

- (11) Patento numeris: **6858** (51) Int. Cl. (2021.01): **H01S 5/00**  
**H01L 31/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2020 003** **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, Kryžiokų sodų 8-oji g. 94, Vilnius, LT**
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:  
—

- (54) Pavadinimas:  
**Dvigubos injekcijos puslaidininkinis 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 metodas į savitojo - i- laidumo puslaidininkinę optinės generacijos - aktyviąją i- sritį, kurioje skylių p ir elektronų n injekcijos šaltiniai yra tranzistoriai p+-n-p ir n+-p-n dariniai, sumontuoti betarpiškai i- srityje. Palyginus su analogu, pasiūlyti puslaidininkinio lazerio variantai ir įtaisai su jais 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 – skylinio (p–) ir elektroninio (n–), sudarančių p–n sandūrą, n– ir p– sluoksnių paviršiuose yra sumontuoti ominiai kontaktai atitinkamai katodo Kt 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, jog optinės generacijos aktyvioji sritis negali būti laisvai parenkamų geometrinių ir elektrinių parametrų, o tai riboja įtaiso funkcinės savybes ir todėl elektrooptiniai parametrai nėra optimalūs.

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 puslaidininkio, ši aktyvioji i– sritis patalpinta tarp dviejų lygiagrečių veidrodžių, sudarančių Fabri-Peró optinį rezonatorių, priešingose aktyviosios i– srities pusėse, nesančiose tarp veidrodžių, suformuoti atitinkami tranzistoriniai  $n^+p-n$  ir  $p^+n-p$  dariniai, kurių išorinės stipriai legiruotos  $n^+$ – ir  $p^+$ – sritys – emiteriai  $E_{(n, p)}$  ir vidurinės vidutiniškai stipriai legiruotos p– ir n– sritys – bazės  $B_{(p, n)}$  turi po vieną atitinkamą emiterio  $E_{(n, p)}$  ir bazės  $B_{(p, n)}$  ominių kontaktus  $E_{(n, p)}$  ir  $B_{(p, n)}$ , tranzistoriniuose  $n^+p-n$  ir  $p^+n-p$  dariniuose atitinkamos kolektorinės n– ir p– sritys suformuotos ant aktyviosios i– srities atitinkamų priešpriešiais esančių paviršių, o aktyviosios i– srities vienas iš laisvų paviršių turi bendrą ominį kontaktą  $K_o$ .

Kitame puslaidininkinio lazerio variante kitaip padaryta įtaiso konstrukcija, o būtent, optinės generacijos – aktyvioji i– sritis patalpinta tarp p– ir n– sluoksnių, sudarančių su i– sritimi atitinkamas p-i ir n-i sandūras, p– ir n– sluoksniuose

suformuotos planarinės (paviršinės) konstrukcijos atitinkami tranzistoriniai  $p^+ - n - p$  ir  $n^+ - p - n$  dariniai, kuriuose  $p^+$  ir  $n^+$  sritys yra emiteriai, atitinkamai  $E_p$  ir  $E_n$ , kurie 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  $p^+$  ir  $n^+$  sričių padarytas mažesnis už krūvininkų mažiausią difuzijos ilgį  $L_{d \min} > d_1$   $i$  srityje 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  $d_{+ \max} < d_2$   $i$  srityje, 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  $n$  srityje, o paslėptų  $p^+$  ir  $n^+$  sričių plotai  $S_{(p; n)}$  padaryti didesni už atitinkamų  $p^+$  ir  $n^+$  emiterių  $E_{(p; n)}$  plotus  $S_{(E_p; E_n)} < S_{(p; n)}$ .

Dar kitame puslaidininkinio lazerio variante kitaip padarytas įtaisas, o būtent planarinės (paviršinės) konstrukcijos, kurioje, pavyzdžiui, epitaksinis  $i$  sluoksnis užaugintas ant dielektrinio padėklo ir kartu aušinimo radiatoriaus,  $i$  sluoksnyje per visą jo storį iki padėklo suformuotos dvi lygiagrečios  $n$  ir  $p$  sritys, atitinkamai  $n$  ir  $p$  kolektoriai  $K_{n; p}$ , tarp kurių esanti  $i$  sritis yra optinės generacijos – aktyvioji  $i$  sritis,  $n$  ir  $p$  kolektorių  $K_{(n; p)}$  srityse suformuotos atitinkamai  $p$  ir  $n$  sritys, atitinkamai  $p$  ir  $n$  bazės  $B_{(p; n)}$ ,  $p$  ir  $n$  bazių  $B_{(p; n)}$  srityse suformuotos atitinkamai  $n^+$  ir  $p^+$  sritys, atitinkamai  $n^+$  ir  $p^+$  emiteriai  $E_{(n; p)}$ ,  $n$  ir  $p$  kolektorių,  $p$  ir  $n$  bazių,  $n^+$  ir  $p^+$  emiterių, bei aktyviosios  $i$  sričių paviršiuose yra lygiagrečių juostelių pavidalu suformuoti atitinkami metaliniai ominiai kontaktai – išvadai  $K_{(n; p)}$ ,  $B_{(p; n)}$ ,  $E_{(n; p)}$  ir  $K_o$ , išilgai tarp  $p$  bazės kontakto  $B_p$  ir  $n^+$  emiterio kontakto  $E_n$ , bei tarp  $n$  bazės kontakto  $B_n$  ir  $p^+$  emiterio kontakto  $E_p$ , padarytos elektrai nelaidžios izoliacinės sritys, pavyzdžiui, išėsdinti grioveliai ir užpildyti dielektriku, pavyzdžiui,  $SiO_2$ , izoliuojantys pasyviają bazės sritį nuo emiterio srities, o izoliuojančių sričių įterpimo gylis padarytas mažesnis už emiterinių sričių įterpimo gylį.

Planarinės konstrukcijos puslaidininkinio lazerio variante metalinių kontaktų  $E_{(p; n)}$  ir  $B_{(n; p)}$  geometrija yra lygiagrečių juostelių pavidalo ir jų ilgis atitinka aktyviosios  $i$  srities ilgį  $l_i > d_1$ , o planariniai tranzistoriai  $n^+ - p - n$  ir  $p^+ - n - p$  dariniai užima visą aktyviosios  $i$  srities ilgį  $l_i$ .

Kitame planarinės konstrukcijos puslaidininkinio lazerio variante kolektorių  $K_{(p; n)}$  ir bazių  $B_{(p; n)}$  metalinių kontaktų  $K_{(p; n)}$  ir  $B_{(n; p)}$  geometrija yra lygiagrečių juostelių pavidalo ir jų ilgis atitinka aktyviosios  $i$ -srities ilgį  $l_i > d_1$ , o planariniai tranzistoriniai  $n^+p-n$  ir  $p^+n-p$  dariniai padaryti  $N \geq 1, 2, \dots$  celių pavidalu, išdėstyti išilgai aktyviosios  $i$ -srities ilgio  $l_i$  ir užima visą aktyviosios  $i$ -srities ilgį  $l_i$ . Čia celėje esančio tranzistorinio  $n^+p-n$  ir  $p^+n-p$  darinio emiterio  $E_{(n; p)}$  atitinkama  $n^+$ - ir  $p^+$ -sritis nuo bazės  $B_{(p; n)}$  atitinkamos  $p^+$ - ir  $n^+$ -srities izoliuota atitinkamomis elektra nelaidžiomis izoliacinėmis sritimis, paliekant neizoliuotas atitinkamas emiterio  $E_{(n; p)}$  ir bazės  $B_{(p; n)}$  sritys, esančias šalia aktyviosios  $i$ -srities.

Analogo trūkumams pašalinti puslaidininkinio lazerio jungimo grandinėje, sudarytoje iš puslaidininkinio įtaiso ir įtampos šaltinio, kitaip padaryta valdymo grandinė, kurioje puslaidininkinis įtaisas 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 bendru aktyviosios  $i$ -srities išvadu  $K_o$ , bazių išvadai  $B_{(p; n)}$  sujungti su bendru išvadu  $K_o$  ir kartu su „žeme“ – nulinio potencialo šyna, vienas iš emiterių  $E_{(n; p)}$ , pavyzdžiui,  $E_p$  sujungtas su pirmojo įtampos šaltinio pirmuoju poliumi, o kitas emiteris  $E_n$  sujungtas su papildomo – antrojo įtampos šaltinio pirmuoju poliumi ir šių šaltinių atrieji poliai sujungti su „žeme“.

Kitame puslaidininkinio lazerio jungimo grandinės variante yra įjungtas puslaidininkinis įtaisas, papildomai turintis  $p$ - ir  $n$ - kolektorių  $K_{(p; n)}$  atitinkamus išvadus  $K_{(p; n)}$ , kurių vienas, pavyzdžiui,  $K_p$  sujungtas su papildomo – trečiojo įtampos šaltinio pirmuoju poliumi, o kitas kolektorius  $K_n$  sujungtas su papildomo – ketvirtojo įtampos šaltinio pirmuoju poliumi ir šių šaltinių atrieji poliai sujungti su „žeme“.

Dvigubos injekcijos puslaidininkinio lazerio (DIPL) konstrukcijos bendrasis vaizdas ir jungimo grandinės principinė schema yra parodyti Fig. 1, a, o DIPL schemotechninis žymuo – Fig. 1, b. DIPL konstrukcijos varianto su planariniais tranzistoriniais  $n-p-n$  ir  $p-n-p$  dariniais pjūvis yra parodytas Fig. 2. DIPL planarinės konstrukcijos pjūvis yra parodytas Fig. 3, o metalinių kontaktų geometrija ir jų išdėstymas planarinio darinio paviršiuje, kai planariniai tranzistoriniai  $n-p-n$  ir  $p-n-p$  dariniai užima visą aktyviosios  $i$ -srities ilgį  $l_i$ , yra parodyti Fig. 4. Metalinių kontaktų geometrija ir jų išdėstymas planarinio darinio paviršiuje, kai planariniai tranzistoriniai  $n-p-n$  ir  $p-n-p$  dariniai yra padaryti  $N \geq 1, 2, \dots$  celių pavidalu, išdėstyti išilgai aktyviosios  $i$ -srities ilgio  $l_i$ , yra parodyti Fig. 5. Fig. 1–Fig. 5 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 – aplink paslėptas  $p^+$ – (8) ir  $n^+$ – (9) sritis suformuoti atitinkami  $n^+$ – ir  $p^+$ – žiedai; 12 ir 13 – Fabri-Pero optinio rezonatoriaus veidrodžiai, atitinkamai dalinio atspindžio ir visiško atspindžio; 14 – „žemė“ – nulinio potencialo šyna; 15–18 – atitinkamai pirmasis–ketvirtasis įtampos šaltiniai; 19 – dielektrinis padėklas ir kartu aušinimo radiatorius; 20 ir 21 – elektrai nelaidžios izoliacinės sritys, izoliuojančios pasyviąsias bazių 3 ir 6 atitinkamai n– ir p– sritys nuo atitinkamų emiterių  $E_{(p, n)}$   $p^+$ – ir  $n^+$ – sričių 4 ir 7, atitinkamuose tranzistoriniuose p–n–p (2–4) ir n–p–n (5–7) dariniuose. Fig. 6 yra parodytos DIPL (Fig. 1, a) veikos laiko  $t$  diagramos, kai poveikiai  $u_{in(1; 2)}(t)$  yra harmoniniai signalai. Fig. 7 yra parodyta spinduliuojamų optinių impulsų  $\Phi(t)$  srauto intensyvumo  $\Phi_0$  priklausomybė nuo poveikio harmoninių signalų  $u_{in(1; 2)}(t)$  fazių  $\varphi_{in(1; 2)}$  skirtumo  $\Delta\varphi = \varphi_{in 1} - \varphi_{in 2}$ , kai šių poveikių signalų  $u_{in(1; 2)}(t)$  dažniai  $\omega_{in 1} = \omega_{in 2}$ . Fig. 8 yra parodytos DIPL (Fig. 1, a) veikos laiko  $t$  diagramos, kai poveikių  $u_{in(1; 2)}(t)$  harmoninių signalų dažniai  $\omega_{in(1; 2)}$  skiriasi du kartus –  $\omega_{in 2} = 2 \cdot \omega_{in 1}$ .

DIPL (Fig. 1, a) konstrukcijoje yra optinės generacijos – aktyvioji sritis 1, kuri padaryta iš savitojo laidumo – i– tipo puslaidininkio, ir ši aktyvioji i– sritis 1 patalpinta tarp dviejų lygiagrečių veidrodžių 12 ir 13, sudarančių Fabri-Pero optinį rezonatorių, kuriame, pavyzdžiui, veidrodis 12 yra dalinai atspindintis, o veidrodis 13 yra visiškai atspindintis. Priešingose aktyviosios i– srities 1 pusėse, nesančiose tarp veidrodžių 12 ir 13, suformuoti atitinkami tranzistoriniai n–p–n (2–4) ir p–n–p (5–7) dariniai, turintys po vieną atitinkamą emiterio  $E_n$  (7) ir  $E_p$  (4), bei bazės  $B_p$  (6) ir  $B_n$  (3) ominių kontaktus. Tranzistorinių n–p–n (2–4) ir p–n–p (5–7) darinių atitinkamos kolektorinės n– (5) ir p– (2) sritys suformuotos ant aktyvios i– srities 1 atitinkamų priešpriešais esančių paviršių, o aktyvios i– srities 1 bet kuris iš laisvų paviršių turi bendrą ominiį kontaktą  $K_0$ , pavyzdžiui, visiško atspindžio metalinis veidrodis 13.

Kitame DIPL variante (Fig. 2) optinės generacijos – aktyvioji i– sritis 1 patalpinta tarp p– (2) ir n– (5) sluoksnių, sudarančių su i– sritimi 1 atitinkamas p–i ir n–i sandūras 2-1 ir 5-1, o p– (2) ir n– (5) sluoksniuose suformuotos planarinės konstrukcijos atitinkami tranzistoriniai  $p^+$ –n–p (2–4) ir  $n^+$ –p–n (5–7) dariniai, kuriuose

$p^+$ – (4) ir  $n^+$ – (7) sritys yra emiteriai, atitinkamai  $E_p$  (4) ir  $E_n$  (7), kurie suformuoti atitinkamų  $p$ – (2) ir  $n$ – (5) sluoksnių paviršiuose. Optinės generacijos  $i$ – srityje 1 priešais tranzistorinius  $p^+–n–p$  (2–4) ir  $n^+–p–n$  (5–7) darinius suformuotos atitinkamos kolektorinės paslėptos  $p^+$ – (8) ir  $n^+$ – (9) sritys, aplink kurias suformuoti atitinkami  $n^+$ – (10) ir  $p^+$ – (11) žiedai. Atstumas  $d_1$  tarp paslėptų  $p^+$ – (8) ir  $n^+$ – (9) sričių 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  $n^+$ – (10) ir  $p^+$ – (11) žiedų padarytas didesnis už  $n^+–i$  (10-1) ir  $p^+–i$  (11-1) sandūrų nuskurdintų sričių suminį didžiausią storį  $d_{+ \max} < d_2$   $i$ – srityje 1, čia  $n^+–i$  (10-1) ir  $p^+–i$  (11-1) sandūros yra tarp  $i$ – srities 1 ir atitinkamai  $n^+$ – (10) ir  $p^+$ – (11) 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 padaryti mažesni už kolektorinių  $p–n$  sandūrų 2-3 ir 5-6 nuskurdintų sričių neutralų storį  $d_{pn 0} > d_3$  atitinkamose kolektorių  $p$ – (2) ir  $n$ – (5) srityse, o paslėptų  $p^+$ – (8) ir  $n^+$ – (9) sričių plotai  $S_{(p; n)}$  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 DIPL variante (Fig. 3) įtaisas padarytas planarinės (paviršinės) konstrukcijos, kurioje, pavyzdžiui, epitaksinio  $i$ – sluoksnis 1 užaugintas ant dielektrinio padėklo 19 ir kartu aušinimo radiatoriaus 19. Epitaksiniam  $i$ – sluoksnyje 1 per visą jo storį  $h_i$  iki padėklo 19 suformuotos dvi lygiagrečios  $n$ – (5) ir  $p$ – (2) sritys, atitinkamai  $n$ – ir  $p$ – kolektoriai  $K_n$  (5) ir  $K_p$  (2), tarp kurių esanti  $i$ – sritis 1 yra optinės generacijos – aktyvioji  $i$ – sritis 1. Kolektorių  $K_n$  (5) ir  $K_p$  (2) atitinkamose  $n$ – (5) ir  $p$ – (2) srityse suformuotos atitinkamai  $p$ – (6) ir  $n$ – (3) sritys, atitinkamai  $p$ – ir  $n$ – bazės  $B_p$  (6) ir  $B_n$  (3). Bazių  $B_n$  (3) ir  $B_p$  (6) atitinkamose  $n$ – (3) ir  $p$ – (6) srityse suformuotos atitinkamai  $p^+$ – (4) ir  $n^+$ – (7) sritys, atitinkamai  $n^+$ – ir  $p^+$ – emiteriai  $E_n$  (7) ir  $E_p$  (4). Atitinkamose  $n$ – (5) ir  $p$ – (2) kolektorių  $K_n$  (5) ir  $K_p$  (2),  $p$ – (6) ir  $n$ – (3) bazių  $B_p$  (6) ir  $B_n$  (3),  $n^+$ – (7) ir  $p^+$ – (4) emiterių  $E_n$  (7) ir  $E_p$  (4), bei aktyviosios  $i$ – (1) sričių paviršiuose lygiagrečių juostelių pavidalu suformuoti atitinkami ominiai kontaktai – išvadai  $K_{(n; p)}$  (5; 2),  $B_{(p; n)}$  (6; 3),  $E_{(n; p)}$  (7; 4) ir  $K_o$  (13). Išilgai tarp  $p$ – (6) bazės kontakto  $B_p$  (6) ir  $n^+$ – (7) emiterio kontakto  $E_n$  (7), bei tarp  $n$ – (3) bazės kontakto  $B_n$  (3) ir  $p^+$ – (4) emiterio kontakto  $E_p$  (4) padarytos elektrai nelaidžios izoliacinės sritys 20 ir 21, pavyzdžiui, išėsdinti grioveliai 20 ir 21, bei užpildyti, pavyzdžiui,  $SiO_2$  intarpu. Izoliacinės sritys 20 ir 21 izoluoja bazių  $B_{(n, p)}$  pasyviąsias sritys 3 ir 6 nuo šalia esančių atitinkamų emiterių  $E_{(p; n)}$  sričių 4 ir 7, o izoluojančių sričių 20 ir 21 įterpimo

gyliai  $h_{iz}$  padaryti mažesni už emiterinių sričių 4 ir 7 įterpimo gylius  $h_E \geq h_{iz}$ . Aktyviosios  $i$ -srities 1 plotis  $d_1$  ir kartu atstumas tarp  $p$ - (2) ir  $n$ - (5) kolektorinių sričių padarytas mažesnis už krūvininkų mažiausią difuzijos ilgį  $L_{d \min} > d_1$   $i$ -srityje 1 ir kartu didesnis už  $(0,5 \cdot L_{d \min}) < d_1$ . Atstumas  $d_3$  tarp  $p^+$ - $n$ - $p$  (2-4) darinio  $n$ - bazės  $B_n$  srities 3 ir aktyviosios  $i$ -srities 1 ir kartu atstumas  $d_3$  tarp  $n^+$ - $p$ - $n$  (5-7) darinio  $p$ - bazės  $B_p$  srities 6 ir aktyviosios  $i$ -srities 1 padaryti mažesni už kolektorinių  $p$ - $n$  sandūrų 2-3 ir 5-6 nuskurdintų sričių neutralų storį  $d_{pn0} > d_3$  atitinkamose kolektorių  $K_{(p; n)}$   $p$ - (2) ir  $n$ - (5) srityse. Bazių  $B_{(n; p)}$  atitinkamų sričių 3 ir 6 įterpimo gyliai  $h_B$   $i$ -sluoksnį 1 padaryti mažesni už  $i$ -sluoksnio 1 storį  $h_i > h_B$ . Atstumas  $d_4$  tarp  $p^+$ - $n$ - $p$  (2-4) darinio  $p^+$ -emiterio  $E_p$  srities 4 ir aktyviosios  $i$ -srities 1, ir kartu atstumas  $d_4$  tarp  $n^+$ - $p$ - $n$  (5-7) darinio  $n^+$ -emiterio  $E_n$  srities 6 ir aktyviosios  $i$ -srities 1, padaryti iš sąlygos:  $W_B = d_4 - d_3 < L_B$  – šalutinių krūvininkų difuzijos ilgis bazių  $B_{(n; p)}$  srityse 3 ir 6. Įterpimo gyliai  $h_E$  ir  $h_B$  padaryti iš sąlygos:  $W_B = h_B - h_E < L_B$ , čia  $h_B$  tenkina sąlygą –  $(h_i - h_B) \approx d_{pn0}$ .

Planarinės konstrukcijos DIPL variante (Fig. 4) metalinių kontaktų geometrija yra lygiagrečių juostelių pavidalo ir jų ilgis atitinka aktyviosios  $i$ -srities 1 ilgį  $l_i > d_1$ , o planariniai tranzistoriniai  $n^+$ - $p$ - $n$  (5-7) ir  $p^+$ - $n$ - $p$  (2-4) dariniai užima visą aktyviosios  $i$ -srities ilgį  $l_i$ .

Kitame planarinės konstrukcijos DIPL variante (Fig. 5) kolektorių  $K_{(p; n)}$  ir bazių  $B_{(n; p)}$  metalinių kontaktų, atitinkamai  $K_{(p; n)}$  ir  $B_{(n; p)}$ , geometrija yra lygiagrečių juostelių pavidalo ir jų ilgis atitinka aktyviosios  $i$ -srities 1 ilgį  $l_i > d_1$ , o planariniai tranzistoriniai  $n^+$ - $p$ - $n$  (5-7) ir  $p^+$ - $n$ - $p$  (2-4) dariniai padaryti  $N \geq 1; 2; \dots$  celių pavidalų, išdėstytų išilgai aktyviosios  $i$ -srities ilgio  $l_i$ , ir užima visą aktyviosios  $i$ -srities ilgį  $l_i$ . Čia celėje esančio tranzistorinio darinio emiterio sritis nuo bazės srities izoliuota atitinkamomis izoliacinėmis sritimis 20 ir 21, paliekant neizoliuotas sritis, esančias šalia aktyviosios  $i$ -srities 1.

DIPL (Fig. 3) gali būti pagamintas, pavyzdžiui, silicio (Si) planarinės technologijos būdu tokia operacijų seka: 1 – ant izoliacinio padėklo 19, pavyzdžiui safyro, pavyzdžiui, molekulinės epitaksijos būdu yra užauginamas savitojo laidumo –  $i$ -sluoksnis 1, kurio storis  $h_i \approx 10 \mu\text{m}$ ; 2 – pirmosios difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant donorines priemaišas  $N_{d(Kn)} = 10^{16} - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  epitaksiniame  $i$ -sluoksnyje 1 yra suformuojamas vidutiniškai stipriai legiruotas  $n$ -

sluoksnis 5 – kolektoriaus  $K_n$  sritis 5, kurios įterpimo gylis atitinka  $h_i$ ; 3 – antrosios difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant akceptorines priemaišas  $N_{a(Kp)} = 10^{16} - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  epitaksiniame i– sluoksnyje 1 šalia n– sluoksnio 5 yra suformuojamas vidutiniškai stipriai legiruotas p– sluoksnis 2 – kolektoriaus  $K_p$  sritis 2, kurios įterpimo gylis atitinka  $h_i$  ir atstumas  $d_1$  tarp lygiagrečių p– sluoksnio 2 ir n– sluoksnio 5 tenkina sąlygą –  $0,5 \cdot L_{d \text{ min}} < d_1 < L_{d \text{ min}}$ ; 4 – trečiosios difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant akceptorines priemaišas  $N_{a(Bp)} = 10^{16} - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  n– sluoksnyje 5 yra suformuojamas vidutiniškai stipriai legiruotas p– sluoksnis 6 – bazės  $B_p$  sritis 6, kurios įterpimo gylis  $h_B < h_i$ , ir tenkina sąlygą –  $(h_i - h_B) \approx d_{pn0}$ ; 5 – ketvirtosios difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant donorines priemaišas  $N_{d(Bn)} = 10^{16} - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  p– sluoksnyje 2 yra suformuojamas vidutiniškai stipriai legiruotas n– sluoksnis 3 – bazės  $B_n$  sritis 3, kurios įterpimo gylis  $h_B < h_i$ , ir tenkina sąlygą –  $(h_i - h_B) \approx d_{pn0}$ ; 6 – penktosios difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant donorines priemaišas  $N_{d(En)} = 10^{18} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  p– sluoksnyje 6 yra suformuojamas stipriai legiruotas  $n^+$ – sluoksnis 7 – emiterio  $E_n$  sritis 7, kurios įterpimo gylis  $h_E < h_B$ , ir tenkina sąlygą –  $(h_B - h_E) < L_B$ ; 7 – šeštosios difuzijos arba joninės implantacijos būdu įterpiant akceptorines priemaišas  $N_{a(Ep)} = 10^{18} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  n– sluoksnyje 3 yra suformuojamas stipriai legiruotas  $p^+$ – sluoksnis 4 – emiterio  $E_p$  sritis 4, kurios įterpimo gylis  $h_E < h_B$ , ir tenkina sąlygą –  $(h_B - h_E) < L_B$ ; 8 – pavyzdžiui, plazminio ėsdinimo būdu yra suformuojamos izoliacinės sritys – grioveliai 20 ir 21, kurie gali būti užpildomi elektrai izoliacine medžiaga, pavyzdžiui,  $\text{SiO}_2$ ; 9 – pavyzdžiui, metalo dulkinimo – vakuuminio garinimo būdu ant atitinkamų sričių paviršiaus yra sudaromi ominiai kontaktai  $K_{(n; p; o)}$ ,  $B_{(n; p)}$  ir  $E_{(n; p)}$ .

DIPL (Fig. 1, a), turinčio du skirtingo tipo tranzistorinius p–n–p (2–4) ir n–p–n (5–7) darinius 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; 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 įtampos šaltinio 15 pirmuoju poliumi, o kitas emiteris  $E_n$  (7) yra sujungtas su papildomo – antrojo įtampos šaltinio 16 pirmuoju poliumi ir šių šaltinių atrieji poliai yra sujungti su „žeme“ 14.

Kitame DIPL jungimo grandinės variante (Fig. 3) yra įjungtas DIPL, papildomai turintis p– (2) ir n– (5) kolektorių 2 ir 5 atitinkamus išvadus  $K_p$  (2) ir  $K_n$  (5),



kurių vienas, pavyzdžiui,  $K_p$  (2) yra sujungtas su papildomo – trečiojo įtampos šaltinio 17 pirmuoju poliumi, o kitas kolektorius  $K_n$  (5) yra sujungtas su papildomo – ketvirtojo įtampos šaltinio 18 pirmuoju poliumi, ir šių šaltinių 17 ir 18 atieji poliai yra sujungti su „žeme“ 14.

DIPL (Fig. 1, a) veikia tokiu būdu.

Pradiniu laiko momentu  $t = 0$  tranzistoriniai p–n–p (2–4) ir n–p–n (5–7) dariniai yra „išjungtose“ – „uždarytose“ būsenose, ir todėl reakcijos signalo  $\Phi(t)$  – šviesos srauto intensyvumas  $\Phi_0 = 0$ . Įjungia poveikio įtampų  $u_{in(1;2)}(t)$  atitinkamus šaltinius 15 ir 16, o reakcijos signalo – šviesos srauto  $\Phi(t)$  parametrai priklauso nuo poveikio įtampų  $u_{in(1;2)}(t)$  parametrų. 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  $\Phi(t)$  intensyvumas  $\Phi_0 = 0$ , 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  $\Phi_0$  didžiausiu intensyvumu  $\Phi_{max}$ , ir tai yra parodyta laiko  $t$  diagramose Fig. 6, čia taip pat yra pateiktos poveikių signalų  $u_{in(1;2)}(t)$  ir reakcijos  $\Phi(t)$  laiko  $t$  diagramos. Iš Fig. 6, a ir b matome: laiko momentu  $t_1$  poveikių signalai  $u_{in(1;2)}(t_1) = |U_s|$  – slenkstinė įtampa, kai tranzistoriniai p–n–p (2–4) ir n–p–n (5–7) dariniai yra „pradaryti“ tiek, kad į aktyviają i–sritį 1 injektuojamų skylių  $p$  ir elektronų  $n$  pakanka užpildos inversijai – apgrąžai 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  $\Phi_0$  didėja iki  $\Phi_{max}(t_1^*)$ , ir toliau didėjant  $t > t_1^*$ , srauto  $\Phi(t)$  amplitudė  $\Phi_0$  mažėja, ir laiko momentu  $t_2 > t_1^*$  amplitudė  $\Phi_0 = 0$  (Fig. 6, 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 p–n–p (2–4) ir n–p–n (5–7) darinių „uždarymą“, ir todėl tranzistoriniai dariniai yra „uždarytose“ būsenose, o tai lemia  $\Phi_0 |_{T \geq t \geq T/2} = 0$ . Kai  $t > T$  ir toliau didėja, laiko momentu  $t_3 > T$  poveikių signalai  $u_{in(1;2)}(t_3) = |U_s|$ , ir todėl tranzistoriniai p–n–p (2–4) ir n–p–n (5–7) dariniai „prasidaro“ tiek, kad  $\Phi_0 > 0$ , ir toliau procesai

kartojasi – puslaidininkinis lazeris (Fig. 1, a) spinduliuoja optinius impulsus  $\Phi(t)$ , kuriuose fotonų energija  $E_\Phi = h \cdot \nu$ , čia:  $h$  – Planko konstanta;  $\nu$  – optinės spinduliuotės bangos dažnis. Fotonų energija  $E_\Phi \cong E_g$  – aktyviosios  $i$ -srities 1 puslaidininkinės medžiagos elektronų draustinių energijų juostos plotis. Spinduliuojamų optinių impulsų  $\Phi(t)$  pasikartojimo dažnis  $\omega_\Phi = \omega_{in(1;2)}$ .

Kitame DIPL jungimo grandinės variante (Fig. 3), DIPL veikia tokiu pat būdu, kaip ir DIPL, parodytas Fig. 1, a. Čia papildomai įjungti pastoviuųjų įtampų  $+E_1$  ir  $-E_2$  atitinkami šaltiniai 17 ir 18 sudaro atitinkamus išilginius elektrinius laukus  $E_1$  ir  $E_2$ , nukreiptus ašies  $x$  kryptimi (Fig. 3). Elektrinių laukų  $E_1$  ir  $E_2$  veikiamos skylės  $p$  ir elektronai  $n$ , esantys tarp padėklo 19 ir atitinkamos  $n$ - (3) bei  $p$ - (6) bazių  $B_{n,p}$  sričių 3 ir 6, dreifuoja link aktyviosios  $i$ -srities 1, ir tai stipriai padidina puslaidininkinio lazerio optinės spinduliuotės  $\Phi(t)$  efektyvumą. Izoliacinės sritys 20 ir 21 sumažina emiterinių  $p$ - $n$  sandūrų 3-4 ir 6-7 difuzines sroves, ir kartu sumažina poveikių signalų  $u_{in(1;2)}(t)$  galią, o tai padidina puslaidininkinio lazerio veikos efektyvumą, nes, sumažėjus poveikių signalų  $u_{in(1;2)}(t)$  galiai, puslaidininkinio lazerio optinės spinduliuotės  $\Phi(t)$  intensyvumas  $\Phi_0$  išlieka nepakitęs. Planariniai tranzistoriniai  $n^+p$ - $n$  (5-7) ir  $p^+n$ - $p$  (2-4) dariniai padaryti  $N \geq 1; 2; \dots$  celių pavidalo su emiterinėmis sritimis  $E_{(p;n)(1;2;\dots;M)}$  paviršiuje (Fig. 5), išdėstytomis išilgai aktyviosios  $i$ -srities ilgio  $l_i$ , ir užimančiomis visą aktyviosios  $i$ -srities ilgį  $l_i$ . Todėl ši konstrukcija panaikina tranzistorinių darinių lokalaus perkaitimo, ir kartu „sudegimo“ galimybę, kuri atsiranda dėl netolygaus emiterio srovės tankio pasiskirstymo ilgos bazės tranzistoriuose.

Iš Fig. 6 matome, kad spinduliuojamų optinių impulsų  $\Phi(t)$  srauto intensyvumas  $\Phi_0$ , ir kartu optinė galia  $P_\Phi$ , priklauso nuo poveikių signalų  $u_{in(1;2)}(t)$  fazių  $\varphi_{in(1;2)}$  skirtumo  $\Delta\varphi = |\varphi_{in1} - \varphi_{in2}|$  taip, kaip parodyta Fig. 7, čia  $\Phi_0$  – optinių impulsų  $\Phi(t)$  amplitudė. Analogiška priklausomybė bus ir nuo poveikių signalų  $u_{in(1;2)}(t)$  dažnių  $\omega_{in(1;2)}$  skirtumo  $\Delta\omega = |\omega_{in1} - \omega_{in2}|$ , kai  $\Delta\omega/\omega_{in(1;2)} \leq 0,2-0,3$ . Tai praplečia DIPL funkcines savybes, leidžiančias jį taikyti fazinės-dažninės detekcijos įtaisuose. Kai, pavyzdžiui,  $\omega_{in2} = 2 \cdot \omega_{in1}$ , tai šuo atveju turime dažnio  $\omega_{in}$  dalinimą iš dviejų, ir ši veika yra parodyta laiko  $t$  diagramose Fig. 8. Iš Fig. 8 matome, kad optinė spinduliuotė  $\Phi(t)$  su  $\Phi_0 > 0$  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 aktyviają  $i$ -sritį 1. Tai taip pat išplečia DIPL funkcines savybes. Dvipolių tranzistorinių darinių veikimo

sparta gali siekti dešimtis GHz ir tai padidina DIPL veikimo spartą.

Atsižvelgiant į išnagrinėto puslaidininkinio įtaiso veiką jį galima vadinti *dvigubos injekcijos puslaidininkiniu lazeriu* – DIPL.

Palyginus su analogu, pasiūlyti DIPL variantai ir įtaisai su jais pasižymi didesne veikimo sparta, didesnėmis funkcinėmis savybėmis ir didesnėmis energetinėmis charakteristikomis.

## IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Dvigubos injekcijos puslaidininkinis lazeris (DIPL), 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, atitinkamai katodo Kt ir anodo A, o p–n sandūros darinys padarytas Fabri-Pero optinio rezonatoriaus pavidalu, b e s i s k i r i a n t i s t u o, kad optinės generacijos – aktyvioji sritis padaryta iš savitojo laidumo – i– tipo puslaidininkio ir aktyvioji i– sritis patalpinta tarp dviejų lygiagrečių veidrodžių, sudarančių Fabri-Pero optinį rezonatorių, priešingose aktyviosios i– srities pusėse, nesančiose tarp veidrodžių, suformuoti skirtingo laidumo atitinkami tranzistoriniai  $n^+p-n$  ir  $p^+n-p$  dariniai, kurių išorinės stipriai legiruotos  $n^+$ – ir  $p^+$ – sritys – emiteriai  $E_{(n; p)}$  ir vidurinės vidutiniškai stipriai legiruotos p– ir n– sritys – bazės  $B_{(p; n)}$  turi po vieną atitinkamą emiterio  $E_{(n; p)}$  ir bazės  $B_{(p; n)}$  atitinkamus ominių kontaktus  $E_{(n; p)}$  ir  $B_{(p; n)}$ , tranzistoriniuose  $n^+p-n$  ir  $p^+n-p$  dariniuose atitinkamos kolektorinės n– ir p– sritys suformuotos ant aktyviosios i– srities atitinkamų priešpriešiais esančių paviršių, o aktyviosios i– srities vienas iš laisvų paviršių turi bendrą ominį kontaktą  $K_o$ .

2. DIPL pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s t u o, kad optinės generacijos – aktyvioji i– sritis patalpinta tarp p– ir n– sluoksnių, sudarančių su i– sritimi atitinkamas p-i ir n-i sandūras, p– ir n– sluoksniuose suformuotos planarinės konstrukcijos atitinkami tranzistoriniai  $p^+n-p$  ir  $n^+p-n$  dariniai, kuriuose  $p^+$ – ir  $n^+$ – sritys yra emiteriai, atitinkamai  $E_p$  ir  $E_n$ , kurie 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  $p^+$ – ir  $n^+$ – sričių padarytas mažesnis už krūvininkų mažiausią difuzijos ilgį  $L_{d \min} > d_1$  i– srityje 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  $d_{+ \max} < d_2$  i– srityje, 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  $B_n$  sluoksnio ir paslėptos  $p^+$ – srities ir kartu atstumas  $d_3$  tarp  $n^+p-n$  darinio p– bazės  $B_p$  sluoksnio 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– srityje, o paslėptų  $p^+$ – ir  $n^+$ – sričių atitinkami 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. DIPL pagal 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad įtaisas padarytas planarinės (paviršinės) konstrukcijos, kurioje, pavyzdžiui, epitaksinio  $i$ - sluoksnis užaugintas ant dielektrinio padėklo ir kartu aušinimo radiatoriaus,  $i$ - sluoksnyje per visą jo storį iki padėklo suformuotos dvi lygiagrečios  $n$ - ir  $p$ - sritys, atitinkamai  $n$ - ir  $p$ - kolektoriai  $K_{(n; p)}$ , tarp kurių esanti  $i$ - sritis yra optinės generacijos – aktyvioji  $i$ - sritis,  $n$ - ir  $p$ - kolektorių  $K_{(n; p)}$  srityse suformuotos atitinkamai  $p$ - ir  $n$ - sritys, atitinkamai  $p$ - ir  $n$ - bazės  $B_{(p; n)}$ ,  $p$ - ir  $n$ - bazių  $B_{(p; n)}$  srityse suformuotos atitinkamai  $n^+$ - ir  $p^+$ - sritys, atitinkamai  $n^+$ - ir  $p^+$ - emiteriai  $E_{(n; p)}$ ,  $n$ - ir  $p$ - kolektorių,  $p$ - ir  $n$ - bazių,  $n^+$ - ir  $p^+$ - emiterių, bei aktyviosios  $i$ - sričių paviršiuose lygiagrečių juostelių pavidalu suformuoti atitinkami metaliniai ominiai kontaktai – išvadai  $K_{(n; p)}$ ,  $B_{(p; n)}$ ,  $E_{(n; p)}$  ir  $K_0$ , išilgai tarp  $p$ - bazės kontakto  $B_p$  ir  $n^+$ - emiterio kontakto  $E_n$ , bei tarp  $n$ - bazės kontakto  $B_n$  ir  $p^+$ - emiterio kontakto  $E_p$ , padarytos elektrai nelaidžios izoliacinės sritys, pavyzdžiui, išsėdinti grioveliai ir užpildyti, pavyzdžiui,  $\text{SiO}_2$ , izoliuojantys pasyviają bazės sritį nuo emiterio srities, o izoliuojančių sričių įterpimo gylis padarytas mažesnis už emiterinių sričių įterpimo gylį.

4. DIPL pagal 3 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad metalinių kontaktų  $E_{(p; n)}$  ir  $B_{(n; p)}$  geometrija padaryta lygiagrečių juostelių pavidalo ir jų ilgis atitinka aktyviosios  $i$ - srities ilgį, o planariniai tranzistoriniai  $n^+p$ - $n$  ir  $p^+n$ - $p$  dariniai užima visą aktyviosios  $i$ - srities ilgį.

5. DIPL pagal 3 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad planariniai tranzistoriniai  $n^+p$ - $n$  ir  $p^+n$ - $p$  dariniai padaryti  $N \geq 1; 2; \dots$  celių pavidalu, išdėstyti išilgai aktyviosios  $i$ - srities ilgio  $l_i$  ir užima visą aktyviosios  $i$ - srities ilgį  $l_i$ , čia celėje esančio tranzistorinio  $n^+p$ - $n$  ir  $p^+n$ - $p$  darinio emiterio  $E_{(n; p)}$  atitinkama  $n^+$ - ir  $p^+$ - sritis nuo bazės  $B_{(p; n)}$  atitinkamos  $p^+$ - ir  $n^+$ - srities izoliuota atitinkamomis elektrai nelaidžiomis izoliacinėmis sritimis, paliekant neizoliuotas atitinkamas emiterio  $E_{(n; p)}$  ir bazės  $B_{(p; n)}$  sritys, esančias šalia aktyviosios  $i$ - srities.

6. DIPL pagal 1 punktą jungimo grandinė, sudarytoje iš DIPL ir įtampos šaltinio, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad bazių išvadai  $B_{(p; n)}$  sujungti su bendru išvadu  $K_0$  ir kartu su „žeme“ – nulinio potencialo šyna, vienas iš emiterių  $E_{(n; p)}$ , pavyzdžiui,  $E_p$  sujungtas su pirmojo įtampos šaltinio pirmuoju poliumi, o kitas emiteris  $E_n$  sujungtas su papildomo – antrojo įtampos šaltinio pirmuoju poliumi ir šių šaltinių atieji poliai sujungti su „žeme“.

7. DIPL pagal punktą 3 jungimo grandinė pagal punktą 6, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad vienas kolektorių  $K_{(p; n)}$  išvadų, pavyzdžiui,  $K_p$  sujungtas su papildomo – trečiojo įtampos šaltinio pirmuoju poliumi, o kitas kolektorius  $K_n$  sujungtas su papildomo – ketvirtojo įtampos šaltinio pirmuoju poliumi ir šių šaltinių atieji poliai sujungti su „žeme“.

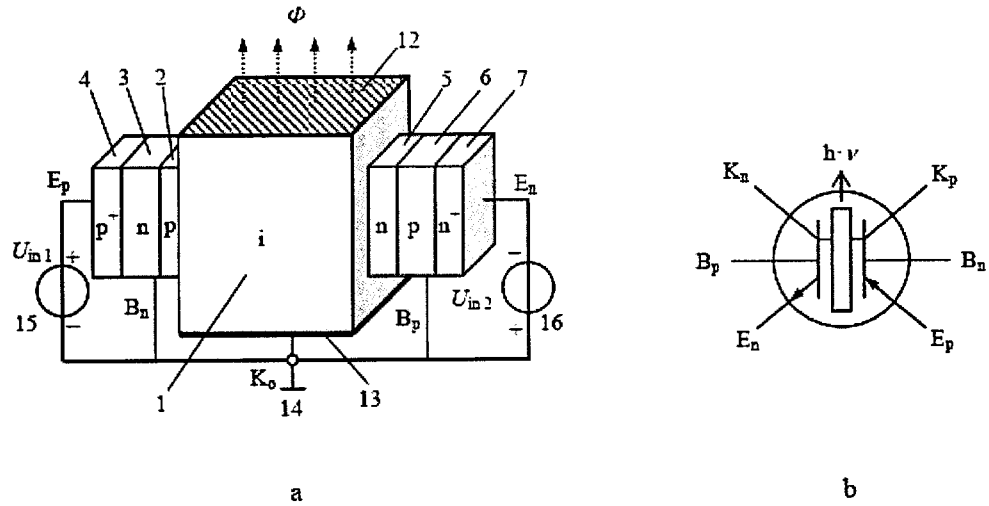


Fig. 1

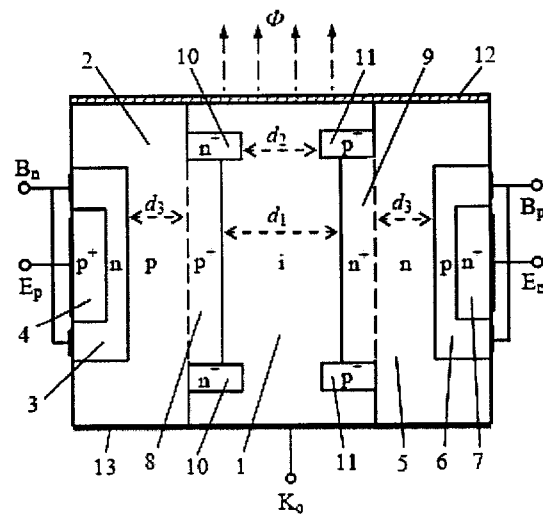


Fig. 2

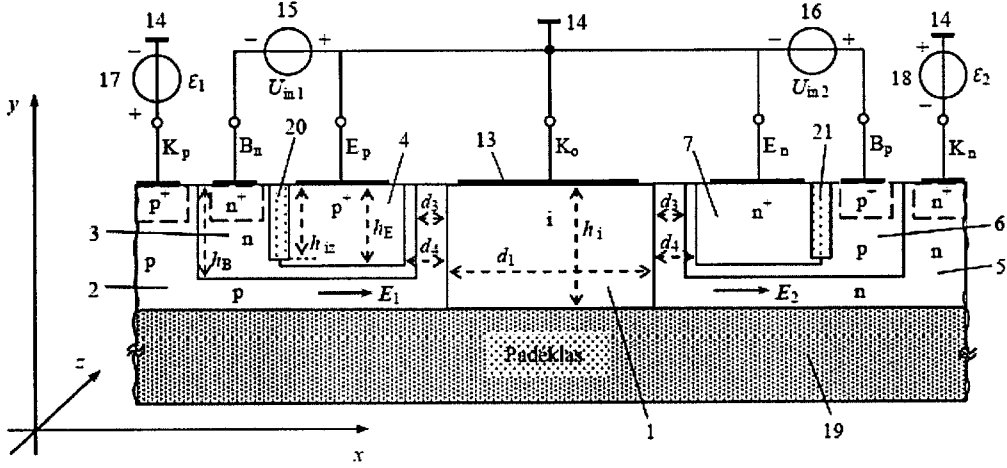


Fig. 3

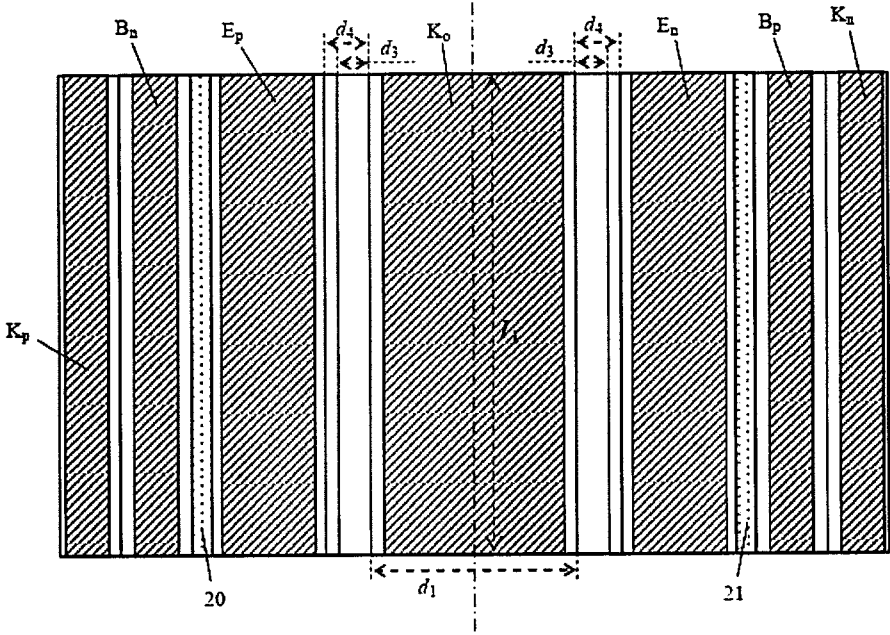


Fig. 4



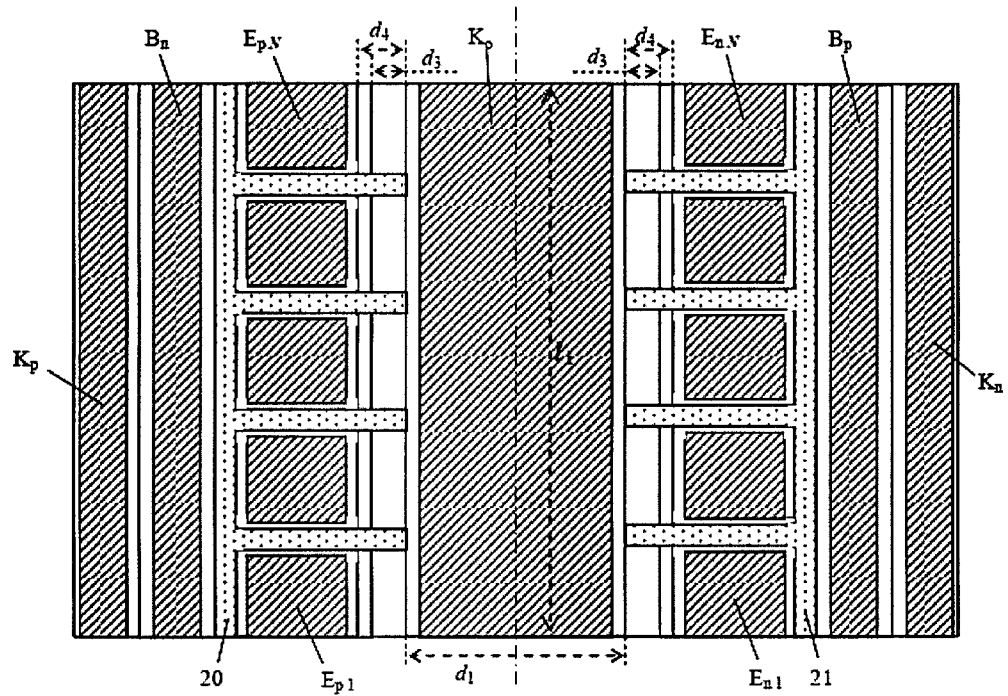


Fig. 5

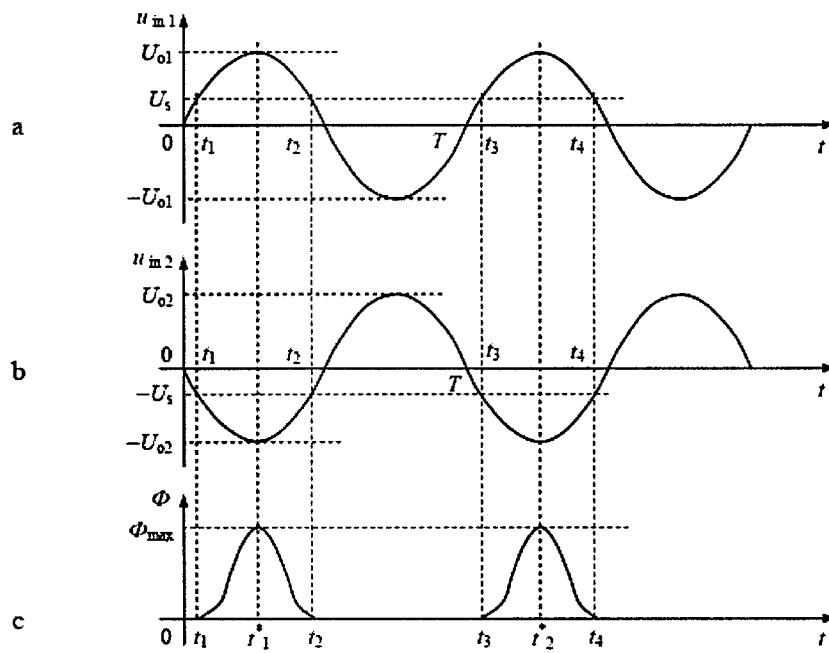


Fig. 6

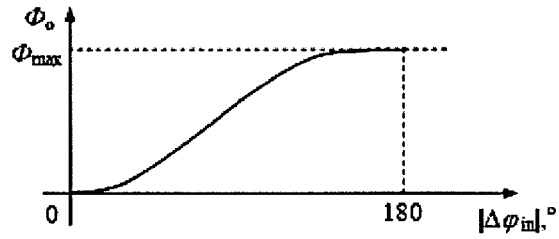


Fig. 7

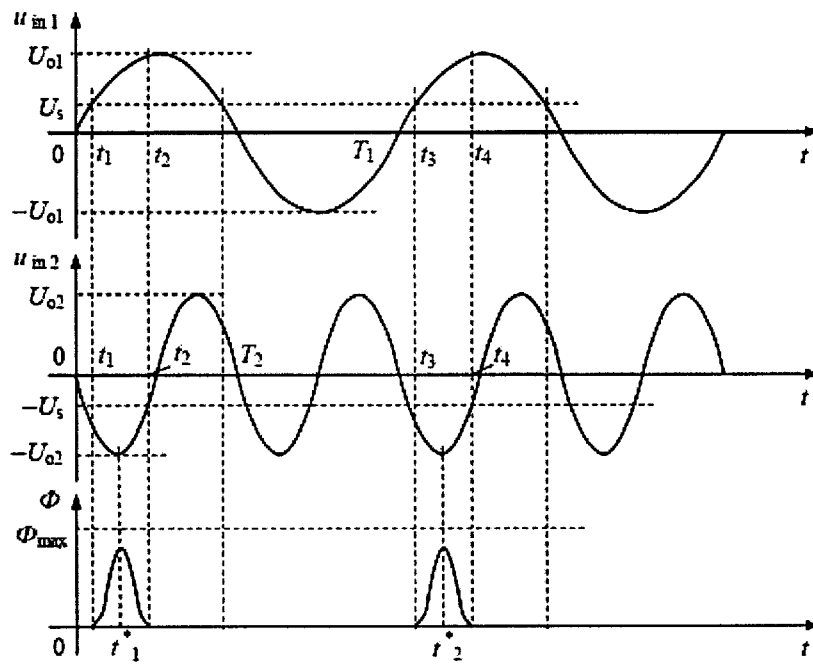


Fig. 8