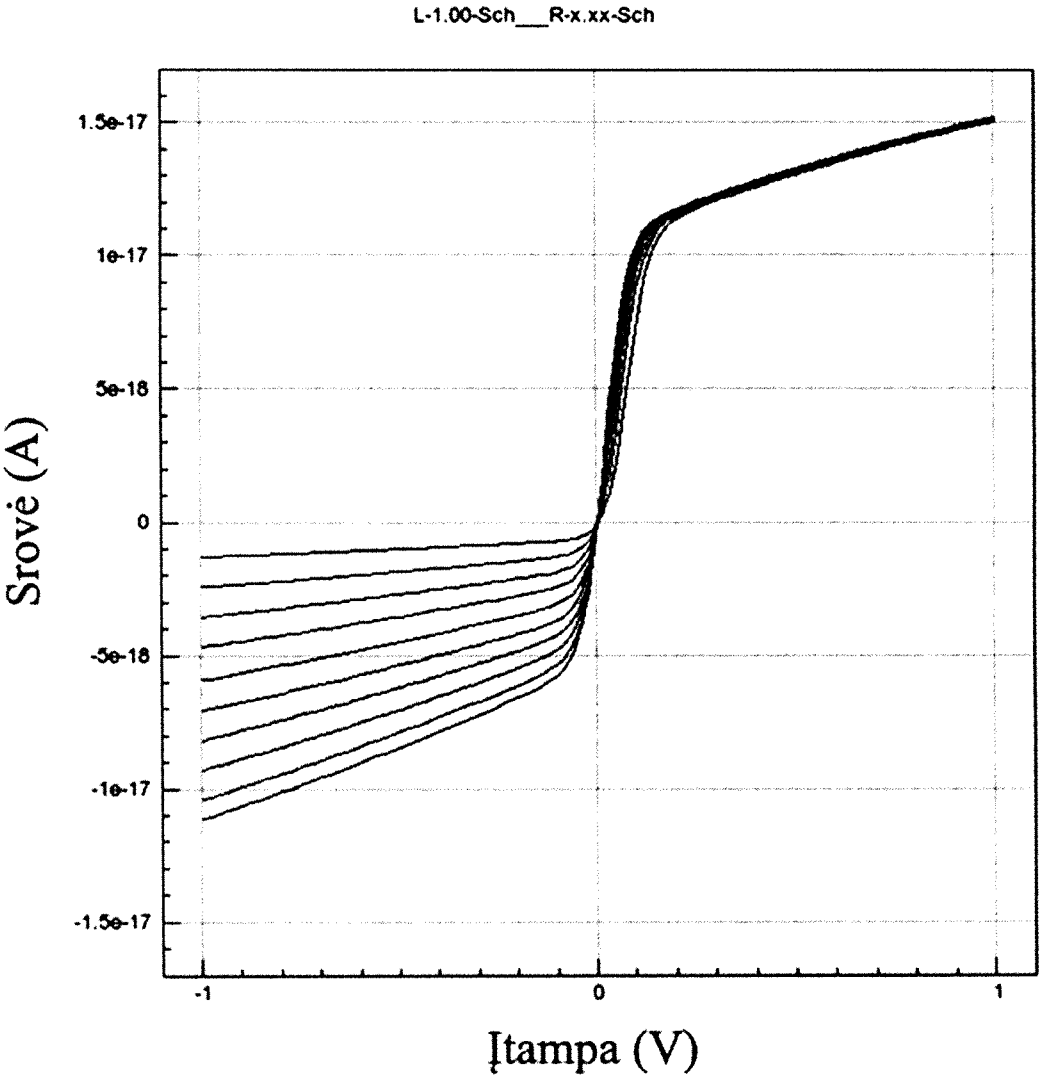


Fig. 6

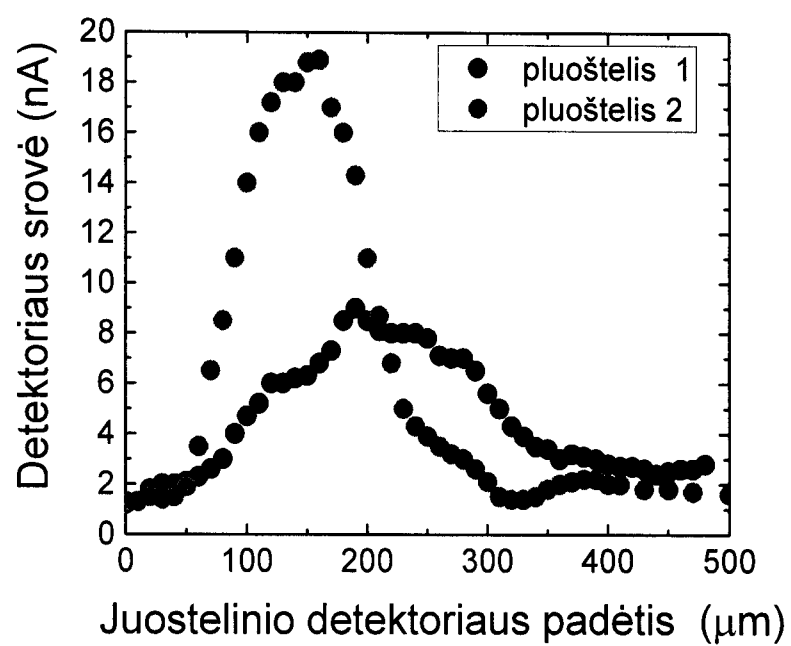


Fig. 7