

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2021 567**
(22) Paraiškos padavimo data: **2021-10-27**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2023-05-10**
(45) Patento paskelbimo data: **2023-06-12**

(73) Patento savininkas:
Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius, LT
(72) Išradėjas:
**Gintaras VALUŠIS, LT
Kirill ALEKSEEV, LT
Vladislovas ČIŽAS, LT
Linas MINKEVIČIUS, LT
Natalia ALEXEEVA, LT
Dalius SELIUTA, LT
Liudvikas SUBAČIUS, LT**
(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Virgina Adolfina DRAUGELIENĖ, 8, UAB TARPINĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT

LT 7000 B

(54) Pavadinimas:
Plačiajuostę aukšto dažnio spinduliuotę generuojantis / stiprinantis įrenginys, naudojantis puslaidininkines supergardeles

(57) Referatas:

Šis išradimas priklauso kietakūnių aukšto dažnio spinduliuotę generuojančių / stiprinančių prietaisų projektavimo bei kūrimo sričiai. Pasiūlytame išradime panaudojamas kvantinės optoelektronikos Esaki-Tsu netiesiškumo supergardelėje principas bei puslaidininkinės kvantinės struktūros ir atitinkamo dizaino injektuojantys kontaktai leidžia sukurti kompaktišką plačiajuostę aukšto dažnio spinduliuotę generuojantį / stiprinantį įrenginį, kuris gali būti patalpintas ant puslaidininkinio lusto (*on-chip*). Jis yra plačiajuostis ir gali veikti nuo kelių GHz iki THz. Aukštesnio dažnio ribojimas yra nusakomas ribinio Blocho dažnio, kuris priklauso nuo supergardelės dizaino, t. y. nuo minijuostos pločio. Išradimas suteikia galimybę praktinių GHz–THz dažnių ruožo taikymų realizacijoms realios veikos, pavyzdžiui kambario temperatūros aplinkoje su praktiniams taikymams pakankamu stiprinimo lygiu.

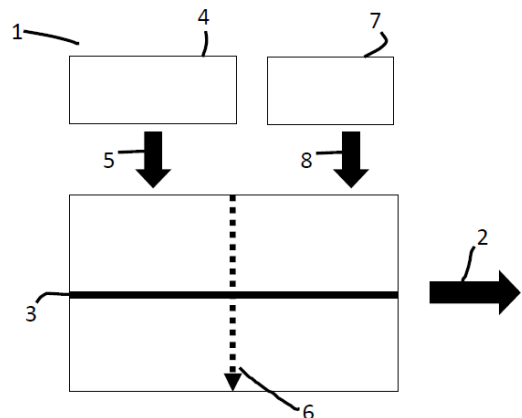


Fig. 1.

TECHNIKOS SRITIS

Šis išradimas priklauso kietakūnių aukšto dažnio spinduliuotę generuojančių / stiprinančių įrenginių projektavimo bei kūrimo sričiai ir gali būti naudojamas šių įrenginių ir jų sistemų projektavimui bei įterpimui, šių įrenginių panaudojimui aukšto dažnio stiprinimo / generacijos tikslams.

TECHNIKOS LYGIS

Vienas iš pagrindinių šiuolaikinės THz fizikos ir technologijos iššūkių yra kambario temperatūros aplinkoje veikiantys kompaktiški THz spinduliuotės šaltiniai, pasižymintys bent milivatų eilės emisijos galia. Siekiamybė yra sukurti mažus kietakūnius, ant lusto (*on-chip*) esančius šaltinius, kurie galėtų būti integruojami su difrakcinės optikos komponentais taip išvengiant ne tik didelių, pvz., vaizdinimo ar spektroskopinės sistemos matmenų, bet ir subtilaus optinio derinimo, kuris nėra patogus dirbant ne laboratorijos sąlygomis. Šiandien galima išskirti dvi pagrindines mokslinių tyrimų kryptis šiai problemai spręsti. Kadangi THz kvantiniai kaskadiniai lazeriai kambario temperatūros aplinkoje neveikia (aukščiausia pasiekta jų veikimo temperatūra yra 250 K (*Khalatpour, A.; Paulsen, A.K.; Deimert, C.; Wasilewski, Z.R.; Hu, Q. High-power portable terahertz laser systems. Nature Photonics* 2020, 14, 3003–3005), o galia ties 246 K yra apie 200 mikrovatų, reikia ieškoti kitų būdų ar fizikinių mechanizmų kaip tai galima padaryti. Kambario temperatūros aplinkoje veikia taip vadinami *intracavity mixing* THz kvantiniai kaskadiniai lazeriai – dviejų galingų, kambario temperatūros aplinkoje veikiančių infraraudonojo ruožo kvantinių kaskadinių lazerių spinduliuotė (kurių emisijos dažnių skirtumas yra THz dažnių ruože) yra „maišoma“ kvantiniame šulinyje, kuris turi dirbtinai sukurtą stiprų netiesiškumą ties rezonansiniu THz dažniu (dėl antros eilės poliarizuojamumo $\chi^{(2)}$). Tokiomis savybėmis pasižymintis kvantinis šulinys yra užaugintas tarp kaupinančių infraraudonosios srities lazerių (*Belkin, M.A.; Capasso, F.; Belyanin, A.; Sivco, D.L.; Cho, A.Y.; Oakley, D.C.; Vineis, C.J.; Turner, G.W. Terahertz quantum-cascade-laser source based on intracavity difference-frequency generation. Nature Photonics* 2007, 1, 288–292). Naudojant tokią dizaino schemą, buvo pasiektas santykinai platus spektrinio ruožo suderinamumas – nuo 2,6 iki 4,2 THz (*Lu, Q.Y.; Slivken, S.; Bandyopadhyay, N.; Bai, Y.; Razeghi, M. Widely tunable room temperature*

semiconductor terahertz source. Applied Physics Letters 2014, 105, 201102), kuris gerai galėtų tikt tiek multispektriniam THz vaizdinimui, tiek ir spektroskopijai. Pasiektos galios ties 3,6 THz gali siekti 1,4 mW lazeriui veikiant impulsiniu režimu. (Lu, Q.Y.; Bandyopadhyay, N.; Slivken, S.; Bai, Y.; Razeghi, M. *Continuous operation of a monolithic semiconductor terahertz source at room temperature. Applied Physics Letters* 2014, 104, 221105). Tačiau dėl stipriai legiruotų struktūrų, reikalingų lazerių modai suspausti ir dėl čia pasireiškiančios didelės sugerties laisvaisiais krūvininkais, sunku pasiekti generacijas žemesnio dažnio ruože – kol kas žemiausia skelbta vertė yra 1,9 THz, o spinduliuojama galia siekia 110 mikrovatų. (Kim, J.H.; Jung, S.; Jiang, Y.; Fujita, K.; Hitaka, M.; Ito, A.; Edamura, T.; Belkin, M.A. *Double-metal waveguide terahertz difference-frequency generation quantum cascade lasers with surface grating outcouplers. Applied Physics Letters* 2018, 113, 161102).

Kitas sprendimo būdas – naudoti THz elektronines sistemas, kuriamas CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) technologijos pagrindu (Hillger, P.; Grzyb, J.; Jain, R.; Pfeiffer, U.R. *Terahertz Imaging and Sensing Applications With Silicon-Based Technologies. IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology* 2019, 9, 1–19). Tai yra kompaktiškos THz spinduliuotės šaltinių ir detektorių sistemos, kurios veikia „raudonajame“ THz dažnio ruožo sparne – daugiausia iki 1,3 THz, o galios ties šiuo dažniu siekia keletą mikrovatų. Optimaliausias tokių CMOS sistemų veikimo ruožas – iki 430 GHz, pasiekiant galias iki 100 mikrovatų. SiGe technologija teikia vilčių pasiekti panašios eilės galias, tačiau gerokai aukštesniuose, iki 1 THz dažniuose (*ibid.*).

Iki šiol nebuvo pasiektas pakankamas lygmuo, kad žinomi prietaisai galėtų būti realizuoti praktiniams pritaikymams. Tokių kietakūnių prietaisų naudojimas aukšto dažnio signalo stiprinimui realioje aplinkoje (pvz., kambario temperatūroje), su stiprinimo lygiu, pakankamu praktinio taikymo tikslams, nėra žinomas.

SPRENDŽIAMA TECHINĖ PROBLEMA

Išradimu, siekiama išplėsti aukšto dažnio (GHz–THz ruožo) spinduliuotę generuojančio / stiprinančio įrenginio panaudojimo sritis, suteikiant galimybę taikyti tokius įrenginius realioje (kambario temperatūros) aplinkoje, būti patalpintais ant puslaidininkinio lusto (*on-chip*) bei užtikrinant stiprinimo lygį, pakankamą praktinio

taikymo tikslams.

IŠRADIMO ESMĖS ATSKLEIDIMAS

Pagal pasiūlytą išradimą plačiajuostis aukšto dažnio spinduliuotę generuojantis / stiprinantis įrenginys, naudojantis puslaidininkines supergardeles apima:

- supergardele – periodinę struktūrą, sudarytą bent iš dviejų skirtingų medžiagų sluoksnių;
- pirmąjį papildomą įtaisą, skirtą kintamo žadinančio elektrinio lauko generacijai bei įvesčiai į minėtą supergardele išilgai supergardelės ašiai;
- antrąjį papildomą įtaisą, skirtą vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko įvesčiai į minėtą supergardele išilgai supergardelės ašiai.

Supergardelė yra kvantinių duobių puslaidininkinė supergardele, užtikrinanti energijos minijuostos atsiradimą ir yra sudaryta iš pasikartojančios ne mažiau nei 10 kartų, geriau 30 kartų ir daugiau dvisluoksnės struktūros, kur sluoksniai sudaryti iš skirtingų puslaidininkinių medžiagų, užtikrinančių energijos minijuostos atsiradimą. Minėta supergardele yra sukonfigūruota minėtos išvesties elektromagnetinės bangos, jos harmonikų, subharmonikų ir trupmeninių dažnių išvesčiai.

Supergardelė yra subkritiškai legiruota. Legiravimo lygis yra parenkamas pagal Kroemer kriterijaus vertę. Viršutinė minėtos supergardelės veikimo dažninė riba yra nustatoma pagal Bloch dažnio vertę.

Pirmasis papildomas įtaisas apima:

- šaltinį, skirtą generuoti pasirenkamo dažnio žadinančią elektromagnetinę bangą;
- įvesties įtaisą, skirtą minėjusiai žadinančiai elektromagnetinei bangai įvesti į minėtą supergardele, kad supergardeleje būtų sugeneruotas minėtas kintamas žadinantis elektrinis laukas.

Minėtas pirmasis papildomas įtaisas, skirtas minėtos žadinančios elektromagnetinės bangos įvesčiai į supergardele, išilgai minėtos supergardelės ašiai, yra įrengtas ant minėtos supergardelės.

Antrasis papildomas įtaisas, skirtas minėto vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko įvesčiai į minėtą supergardelę taip pridėdant nuolatinę įtampą ant supergardelės, siekiant užtikrinti krūvininkų neigiamą diferencialinį laidumą minėtoje supergardelėje ir užtikrinant, kad minėtas kintamas žadinantis elektrinis laukas generuotų supergardelėje lėtą, geriau bent 1000 kartų lėtesnę už šviesos greitį, išilginę elektrinio erdvinio krūvio bangą išilgai supergardelės ašiai, kuri, savo ruožtu, generuos minėtą išvesties elektromagnetinę bangą. Antras papildomas įtaisas sukonstruotas atitikti plačiajuostės spinduliuotės stiprinimo sąlygas, geriau naudojant neominius kontaktus.

Minėto kintamo žadinančio elektrinio lauko ir minėto vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko parametrai yra parenkami taip, kad minėtoji išvesties elektromagnetinė banga būtų sudaryta iš minėto kintamo žadinančio elektrinio lauko harmonikų, subharmonikų ir (arba) trupmeninių jo dažnių. Minėto žadinančio elektromagnetinio lauko arba laukų dažnis atitinka mikrobangų arba THz dažnių ruožą. Minėto kintamo žadinančio elektrinio lauko ir minėto vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko vertės stipriai viršija minėtų kritinių elektrinio lauko stiprių vertes, apskaičiuotas minėtai supergardelei.

Įrenginys gali būti naudojamas kambario temperatūros aplinkoje. Įrenginys užtikrina 10, geriau 100, dar geriau 1000 kartų spinduliuotės stiprinimą, kas reiškia, kad minėta išvesties elektromagnetinė banga yra 10, geriau 100, dar geriau 1000 kartų galingesnė už minėtą žadinančią elektromagnetinę bangą. Naudojant lėtosios šviesos koncepciją, minėta elektromagnetinė arba išilginė elektrostatinės bangos struktūroje, užtikrina reikšmingą, geriau 1000x minėto įvedamo žadinančio elektromagnetinio lauko galios stiprinimą.

IŠRADIMO NAUDINGUMAS

Išradime panaudojant naujo principo (paremto kvantinės optoelektronikos principais – Esaki-Tsu netiesiškumu supergardelėje) bei tipo (puslaidininkinės kvantinės struktūros ir atitinkamo dizaino injektuojantys kontaktai) leidžia sukurti kompaktišką plačiajuostę aukšto dažnio spinduliuotę generuojantį / stiprinantį įrenginį.

Pagal išradimą pasiūlytas naujo tipo kompaktiškas plačiajuostę aukšto

dažnio spinduliuotę generuojantis / stiprinantis įrenginys gali būti patalpintas ant puslaidininkinio lusto (*on-chip*). Jis yra plačiajuostis ir gali veikti tiek GHz, tiek ir THz dažnių ruože (GHz–THz, nuo kelių GHz iki THz; aukštesnio dažnio ribojimas yra nusakomas taip vadinamo ribinio Blocho dažnio, kuris priklauso nuo supergardenės dizaino, t. y. nuo minijuostos pločio). Jo veikimas remiasi kvantinės optoelektronikos principais (Esaki-Tsu netiesiškumu supergardenėje), panaudojant puslaidininkines kvantines struktūras ir atitinkamo dizaino (aprašyto žemiau) injektuojančius (neominius) kontaktus. Išradimas suteikia galimybę praktinių GHz–THz dažnių ruožo taikymų realizacijoms realios veikos (pvz., kambario temperatūros) aplinkoje su praktiniams taikymams pakankamu stiprinimo lygiu (išvesties elektromagnetinė banga yra 10, geriau 100, dar geriau 1000 kartų galingesnė už naudojamą žadinančią elektromagnetinę bangą).

TRUMPAS BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

Fig. 1 pavaizduotas įrenginys, skirtas elektromagnetinės bangos generacijai / stiprinimui ir išvesčiai, panaudojant dvisluoksnę supergardenę.

Fig. 2 pavaizduotas įrenginys, skirtas elektromagnetinės bangos generacijai / stiprinimui ir išvesčiai panaudojant besikartojančią dvisluoksnę supergardenę.

IŠRADIMO REALIZAVIMO PAVYZDŽIAI

Fig. 1 pavaizduotas plačiajuostis aukšto dažnio spinduliuotę generuojantis / stiprinantis įrenginys 1, skirtas generuoti išvesties elektromagnetinę bangą 2, apimantis supergardenę 3, iš skirtingų puslaidininkinių medžiagų dviejų sluoksnių (kvantinė duobė ir atitinkamas kvantinis barjeras) struktūros. Įrenginyje numatytas pirmas papildomas įtaisas 4, skirtas kintamo žadinančio elektrinio lauko 5 įvesčiai į minėtą supergardenę 3 (išilgai supergardenės ašiai 6, kur gardenė 3 yra pritaikyta minėtos išvesties elektromagnetinės bangos 2 išvesčiai). Taip pat numatytas antras papildomas įtaisas 7, skirtas vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko 8 įvesčiai į minėtą supergardenę 3 išilgai supergardenės ašiai 6.

Fig. 2 pavaizduotas įrenginys, turi analogišką konstrukciją pavaizduotą Fig. 1, skiriasi tik jo kvantinė puslaidininkinė supergardenė, kuri sudaryta iš besikartojančios

dvisluoksnės (kvantinė duobė ir atitinkamas kvantinis barjeras) struktūros 9, kuri užtikrina energijos minijuostos atsiradimą išilgai supergardenės ašiai 6.

Pagal pasiūlytą išradimą pateikiamas miniatiūrinis GHz–THz dažnių ruožo kietakūnis parametrinis aukšto dažnio spinduliuotę generuojantis / stiprinantis įrenginys, veikiantis kambario temperatūros aplinkoje. Minėtas kietakūnis aukšto dažnio spinduliuotę generuojantis įrenginys, efektyviai veikiantis kaip stiprintuvas, yra pagrįstas kvantine supergardenė, panaudojant subkitiškai legiruotą GaAs/AlGaAs supergardenę, kuri veikiama vienalyčio (pastovaus) ir kintamo žadinančio (nustatomo bangos ilgio) elektrinių laukų. Minimo įrenginio išėjoje stebima žadinančio signalo harmonikų, subharmonikų ir trupmeninių harmonikų spinduliuotė. Panašiomis savybėmis pasižymi Moire supergardenės iš bisluoksnio grafeno.

Šis išradimas patvirtinamas eksperimento metu stebėtų mikrobanginės spinduliuotės stiprinimu minėtoje sistemoje, kas suteikia patobulintą teorinį šių įrenginių veikimo principų suvokimą (įskaitant modelius, tinkamus šių sistemų parametrų bei veikimo sąlygų nustatymui, užtikrinančius mikrobangų spinduliuotės stiprinimo realizacijos galimybę kambario temperatūros aplinkoje) ir pastebėjimą, kad gautas mikrobanginės spinduliuotės stiprinimas atitinka disipacinį parametrinį spinduliuotės stiprinimą.

Įrenginio veikimo principas

Paveikus įrenginio supergardenę (3, 9) tinkamai parinktu pastoviu (vienalyčiu) elektriniu lauku 8, kuris yra generuojamas ir nukreipiamas išilgai supergardenės ašiai 6 antruoju papildomu įtaisu 7 bei paveikus supergardenę (3, 9) tinkamai parinktu žadinančiu elektriniu lauku 5, kuris yra generuojamas ir nukreipiamas išilgai supergardenės ašiai 6 pirmuoju papildomu įtaisu 4, įvyksta krūvininkų injekcija į supergardenės struktūrą (3, 9) ir krūvininkai minėtoje ir (arba) minėti krūvininkai minėtoje supergardenėje (3, 9) patenka į neigiamą diferencialinio laidumo sritį. Tinkamai supergardenėje parinktas minėtas kintamas žadinantis elektrinis laukas 5 užtikrina, kad minėti krūvininkai sudaro išilginę elektrinio erdvinio krūvio bangą (išilgai supergardenės ašiai 6. Be to, veikiant vienalyčiui (pastoviam) elektriniam laukui 8 susidaro teigiamos grįžtamojo ryšio sąlygos plačiajuostės spinduliuotės stiprinimui per parametrinio stiprinimo procesus.

Įrenginio 1, apimančio supergardenę (3, 9), kuri yra optimizuota minėtos

išvesties elektromagnetinės bangos 2 išvesčiai, veikimo principas paremtas minėto pasirenkamo dažnio kintamo žadinančio elektrinio lauko 5 nukreipimu išilgai supergadelės ašiai, vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko 8 taikymu išilgai supergadelės ašiai, kur įrenginio 1 parametrai ir minėto kintamo žadinančio elektrinio lauko 5 bei minėto vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko 8 parametrai parenkami taip, kad užtikrintų minėtos išvesties elektromagnetinės bangos 2 (sudarytos iš daugybės žadinančios elektromagnetinės bangos harmonikų, subharmonikų ir (ar) trupmeninių dažnių komponentų) generaciją, atitinkančią parametrinio stiprinimo procesą.

Konkrečiau, įrenginio 1, apimančio supergadelę (3, 9), kuri yra optimizuota minėtos išvesties elektromagnetinės bangos išvesčiai, veikimo principas paremtas minėto (pasirenkamo dažnio) kintamo žadinančio elektrinio lauko 5 nukreipimu išilgai supergadelės ašiai 6, minėto vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko 8 taikymu išilgai supergadelės ašiai 6, kur įrenginio 1 parametrai ir minėto kintamo žadinančio elektrinio lauko 5 bei minėto vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko 8 parametrai parenkami taip, kad supergadelėje (3, 9) susidarytų lėta (pageidautina 1000 kartų lėtesnė už šviesos greitį) išilginė elektrinio erdvinio krūvio banga (išilgai supergadelės ašiai), kuri užtikrina minėtos išvesties elektromagnetinės bangos 2 generaciją.

Šis išradimas atskleidžia aukšto dažnio spinduliuotės parametrinio stiprinimo koncepciją, konkrečiau – disipacinio parametrinio stiprinimo mechanizmo, paremto neigiamo diferencinio laidumo atsiradimu.

Šis išradimas pateikia supergadelę, esančią tarp dviejų minimas sąlygas atitinkančių kontaktų; konkrečiai pateiktu atveju, AlGaAs/GaAs supergadelė su AuTi Schottky kontaktu iš viršaus ir heterostrukūra iš apačios. Tokia supergadelės ir kontaktų struktūra yra papildomai paruošta žadinančiosios elektromagnetinės bangos įvesčiai. Konkrečiai pateiktu atveju, struktūra buvo talpinama ant vienbriaunio bangolaidžio ilgesniosios kraštinės. Pabrėžiamas neominių kontaktų naudojimo svarbumas.

Nagrinėjamos kvantinėse puslaidininkinėse supergadelėse, energijos minijuostos plotis yra valdomas heterostrukūros dizainu ir užtikrina minijuostos elektronų aukšto dažnio osciliacijų, sukeltų Braggo atspindžiais, atsiradimo galimybę. Pridėto pastovaus lauko sukeltos Blocho osciliacijos ir elektronų dreifas, kuris

netiesiškai priklauso nuo pridėto elektrinio lauko stiprio, apsprendžia neigiamą diferencialinį greitį virš tam tikro kritinio elektrinio lauko stiprio. Šis taip vadinamas Esaki-Tsu netiesiškumas užtikrina efektyvų mikrobangų spinduliuotės stiprinimą kvantinių supergardelių pagrindu pagamintose dariniuose.

Šiuo išradimu pateikiamas įrenginys, pasižymintis disipaciniu parametriniu stiprinimu, be aukščiau minėtų sąlygų išpildžius vienalyčio elektrinio lauko struktūros viduje reikalavimą, kurį galima pasiekti pasirenkant tinkamą legiravimo lygį, iš esmės užtikrinantį atitikimą Kroemer kriterijui.

Šiuo išradimu pateikiamos kompiuteriu arba kompiuterio pagalba atliekamos minėto įrenginio struktūros nustatymo metodikos, kurios yra paremtos fizikiniais modeliais ir yra skirtos minėtų fizikinių fenomenų modeliavimui. Šie modeliai yra naudojami minėto įrenginio parametrų (pvz., legiravimo lygis) ir veikimo sąlygų nustatymui (pvz., minimali reikalinga nuolatinė įtampa) ieškant optimalios šių parametrų kombinacijos, užtikrinančios parametrinio stiprinimo procesus įrenginyje.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Plačiajuostę aukšto dažnio spinduliuotę generuojantis / stiprinantis įrenginys, naudojantis puslaidininkines supergardeles, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima:

- supergardelę – periodinę struktūrą, sudarytą bent iš dviejų skirtingų medžiagų sluoksnių;
- pirmąjį papildomą įtaisą, skirtą kintamo žadinančio elektrinio lauko generacijai bei įvesčiai į minėtą supergardelę išilgai supergardelės ašiai, kur minėta supergardelė yra sukonfigūruota išvesties elektromagnetinės bangos, jos harmonikų, subharmonikų ir trupmeninių dažnių išvesčiai;
- antrąjį papildomą įtaisą, skirtą vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko įvesčiai į minėtą supergardelę išilgai supergardelės ašiai, siekiant užtikrinti minėtų krūvininkų neigiamą diferencinį laidumą minėtoje supergardelėje ir užtikrinant, kad minėtas kintamas žadinantis elektrinis laukas generuotų supergardelėje lėtą, geriau bent 1000 kartų lėtesnę už šviesos greitį, išilginę elektrinio erdvinio krūvio bangą išilgai supergardelės ašiai, kuri, savo ruožtu, generuos minėtą išvesties elektromagnetinę bangą;
- minėto kintamo žadinančio elektrinio lauko ir minėto vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko parametrai yra parenkami taip, kad minėtoji išvesties elektromagnetinė banga būtų sudaryta iš minėto kintamo žadinančio elektrinio lauko harmonikų, subharmonikų ir (arba) trupmeninių jo dažnių.

2. Įrenginys pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas pirmasis papildomas įtaisas apima:

- šaltinį, skirtą generuoti pasirenkamo dažnio žadinančią elektromagnetinę bangą;
- įvesties įtaisą, skirtą minėtai žadinančiai elektromagnetinei bangai įvesti į minėtą supergardelę, kad supergardelėje būtų sugeneruotas minėtas kintamas žadinantis elektrinis laukas.

3. Įrenginys pagal 1 arba 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas antrasis papildomas įtaisas, skirtas pridėti nuolatinę įtampą ant supergardelės.

4. Įrenginys pagal bet kurį iš 1–3 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad antras papildomas įtaisas sukonstruotas atitikti plačiajuostės spinduliuotės stiprinimo sąlygas, geriau naudojant neominius kontaktus.

5. Įrenginys pagal 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas pirmasis papildomas įtaisas, skirtas minėtos žadinančios elektromagnetinės bangos įvesčiai į supergardelę, išilgai minėtos supergardelės ašiai, yra įrengtas ant minėtos supergardelės.

6. Įrenginys pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad supergardelė yra kvantinių duobių puslaidininkinė supergardelė, užtikrinanti energijos minijuostos atsiradimą.

7. Įrenginys pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad supergardelė, yra sudaryta iš pasikartojančios ne mažiau nei 10 kartų, geriau 30 kartų ir daugiau dvisluoksnės struktūros, kur sluoksniai sudaryti iš skirtingų puslaidininkinių medžiagų, užtikrinančios energijos minijuostos atsiradimą.

8. Įrenginys pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad viršutinė minėtos supergardelės veikimo dažninė riba yra nustatoma pagal Bloch dažnio vertę.

9. Įrenginys pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad supergardelė yra subkritiškai legiruota.

10. Įrenginys pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad legiravimo lygis yra parenkamas pagal Kroemer kriterijaus vertę.

11. Įrenginys pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėto žadinančio elektromagnetinio lauko arba laukų dažnis atitinka mikrobangų arba THz dažnių ruožą.

12. Įrenginys pagal 11 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad įrenginys gali būti naudojamas kambario temperatūros aplinkoje.

13. Įrenginys pagal 11 arba 12 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėto kintamo žadinančio elektrinio lauko ir minėto vienalyčio (pastovaus) elektrinio lauko stiprių vertės viršija minėtų kritinių elektrinio lauko stiprių vertes, apskaičiuotas minėtai supergardelei.

14. Įrenginys pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad spinduliuotės stiprinimas yra 10, geriau 100, dar geriau 1000 kartų, kas reiškia, kad minėta išvesties elektromagnetinė banga yra 10, geriau 100, dar geriau 1000 kartų galingesnė už minėtą žadinančią elektromagnetinę bangą.

15. Įrenginys pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad naudojant lėtosios šviesos koncepciją, minėta elektromagnetinė arba išilginė elektrostatinės bangos struktūroje, užtikrina reikšmingą, geriau 1000x minėto įvedamo žadinančio elektromagnetinio lauko galios stiprinimą.

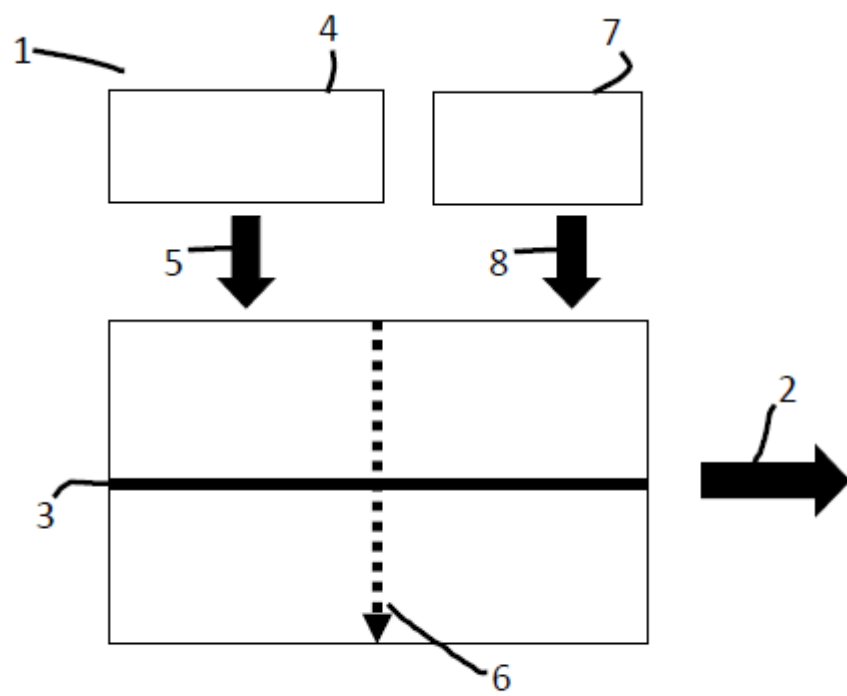


Fig. 1.

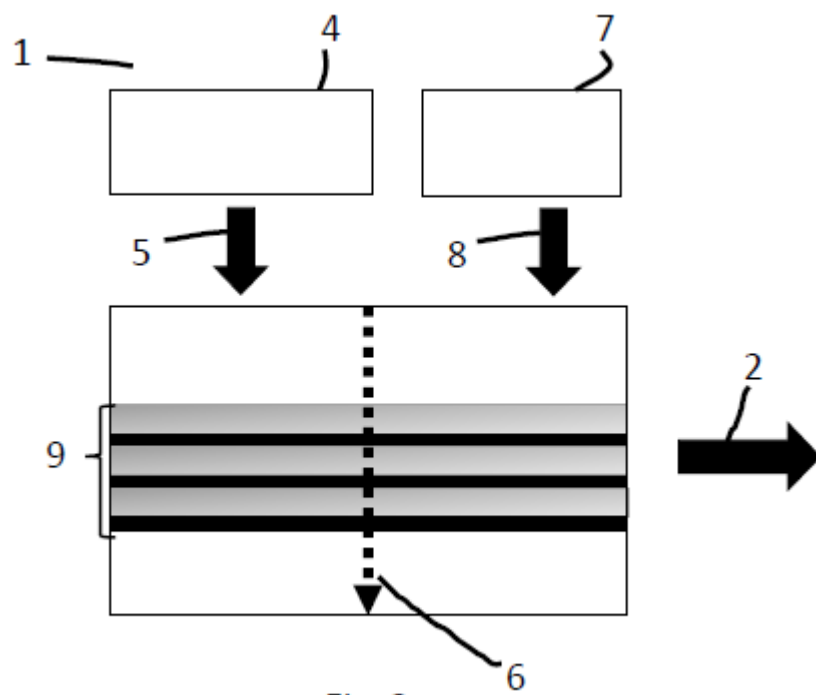


Fig. 2