

- (11) Patento numeris: **6857** (51) Int. Cl. (2021.01): **H01S 5/00**
H01L 31/00
- (21) Paraiškos numeris: **2020 002** **H01L 33/00**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2020-01-07**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2021-07-12**
- (45) Patento paskelbimo data: **2021-10-11**
- (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:
Česlovas PAVASARIS, LT
- (73) Patento savininkas:
Vilniaus universitetas, Universiteto g. 3, LT-01513 Vilnius, LT
Česlovas PAVASARIS, Kryžių sodų 8-oji g. 94, Vilnius, LT
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
—

- (54) Pavadinimas:
Dvigubos injekcijos keičiamo bangos ilgio puslaidininkis lazeris

- (57) Referatas:

Pasiūlymas yra iš puslaidininkinės elektronikos srities, o būtent puslaidininkinių lazerių, turinčių p-n sandūras, ir gali būti vartojamas elektrooptinėse ryšio sistemose, greitaveikėse impulsinės elektronikos schemose, elektroninėse automatikos sistemose, funkcinės elektronikos sistemose, ir t. t. Pasiūlytame puslaidininkiniame lazeryje yra panaudotas atskiras nepriklausomas skirtingų krūvininkų - skylių p ir elektronų n injekcijos į savitojo - i-laidumo puslaidininkinę aktyviąją i- sritį metodas, o skylių p ir elektronų n injekcijos šaltiniai yra p+-n-p ir n+-p-n dvipoliai tranzistoriniai dariniai, sumontuoti betarpiškai i- srityje. Kitame variante vietoje tranzistorinių darinių yra padaryti anodo A ir katodo Kt kontaktai. Aktyvioji i-sritis yra varizoninis puslaidininkis. Palyginus su analogu, pasiūlytas puslaidininkinis lazeris ir įtaisai su juo pasižymi didesne veikimo sparta, didesnėmis funkcinėmis savybėmis ir didesnėmis energetinėmis charakteristikomis.

Pasiūlymas yra iš puslaidininkinės elektronikos srities, o būtent puslaidininkinių lazerių, turinčių p–n sandūras, ir gali būti vartojamas elektrooptinėse ryšio sistemose, greitaveikėse impulsinės elektronikos schemose, elektroninėse automatikos sistemose, funkcinės elektronikos sistemose, ir t. t.

Analogas yra puslaidininkinis lazeris, sudarytas iš dviejų skirtingo laidumo sluoksnių – p– skylinio ir n– elektroninio, sudarančių p–n sandūrą, n– ir p– sluoksnių paviršiuose yra sumontuoti ominiai kontaktai – atitinkamai katodo (K) ir anodo (A), o p–n sandūros darinys yra padarytas Fabri-Peró optinio rezonatoriaus pavidalu (Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах / Пер. с англ. – 2-е перераб. и доп. изд. - М.: Мир, 1984. - 456 + 456 с., ил.; Antroji knyga – 26 pav., 301 p.).

Analogo trūkumas yra tai, kad optinės generacijos aktyvioji sritis negali būti laisvai parenkamų geometrinių ir elektrinių parametų, todėl įtaiso funkcinės savybės yra ribotos, o taip pat elektrooptiniai parametrai nėra optimalūs. Dar kitas analogo trukumas yra tik vieno bangos ilgio generuojamas optinis signalas.

Analogo trūkumams pašalinti puslaidininkiniame lazeryje, sudarytame iš dviejų skirtingo laidumo sluoksnių –skylinio (p–) ir elektroninio (n–), sudarančių p–n sandūrą, kurioje yra optinės generacijos aktyvioji sritis, n– ir p– sluoksnių paviršiuose sumontuoti ominiai kontaktai, atitinkamai katodo (Kt) ir anodo (A), o p–n sandūros darinys padarytas Fabri-Peró optinio rezonatoriaus pavidalu, kitaip padaryta įtaiso konstrukcija, kurioje optinės generacijos aktyvioji sritis padaryta iš savitojo laidumo – i– tipo varizoninio puslaidininkio, kuriame draustinių energijų juostos plotis ΔE_g kinta Fabri-Peró optinio rezonatoriaus veidrodžių kryptimi ir ši aktyvioji i– sritis patalpinta tarp dviejų lygiagrečių veidrodžių, sudarančių Fabri-Peró optinį rezonatorių, kuriame aktyviosios i– srities vienas iš paviršių, esančių lygiagrečiai tarp veidrodžių, turi bendrą ominį kontaktą K_0 , priešinguose aktyviosios i– srities pusėse, nesančiuose tarp veidrodžių, suformuoti atitinkami tranzistoriniai n–p–n ir p–n–p dariniai, turintys po vieną atitinkamą emiterio $E_{(n, p)}$ ir bazės $B_{(p, n)}$ ominių kontaktus, n–p–n ir p–n–p darinių atitinkamos kolektorinės n– ir p– sritys suformuotos ant aktyviosios i– srities atitinkamų priešpriešiais esančių paviršių, aktyviosios i– srities priešpriešiais esančiuose dvejuose likusiuose laisvų paviršių priešpriešiniuose kraštuose suformuotos po dvi poras lygiagrečių juostinių ominių kontaktų su atitinkamomis išvadų poromis, o ominių kontaktų lygiagrečios juostelės yra orientuotos statmenai

paviršiams su veidrodžiais.

Kitame puslaidininkinio lazerio variante kitaip padaryta įtaiso konstrukcija, o būtent, optinės generacijos aktyvioji i - sritis patalpinta tarp p - ir n - sluoksnių, kuriuose yra suformuotos planarinės mezakonstrukcijos atitinkami tranzistoriniai p^+-n-p ir n^+-p-n dariniai, kuriuose p^+ - ir n^+ - sritys – atitinkamai emiteriai E_p ir E_n suformuoti atitinkamų p - ir n - sluoksnių paviršiuose, i - srityje priešais tranzistorinius p^+-n-p ir n^+-p-n darinius suformuotos atitinkamos kolektorinės paslėptos p^+ - ir n^+ - sritys, aplink kurias suformuoti atitinkami n^+ - ir p^+ - žiedai, atstumas d_1 tarp paslėptų n^+ - ir p^+ - sričių padarytas mažesnis už krūvininkų mažiausią difuzijos ilgį $L_{d \min}$ i - srityje, $L_{d \min} > d_1$, ir kartu didesnis už $(0,5 \cdot L_{d \min}) < d_1$, atstumas d_2 tarp n^+ - ir p^+ - žiedų padarytas didesnis už n^+ -i ir p^+ -i sandūrų nuskurdintų sričių suminį didžiausią storį $d_{\max+}$ i - srityje, $d_{\max+} < d_2$, čia n^+ -i ir p^+ -i sandūros yra tarp i - srities ir atitinkamai n^+ - ir p^+ - žiedų, atstumas d_3 tarp p^+-n-p darinio n - bazės B_n sluoksniu ir paslėptos p^+ - srities ir kartu atstumas d_3 tarp n^+-p-n darinio p - bazės B_p sluoksniu ir paslėptos n^+ - srities padaryti mažesni už kolektorinių $p-n$ sandūrų nuskurdintų sričių neutralų storį $d_{pn 0} > d_3$ atitinkamuose kolektorių p - ir n - srityse, paslėptų p^+ - ir n^+ - sričių plotai $S_{p; n}$ padaryti didesni už atitinkamų p^+ - ir n^+ - emiterių $E_{(p; n)}$ atitinkamus plotus $S_{(E_p; E_n)} < S_{(p; n)}$.

Dar kitame puslaidininkinio lazerio supaprastintame konstrukcijos variante kitaip padaryta įtaiso konstrukcija, o būtent, vietoje tranzistorinių p^+-n-p ir n^+-p-n darinių betarpiškai ant paslėptų p^+ - ir n^+ - sričių suformuoti atitinkami anodo A ir katodo Kt ominiai kontaktai – metalo sluoksniai su anodo A ir katodo Kt išvadais.

Analogo trūkumams pašalinti puslaidininkinio lazerio jungimo grandinėje, sudaryta iš puslaidininkinio įtaiso ir pastoviosios įtampos maitinimo-valdymo šaltinio, kitaip padaryta valdymo grandinė, kurioje puslaidininkinis įtaisas turi du skirtingo tipo tranzistorinius $n-p-n$ ir $p-n-p$ darinius su atitinkamais emiterių $E_{(n; p)}$ ir bazių $B_{(p; n)}$ išvadais. Bazių išvadai $B_{(p; n)}$ ir aktyviosios i - srities vienas iš paviršių su bendru ominių kontaktu K_0 sujungti su „žeme“ – nulinio potencialo šyna, vienas iš emiterių $E_{(n; p)}$, pavyzdžiui, E_p sujungtas su pirmojo valdymo įtampos šaltinio $U_{in 1}$ pirmuoju poliumi, o kitas emiteris E_n – su papildomo – antrojo valdymo įtampos šaltinio $U_{in 2}$ pirmuoju poliumi ir šių šaltinių atrieji poliai sujungti su „žeme“, dvi poros lygiagrečių juostinių ominių kontaktų sujungtos su atitinkamais dviem pastoviosios įtampos maitinimo šaltiniais – pirmuoju \mathcal{E}_1 ir antruoju \mathcal{E}_2 .

Dar kitame puslaidininkinio lazerio supaprastintame konstrukcijos variante kitaip padaryta valdymo grandinė, kurioje anodo A ir katodo Kt išvadai sujungti su pirmojo pastoviosios įtampos maitinimo-valdymo šaltinio U_{AK} atitinkamais poliais – teigiamo „+“ ir neigiamo „-“ poliškumais.

Dvigubos injekcijos keičiamo bangos ilgio puslaidininkinio lazerio (DIKBIPL) konstrukcijos bendrasis vaizdas ir jungimo grandinės principinė schema yra parodyti Fig. 1, a, o puslaidininkinio įtaiso schemotechninis žymuo – Fig. 1, b. Puslaidininkinio įtaiso konstrukcijos varianto su mezaplanariniais n-p-n ir p-n-p tranzistoriais pjūvis ir grandinės principinė jungimo schema yra parodytas Fig. 2. Puslaidininkinio įtaiso optinės generacijos aktyviojoje i- srityje sudaryto elektrinio lauko stiprio E linijų konfigūracija, esant įvairioms pastoviosios įtampos maitinimo šaltinių \mathcal{E}_1 ir \mathcal{E}_2 vertėms yra parodytos Fig. 3, čia: a – kai $\mathcal{E}_1 < \mathcal{E}_2$, ir b – kai $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$, ten taip pat yra pateiktos draustinių energijų juostos pločio ΔE_g kitimo diagramos optinės generacijos aktyviojoje i- srityje. Fig.4, a yra parodytas paprastesnės – diodinės konstrukcijos puslaidininkinio įtaiso variantas, o Fig.4, b – draustinių energijų juostos pločio ΔE_g kitimo diagrama optinės generacijos aktyviojoje i- srityje. Fig. 1–Fig. 4 skaičiais pažymėta: 1 – savitojo laidumo – i- tipo puslaidininkinė optinės generacijos aktyvioji sritis; 2–4 – p-n-p tranzistorinio darinio atitinkamai p- kolektorius K_p , n- bazė B_n ir p- emiteris E_p ; 5–7 – n-p-n tranzistorinio darinio atitinkamai n- kolektorius K_n , p- bazė B_p ir n- emiteris E_n ; 8 ir 9 – tranzistorinių darinių p-n-p ir n-p-n atitinkamos kolektorinės paslėptos p^+ - ir n^+ - sritys; 10 ir 11 – atitinkami n^+ - ir p^+ - žiedai, suformuoti aplink atitinkamas paslėptas p^+ - (8) ir n^+ - (9) sritis; 12 ir 13 – Fabri-Pero optinio rezonatoriaus veidrodžiai, atitinkamai dalinio atspindžio ir visiško atspindžio; 14 – bendras ominis kontaktas K_o , sujungtas su visiško atspindžio veidrodžiu 13 ir kartu su „žeme“ – nulinio potencialo šyna 14; 15–16 ir 17–18 – atitinkamai dvi poros lygiagrečių juostinių ominių kontaktų; 19 ir 20 – atitinkamai pirmasis ir antrasis valdymo įtampos šaltiniai $U_{in(1;2)}$; 21 ir 22 – atitinkamai pirmasis ir antrasis pastoviųjų įtampų $\mathcal{E}_{(1;2)}$ maitinimo šaltiniai; 23 ir 24 – atitinkamai anodo A ir katodo Kt ominiai kontaktai – išvadai. Fig. 5 yra parodytos puslaidininkinio įtaiso (Fig. 1, a ir Fig. 2) veikos laiko t diagramos, kai poveikiai yra harmoniniai signalai. Fig. 6 yra parodyta spinduliuojamų optinių impulsų $\Phi(t)$ srauto intensyvumo Φ_o priklausomybė nuo poveikio harmoninių signalų $u_{in(1;2)}(t)$ fazių $\varphi_{in(1;2)}$ skirtumo $\Delta\varphi = \varphi_{in1} - \varphi_{in2}$, kai šių poveikių signalų $u_{in(1;2)}(t)$ dažniai $\omega_{in1} = \omega_{in2}$. Fig. 7 yra parodytos puslaidininkinio

įtaiso (Fig. 1, a ir Fig. 2) veikos laiko t diagramos, kai poveikių harmoninių signalų $u_{in(1;2)}(t)$ dažniai $\omega_{in(1;2)}$ skiriasi du kartus – $\omega_{in2} = 2 \cdot \omega_{in1}$.

DIKBIPL (Fig. 1, a) yra sudarytas iš optinės generacijos aktyviosios srities 1, kuri yra padaryta iš savitojo laidumo – i– tipo puslaidininkio ir ši aktyvioji i– sritis 1 yra patalpinta tarp dviejų lygiagrečių veidrodžių 12 ir 13, sudarančių Fabri-Pero optinį rezonatorių, kurio, pavyzdžiui, veidrodis 12 yra dalinai atspindintis, o veidrodis 13 yra visiškai atspindintis, pavyzdžiui, padarytas iš užgarinto aliuminio (Al) sluoksnio su bendroju ominių kontaktu K_o (14). Priešingose aktyviosios i– srities 1 pusėse, nesančiose tarp veidrodžių 12 ir 13, yra suformuoti atitinkami tranzistoriniai p–n–p (2–4) ir n–p–n (5–7) dariniai – mezastruktūros, turintys po vieną atitinkamą emiterio $E_p - (4)$ ir $E_n - (7)$ bei bazės $B_n - (3)$ ir $B_p - (6)$ ominių kontaktus, o atitinkamos kolektorinės p– (2) ir n– (5) sritys yra suformuotos ant aktyviosios i– srities 1 atitinkamų priešpriešiais esančių paviršių, neturinčių veidrodžių. Aktyviosios i– srities 1 priešpriešiais esančiuose dvejuose likusių laisvų paviršių priešpriešiniuose kraštuose yra suformuotos po dvi poros lygiagrečių juostinių ominių kontaktų, atitinkamai 15-16 ir 17-18, orientuotų statmenai paviršiams su veidrodžiais 12 ir 13.

Kitame DIKBIPL variante (Fig. 2) optinės generacijos aktyvioji i– sritis 1 yra patalpinta tarp p– (2) ir n– (5) sluoksnių ir šiuose p– (2) ir n– (5) sluoksniuose yra suformuoti planariniai mezastruktūros atitinkami tranzistoriniai p–n–p⁺ (2–4) ir n–p–n⁺ (5–7) dariniai, kuriuose p⁺– (4) ir n⁺– (7) sritys – emiteriai, atitinkamai $E_p - (4)$ ir $E_n - (7)$, yra suformuoti atitinkamų p– (2) ir n– (5) sluoksnių paviršiuose, o i– srityje 1 priešais tranzistorinius p–n–p⁺ (2–4) ir n–p–n⁺ (5–7) darinius yra suformuotos atitinkamos kolektorinės paslėptos p⁺– (8) ir n⁺– (9) sritys, aplink kurias yra suformuoti atitinkami n⁺– (11) ir p⁺– (10) žiedai. Atstumas d_1 tarp paslėptų p⁺– (8) ir n⁺– (9) kolektorinių sričių yra padarytas mažesnis už krūvininkų mažiausią difuzijos ilgį $L_{d\ min} > d_1$ i– srityje 1 ir kartu didesnis už $(0,5 \cdot L_{d\ min}) < d_1$, o atstumas d_2 tarp n⁺– (11) ir p⁺– (10) žiedų yra padarytas didesnis už n⁺–i (11–1) ir p⁺–i (10–1) sandūrų nuskurdintų sričių suminį didžiausią storį $d_{max+} < d_2$ i– srityje 1, čia n⁺–i (11-1) ir p⁺–i (10-1) sandūros yra tarp i– srities 1 ir atitinkamai n⁺– (11) ir p⁺– (10) žiedų. Atstumas d_3 tarp p–n–p⁺ (2–4) darinio n– bazės B_n sluoksnio 3 ir paslėptos p⁺– srities 8, ir kartu atstumas d_3 tarp n–p–n⁺ (5–7) darinio p– bazės B_p sluoksnio 6 ir paslėptos n⁺– srities 9, yra padaryti mažesni už kolektorinių p–n sandūrų 2–3 ir 5–6 nuskurdintų sričių neutralų storį $d_{pn\ o} > d_3$ atitinkamuose kolektorių p– (2) ir n– (5) srityse, o paslėptų p⁺–

(8) ir n^+ – (9) sričių plotai $S_{(p, n)}$ yra padaryti didesni už atitinkamų p^+ – (4) ir n^+ – (7) emiterių E_p – (4) ir E_n – (7) atitinkamus plotus $S_{(E_p, E_n)} < S_{(p, n)}$.

Dar kitame DIKBIPL variante (Fig. 4) įtaiso konstrukcija yra padaryta supaprastinta, o būtent, vietoje tranzistorinių p^+ – n – p ir n^+ – p – n darinių betarpiškai ant paslėptų p^+ – (8) ir n^+ – (9) sričių yra suformuoti atitinkami anodo A – (23) ir katodo Kt – (24) ominiai kontaktai – metalo, pavyzdžiui, aliuminio (Al) sluoksniai su anodo A – (23) ir katodo Kt – (24) išvadais.

DIKBIPL (Fig. 2) gali būti pagamintas, pavyzdžiui, silicio (Si) planarinės technologijos būdu tokia operacijų seka: 1 – savitojo – i– laidumo plokštelės 1 abėjuose priešinguose pusėse, pavyzdžiui, difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant donorines priemaišas $N_{d (n^+)} = 10^{18}–10^{20} \text{ cm}^{-3}$ vienoje – pirmojoje pusėje yra suformuojama stipriai legiruota paslėpta n^+ – sritis 9 ir kartu kitoje – antrojoje pusėje – stipriai legiruotas paslėptas n^+ – žiedas 11; 2 – pavyzdžiui, difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant akceptorines priemaišas $N_{a (p^+)} = 10^{18}–10^{20} \text{ cm}^{-3}$ pirmojoje pusėje yra suformuojamas stipriai legiruotas p^+ – žiedas 10 ir kartu antrojoje pusėje – stipriai legiruota paslėpta p^+ – sritis 8; 3 – ant pirmosios ir antrosios pusių paviršių, pavyzdžiui, molekulinės epitaksijos būdu yra užauginami atitinkami n – (5) ir p – (2) sluoksniai su vidutiniškai stipriu legiravimu $N_{(d (n); a (p))} = 10^{16}–10^{18} \text{ cm}^{-3}$; 4 – difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant donorines priemaišas $N_{d (B)} = 10^{16}–10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p – sluoksnyje 2 yra suformuojamas vidutiniškai stipriai legiruotas n – sluoksnis 3 – bazė B_n ; 5 – difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant akceptorines priemaišas $N_{a (B)} = 10^{16}–10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n – sluoksnyje 5 yra suformuojamas vidutiniškai stipriai legiruotas p – sluoksnis 6 – bazė B_p ; 6 – difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant akceptorines priemaišas $N_{a (E)} = 10^{18}–10^{20} \text{ cm}^{-3}$ n – sluoksnyje 3 yra suformuojamas stipriai legiruotas p^+ – sluoksnis 4 – emiteris E_p ; 7 – difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant donorines priemaišas $N_{d (E)} = 10^{18}–10^{20} \text{ cm}^{-3}$ p – sluoksnyje 6 yra suformuojamas stipriai legiruotas n^+ – sluoksnis 7 – emiteris E_n ; 8 – pavyzdžiui, metalo dulkinimo – vakuuminio garinimo būdu ant atitinkamų sričių paviršių yra sudaromi ominiai kontaktai K_o ir kartu neskaidrus veidrodis 13, $B_{n, p}$, $E_{n, p}$ ir juostelių pavidalo kontaktai 15-16, bei 17-18.

Dar kitas DIKBIPL variantas (Fig. 4) gali būti pagamintas, pavyzdžiui, Si planarinės technologijos būdu tokia operacijų seka: 1 – savitojo – i– laidumo plokštelės 1 abėjuose priešinguose pusėse, pavyzdžiui, difuzijos arba joninės

implantacijos būdu įterpiant donorines priemaišas $N_d (n^+) = 10^{18} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ vienoje – pirmojoje pusėje yra suformuojama stipriai legiruota paslėpta n^+ – sritis 9 ir kartu kitoje – antrojoje pusėje – stipriai legiruotas paslėptas n^+ – žiedas 11; 2 – difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant akceptorines priemaišas $N_a (p^+) = 10^{18} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ pirmojoje pusėje yra suformuojamas stipriai legiruotas p^+ – žiedas 10 ir kartu antrojoje pusėje – stipriai legiruota paslėpta p^+ – sritis 8; 3 – pavyzdžiui, metalo dulkinimo – vakuuminio garinimo būdu ant atitinkamų sričių paviršių yra sudaromi ominiai kontaktai K_o ir kartu neskaidrus veidrodis 13, A, K_D ir juostelių pavidalo kontaktai 15-16, bei 17-18.

DIKBIPL (Fig. 1, a ir Fig. 2), turinčio du skirtingo tipo $p-n-p^+$ (2–4) ir $n-p-n^+$ (5–7) dvipolius tranzistorius su atitinkamais emiterių $E_{(p; n)}$ ir bazių $B_{(n; p)}$ išvadais, bei bendru aktyviosios i – srities 1 išvadu K_o – (13), bazių išvadai $B_{(n; p)}$ (3 ir 6) yra sujungti su bendru išvadu K_o – (13) ir kartu su „žeme“ (14) – nulinio potencialo šyna 14. Vienas iš emiterių $E_{(p; n)}$, pavyzdžiui, E_p (4) yra sujungtas su pirmojo įėjimo $U_{in 1}$ valdymo įtampos $u_{in 1}(t)$ šaltinio 19 pirmuoju poliumi, o kitas emiteris E_n (7) yra sujungtas su antrojo įėjimo $U_{in 2}$ – antrojo valdymo įtampos $u_{in 2}(t)$ šaltinio 20 pirmuoju poliumi, o šių šaltinių 19 ir 20 atrieji poliai yra sujungti su „žeme“ 14. Pirmosios poros lygiagrečių metalo juostelių 15 ir 16 išvadai yra sujungti su pastoviosios įtampos \mathcal{E}_1 pirmuoju šaltiniu 21, o antrosios poros lygiagrečių metalo juostelių 17 ir 18 išvadai yra sujungti su pastoviosios įtampos \mathcal{E}_2 antruoju šaltiniu 22.

Kitame DIKBIPL jungimo grandinės variante (Fig. 4) yra įjungtas supaprastintos konstrukcijos puslaidininkinis įtaisas, kurio anodas A – (23) ir katodas Kt – (24) yra sujungti su įtampos U_{AK} valdymo-maitinimo šaltiniu, pirmosios poros lygiagrečių metalo juostelių 15 ir 16 išvadai yra sujungti su pastoviosios įtampos \mathcal{E}_1 pirmuoju maitinimo šaltiniu 21, o antrosios poros lygiagrečių metalo juostelių 17 ir 18 išvadai – su pastoviosios įtampos \mathcal{E}_2 antruoju maitinimo šaltiniu 22.

DIKBIPL (Fig. 1, a ir Fig. 2) veikia tokiu būdu.

Įjungia pastoviųjų įtampų $\mathcal{E}_{(1; 2)}$ šaltinius 21 ir 22, ir pradiniu laiko momentu $t = 0$ tranzistoriniai dariniai $p-n-p^+$ (2–4) ir $n-p-n^+$ (5–7) yra „išjungtose“ – „uždarytose“ būsenose, ir todėl reakcijos signalas – šviesos srautas $\Phi(t) = 0$. Įjungia poveikių įtampų $u_{in (1; 2)}(t)$ atitinkamus valdymo šaltinius 19 ir 20, o reakcijos signalo – šviesos srauto $\Phi(t)$ parametrai – intensyvumas $\Phi_o(t)$ ir fotonų energija

$E_{\Phi} = h \cdot \nu$, čia: h – Planko konstanta; ν – fotono dažnis, priklauso nuo poveikių įtampų $u_{in(1;2)}(t)$ parametrų, bei nuo pastoviųjų įtampų \mathcal{E}_1 (21) ir \mathcal{E}_2 (22) tarpusavio palyginamųjų verčių. Kai poveikių signalai $u_{in(1;2)}(t)$ yra, pavyzdžiui, tokio pat dažnio $\omega_{in(1;2)}$ ir vienodų fazių $\varphi_{in(1;2)}$ harmoniniai signalai $u_{in(1;2)}(t) = \pm U_{o(1;2)} \cdot \sin(\omega_{in(1;2)} \cdot t \pm \varphi_{in(1;2)})$, čia $U_{o(1;2)}$ – atitinkamų poveikių signalų $u_{in(1;2)}(t)$ amplitudės, tai šiuo atveju šviesos srauto $\Phi(t)$ amplitudė $\Phi_o = 0$ ir nepriklauso nuo $\mathcal{E}_{(1;2)}$ verčių, nes elektronai n ir skylės p į aktyviają i –sritį 1 patenka skirtingais laiko t momentais – skylės p teigiamojo pusperiodžio metu, o elektronai n – neigiamojo pusperiodžio metu. Kai poveikių signalų $u_{in(1;2)}(t)$ fazės $\varphi_{in(1;2)}$ yra skirtingos ir jų skirtumas $\Delta\varphi = |\varphi_{in1} - \varphi_{in2}| = 180^\circ = \pi$ rad, tai šiuo atveju $\Phi(t)$ yra impulsų pavidalo su amplitudės Φ_o didžiausiu intensyvumu $\Phi_{o\max}$, ir tai yra parodyta laiko t diagramose Fig. 5, čia taip pat yra pateiktos poveikių signalų $u_{in(1;2)}(t)$ ir reakcijos $\Phi(t)$ laiko t diagramos. Iš Fig. 5, a ir b matome: laiko momentu t_1 poveikių signalai $u_{in(1;2)}(t_1) = |U_s|$ – slenkstinė įtampa, kai tranzistoriniai dariniai p – n – p^+ (2–4) ir n – p – n^+ (5–7) yra iš dalies „pradaryti“ tiek, kad į aktyviają i –sritį 1 injektuojamų skylių p ir elektronų n pakanka užpildos inversijai – apgražai sudaryti, kurios metu priverstinė spinduliuojamoji rekombinacija viršija savaiminę rekombinaciją. Nuo šio momento t_1 iki momento $t_1^* > t_1$, optinės spinduliuotės srauto $\Phi(t)$ amplitudė Φ_o didėja iki $\Phi_{o\max}(t_1^*)$, ir toliau didėjant $t > t_1^*$, srauto $\Phi(t)$ amplitudė Φ_o mažėja, ir laiko momentu $t_2 > t_1^*$ amplitudė $\Phi_o = 0$ (Fig. 5, c), nes $u_{in(1;2)}(t_2) = |U_s|$. Kai laikas t yra intervale $T \geq t \geq T/2$, turime poveikių signalus $u_{in(1;2)}(t)$, kurių pusperiodžių poliškumai atitinka tranzistorinių darinių p – n – p^+ (2–4) ir n – p – n^+ (5–7) „uždarymo“ kryptį. Todėl šie dariniai yra „uždarytose“ būsenose ir iš čia $\Phi_o |_{T \geq t \geq T/2} = 0$. Kai $t > T$ ir toliau didėja, laiko momentu $t_3 > T$ poveikių signalai $u_{in(1;2)}(t_3) = |U_s|$, ir todėl tranzistoriniai dariniai p – n – p^+ (2–4) ir n – p – n^+ (5–7) iš dalies „prasidaro“ tiek, kad $\Phi_o > 0$, ir toliau procesai kartojasi – puslaidininkinis lazeris (Fig. 1, a ir Fig. 2) spinduliuoja optinius impulsus $\Phi(t)$, kuriuose fotonų energija $E_{\Phi} = h \cdot \nu$. Fotonų energija $E_{\Phi} \cong \Delta E_g$ – aktyviosios i –srities 1 puslaidininkinės medžiagos elektronų draustinių energijų E_g juostos plotis. Spinduliuojamų optinių impulsų $\Phi(t)$ pasikartojimo dažnis $\omega_{\Phi} = \omega_{in(1;2)}$. Optinės spinduliuotės $\Phi(t)$ bangos dažnis ν arba ilgis λ yra ΔE_g funkcija:

$$\lambda \cong h \cdot c_i / \Delta E_g, \quad (1)$$

čia c_1 – šviesos greitis aktyviojoje i– srityje 1.

Iš (1) kyla būdas keisti spinduliuojamo optinio signalo $\Phi(t)$ bangos ilgį λ , keičiant aktyviosios i– srities 1 puslaidininkinės medžiagos elektronų draustinių energijų E_g juostos plotį ΔE_g . Tai puslaidininkiniame lazeryje (Fig. 1, a ir Fig. 2) yra pasiekama keičiant pastoviųjų įtampų \mathcal{E}_1 (21) ir \mathcal{E}_2 (22) tarpusavio palyginamąsias vertes. Kai $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$ (Fig. 2) ir šių šaltinių 21 ir 22 teigiamieji poliai yra sujungti su elektrodais 16 ir 18, o neigiamieji poliai su elektrodais 15 ir 17, tai šuo atveju atitinkamų elektrinių laukų E_1 ir E_2 veikiami injektuoti elektronai n ir skylės p didžiausius tankius sudarys aktyviosios i– srities 1 centrinėje srityje, kurioje $\Delta E_g(y) = \Delta E_{g \text{ vid}}$ – vidutinė vertė. Todėl spinduliuojamo optinio signalo $\Phi(t)$ bangos ilgį $\lambda(\mathcal{E}_1/\mathcal{E}_2) = \lambda_{\text{vid}}$. Kai $\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$ (Fig. 3, a), tai šuo atveju atitinkamų elektrinių laukų $E_2 > E_1$ veikiami injektuoti elektronai n ir skylės p didžiausius tankius sudarys aktyviosios i– srities 1 dalyje, esančioje arčiau kontaktų 15-16, kurioje $\Delta E_g(y) = \Delta E_{g \text{ max}}$ – maksimali – didesnė vertė, ir todėl spinduliuojamo optinio signalo $\Phi(t)$ bangos ilgį $\lambda(\mathcal{E}_1/\mathcal{E}_2) = \lambda_{\text{max}} > \lambda_{\text{vid}}$. Kai $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$ (Fig. 3, b), tai šuo atveju atitinkamų elektrinių laukų $E_1 > E_2$ veikiami injektuoti elektronai n ir skylės p didžiausius tankius sudarys aktyviosios i– srities 1 dalyje, esančioje arčiau kontaktų 17-18, kurioje $\Delta E_g(y) = \Delta E_{g \text{ min}}$ – minimali – mažesnė vertė, ir todėl spinduliuojamo optinio signalo $\Phi(t)$ bangos ilgį $\lambda(\mathcal{E}_1/\mathcal{E}_2) = \lambda_{\text{min}} < \lambda_{\text{vid}}$. Taigi, keisdami santykio $\mathcal{E}_1/\mathcal{E}_2$ vertę, keičia spinduliuojamo optinio signalo $\Phi(t)$ bangos ilgį λ .

Kitame DIKBIPL jungimo grandinės variante (Fig. 4), DIKBIPL veikia panašiu būdu, kaip ir DIKBIPL, parodytas Fig. 1, a ir Fig. 2. Čia elektronai n ir skylės p į aktyviają i– sritį 1 yra injektuojami taip pat, kaip ir analoge – per atidarytą $p^+ - i - n^+$ sandūrą 8-1-9, ir aktyviojoje i– srityje 1 rekombinuoja generuodami fotonus $E_\Phi = h \cdot \nu$, o spinduliuojamo optinio signalo $\Phi(t)$ bangos ilgį λ keičia keisdami santykio $\mathcal{E}_1/\mathcal{E}_2$ vertę.

Iš Fig. 5 matome, kad spinduliuojamų optinių impulsų $\Phi(t)$ srauto intensyvumas ir kartu optinė galia P_Φ priklauso nuo poveikio signalų $u_{\text{in}(1;2)}(t)$ fazių $\varphi_{\text{in}(1;2)}$ skirtumo $\Delta\varphi$ taip, kaip tai yra parodyta Fig. 6, čia Φ_0 – optinių impulsų $\Phi(t)$ amplitudė. Analogiška priklausomybė bus ir nuo poveikio signalų $u_{\text{in}(1;2)}(t)$ dažnių $\omega_{\text{in}(1;2)}$ skirtumo $\Delta\omega = |\omega_{\text{in}1} - \omega_{\text{in}2}|$, kai yra tenkinama sąlyga $\Delta\omega/\omega_{\text{in}(1;2)} \leq 0,2-0,3$. Tai praplečia DIKBIPL funkcines savybes, leidžiančias jį taikyti fazinės-dažninės

detekcijos įtaisuose. Kai, pavyzdžiui, $\omega_{in 2} = 2 \cdot \omega_{in 1}$, tai šuo atveju turime dažnio dalinimą iš dviejų ir ši veika yra parodyta laiko t diagramomis Fig. 7. Iš Fig. 7 matome, kad optinė spinduliuotė $\Phi(t) > 0$ yra galima tik laiko tarpais t_1-t_2 , t_3-t_4 , ir t. t., nes tik tada elektronai n ir skylės p kartu – tuo pačiu laiko momentu patenka į aktyviąją i –sritį 1. Tai taip pat padidina puslaidininkinio lazerio funkcinės savybes. Dvipolių tranzistorinių darinių $p-n-p^+$ (2–4) ir $n-p-n^+$ (5–7) veikimo sparta gali siekti dešimtis GHz ir tai padidina šios konstrukcijos puslaidininkinio lazerio veikimo spartą.

Atsižvelgiant į išnagrinėto puslaidininkinio įtaiso veiką, jį galima vadinti *dvigubos injekcijos keičiamo bangos ilgio puslaidininkiniu lazeriu* – DIKBIPL.

Palyginus su analogu, pasiūlytas DIKBIPL pasižymi didesne veikimo sparta, didesnėmis funkcinėmis savybėmis ir didesnėmis energetinėmis charakteristikomis.

IŠRADIMO APIBRÉŽTIS

1. Dvigubos injekcijos keičiamo bangos ilgio puslaidininkinis lazeris (DIKBIPL), sudarytas iš dviejų skirtingo laidumo sluoksnių – skylinio (p–) ir elektroninio (n–), sudarančių p–n sandūrą, kurioje yra optinės generacijos aktyvioji sritis, n– ir p– sluoksnių paviršiuose sumontuoti ominiai kontaktai, o p–n sandūros darinys padarytas Fabri-Peró optinio rezonatoriaus pavidalu, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad optinės generacijos aktyvioji sritis padaryta iš savitojo laidumo – i– tipo varizoninio puslaidininkio, kuriame draustinių energijų juostos plotis ΔE_g kinta Fabri-Peró optinio rezonatoriaus veidrodžių kryptimi ir ši aktyvioji i– sritis patalpinta tarp dviejų lygiagrečių veidrodžių, sudarančių Fabri-Peró optinį rezonatorių, kuriame aktyviosios i– srities vienas iš paviršių, esančių lygiagrečiai tarp veidrodžių, turi bendrą ominį kontaktą K_o , priešinguose aktyviosios i– srities pusėse, nesančiuose tarp veidrodžių, suformuoti atitinkami tranzistoriniai n–p–n ir p–n–p dariniai, turintys po vieną atitinkamą emiterio $E_{(n; p)}$ ir bazės $B_{(p; n)}$ ominių kontaktus, n–p–n ir p–n–p darinių atitinkamos kolektorinės n– ir p– sritys suformuotos ant aktyviosios i– srities atitinkamų priešpriešiais esančių paviršių, aktyviosios i– srities priešpriešiais esančiuose dvejuose likusių laisvų paviršių priešpriešiniuose kraštuose suformuotos po dvi poros lygiagrečių juostinių ominių kontaktų su atitinkamomis išvadų poromis, o ominių kontaktų lygiagrečios juostelės yra orientuotos statmenai paviršiams su veidrodžiais.

2. DIKBIPL pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad optinės generacijos aktyvioji i– sritis patalpinta tarp p– ir n– sluoksnių, kuriuose suformuotos planarinės mezakonstrukcijos atitinkami tranzistoriniai p^+n-p ir n^+p-n dariniai, kuriuose p^+ – ir n^+ – sritys – atitinkamai emiteriai E_p ir E_n suformuoti atitinkamų p– ir n– sluoksnių paviršiuose, i– srityje priešais tranzistorinius p^+n-p ir n^+p-n darinius suformuotos atitinkamos kolektorinės paslėptos p^+ – ir n^+ – sritys, aplink kurias suformuoti atitinkami n^+ – ir p^+ – žiedai, atstumas d_1 tarp paslėptų n^+ – ir p^+ – sričių padarytas mažesnis už krūvininkų mažiausią difuzijos ilgį $L_{d \min}$ i– srityje, $L_{d \min} > d_1$, ir kartu didesnis už $(0,5 \cdot L_{d \min}) < d_1$, atstumas d_2 tarp n^+ – ir p^+ – žiedų padarytas didesnis už n^+ –i ir p^+ –i sandūrų nuskurdintų sričių suminį didžiausią storį $d_{\max+}$ i– srityje, $d_{\max+} < d_2$, čia n^+ –i ir p^+ –i sandūros yra tarp i– srities ir atitinkamai n^+ – ir p^+ – žiedų, atstumas d_3 tarp p^+n-p darinio n– bazės B_n sluoksniu ir paslėptos p^+ – srities ir kartu atstumas d_3 tarp n^+p-n darinio p– bazės B_p sluoksniu ir paslėptos n^+ – srities

padaryti mažesni už kolektorinių p–n sandūrų nuskurdintų sričių neutralų storį $d_{pn0} > d_3$ atitinkamose kolektorių p– ir n– srityse, paslėptų p⁺– ir n⁺– sričių plotai $S_{(p, n)}$ padaryti didesni už atitinkamų p⁺– ir n⁺– emiterių $E_{(p, n)}$ atitinkamus plotus $S_{(E_p, E_n)} < S_{(p, n)}$.

3. DIKBIPL pagal 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad įtaiso konstrukcija padaryta be tranzistorinių p⁺–n–p ir n⁺–p–n darinių, o vietoje jų betarpiškai ant paslėptų p⁺– ir n⁺– sričių suformuoti atitinkami anodo A ir katodo Kt ominiai kontaktai – metalo sluoksniai su anodo A ir katodo Kt išvadais.

4. DIKBIPL jungimo grandinė, sudaryta iš puslaidininkinio įtaiso ir pastoviosios įtampos maitinimo-valdymo šaltinio, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad puslaidininkinis įtaisas padarytas pagal 1 ir 2 punktus – turi du skirtingo laidumo tranzistorinius n–p–n ir p–n–p darinius su atitinkamais emiterių $E_{(n, p)}$ ir bazių $B_{(p, n)}$ išvadais, bei aktyviają i– sritį su atitinkamais bendru ominių kontaktu K_0 ir lygiagrečių juostinių ominių kontaktų atitinkamomis išvadų poromis, bazių išvadai $B_{(p, n)}$ ir aktyviosios i– srities bendras ominis kontaktas K_0 sujungti su „žeme“ – nulinio potencialo šyna, vienas iš emiterių $E_{(n, p)}$, pavyzdžiui, E_p sujungtas su pirmojo valdymo įtampos šaltinio U_{in1} pirmuoju poliumi, o kitas emiteris E_n – su papildomo – antrojo valdymo įtampos šaltinio U_{in2} pirmuoju poliumi ir šių šaltinių atrieji poliai sujungti su „žeme“, o lygiagrečių juostinių ominių kontaktų atitinkamos dvi poros išvadų sujungtos su atitinkamais dviem pastoviųjų įtampų maitinimo šaltiniais – pirmuoju \mathcal{E}_1 ir antruoju \mathcal{E}_2 .

5. DIKBIPL jungimo grandinė pagal 3 4 punktus, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad įtaiso anodo A ir katodo Kt išvadai sujungti su pirmojo įtampos maitinimo-valdymo šaltinio U_{AK} atitinkamais poliais – teigiamo „+“ ir neigiamo „-“ poliškumais.

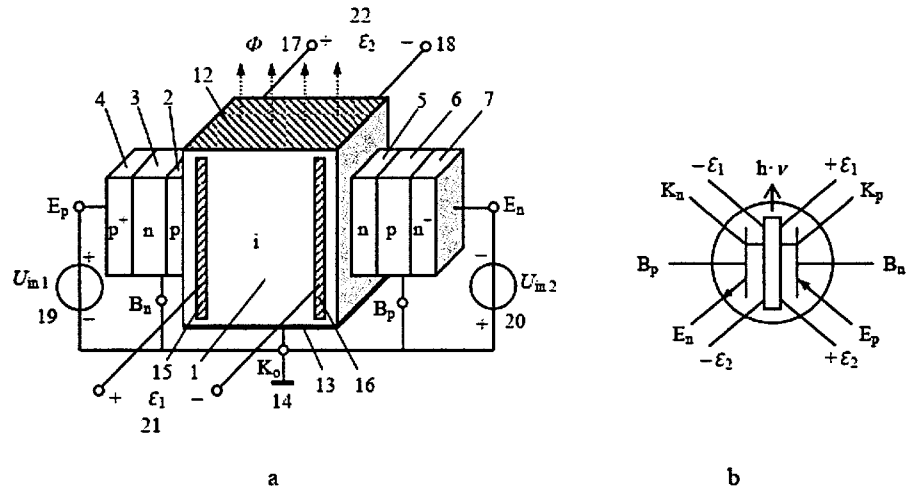


Fig. 1

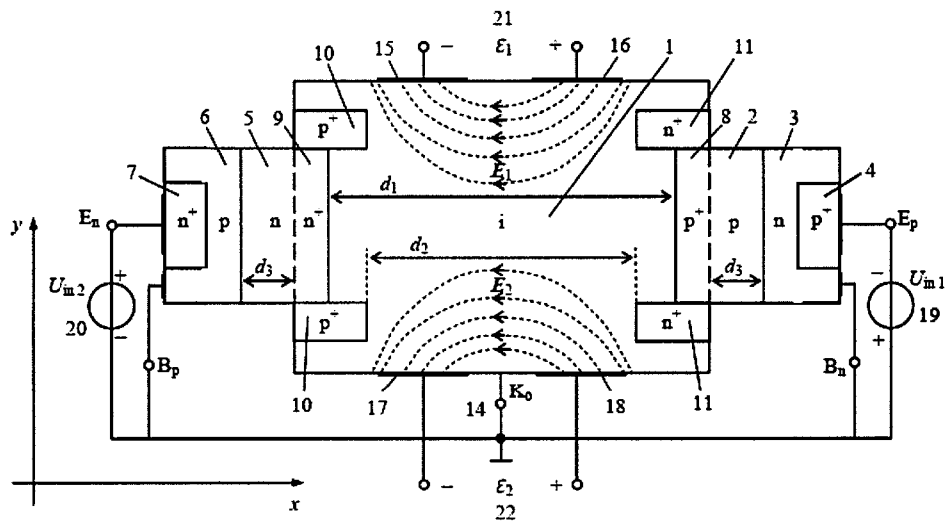


Fig. 2

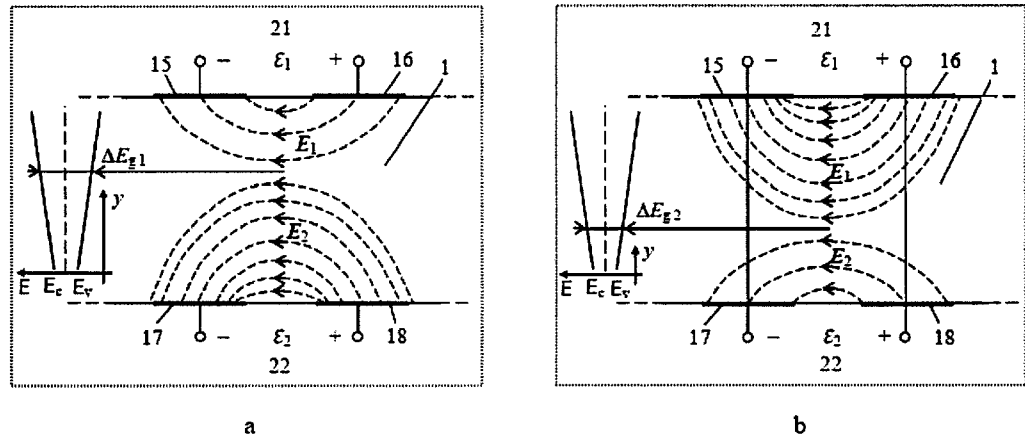


Fig. 3

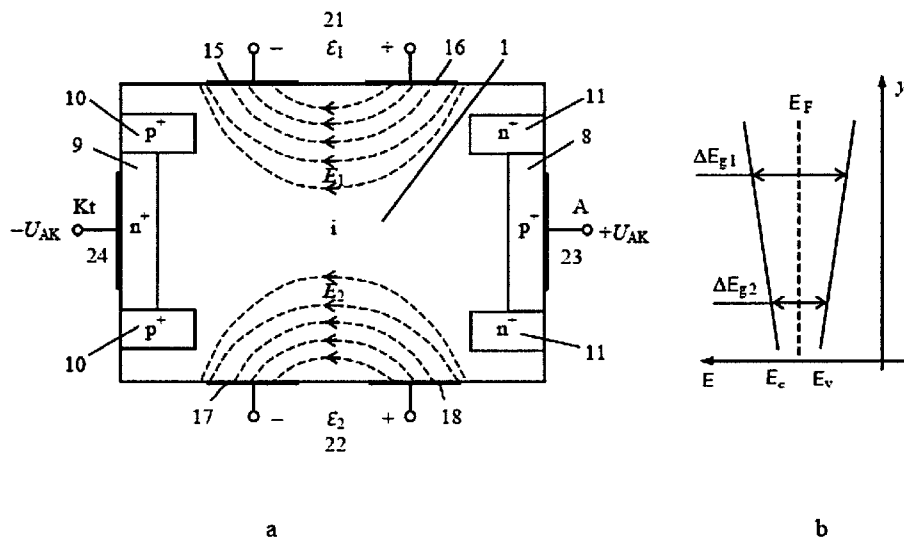


Fig. 4

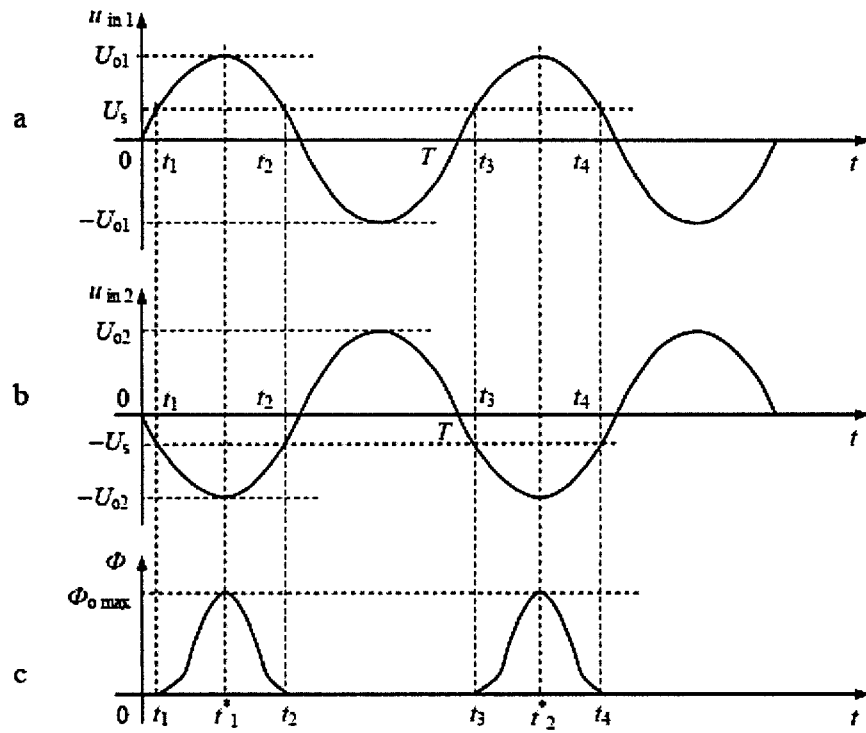


Fig. 5

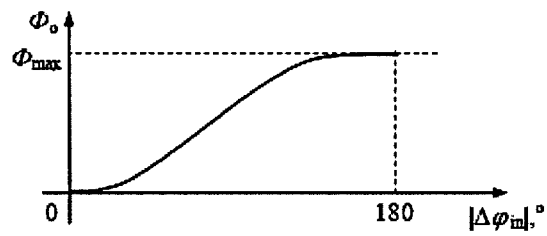


Fig. 6

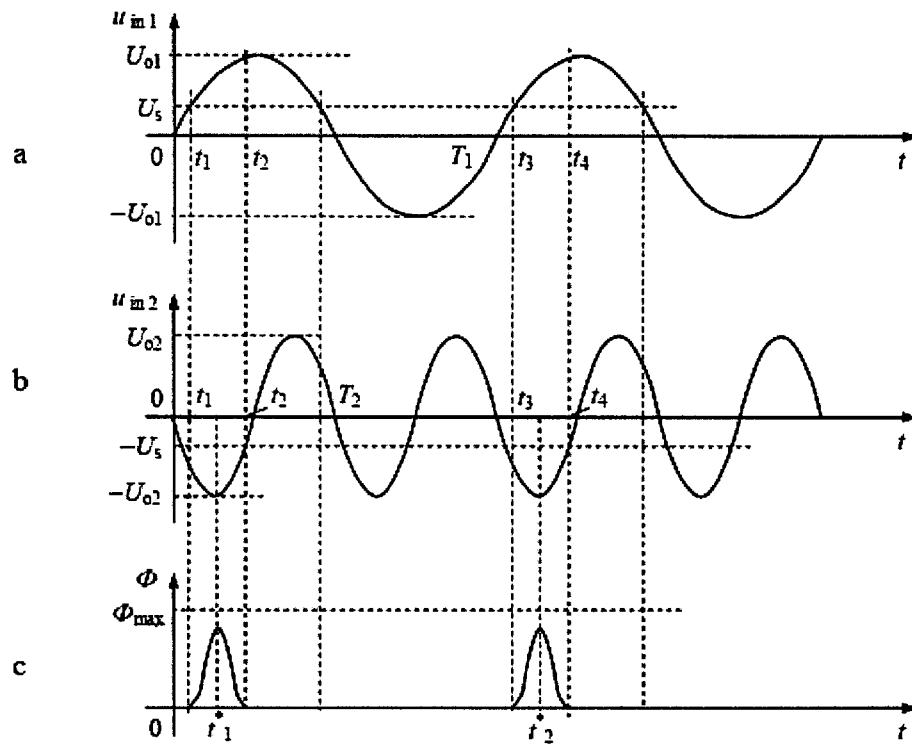


Fig. 7