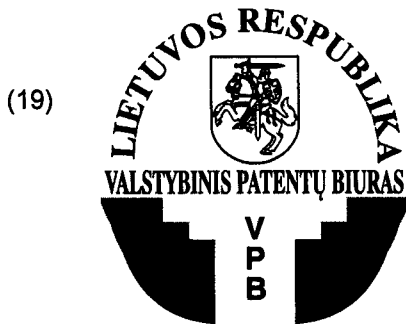




(10) **LT 2013 103 A**

(12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2013 103**

(51) Int. Cl. (2014.01): **G02F 1/00**
H01S 3/00

(22) Paraiškos padavimo data: **2013 09 26**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2014 03 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: —

(71) Pareiškėjas:

**Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras,
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT**

(72) Išradėjas:

**Ramūnas ADOMAVIČIUS, LT
Renata BUTKUTĖ, LT
Anton KOROLIOV, LT
Arūnas KROTKUS, LT
Vaidas PAČEBUTAS, LT**

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

**Lina MEŠKAUSKIENĖ, Advokatų kontora Meškauskienė ir Tuzovaitė, A.
Mickevičiaus g. 6/Karaimų g. 1, LT-08119 Vilnius, LT**

(54) Pavadinimas:

Puslaidininkinio įsisotinančio sugėriklio veidrodis

(57) Referatas:

SESAM prietaisas, sudarytas iš ant GaAs padėklo išaugintų AlAs/GaAs arba AlOx/GaAs Brego veidrodžių ir įsisotinančio sugėriklio, pagaminto iš bismuto turinčių puslaidininkinių tūrinių sluoksnių arba kvantinių duobių. Tokie bismuto turintys puslaidininkiai gali, pavyzdžiui, būti GaAsBi, GaAsSbBi ar GaInAsBi. Šiuose A_3B_5 grupės puslaidininkiniuose junginiuose Bi atomų įvedimas pakelia valentinės juostos energijos lygmenį darydamas mažą įtaką laidumo juostos energijos lygmenų padėčiai. Todėl praplatėja bangos ilgių, kuriems gali būti naudojamas SESAM prietaisas, intervalas.

PUSLAIDININKINIO ĮSISOTINANČIO SUGĖRIKLIO VEIDRODIS

TECHNIKOS SRITIS

Šis išradimas priklauso puslaidininkinių prietaisų sričiai ir yra susijęs su puslaidininkinio įsisotinančio sugėriklio veidrodžiais, ir gali būti naudojamas sinchronizuotų modų lazeriuose trumpiesiems optiniams impulsams generuoti.

TECHNIKOS LYGIS

Pasiūlyme aprašytas puslaidininkinio įsisotinančio sugėriklio veidrodys (angl. Semiconductor Saturable Absorber Mirror–SESAM) ir jo gamybos technologija gali būti naudojami gaminant pasyvius puslaidininkinius optinius komponentus ir lazerių sistemas, skirtas trumpųjų optinių impulsų, generavimui. Tokie trumpi impulsai yra pritaikomi optinio ryšio technologijose, medžiagų apdirbime, medžiagotyroje ir kitose srityse.

Trumpųjų ir ultra trumpųjų lazerinių impulsų generavimui dažnai naudojamas modų sinchronizacijos metodas. Modų sinchronizacija yra išilginių rezonatoriaus modų koherentinis superpozicionavimas. Bendrai, modų sinchronizacija yra įgyvendinama įvedant nuo laiko priklausančius rezonatoriaus nuostolius (t.y. tam tikroje rezonatoriaus vietoje, tam tikrais laiko intervalais sudarant sąlygas, kada stiprinimas viršija nuostolius. Modų sinchronizacija gali būti aktyvioji ir pasyvioji. Aktyvioji modų sinchronizacija įgyvendinama naudojant elektrooptinius, akustooptinius arba panašius elementus, arba lazeriuose, turinčiuose aukštą lazerinės terpės viršutinio lygmens gyvavimo trukmę, moduliuojant stiprinimo koeficientą. Paprastai, trumpųjų impulsų generavimui aktyviosios modų sinchronizacijos priemonės yra per lėtos bei reikalauja sparčių išorinių valdymo priemonių. Šiuo atveju pasyvioji modų sinchronizacija turi privalumų ir leidžia pasiekti geresnę tokio lazerio greitaveiką. Tai gali būti įgyvendinama patalpinant į lazerio rezonatorių įsisotinantį sugėriklį. Tokių sugėriklių sugertis, taip pat ir rezonatoriaus nuostoliai, priklauso nuo į jį krentančio impulso intensyvumo.

Įsisotinančiais sugėrikliais dažniausiai gali būti laikomi dviejų atominių lygmenų arba juostinės sandaros lygmenų sistemos medžiaga ar darinys, kuriame sugeriamos lazerinės spinduliuotės energijos srautas priklauso nuo laisvųjų būsenų, kurias gali užimti atitinkamo bangos ilgio fotonų sugerties metu sužadinami

krūvininkai. Sugeriant šviesos kvantus, kurių bangos ilgis atitinka energijų skirtumą tarp sužadinto ir nesužadinto lygmens (laidumo ir valentinės juostos), medžiagos krūvininkai perkeliama į aukštesnius energijos lygmenis. Jeigu spinduliuotė pakankamai intensyvi, krūvininkų skaičius sužadintoje būsenoje didėja iki kol duotai fotono energijai visos laisvos būsenos laidumo juostoje užimamos ir tolesnis žadinimas sugeriant fotonus nebeįmanomas dėl Pauli draudimo principo – įvyksta sugerties įsisotinimas. Taip pat svarbu paminėti, kad dažniausiai sugėrikliai formuojami taip, kad sužadinti krūvininkai rekombinuotų nespinduliniu būdu.

Toliau trumpai aptariama savaiminės impulsų generacijos pradžios ir impulsų stabilizavimo procesai, kai lazerio rezonatoriuje patalpinamas įsisotinantis sugėriklis. Patalpinus tokį įsisotinantį sugėriklį į lazerio rezonatorių, būtų galima stebėti, kad pradėjus kaupinti aktyviąją terpę, kol lazerinės spinduliuotės krentančios į sugėriklį intensyvumas yra mažas, sugėriklis yra neskaidrus, o visa krentanti spinduliuotė sugeriama. Tokiame lazerio rezonatoriuje impulsų generacija nevyktų iki tol, kol pakankamai išaugus užpildos apgrąžai ir atsitiktiniam triukšminiam signalui viršijus intensyvumą, reikalingą sugėrikliui praskaidrinti, prasidėtų savaiminis impulsų generavimas. Augant spinduliuotės intensyvumui toks sugėriklis skaidrėja ir jam įsisotinus, pasiekiami maksimali rezonatoriaus kokybė. Tokiu būdu prasideda savaiminė pasyvi modų sinchronizacija.

Prasidėjus lazeriniam generavimui, sugėriklis stabilizuoja lazerio impulsus laike, mažiausiai slopindamas intensyviausią impulso dalį ir labiausiai slopindamas priekinį ir galinį impulso frontus, kuriems sugerties nuostoliai yra didesni. Tokiu būdu impulsas daugelį kartų apeidamas lazerio rezonatorių trumpėja laike iki kol pasiekiamas nuostovus impulsų generavimas. Tada impulsai nebetrumpėja dėl laikinės rezonatoriaus optinių elementų dispersijos ir paprastai ribotos lazerio stiprinamų bangos ilgių juostos. Tokie įsisotinantys sugėrikliai privalo pasižymėti trumpesne, nei generuojamų impulsų trukmė, sugerties atsistatymo trukme ir dideliu sugerties skerspjūviu (apie 10^{-16} cm^2 ir didesniu). Tokių sugėriklių realizavimui ypatingai tinkamos medžiagos yra puslaidininkiai.

Puslaidininkinių sugėriklių sugerties koeficiento priklausomybę nuo šviesos srauto intensyvumo galima aproksimuoti panaudojant įsisotinamos sugerties for-

mulę: $\alpha(I) = \frac{\alpha_0}{1 + I/I_{sat}} + \alpha_{nonsat}$. Čia $\alpha(I)$ sugerties koeficientas, I – šviesos srauto

intensyvumas, α_0 – tiesinis sugerties koeficientas, α_{nonsat} – neįsotinta sugerties koeficiento dalis, o I_{sat} – soties srauto intensyvumas.

Praktikoje minėti sugėrikliai naudojami puslaidininkinių terpių pagrindu sukurtuose įsisotinamo sugėriklio veidrodžiuose (SESAM) (pricipinė schema pateikta Fig. 1), kuriuos bendruoju atveju sudaro padėklas (1), Brego veidrodis (2), įsisotinantis sugėriklis (3), sudarytas iš vieno ar daugiau puslaidininkinių tūrinių sluoksnių ar kvantinių duobių, ir suformuotos papildomos optinės dangos (4) skirtos išvengti rezonansinės veikos ir geriau lokalizuoti elektromagnetinį lauką pačiame prietaise (siekiant maksimalaus efektyvumo ir vengiant optinių pramušimų). Pirmosios SESAM konstrukcijos yra aprašytos mokslinėje U. Keller et al. publikacijoje IEEE J. Sel.Top. Quantum Electron. 2, 435 (1996) ir įeina į dabartinį šios srities specialistams žinomą technikos lygį. SESAM'ai formuojami pasitelkiant sluoksnių auginimą molekulinį pluoštelių epitaksijos būdu, kuri taip pat turėtų būti gerai žinoma srities specialistui.

Didelė problema lieka kokybiškų SESAM'ų, tinkamų ilgesnių bangos ilgių (pavyzdžiui, atitinkančių optinio ryšio langus ties 1,3 ir 1,5 mikrometrais) sukūrimas. 1,3 μm bangoms ilgiams galima panaudoti SESAM'us su sugėrikliu iš InGaAs kvantinių duobių (toks sprendimas aprašytas R. Fluck et. al., Opt. Lett. 21, 1378 (1996)). Tam reikia, kad In dalis pasiektų apie 40 proc. Didėjant indžio koncentracijai, mažėja draustinių energijų tarpas, todėl optinės sugerties kraštas stumiasi į ilgesnių bangos ilgių sritį. Tačiau tuo pat metu ženkliai padidėja sluoksnio ir GaAs padėklo gardelių nesutapimas (40% In atveju jis siekia 3,5%), todėl sluoksniai darosi labai įtempti, blogėja jų paviršiaus kokybė, didėja šviesos įvedimo nuostoliai. Mažesni gardelių nesutapimą bei mažesnius sluoksnių įtempius galima gauti auginant Brego veidrodžius ir InGaAs sugėriklių sluoksnius ant InP padėklų (R. Fluck et al., Appl. Phys. Lett. 72, 3273 (1998)). Tačiau InP sistemoje užaugintiems Brego veidrodžiams yra būdingi keli trūkumai, tarp jų - mažesnis nei GaAs/AlAs atveju skirtumas tarp veidrodį sudarančių medžiagų sluoksnių lūžio rodiklių bei prastas šiluminis laidumas.

Kitu atveju ant GaAs padėklo ir GaAs/AlAs Brego veidrodžio buvo auginamas sugėriklis, sudarytas iš GaInNAs kvantinių duobių (toks sprendimas aprašytas V. Liverini et al., Appl. Phys. Lett. 84, 4002 (1998) ir PCT patente nr. WO03055014). Dalies arseno atomų V-grupės kristalinėje pogardelėje pakeitimas azotu paspartina draustinių energijų tarpo mažėjimą ir padidina sugerties krašto raudonąjį poslinkį. Realizuotame tokio SESAM'o variante pavyko panaudoti prietaisą kietakūnio 1,3 μm bangos ilgio lazerio modų sinchronizavimui gaunant kelių pikosekundžių trukmės optinius impulsus. Trumpesnius impulsus generuoti neleido palyginti ilgos (apie 30 ps) nepusiausvirųjų krūvininkų gyvavimo trukmės sugėriklio medžiagoje. Taip pat SESAM'ai su GaInNAs sugėrikliais netinka ilgesniems nei šis bangos ilgiams, nes

azoto įvedimas didina efektinį būsenų tankį laidumo juostoje ir su juo susijusį soties optinį intensyvumą.

Sprendimai, kuriais siekiama panaikinti aukščiau aptartus trūkumus buvo pasiūlyti Kinijos patente Nr. CN1953217, aprašančiame kvantinės duobės darinį, sudarytą iš GaNAs barjerinių sluoksnių ir GaInNAsSb kvantinės duobės sluoksnio, ir mokslinėje publikacijoje N. K. Metzger et al., „Femtosecond pulse generation around 1500nm using a GaInNAsSb SESAM“, OPTICS EXPRESS, 16, 18739 (2008). Pastaruoju atveju SESAM veidrodžiai taip pat auginami naudojant GaAs epitaksijos technologiją, tačiau jo sugėriklį sudaro penkianario junginio GaInNAsSb sluoksniai. Tokio sluoksnio V-grupės pogardelėje greta As atomų yra mažesni už juos N atomai ir sunkesni už juos Sb atomai. Azoto atomų išoriniame sluoksnyje yra s-elektronai ir jie sąveikauja su junginio laidumo juostos lygmenimis, tuo tarpu Sb atomų p-elektronai didžiausią įtaką turi junginio valentinės juostos sandarai. Abi šios sąveikos verčia judėti laidumo ir valentinę juostas link viena kitos ir sparčiau mažina draustinių energijų tarpą. Tačiau jos sukelia ir nepageidaujamą pašalinį efektą – laidumo ir valentinės juostos efektyvių būsenų tankių augimą, kuris SESAM'e pasireiškia didindamas toms būsenoms užpildyti ir optiniam praskaidrėjimui pasiekti reikalingą lazerio pluoštelio intensyvumą. Kitas šio sprendimo trūkumas yra nepakankamai trumpos sugėriklio atsistatymo trukmės – 12 ps eilės. Nors jos leido generuoti 230 fs trukmės, 1528 nm bangos ilgio Cr^{4+} :YAG lazerio impulsus, tolesniam lazerio impulsų trukmių mažinimui būtini sugėrikliai su mažesnėmis krūvininkų gyvavimo trukmėmis.

IŠRADIMO ESMĖ

Šiuo išradimu siekiama išspręsti aukščiau paminėtas problemas ir sukurti SESAM prietaisą, kuris turi įsisotinantį sugėriklį, kurio charakteristikos būtų geresnės nei tradicinių tokio tipo prietaisų suformuotų su InGaAs sugėriklio sluoksniais arba užaugintų ant InP padėklų.

Siūlomas SESAM prietaisas, sudarytas iš ant GaAs padėklo išaugintų AlAs/GaAs arba AlO_x/GaAs Brego veidrodžių ir įsisotinancio sugėriklio sluoksnio, pagaminto iš bismuto turinčių puslaidininkinių tūrinių sluoksnių arba kvantinių duobių, taip pakeliant valentinės juostos energijos lygmenis ir mažai įtakojant laidumo juostos energijos lygmenų padėtį, išlaikant nedidelį laidumo juostos efektyvų būsenų tankį. Todėl naudojant sugėriklio sluoksnyje Bi turinčią puslaidininkinę medžiagą, galima pagerinti tokius SESAM prietaiso parametrus kaip veikos spartą, pasiekiant trumpųjų

impulsų generavimo veiką didesnių bangos ilgių IR srityje, esant mažesnėms legiravimo koncentracijoms, ir galima geriau parinkti jo charakteristikas konkrečioms taikymams.

TRUMPAS BRĖŽINIŲ FIGŪRŲ APRAŠYMAS

Norint geriau suprasti išradimą ir įvertinti jo praktinius pritaikymus, pateikiami šie aiškinamieji brėžiniai. Brėžiniai pateikiami tik kaip pavyzdžiai ir jokių būdu neriboja išradimo apimtį.

- Fig. 1. SESAM principinė schema;
- Fig. 2. Dviejų trinarių puslaidininkinių junginių: $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$ ir $\text{GaIn}_x\text{As}_{1-x}$ draustinio tarpo priklausomybės nuo junginio sąstato;
- Fig. 3. Kaupinimo impulsu indukuoto optinio praskaidrėjimo priklausomybės nuo fotono energijos, išmatuotos trijuose $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$ sluoksniuose su skirtingomis bismuto dalimis;
- Fig. 4. Indukuotojo praskaidrėjimo laikinė dinamika $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$ sluoksnyje su 6% Bi, užaugintame ant GaAs/AlAs Brego veidrodžio, išmatuota atspindžio režime. Šviesos bangos ilgis buvo 1,1 mikrometro, vidutinė kaupinimo impulsų pluoštelių galia - 190 mW;
- Fig. 5. Indukuotojo praskaidrėjimo priklausomybė nuo kaupinimo pluoštelio vidutinės galios $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$ sluoksnyje su 6% Bi, užaugintame ant GaAs/AlAs Brego veidrodžio, išmatuota atspindžio režime. Šviesos bangos ilgis buvo 1,1 mikrometro. Punktyrinė kreivė vaizduoja teorinę aproksimaciją naudojant įsisotinamos sugerties formulę.

TINKAMIAUSI ĮGYVENDINIMO VARIANTAI

Tinkamiausiame išradimo įgyvendinimo variante, SESAM sugėriklio sluoksni (3) sudaro medžiaga, turinti bismuto atomų. Tokie bismuto turintys puslaidininkiai gali būti GaAsBi, GaAsSbBi ar GaInAsBi. Šiuose A_3B_5 grupės puslaidininkiniuose junginiuose Bi atomų įvedimas pakelia valentinės juostos energijos lygmenį,

darydamas mažą įtaką laidumo juostos energijos lygmenų padėčiai. Todėl laidumo juostos defektinis būsenų tankis lieka nedidelis, panašus į GaAs laidumo juostos būsenų tankį užtikrinamas mažą sugėriklio sotes srautą.

Reikia pabrėžti, kad GaAsBi ir kitų bismidų sugėriklio sluoksnių naudojimas suteikia unikalias galimybes gaminti infraraudonajai spinduliuotei skirtus SESAM'us ant GaAs padėklų. Eksperimentiniai GaAsBi tyrimai parodė, kad šio junginio draustinių energijų tarpas įvedant Bi mažėja labai sparčiai – po 90 meV kiekvienam įvesto Bi procentui. Todėl $\epsilon_g=0,8$ eV galima pasiekti jau tada, kai į GaAs yra įvesta vos 10% Bi, o GaAsBi su 15% Bi draustinių energijų tarpas sumažės net iki $\epsilon_g=0,4$ eV. Palyginimui galima pastebėti, jog trinario junginio InGaAs draustinių energijų tarpas augant In daliai mažėja kur kas lėčiau – įvedus į GaAs net 30% In, draustinių energijų tarpas sumažėja tik iki 1 eV. GaAsBi ir GaInAs junginių draustinio tarpo priklausomybės nuo sąstato pavaizduotos Fig. 2. Bi koncentracija gali būti parenkama pagal tai, kokios yra siekiamos SESAM'o charakteristikos.

Norint geriau suvokti šio išradimo privalumus ir veikimo principus toliau pateikiamas šis pavyzdys. Pagal šio išradimo savybes buvo suformuoti $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$ sluoksniai su skirtingomis bismuto dalimis, kaupinimo impulse išmatuotos indukuotos optinio praskaidrėjimo priklausomybės, jos pateiktos Fig. 3. Sluoksniai augini ant pusiau izoliuojančių GaAs padėklų, visų jų storis buvo 1,5 mikrometro. Matavimuose naudoti femtosekundiniai (150 fs trukmės, 200 kHz pasikartojimo dažnio) optiniai impulsai, generuojami optinio parametrinio stiprintuvo ORPHEUS (Light Conversion); naudota optinio kaupinimo – optinio zondavimo metodika. Kaupinimo impulsų vidutinė energija buvo 1 μJ , praėjimo režime matuojamų zondavimo impulsų vidutinė energija buvo 0,05-0,1 μJ . Pagal praskaidrėjimo pradžią galima nustatyti sluoksnio draustinių energijų tarpo dydį, sluoksnis su 11% Bi efektyviai praskaidrėja ties 0,8 eV dydžio fotonų energijomis, atitinkančiomis 1500 nm bangos ilgį.

Pažymėtina, kad krūvininkų gyvavimo trukmės bismiduose galima reguliuoti šių medžiagų sluoksnių auginimo molekulių pluoštelių epitaksijos būdu proceso metu. Padidinus Bi molekulių srautą dalis Bi atomų patenka ne į kristalinės gardelės V-grupės elementų pogardelės mazgus, o pavyzdžiui į tarpmazgius ar į III-grupės elementų pogardelės mazgus, kur sudaro gilius defektų lygmenis – Bi_i ar Bi_{Ga} , atitinkamai. Šie defektai veikia kaip spartūs krūvininkų pagavimo centrai, kurie gali sumažinti jų gyvavimo trukmę iki mažesnių už 1 ps dydžių. Tokį pat efektą sukelia ir sluoksnyje susidarantys bismuto dimerai, trimerai bei iš didesnio Bi atomų skaičiaus sudaryti klasteriai. Visų šių defektų tankį, o tuo pačiu ir krūvininkų gyvavimo trukmę

galima keisti žeminant auginimo temperatūrą iki mažiau nei 300°C arba užaugintus sluoksnius papildomai atkaitinant aukštesnėse nei 600°C temperatūrose.

Pavyzdinė indukuotojo praskaidrėjimo laikinė dinamika $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$ sluoksnyje su 6% Bi, užaugintame ant GaAs/AlAs Brego veidrodžio, išmatuota atspindžio režime pateikiama Fig. 4. Atitinkamai indukuotojo praskaidrėjimo priklausomybė nuo kaupinimo pluošto vidutinės galios, išmatuota atspindžio režime, pateikiama Fig. 5.

Naudodamasis aukščiau aprašytu pavyzdžiu, šios srities specialistas gali pasiūlyti ir daugiau skirtingų SESAM konstrukcijų, skirtų veikimui infraraudonosios spinduliuotės bangų ruože, tačiau šio išradimo apsauga turėtų apimti visas SESAM prietaisų variacijas, kur sugėriklio medžiagoje naudojami bismuto atomai, kurie pakelia valentinės juostos energijos lygmenis, darydami mažai įtakos laidumo juostos energijos lygmenų padėčiai, dėl ko praplatėja bangos ilgių intervalas, kuriems gali būti naudojamas aukščiau aprašytas SESAM prietaisas.

APIBRĖŽTIS

1. Įsisotinantis Brego veidrodis, turintis įsisotinantį sugėrikį sudarytą iš puslaidininkinių tūrinių sluoksnių arba kvantinių duobių, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad sugėriklio sluoksnis yra sudarytas iš puslaidininkinės medžiagos, turinčios bismuto atomų.

2. Įsisotinantis Brego veidrodis pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad sugėriklio medžiaga gali būti GaAsBi, GaAsSbBi ar GaInAsBi.

3. Įsisotinantis Brego veidrodis pagal vieną iš 1-2 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad bismuto atomų procentas GaAsBi sugėriklio medžiagoje yra tarp 5 ir 15 procentų arba kinta tarp bet kurių verčių - nuo 5 iki 15 procentų ruože.

4. Įsisotinantis Brego veidrodis pagal vieną iš 1-3 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas GaAsBi sugėriklis augintas temperatūroje mažesnėje nei 300°C, siekiant padidinti bismuto atomų dalį sugėriklio sluoksnyje.

5. Įsisotinantis Brego veidrodis pagal vieną iš 1-4 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas GaAsBi sugėriklis papildomai atkaitintas aukštesnėje nei 600°C temperatūroje, siekiant padidinti defektų tankį sugėriklio sluoksnyje.

6. Įsisotinantis Brego veidrodis pagal vieną iš 1-5 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jis yra pritaikytas veikti viename iš IR lazerinės spinduliuotės generavimo, duomenų perdavimo, IR laikinės skyros spektroskopijos, spinduliuotės impulsų charakterizavimo taikymų.

BRĖŽINIAI

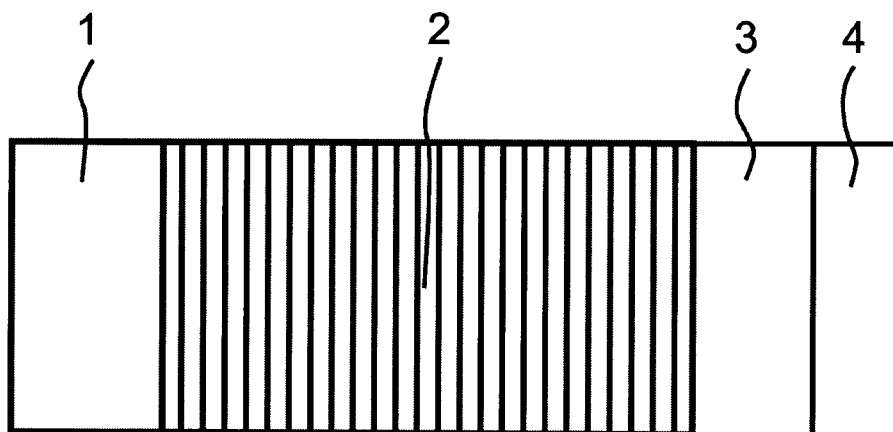


Fig. 1

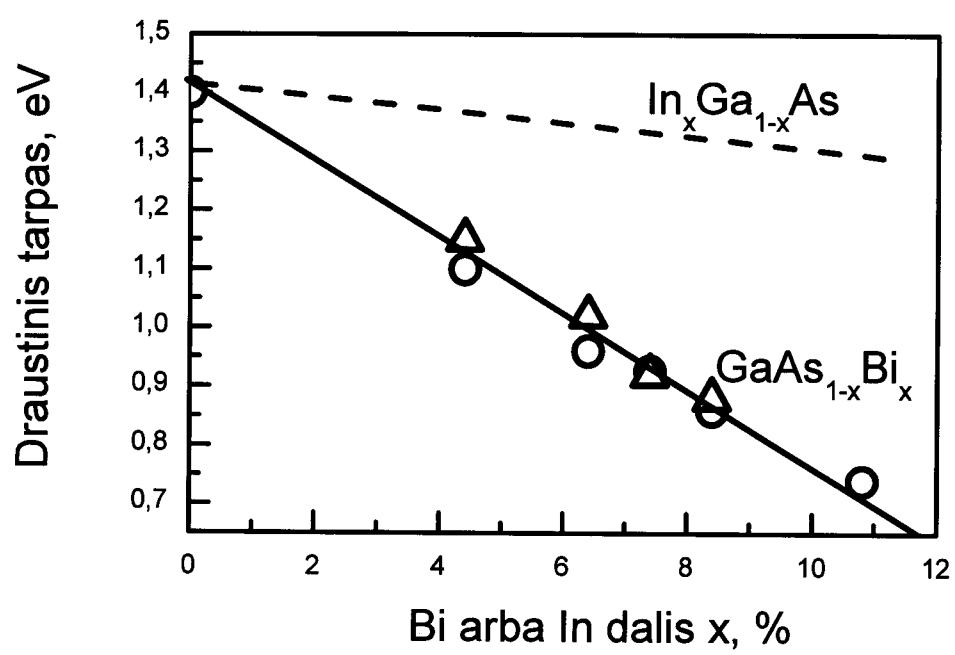


Fig. 2

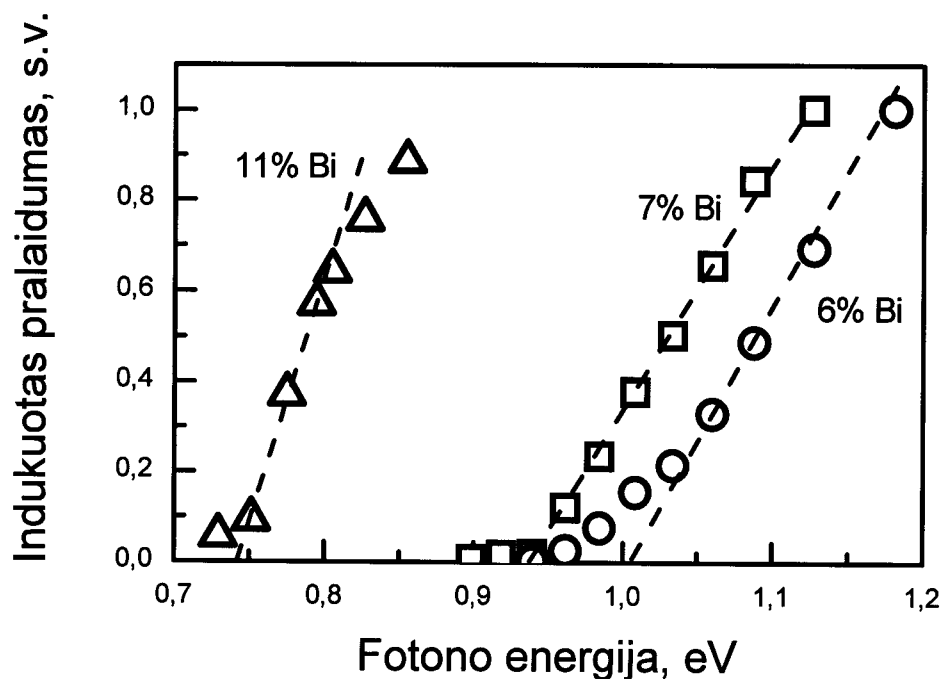
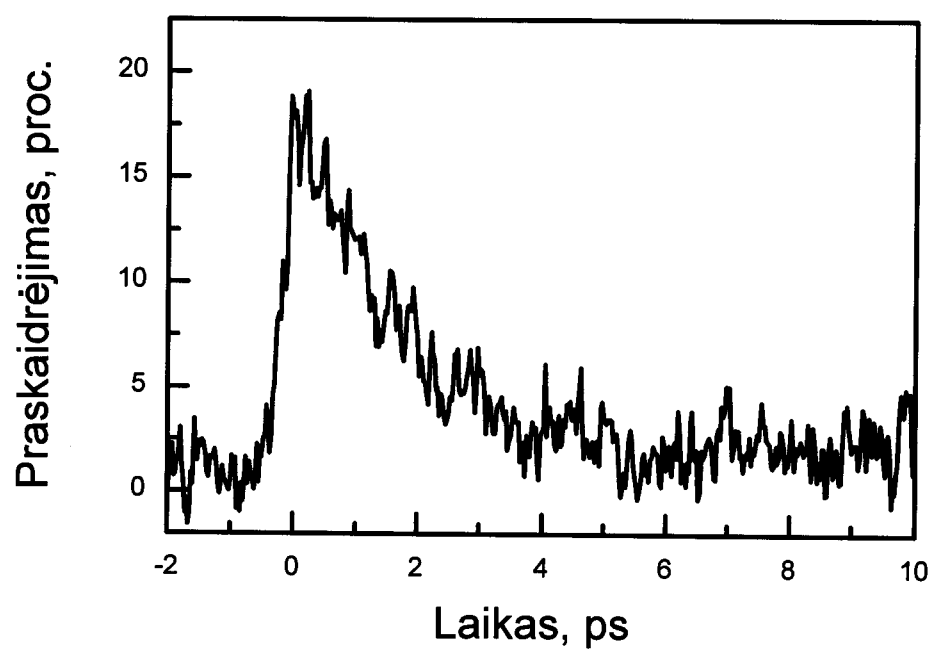


Fig. 3

**Fig. 4**

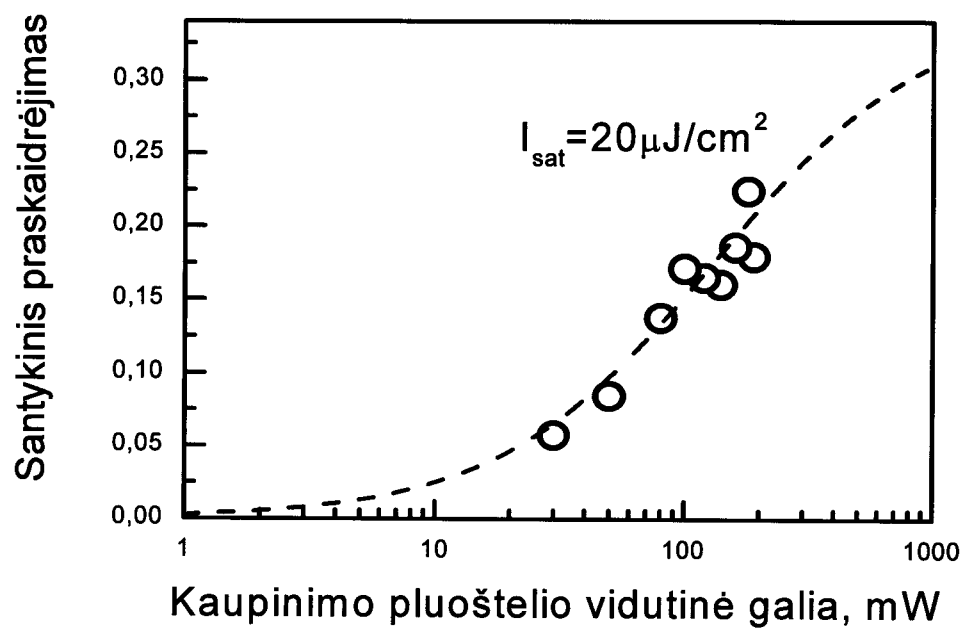


Fig. 5