

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2020 553**
(22) Paraiškos padavimo data: **2020-09-29**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2022-04-11**
(45) Patento paskelbimo data: **2022-04-25**

(73) Patento savininkas:
Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT
Institute of High Pressure Physics, Polish Academy of Sciences, Sokolowska 29/37, 01-142 Warsaw, PL

(72) Išradėjas:
Irmantas KAŠALYNAS, LT
Simonas INDRIŠIŪNAS, LT
Paweł PRYSTAWKO, PL
Piotr KRUSZEWSKI, PL

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Virgina Adolfina DRAUGELIENĖ, 8, UAB TARPINĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT

LT 6909 B

(54) Pavadinimas:
Igilintų elektronikos elementų formavimo būdas

(57) Referatas:

Išradimas yra skirtas mikro-elektronikos įtaisų technikos sričiai ir yra susijęs su plačiatarpių III-Grupės nitridinių puslaidininkinių komponentų įgilintų ir priaugintų elektrinių kontaktų formavimo būdu. Heterostruktūros srityse, kuriose numatoma formuoti įgilintus elementus, yra suformuojamos įdubos, panaudojant lazerinį mikroapdirbimą. Ant padėklo užaugintos minėtos III-N puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūros paviršių padengia bent vienu apsauginiu sluoksniu suformuojant ruošinį, kurį patalpina į kamerą, užpildytą vakuumu arba inertinėmis arba apsauginėmis dujomis, kurioje formuoja įdubą atskirai kiekvienam kontaktui ir (arba) jungčiai ir (arba) elektronikos komponentui. Tam per kameros skaidrų langelį į patalpintą ruošinį, nukreipia sufokusuotą ultratrumpųjų impulsų lazerio spinduliuotę, kuri formuojamos įdubos srityje pašalina apsauginį sluoksnį ir heterostruktūros sluoksnių numatytą medžiagos storį, suformuojant pasirinkto gylio įdubą minėtoje heterostruktūroje. Minėtą heterostruktūrą ir sufokusuotą lazerinės spinduliuotės pluoštą valdomai perkelia vienas kito atžvilgiu, ir analogiškai formuoja kitas įdubas. Suformuotas įdubas užpildo pasirinktinai legiruotu III-N puslaidininkinių sluoksniu ir (arba) metalų junginiais, suformuojant atitinkamai įgilintą elektriškai laidų ir (arba) elektriškai pusiau laidų kontaktą ir (arba) jungtį, ir (arba) elektronikos komponentą.

Technikos sritis, kuriai skiriamas išradimas

Išradimas yra skirtas mikro-elektronikos įtaisų technikos sričiai ir yra susijęs su plačiatarpių III-Grupės nitridinių puslaidininkinių komponentų įgilintų ir priaugintų elektrinių kontaktų formavimo būdu pritaikant lazerinį mikro-apdirbimą ultratrumpaisiais lazerio impulsais.

Technikos lygis

Patento paraiškoje DE102013201298A1, publikuotoje 2014-07-31 aprašytas šviesos diodų kontaktų ir izoliavimo kanalų *p/n*-tipo GaN puslaidininkinių sandūroms formavimo būdas, panaudojant abliacijai eksimerinio lazerio spinduliuote, kurios fotono energija yra didesnė nei GaN draustinės energijos juostos plotis. Aprašytame būde lazerio pluoštas yra formuojamas projektuojant per kaukę, tokiu būdu sudarant galimybę vieno apdirbimo žingsnio metu suformuoti keletą įdubų. Kadangi lazerinė spinduliuotė projektuojama per kaukę, gamybos procese lazerinio apdirbimo etape gali būti suformuojami tik vieno tipo kontaktai, kuriems reikalingų įdubų gylis yra vienodas, todėl formuojant šiuo būdu puslaidininkyje įgilintus kito tipo elektronikos elementus, kiekvienam kito tipo elementui suformuoti reikalinga nauja kaukė, sutapatavimo procesas ir naujas apdirbimo etapas, todėl žinomo formavimo būdo panaudojimas yra siauras, o žinomu būdu formuojant keletą tipų elektronikos elementų, kuriuos sujungiant pagal norimą schemą būtų sukuriami puslaidininkiniai įtaisai, yra sudėtingas.

US patente US7432142B2, publikuotame 2008-10-07, aprašomas metodas didelio elektronų judrio tranzistorių (HEMT) su įgilintais elektriniais kontaktais gamybai. Tranzistoriaus gamyba pradedama nuo suformavimo ant padėklo III-N grupės puslaidininkinių buferinio ir barjerinio sluoksnių, sudarančių heterosandūrą, kurioje sudaromas didelio laidumo 2D elektronų kanalas. Gamyba įgilintų ominių ir Šotki kontaktų, kurių pagalba valdomas HEMT darbas, pradedama barjerinio sluoksnio padengiamu kauke, tokia kaip medžiagos oksidas, pavyzdžiui SiO_x arba naudojant kitas medžiagas, tokias kaip AlN , Si_xN_y . Kaukė struktūrinama naudojant cheminį ėsdinimą, sauso ėsdinimo metodą, reaktyvųjį joninį ėsdinimą, arba kitus metodus, paliekant kaukę tik tose srityse, kur nebus formuojamas kontaktas. Ėsdinant suformuojamos įdubos ominiams kontaktams, kurie naudojami tranzistoriuje santakos ir ištakos elektrodams suformuoti, per barjerinį sluoksnį iki kanalo sluoksnio,

arba įsiterpiančios iki kanalo sluoksnio arba kertančios kanalo sluoksnį. Ėsdinimui naudojamas cheminis ėsdinimas, sauso ėsdinimo metodai, reaktyvusis joninis ėsdinimas. Struktūra gali būti atkaitinama siekiant pašalinti arba sumažinti ėsdinimo metu sukeltus pažeidimus puslaidininkio struktūrai. Kontakto sluoksnis formuojamas tokiais metodais kaip metalo organinis cheminis garų nusodinimas (MOCVD), molekulinio pluošto epitaksija (MBE), plazminis cheminių garų nusodinimas (PECVD) ar kitais metodais. Kontakto įduba užpildoma *n*-tipo puslaidininkiu, tokiu kaip stipriai legiruotas *n*-tipo InN, InAlN, AlGa_N, AlInGa_N, GaN ar kitas, ne nitridų grupės, puslaidininkis. Stipriai legiruotas *n*-tipo puslaidininkis kontakto srityje, leidžia sumažinti kontakto varžą. Viršutinė kontakto medžiaga gali būti metalas ar metalų lydinys. Kontaktų srityse gali būti formuojamas ominis kontaktas, pavyzdžiui, iš Ti/Al/Ni/Au sluoksnių stirtos. Šotki kontaktas naudojamas, kaip užtūros elektrodas HEMT, kuris gali būti įleistas į įdubą barjero sluoksnyje arba suformuotas ant jo paviršio naudojant Ni, Pt, Pd ar kitas Šotki tipo kontaktams tinkamas medžiagas. Kaukė kartu su pertekline kontakto medžiaga, padengta ant kaukės viršaus, gali būti pašalinama ėsdinant HF ar kitu ėsdikliu.

US patente US10388753B1, publikuotame 2019-08-20, aprašomas HEMT gamybos būdas, kuriame III-N puslaidininkio heterostruktūra, kurią sudaro heterosandūra ir kiti *in situ* užauginti ant padėklo pagalbiniai III-N puslaidininkio sluoksniai, padengiama apsauginiu SiN kaukės sluoksniu, kuri struktūrinama, naudojant fotošablonus ir fotolitografijos procesus. Naudojant sausą cheminį ėsdinimą indukcinė plazma aktyvuoto joninio ėsdinimo boro trichlorido/chloro/argono plazma metodu santakos ir ištakos srityse suformuojamos įdubos ominiams kontaktams, siekiančios 2D elektronų kanalo sluoksnį, kanalo įdubose MOCVD metodu priauginamas palaipsniui kintančios sudėties AlGa_N sluoksnis, pašalinama kaukė ir perteklinės medžiagos, padengiami metalo sluoksniai kontaktams. Priauginamo AlGa_N sluoksnio sudėtis apibrėžta kaip Al_xGa_{1-x}N, kur priauginimo proceso metu *x* mažėja, taip laipsniškai siaurinant medžiagos draustinės juostos plotį.

Žinomuose aukščiau aprašytuose įgilintų kontaktų gamybos būduose įduba kontaktui suformuojamas naudojant reaktyviojo joninio ėsdinimo arba cheminio ėsdinimo arba plazminio ėsdinimo metodus. Dėl šių metodų ypatumų žinomuose aukščiau aprašytuose įgilintų kontaktų gamybos būduose ėsdinimas realizuojamas

pasitelkus fotolitografiją ir fotošablonus. Naudojant aprašytus metodus sukeliama puslaidininkio struktūros pažeidimai, paviršius teršiamas pagalbinėmis medžiagomis, naudojamomis fotolitografijos ir ęsdinimo procesuose.

Sprendžiama techninė problema

Išradimu siekiama praplęsti įgilintų ir priaugintų elektrinių kontaktų formavimo būdo panaudojimo galimybes puslaidininkinių heterostruktūrose tuo pačiu sutrumpinant įgilintų įvairių tipų elektronikos elementų bei komponentų formavimo laiką ir sutaupant medžiagas ir supaprastinant formavimo technologiją. Be to, pasiūlytas būdas leidžia padidinti III-Grupės nitridų puslaidininkinių komponentų įgilintų ir priaugintų kontaktų laidumą, kontakto įdubos suformavimui naudojant medžiagos pašalinimą ultratrumpaisiais lazerio impulsais tokiu būdu, kad pažeidimai puslaidininkio heterostruktūrai arba teršimas pagalbinėmis medžiagomis arba kitokie pažeidimai, yra mažesni nei formuojant įdubas kontaktams kitais žinomais būdais.

Išradimo esmės atskleidimas

Uždavinio sprendimo esmė pagal pasiūlytą išradimą yra ta, kad įgilintų elektronikos elementų formavimo būde, kur įgilinti elektronikos elementai pasirinktinai gali būti įgilinti elektriniai kontaktai, ir (arba) jungtys ir (arba) elektronikos komponentai, formuojami III-N grupės puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūroje, kur sluoksnių sudėtys parinktos taip, kad heterosandūros buferiniame sluoksnyje prie ribos su III-N barjeriniu sluoksniu sudaromas didelio laidumo dvimačių elektronų dujų (2DEG) kanalas, ir minėtos heterostruktūros srityse, kuriose numatoma formuoti minėtus įgilintus elementus, yra atitinkamai suformuojamos įdubos, panaudojant lazerinę spinduliuotę, kurias užpildo medžiagomis, skirtomis pasirinktiems elementams formuoti, kur būdas apima šiuos etapus: a) ant padėklo užaugintos minėtos III-N puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūros paviršių padengia bent vienu apsauginiu sluoksniu, suformuojant ruošinį,

b) paruoštą etape a) heterostruktūrą ruošinį patalpina į kamerą, kurioje sukuria vakuumą arba užpildo inertinėmis arba apsauginėmis dujomis, kur kamera turi skaidrų langelį, skirtą lazerinei spinduliuotei praeiti,

c) formuoja įdubą atskirai kiekvienam kontaktui ir (arba) jungčiai ir (arba) elektronikos komponentui, tam per kameros skaidrų langelį į ruošinį nukreipia pasirinktų parametrų sufokusuotą ultratrumpųjų impulsų lazerio spinduliuotę, kuri

formuojamos įdubos srityje pašalina apsauginį sluoksnį ir heterostruktūros sluoksnių numatytą medžiagos storį, suformuojant pasirinkto gylio įdubą minėtoje heterostruktūroje,

d) ruošinį ir sufokusuotą lazerinės spinduliuotės pluoštą valdomai perkelia vienas kito atžvilgiu, ir po perkėlimo į numatytą kitai įdubai formuoti vietą, nukreipia analogiškai etapui c) sufokusuotą lazerio spinduliuotę, taip suformuojant norimos formos ir gylio įdubą ir (arba) norimą skaičių skirtingų arba vienodų matmenų kitų įdubų, atitinkamai pasirenkant lazerinės spinduliuotės parametrus,

e) suformuotas etapuose c) arba d) įdubas, užpildo pasirinktinai legiruotu III-N puslaidininkių sluoksniu ir (arba) metalų junginiais, suformuojant atitinkamai įgilintą elektriškai laidų ir (arba) elektriškai pusiau laidų kontaktą ir (arba) jungtį, ir (arba) elektronikos komponentą, kurį sudaro sritis, kur yra didelio laidumo 2DEG kanalas, ir (arba) laidūs elektriniai kontaktai ir (arba) elektriškai pusiau laidūs kontaktai ir (arba) jungtys,

f) suformavus visus numatytus įgilintus kontaktus ir (arba) jungtis ir (arba) komponentus pašalina likusį apsauginį sluoksnį,

g) įgilintus elektriškai laidžius kontaktus ir jungtis ir elektronikos komponentus atkaitina greito atkaitinimo būdu iki optimalios temperatūros inertinių dujų aplinkoje iki sumažėja metalas- didelio laidumo 2DEG kanalas kontaktinė varža,

h) suformavus įgilintus elektrinius kontaktus ir (arba) jungtis ir (arba) elektronikos komponentus, formuoja įgilintus izoliacinius elementus, reikalingus suformuotiems etape g) elementams atskirti ir (arba) izoliuoti.

Izoliacinių elementų formavimas etape h) apima šiuos žingsnius:

- formuoja įdubą atskirai kiekvienam izoliaciniam elementui, tam per kameros skaidrų langelį į ruošinį, nukreipia pasirinktų parametrų sufokusuotą ultratrumpųjų impulsų lazerio spinduliuotę, kuri formuojamos įdubos srityje pašalina heterosandūros sluoksnius, dėl kurių susidaro didelio laidumo 2DEG kanalas,

- ruošinį ir sufokusuotą lazerinės spinduliuotės pluoštą valdomai perkelia vienas kito atžvilgiu, ir po perkėlimo į numatytą kitai įdubai formuoti vietą, nukreipia sufokusuotą lazerio spinduliuotę, taip suformuojant norimos formos ir gylio įdubą ir (arba) norimą skaičių skirtingų arba vienodų matmenų kitas įdubas, atitinkamai

pasirenkant lazerinės spinduliuotės parametrus,

- suformuotas įdubas, užpildo dielektriko medžiagos sluoksniais, suformuojant nelaidžius elementus ir (arba) sritis.

Minėtoms įduboms ruošinyje formuoti, naudoja ultratrumpųjų impulsų lazerį, kurio impulso trukmė yra tarp 15 pikosekundžių ir 200 femtosekundžių.

Lazerinės spinduliuotės bangos ilgis yra tarp 1020 nanometrų ir 330 nanometrų, o ruošinys paveikiamas mažos vidutinės galios didelio (0.1–1.0 MHz) impulsų pasikartojimo dažnio impulsinio lazerio spinduliuote.

Inertinės arba apsauginės dujos, kuriomis užpildo kamerą, skirtą minėtoms įduboms formuoti, yra argonas arba azotas.

Elektronikos komponentas pasirinktinai gali būti tranzistorius arba diodas arba rezistorius arba puslaidininkinis įtaisas, susidedantis iš tranzistorių, diodų ar rezistorių, sujungtų pagal pasirinktą schemą.

Formuojami įgilinti kontaktai ir izoliuojantys elementai pasirinktinai gali būti ominiai kontaktai, Šotki-tipo kontaktai bei izoliuojančios sritys, kiekvienam kurių gamybos metu užduodama funkcinė charakteristika parinkus lazerinės spinduliuotės parametrus ir atitinkamus metalinius ir dielektrinius užpildus.

Gamybos metu kiekvienas komponentas izoliuojamas ir (arba) sujungiamas su kitais komponentais pagal užduotą schemą.

Likusį apsauginį sluoksnį pašalina selektyvaus cheminio ėsdinimo būdu.

Išradimo naudingumas

Pasiūlytu įgilintų elektronikos elementų formavimo būdu vieno proceso metu galima suformuoti skirtingos paskirties elektronikos elementus, tokius kaip kontaktus, jungtis, elektronikos komponentus bei izoliuojančias tarp jų sritis nenaudojant kaukių, fotošablonų ir fotolitografijos, tai leidžia sutrumpinti gamybos procesą, taupyti medžiagas bei supaprastinti technologiją. Pasiūlytame būde nėra reikalingas atskiras apsauginių sluoksnių ir kaukės sutapatinimo ir sluoksnio struktūrinimo žingsnis, nes formuojant įdubas lazerine spinduliuote selektyvus apsauginių sluoksnių atvėrimas atliekamas kartu su III-N grupės puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūros lazeriniu mikroapdirbimu.

Be to, pasiūlyto būdo privalumas yra tas, kad formuojant įgilintas įdubas, skirtas elektronikos elementams, medžiagos pašalinimui naudojant ultratrumpuosius lazerio impulsus pažeidimai puslaidininkio heterostruktūrai, užteršimas pagalbinėmis medžiagomis arba paviršiaus morfologijos pažeidimai yra mažesni nei formuojant įdubas kitais žinomais būdais, tokiais kaip reaktyvusis joninis ėsdinimas, cheminis ėsdinimas, toks kaip ėsdinimas kalio šarmu, sausas cheminis ėsdinimas chloro ar chloro junginių plazma. Todėl pasiūlytu būdu formuojant įgilintus laidžius elektrinius kontaktus sumažinama kontaktinė varža ir tuo pačiu nesumažinama izoliacija.

Be to, formuojant įdubas kontaktams pasiūlytu būdu galima laisvai keisti įdubų formą ir gylį naudojant lazerinį mikroapdirbimą, nenaudojant fotolitografijos ir fotošablonų sutapatavimo.

Be to, formuojant įdubas kontaktams pasiūlytu būdu išvengiama toksiškų junginių, tokių kaip chloro junginiai, ar kiti toksiški junginiai naudojimo.

Be to, siekiama lazerinio mikroapdirbimo metu užduoti kiekvienam elektriniam kontaktui jo funkcinius ypatumus, kurie būdingi laidžiam, pusiau laidžiam arba visiškai nelaidžiam elektriniams kontaktams.

Be to, siekiama lazeriu suformuoti elektrinius sujungimus ir izoliacijas tarp visų puslaidininkinių įtaisų pagal užduotą schemą.

Išradimas detaliau paaiškinamas brėžiniais, kur

Fig.1a-Fig.1g pavaizduotas III-N puslaidininkių prietaiso priauginto įgilinto omino kontakto gamybos procesas, kontakto įdubos suformavimui pasitelkiant lazerinę abliaciją ir lazerinį mikroapdirbimą, kur:

Fig.1a pavaizduota puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūra;

Fig.1b pavaizduota puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūru su ant jos suformuotu apsauginiu sluoksniu;

Fig.1c pavaizduota heterostruktūroje suformuoti pasirinktos formos įdubimai;

Fig.1d pavaizduota heterostruktūra su priaugintu laidžiu sluoksniu;

Fig.1e pavaizduota heterostruktūra suformavus metalo sluoksnį;

Fig.1f pavaizduota heterostruktūra pašalinus apsauginį sluoksnį ir perteklinę dalį užauginto puslaidininkio sloksnio ir metalo sluoksnio;

Fig.1g pavaizduota heterostruktūra su priaugintu ominių kontaktu;

Fig.2a-Fig.2e pavaizduotas III-N puslaidininkių prietaiso įgilintų ominių ir įgilintų Šotki kontaktų gamybos procesas, kontakto įdubos suformavimui pasitelkiant lazerinę abliaciją ir lazerinį mikroapdirbimą, kur:

Fig.2a pavaizduota puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūra;

Fig.2b pavaizduota apsauginis sluoksnis suformuotas ant puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūros;

Fig.2c pavaizduota heterostruktūroje suformuoti norimos formos įdubimai

Fig.2d pavaizduota suformuotose įdubose užgarintas metalo sluoksnis;

Fig.2e pavaizduota heterostruktūra su įgilintu ominių kontaktu ir įgilintu Šotki kontaktu, pašalinus apsauginį sluoksnį ir perteklinę dalį metalo sluoksnio;

Fig. 3 pavaizduota III-N puslaidininkių prietaiso su dviejų tipų ominiais kontaktais, Šotki kontaktu ir izoliavimo kanalu schema. Toks prietaisas gali būti HEMT tranzistorius, diodas, varža ar kitas mikroelektronikos komponentas;

Fig. 4 pavaizduota įdubų kontaktams formavimo lazerio spinduliuote būdo principinė schema;

Fig. 5a pavaizduota siūlomu būdu pagaminti priauginti Ominiai kontaktai, kurie sujungti laidžiu didelio laidumo 2D elektronų dujų kanalu;

Fig.5b pavaizduota ominių kontaktų TLM charakteristikos. Tai išmatuota dviejų ominių kontaktų sujungtų didelio laidumo 2D elektronų dujų kanalu suminės varžos, R , priklausomybė nuo atstumo tarp kontaktų, d ;

Fig. 6a pavaizduota elektrinė schema, pagal kurią sujungti tarpusavyje siūlomu būdu suformuoti diodas, tranzistorius, induktyvumas ir varža;

Fig. 6b pavaizduotas schemos, kuri parodyta Fig. 6a, išpildymas naudojant siūlomu būdu pagamintus įgilintus bei priaugintus elektrinius kontaktus bei elektronikos elementus.

Išradimo realizavimo aprašymas

Puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūra, pavaizduota Fig.1a, susideda iš padėklo 1, nukleacijos sluoksnio 2, buferinio sluoksnio 3, buferinio sluoksnio 4, aukšto laidumo 2D elektronų dujų srities, kuri susidaro buferinio sluoksnio viršuje,

išskirta kaip atskiras sluoksnis 5, nebūtino tarpinio sluoksnio 6, barjerinio sluoksnio 7, nebūtino įtempius mažinančio ir paviršines būsenas pasyvuojančio sluoksnio 8, padengiama SiO_2/AlN apsauginiu sluoksniu 9, pavaizduota Fig.1b.

Padėklas 1 yra sudarytas iš SiC, safyro ar kitos medžiagos, tinkamos III-N puslaidininkių sluoksnių auginimui. Nukleacijos sluoksnis 2 yra žemoje temperatūroje užaugintas GaN arba AlN arba sluoksnis arba kitos medžiagos sluoksnis, kuris užtikrina geresnį suderinamumą tarp padėklo ir sekančių sluoksnių gardelės struktūros. Buferinis sluoksnis 3 gali būti anglimi legiruotas GaN arba geležimi legiruotas GaN. Buferinis sluoksnis 4 gali būti sudarytas iš savaime legiruoto GaN. Nebūtinas tarpinės sluoksnis 6 gali būti sudaryta iš AlN arba AlGaIn su didesne aliuminio dalimi nei barjeriniame sluoksnyje. Barjerinis sluoksnis 7 gali būti sudarytas iš AlGaIn arba AlInN arba AlGaInN. Didelio laidumo 2DEG kanalas, pažymėtas kaip sluoksnis 5, susidarantis buferinio ir barjerinio sluoksnių heterosandūroje. Įtempius mažinantis ir paviršines būsenas pasyvuojantis sluoksnis 8 gali būti sudarytas iš GaN, SiN ar kitos medžiagos vieno ar kelių sluoksnių, kurie užauginami *in situ* kartu su III-N puslaidininkių sluoksniais. Suformuota puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūra padengiama apsauginiu sluoksniu 9, pavyzdžiui SiO_2/AlN , suformuojant ruošinį 10, pavaizduotą Fig.1b.

Ruošinys 10 yra patalpinamas į kamerą 11, pavaizduota Fig.4, kurioje sudaroma apsauginių dujų atmosfera arba iš kurios yra išsiurbiamas oras. Apsauginės dujos lazerio spinduliuotės panaudojimo metu yra azotas arba argonas, dujų slėgis viena atmosfera arba didesnis.

Lazerinio spinduliuotės šaltinio 12 generuojama kryptinga spinduliuotė 13 yra nukreipiama į kamerą 11. Vienoje kameros 11 sienelėje yra skaidrios lazerinei spinduliuotei medžiagos langas 14, pro kurį lazerinė spinduliuotė patenka į kamerą 11. Lazerinės spinduliuotės impulso energija gali būti valdoma atenuatoriumi, sudarytu iš fazinės pusės bangos ilgio plokštelės 15 ir atspindinčių plonų plėvelių Briusterio kampo poliarizatorių 16 ir 17, vietoje kurių gali būti naudojamas kito tipo poliarizatorius. Nepanaudojama lazerinė spinduliuotė nukreipiama į gaudyklę 18. Lazerinė spinduliuotė nukreipiama į kamerą naudojant veidrodžius su dielektrinėmis dangomis 19. Lazerinės spinduliuotės pluošto skersmuo valdomas teleskopu, sudarytu iš sklaidomojo lęšio 20 ir glaudžiamojo lęšio 21. Pluošto skersmens valdymas teleskopu nėra būtinas. Pluoštas objektyvu 22 fokusuojamas į ruošinio 10

paviršių.

Skaidrus lazerinei spinduliuotei langas 14 gali būti pagamintas iš optinio stiklo, lydyto kvarco ar kitos naudojamai spinduliuotei skaidrios medžiagos, tinkamos praleisti lazerinę spinduliuotę. Langas gali būti padengtas dielektrinėmis dangomis, mažinančiomis lazerinės spinduliuotės atspindį nuo lango paviršių.

Lazerinė spinduliuotė yra impulsinio lazerio, kurio impulso trukmė yra tarp 15 pikosekundžių ir 200 femtosekundžių spinduliuotė. Lazerinės spinduliuotės bangos ilgis yra tarp 1020 nanometrų ir 330 nanometrų, o lazerio impulsų pasikartojimo dažnis 0.1–1.0 MHz.

Įdubų kontaktams formavimo lazerio spinduliuote būdo principinė schema yra pavaizduota Fig. 4.

Kamera 11 su joje esančiu ruošiniu 10 gali būti perslenkama lazerinės spinduliuotės pluošto 13 atžvilgiu, taip suformuojant puslaidininkių sluoksnių heterostruktūroje norimos formos įdubimą 23, 24, 25. Įdubimas gali siekti buferinį nelegiruoto GaN sluoksnį 4 arba į jį įsiterpti arba gali siekti arba įsiterpti į kitus heterostruktūros sluoksnius, pavyzdžiui, barjerinį sluoksnį 7. Įdubimo gylis pasirenkamas pagal tai, kokio tipo elektrinis kontaktas formuojamas lazerinio mikroapdirbimo būdu, ir gali būti keičiamas parenkant lazerinės spinduliuotės energijos tankį apdirbamame paviršiuje, lazerinės spinduliuotės fokusuoto pluošto dėmių persiklojimą, pakartojimų skaičių. Įdubimo plotis gali būti keičiamas parenkant lazerinės spinduliuotės energijos tankį apdirbamame paviršiuje, lazerinės spinduliuotės fokusuoto pluošto dėmių persiklojimą, proceso pakartojimų skaičių, kameros 11 su joje esančio ruošinio 10 perslinkimo lazerinės spinduliuotės pluošto 13 atžvilgiu būdą. Pavyzdžiui, 500 nanometrų gylio ir 0,01 milimetro pločio kanalas gali būti suformuojamas naudojant lazerinę spinduliuotę, kurios bangos ilgis yra 515 nanometrų, impulso trukmė yra 300 femtosekundžių, lazerio spinduliuotė yra sufokusuota taip, kad puslaidininkio heterostruktūros paviršiuje spinduliuotės energijos tankis yra $0,4 \text{ J/cm}^2$, fokusuoto lazerinės spinduliuotės pluošto dėmių persiklojimas yra 80 procentų, procesas yra pakartojamas 2 kartus, procesas yra atliekamas 2 atmosferų azoto dujų aplinkoje.

Fig.1a - Fig.1g pavaizduotas priaugintų ominių kontaktų gamybos būdas. Lazerine spinduliuote 13 tiesiogiai per apsauginį sluoksnį 9 suformuojama įduba

priaugintam ominiui kontaktui 23. MOCVD būdu arba MOVPE būdu arba MBE būdu užauginamas *n*-tipo donorinėmis priemaišomis legiruotas III-N puslaidininkio sluoksnis 26, toks kaip, pavyzdžiui, *n*-tipo kintančios sudėties InGaN puslaidininkio sluoksnis, (Fig.1d). Užgarinamas metalo sluoksnis 27, (Fig.1e). Selektivaus cheminio ėsdinimo būdu pašalinamas SiO₂ apsauginis sluoksnis 9, kartu pašalinant perteklinę dalį donorinėmis priemaišomis legiruoto III-N puslaidininkio sluoksnio 26 ir perteklinę dalį metalo 27, (Fig.1f), taip suformuojant priaugintą omini kontaktą 28, (Fig.1g). Metalo sluoksnis 27 gali susidėti iš Ti arba Ni sluoksnio, kurio viršuje dar gali būti Au, Al, Ni, Mo arba kitų tinkamų savybių metalų sluoksniai. Kontaktas gali būti neatkaitinamas arba atkaitinimas naudojant įprastai ominių kontaktų atkaitinimui taikomą būdą, pavyzdžiui, spartaus terminio atkaitinimas žemesnėje, nei 900 °C temperatūroje, azoto dujų aplinkoje.

Fig.2a–Fig2e pavaizduotas įgilintų ominių ir įgilintų Šotki kontaktų gamybos būdas.

Puslaidininkio sluoksnių heterostruktūra, (Fig.2a), susideda iš padėklo 1, nukleacijos sluoksnio 2, buferinio sluoksnio 3, buferinio sluoksnio 4, 2D elektronų dujų sluoksnio 5, nebūtino tarpinės sluoksnio 6, barjerinio sluoksnio 7, nebūtino įtempius mažinančio ir paviršinės būsenas pasyvuojančio sluoksnio 8, padengiama SiO₂/AlN apsauginiu sluoksniu 9, (Fig.2b).

Lazerine spinduliuote suformuojama įduba įgilintam ominiui kontaktui, įgilintam Šotki kontaktui, atitinkamai 24 ir 25, (Fig.2c). Lazerine spinduliuote suformuotose įdubose užgarinamas metalo sluoksnis, taip suformuojant įgilintą omini kontaktą 29 ir Šotki 30 kontaktus, (Fig.2d). Užgarinant įgilintą omini kontaktą 29 naudojami Ti arba Ni metalas, kurio viršuje dar gali būti Au, Al, Ni, Mo arba kitų tinkamų savybių metalų sluoksniai. Užgarinant įgilintą Šotki kontaktą 30 naudojama Ni arba Pd arba Pt arba Ti arba kiti tinkamų savybių metalai arba jų lydiniai. Selektivaus cheminio ėsdinimo būdu pašalinama SiO₂/AlN kaukė 9, (Fig.2e). Norint pagerinti omino kontakto elektrinį laidumą, kontaktas gali būti atkaitinamas, pavyzdžiui, spartaus terminio atkaitinimo būdu azoto dujų aplinkoje žemesnėje nei 900 °C temperatūroje.

Formuojami įgilinti kontaktai ir izoliuojantys elementai pasirinktinai gali būti ominiai kontaktai, Šotki-tipo kontaktai bei izoliuojančios sritys, kiekvienam kurių gamybos metu užduodama funkcinė charakteristika parinkus lazerinės spinduliuotės parametrus ir atitinkamus metalinius ar dielektrinius užpildus. Gamybos metu

kiekvienas elektronikos komponentas izoliuojamas ir (arba) sujungiamas su kitais komponentais pagal užduotą schemą.

Fig. 3 pavaizduota puslaidininkio prietaiso struktūra su priauginto omino 28, įgilinto omino 29, įgilinto Šotki 30 tipo kontaktais, izoliuojančiu kanalu 31. Toks prietaisas gali būti HEMT varža, diodas arba tranzistorius, kur panaudojamas didelio laidumo 2D elektronų dujų kanalas 5, susidarantis heterosandūros buferiniame sluoksnyje 4, arti ribos su barjeriniu sluoksniu 7. HEMT tranzistoriuje naudojamas vienas įgilintas Šotki kontaktas (užtūros elektrodas G) 30 ir du priauginti ominiai kontaktai 28 (ištakos elektrodas S ir santakos elektrodas D) arba vienas įgilintas Šotki kontaktas 30 (G) ir du įgilinti ominiai kontaktai 29 (S, D) arba vienas įgilintas Šotki kontaktas 30 (G) ir po vieną priaugintą 28 (S arba D) ir įgilintą 29 (D arba S) ominių kontaktus. Viena komponente kontaktų kiekis ir tipas gali būti kitoks, nei parodyta Fig. 3.

Fig. 5a pavaizduota siūlomu būdu pagaminti ominiai kontaktai ir jų TLM charakteristikos – varžos priklausomybės nuo atstumo tarp elektrodų (Fig. 5b). Tai išmatuota dviejų ominių kontaktų sujungtų didelio laidumo 2D elektronų dujų kanalu suminės varžos, R , priklausomybė nuo atstumo tarp elektrodų, d .

Dviejų tipų ominiai kontaktai buvo pagaminti ant to paties lusto, ir tik siūlomu būdu pagamintuose kontaktuose lazeriu buvo papildomai suformuotos žiedo formos sritys, kurios matomos bandinio fotografijoje Fig 5a. Šiose žiedo formos įdubose buvo priaugintas n -tipo kintančios sudėties InGaN puslaidininkis, vėliau padengtas Ti/Al/Ni/Au lydinio medžiaga, galiausiai atkaitintas spartaus terminio atkaitinimo būdu azoto dujų aplinkoje apie 850°C temperatūroje, kartu su įprastiniu būdu suformuotais neįgilintais ominiais kontaktais.

Linija su pilnaviduriais trikampaiais rodo TLM charakteristiką bandinio su įprastiniu būdu pagamintais neįgilintais ominiais kontaktais, kuriems nustatyta kontaktinė varža $R_c = 5.1 \Omega \times \text{mm}$. Linija su pilnaviduriais kvadratais ir linija su apskritimais rodo TLM charakteristikas dviejų atskirų bandinių su siūlomu būdu pagamintais priaugintais Ominiais kontaktais, kuriems nustatyta kontaktinė varža $R_c = 1.8 \Omega \times \text{mm}$ ir $R_c = 1.0 \Omega \times \text{mm}$, atitinkamai. Siūlomu nauju būdu pagamintų laidžių elektrinių kontaktų kontaktinė varža yra 2-5 kartus mažesnė, nei įprastiniu būdu pagamintų neįgilintų kontaktų varža.

Fig. 6a pavaizduota elektrinė schema, pagal kurią sujungti tarpusavyje siūlomu būdu suformuoti diodas (32), tranzistorius (33), induktyvumas (34), varža (35), įėjimo kontaktas (36), išėjimo kontaktas (37), valdymo kontaktas (38) (Fig. 6b).

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Įgilintų elektronikos elementų formavimo būdas, kur įgilinti elektronikos elementai pasirinktinai gali būti įgilinti elektriniai kontaktai, ir (arba) jungtys ir (arba) elektronikos komponentai, formuojami III-N grupės puslaidininkinių sluoksnių heterostruktūroje, kur sluoksnių sudėtys parinktos taip, kad heterosandūros buferiniame sluoksnyje (4) prie ribos su III-N barjeriniu sluoksniu sudaromas didelio laidumo dvimačių elektronų dujų (2DEG) kanalas (5), ir minėtos heterostruktūros srityse, kuriose numatoma formuoti minėtus įgilintus elementus, yra atitinkamai suformuojamos įdubos, panaudojant lazerinę spinduliuotę, kurias užpildo medžiagomis, skirtomis pasirinktiems elementams formuoti, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad būdas apima šiuos etapus:

a) ant padėklo (1) užaugintos minėtos III-N puslaidininkinių sluoksnių eterostruktūros paviršių padengia bent vienu apsauginiu sluoksniu (9), suformuojant ruošinį (10),

b) paruoštą etape a) ruošinį (10) patalpina į kamerą (11), kurioje sukuria vakuumą arba užpildo inertinėmis arba apsauginėmis dujomis, kur kamera turi skaidrų langelį (14), skirtą lazerinei spinduliuotei (13) praeiti,

c) formuoja įdubą atskirai kiekvienam kontaktui ir (arba) jungčiai, ir (arba) elektronikos komponentui, tam per kameros (11) skaidrų langelį (14) į ruošinį (10), nukreipia pasirinktų parametrų sufokusuotą ultratrumpųjų impulsų lazerio spinduliuotę (13), kuri formuojamos įdubos srityje pašalina apsauginį sluoksnį (9) ir heterostruktūros sluoksnių numatytą medžiagos storį, suformuojant pasirinkto gylio įdubą (23, 24, 25) minėtoje heterostruktūroje,

d) ruošinį (10) ir sufokusuotą lazerinės spinduliuotės pluoštą (13) valdomai perkelia vienas kito atžvilgiu, ir po perkėlimo į numatytą kitai įdubai formuoti vietą, nukreipia analogiškai etapui c) sufokusuotą lazerio spinduliuotę (13), taip suformuojant norimos formos ir gylio kitą įdubą (23, 24, 25) ir (arba) norimą skaičių skirtingų arba vienodų matmenų kitų įdubų, atitinkamai pasirenkant lazerinės spinduliuotės parametrus,

e) suformuotas etapuose c) arba d) įdubas, užpildo pasirinktinai legiruotu III-N puslaidininkinių sluoksniu (26) ir (arba) metalų junginiais, suformuojant atitinkamai įgilintą elektriškai laidų (28, 29) ir (arba) elektriškai pusiau laidų kontaktą (30) ir (arba) jungtį (28, 29, 30), ir (arba) elektronikos komponentą (32, 33, 34, 35, 36, 37, 38), kurį sudaro sritis, kur yra didelio laidumo 2DEG kanalas (5), ir (arba) laidūs elektriniai

kontaktai (28, 29) ir (arba) elektriškai pusiau laidūs kontaktai (30) ir (arba) jungtys (28, 29, 30).

f) suformavus visus numatytus įgilintus kontaktus ir (arba) jungtis ir (arba) komponentus pašalina likusį apsauginį sluoksnį (9),

g) įgilintus elektriškai laidžius kontaktus ir jungtis ir elektronikos komponentus atkaitina greito atkaitinimo būdu iki optimalios temperatūros inertinių dujų aplinkoje iki sumažėja metalas – didelio laidumo 2DEG kanalas (5) kontaktinė varža,

h) suformavus įgilintus elektrinius kontaktus ir (arba) jungtis ir (arba) elektronikos komponentus, formuoja įgilintus izoliacinius elementus, reikalingus suformuotiems etape g) elementams atskirti ir (arba) izoliuoti.

2. Būdas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad izoliacinių elementų formavimas etape h) apima šiuos žingsnius:

- formuoja įdubą atskirai kiekvienam izoliaciniam elementui, tam per kameros skaidrų langelį (14) į ruošinį (10), nukreipia pasirinktų parametrų sufokusuotą ultratrumpųjų impulsų lazerio spinduliuotę (13), kuri formuojamos įdubos srityje pašalina heterosandūros sluoksnius, dėl kurių susidaro didelio laidumo 2DEG kanalas (5),

- ruošinį (10) ir sufokusuotą lazerinės spinduliuotės pluoštą (13) valdomai perkelia vienas kito atžvilgiu, ir po perkėlimo į numatytą kitai įdubai formuoti vietą, nukreipia sufokusuotą lazerio spinduliuotę (13), taip suformuojant norimos formos ir gylio įdubą (31) ir (arba) norimą skaičių skirtingų arba vienodų matmenų kitas įdubas, atitinkamai pasirenkant lazerinės spinduliuotės parametrus,

- suformuotas įdubas (31), užpildo dielektriko medžiagos sluoksniais, suformuojant nelaidžius elementus ir (arba) sritis.

3. Būdas pagal bet kurį iš 1–2 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtoms įduboms ruošinyje (10) formuoti, naudoja ultratrumpųjų impulsų lazerį (12), kurio impulso trukmė yra tarp 15 pikosekundžių ir 200 femtosekundžių.

4. Būdas pagal bet kurį iš 1–3 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad lazerinės spinduliuotės bangos ilgis yra tarp 1020 nanometrų ir 330 nanometrų, o ruošinys (10) paveikiamas mažos vidutinės galios didelio (0.1–1.0 MHz) impulsų pasikartojimo dažnio impulsinio lazerio spinduliuote (13).

5. Būdas pagal bet kurį iš 1–4 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad inertinės arba apsauginės dujos, kuriomis užpildo kamerą (11), skirtą minėtoms įduboms formuoti, yra argonas arba azotas.

6. Būdas pagal bet kurį iš 1–5 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad elektronikos komponentas pasirinktinai gali būti tranzistorius (33) arba diodas (32), arba rezistorius (35), arba induktyvumas (34) arba puslaidininkinis įtaisas, susidedantis pasirinktinai iš tranzistorių, diodų, rezistorių ar induktyvumų, sujungtų pagal pasirinktą schemą.

7. Būdas pagal bet kurį iš 1–6 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad formuojami įgilinti kontaktai ir izoliuojantys elementai pasirinktinai gali būti ominių kontaktai (28, 29), Šotki-tipo kontaktai (30) bei izoliuojančios sritys (31), kiekvienam kurių gamybos metu užduodama funkcinė charakteristika parinkus lazerinės spinduliuotės (13) parametrus ir atitinkamus metalinius ir dielektrinius užpildus.

8. Būdas pagal bet kurį iš 1–7 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad gamybos metu kiekvienas minėtas komponentas izoliuojamas ir (arba) sujungiamas su kitais komponentais pagal užduotą schemą.

9. Būdas pagal bet kurį iš 1–8 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad likusį apsauginį sluoksnį (9) pašalina selektyvaus cheminio ėsdinimo būdu.

8
7
6
5
4
3
2
1

Fig.1a

9
8
7
6
5
4
3
2
1

Fig.1b

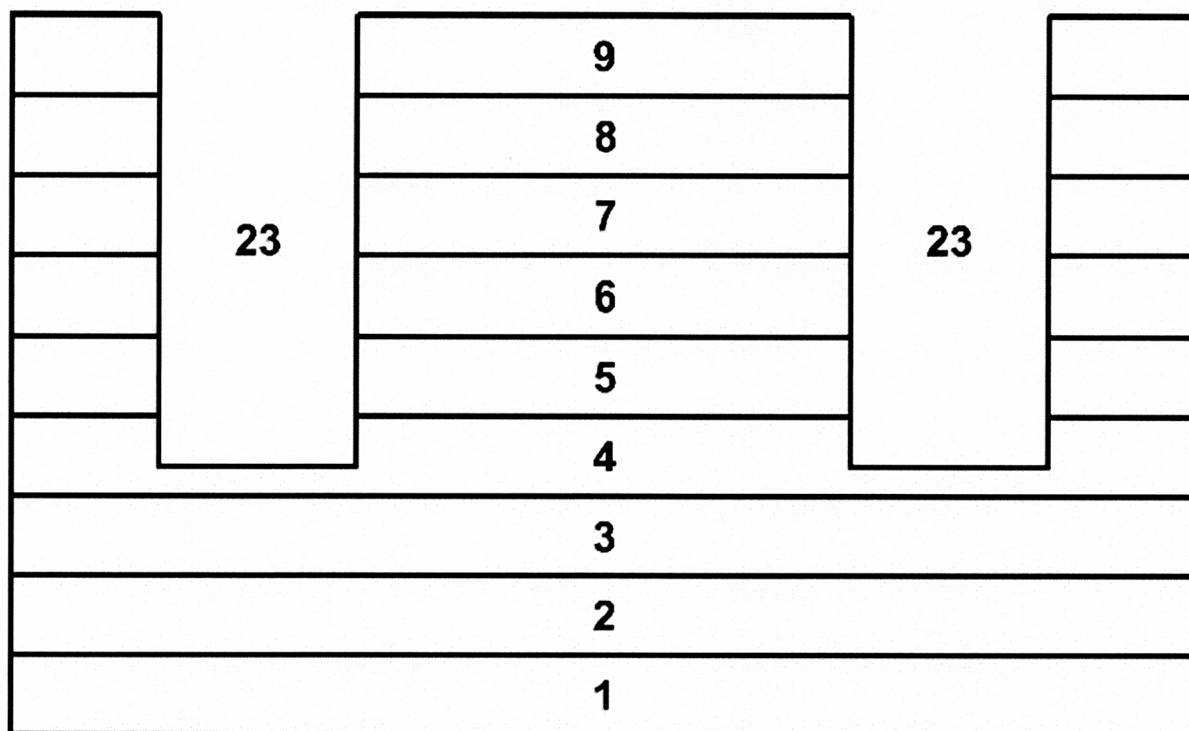


Fig.1c

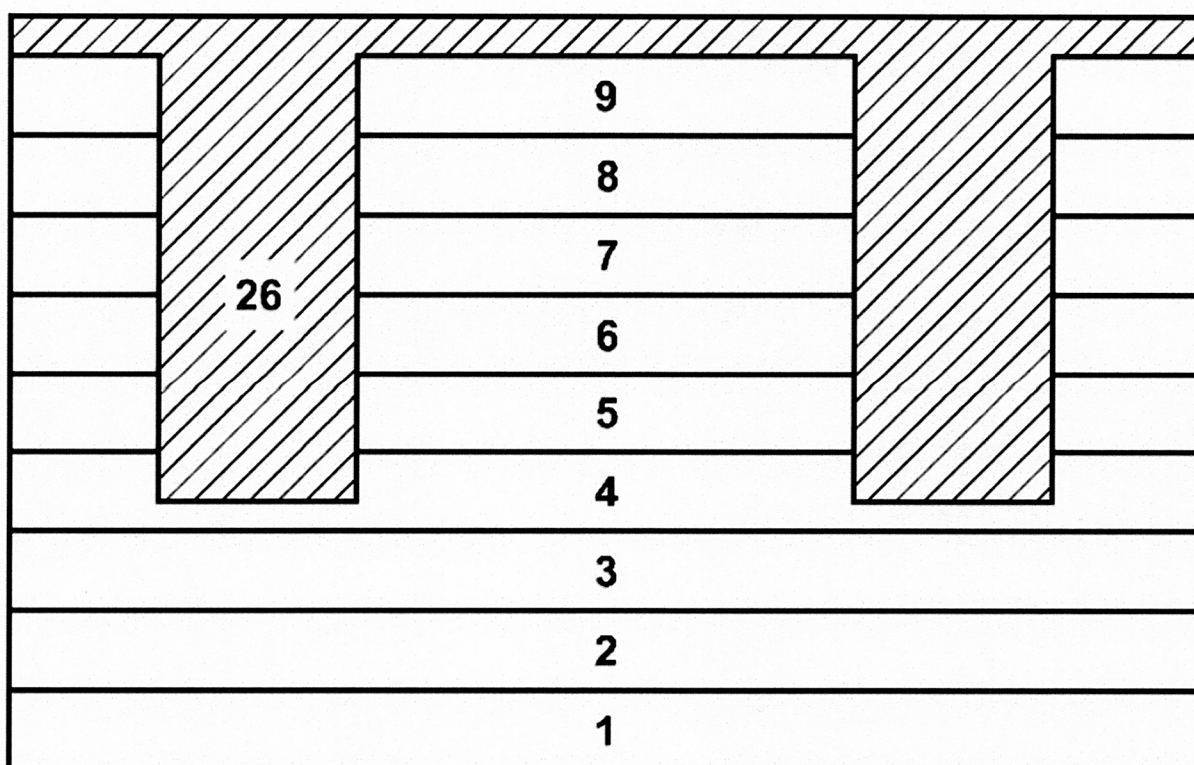


Fig.1d

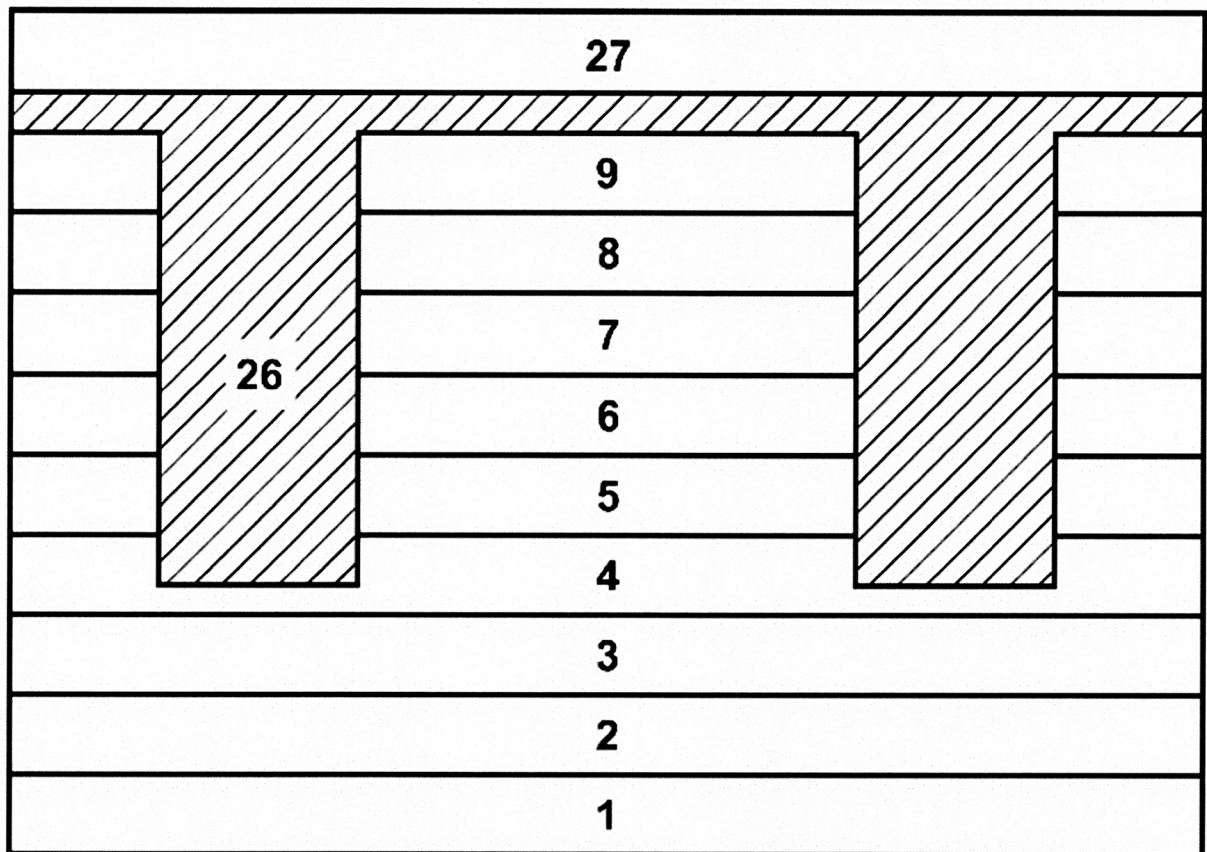


Fig.1e

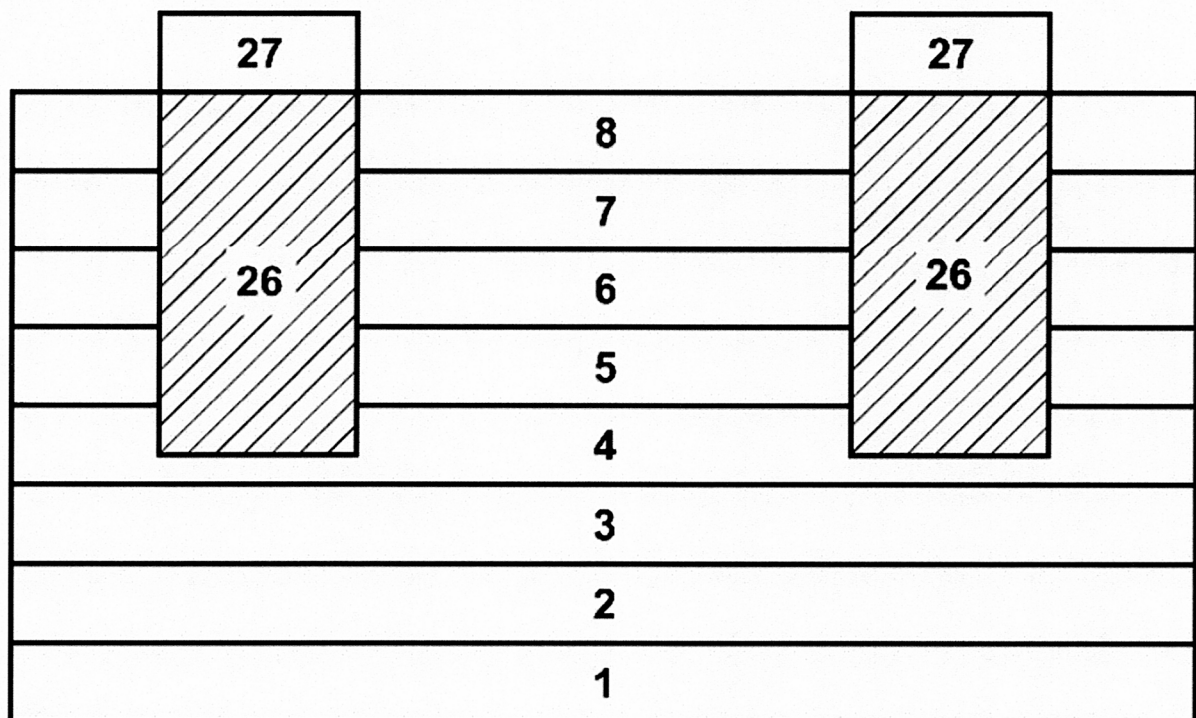


Fig.1f

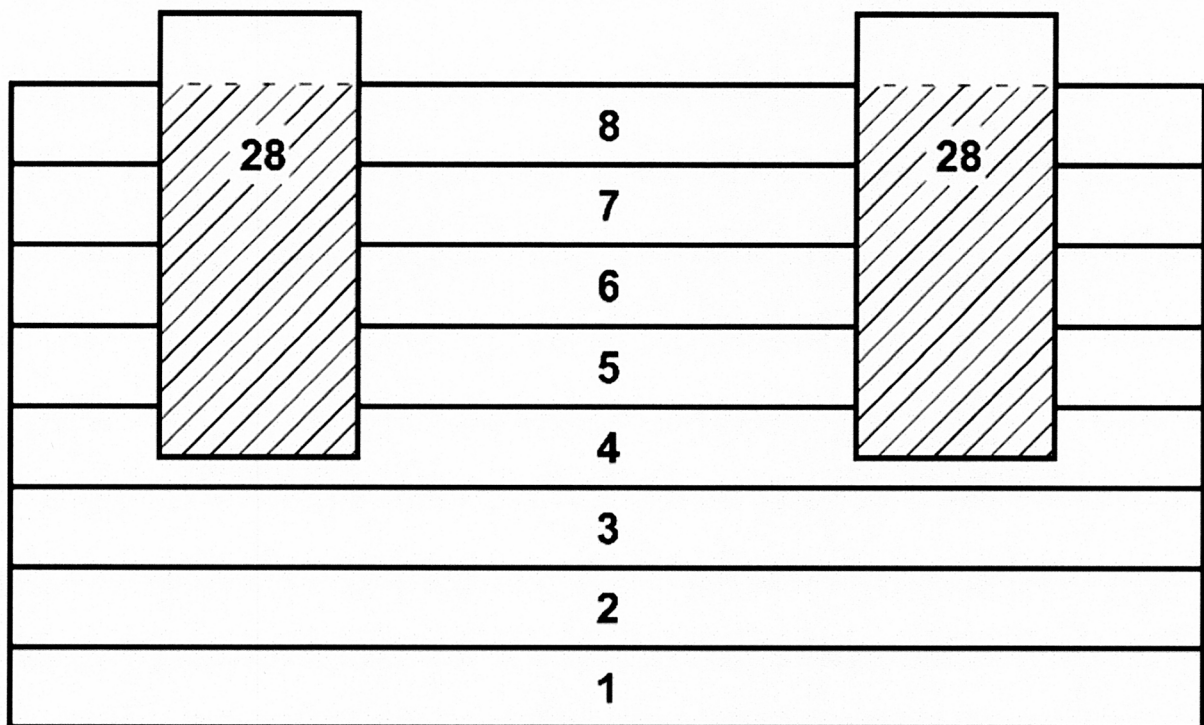


Fig.1g

8
7
6
5
4
3
2
1

Fig.2a

9
8
7
6
5
4
3
2
1

Fig.2b

	9	
	8	
	7	
25	6	24
	5	
	4	
	3	
	2	
	1	

Fig.2c

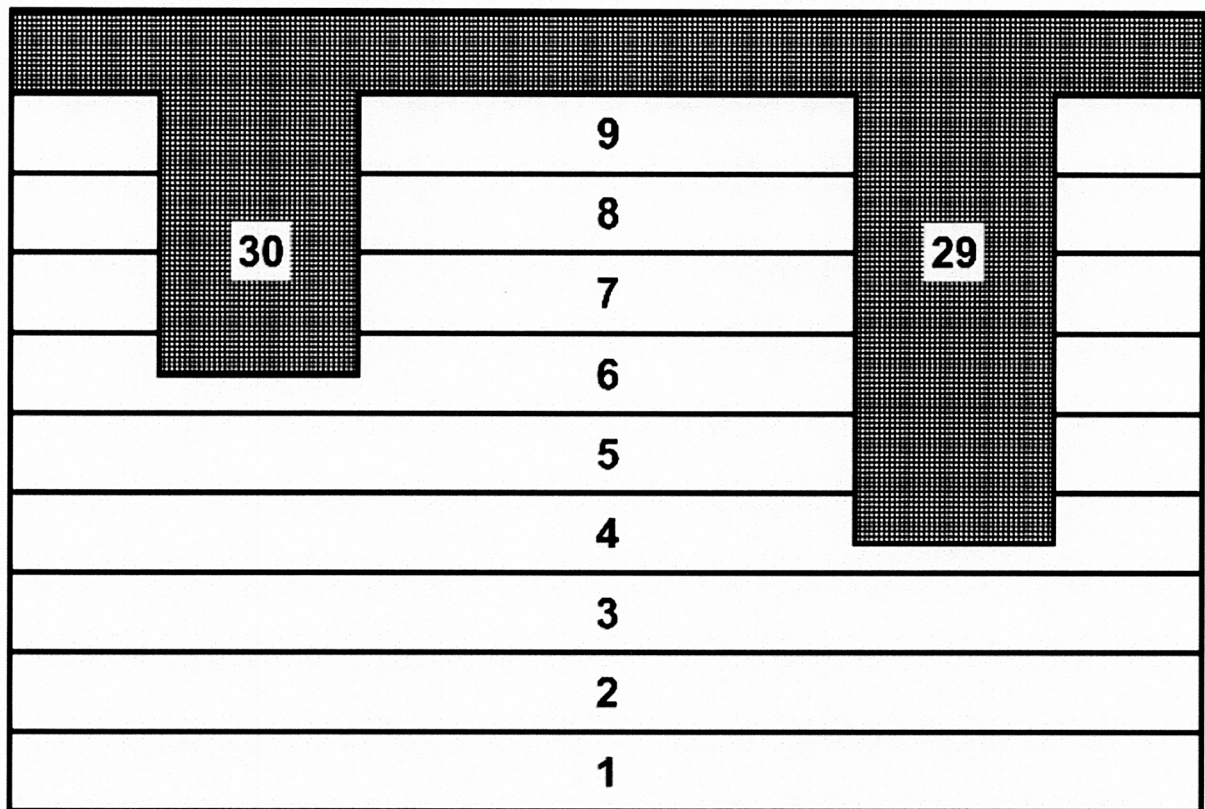


Fig.2d

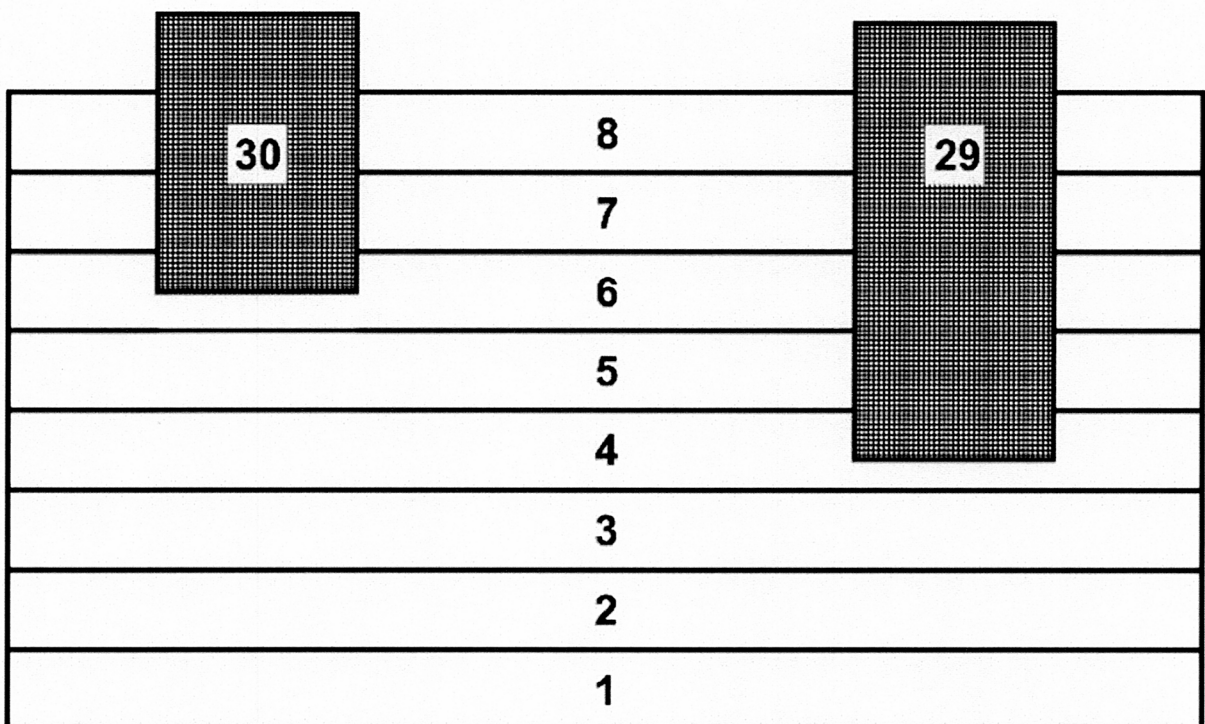


Fig.2e

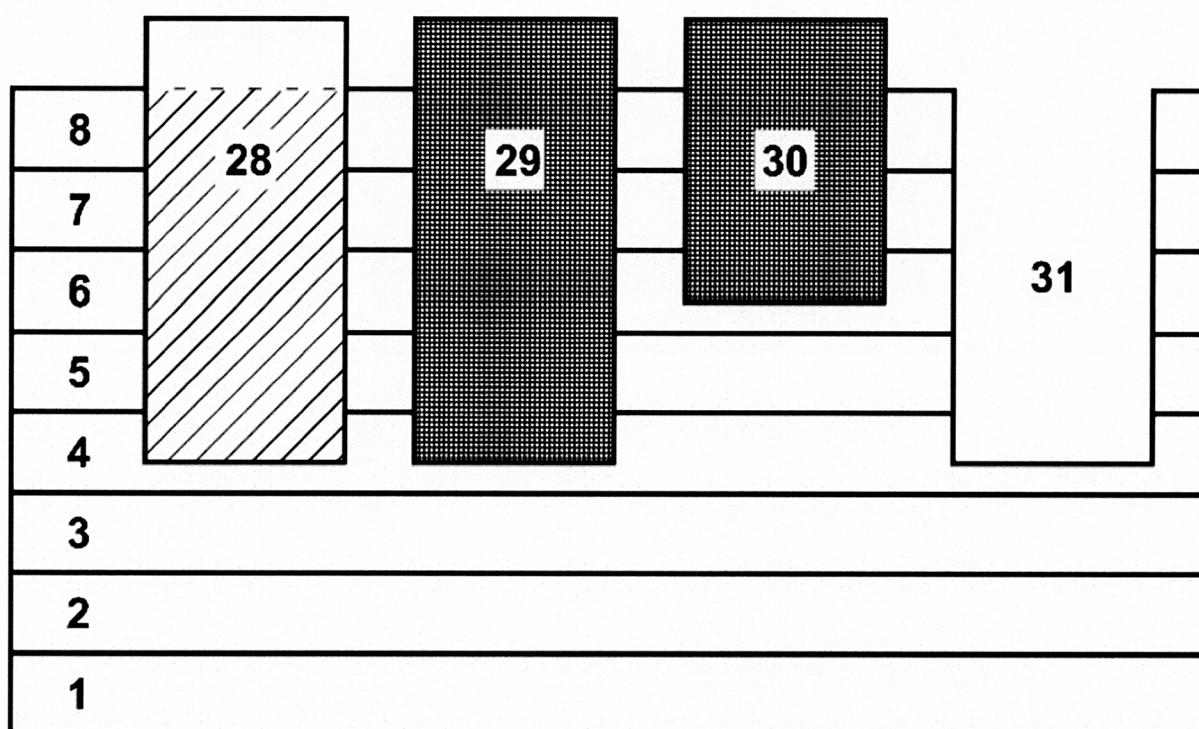


Fig. 3

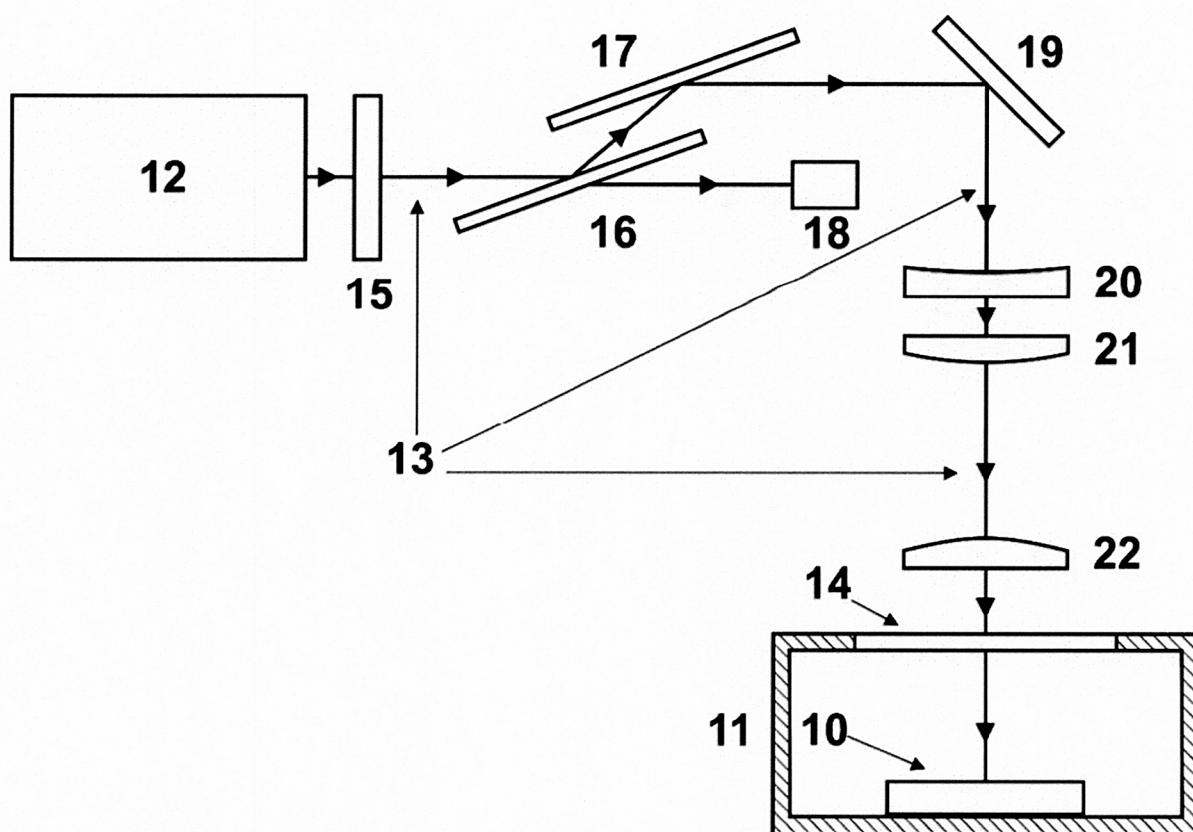


Fig. 4

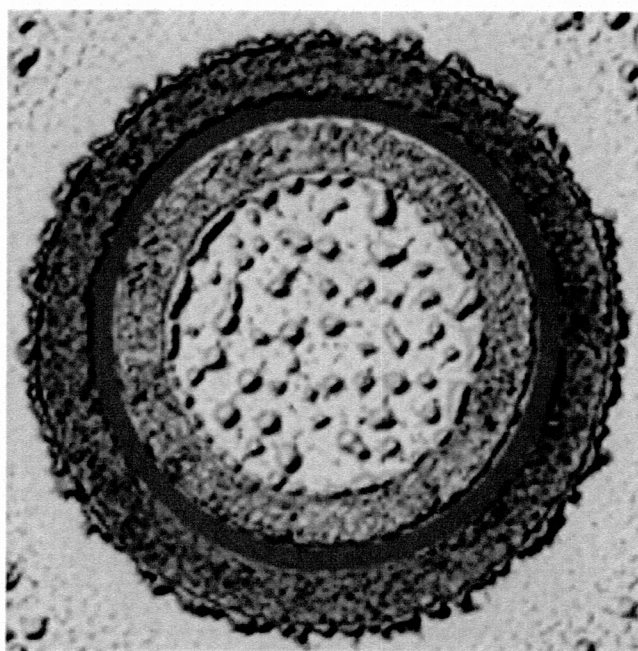


Fig.5a

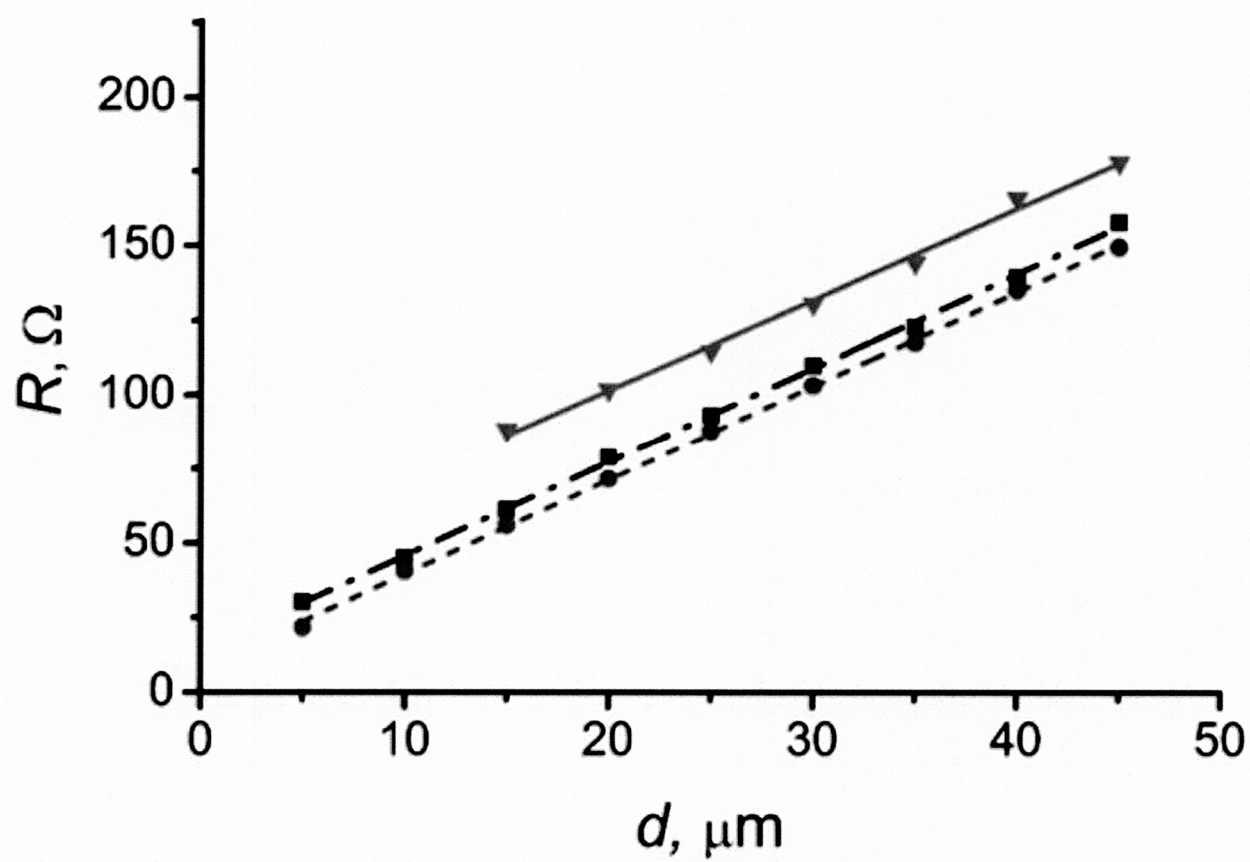


Fig.5b

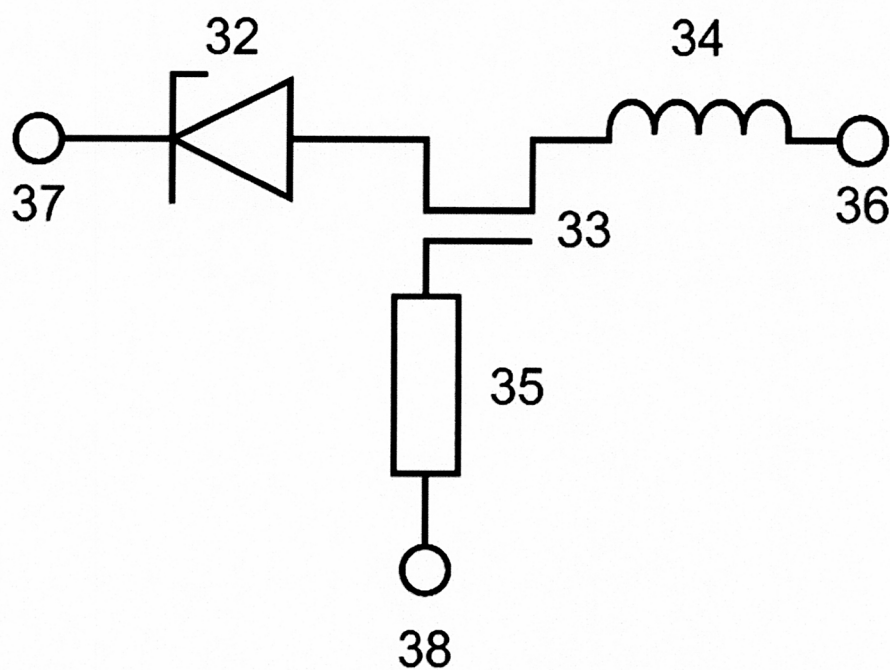


Fig.6a

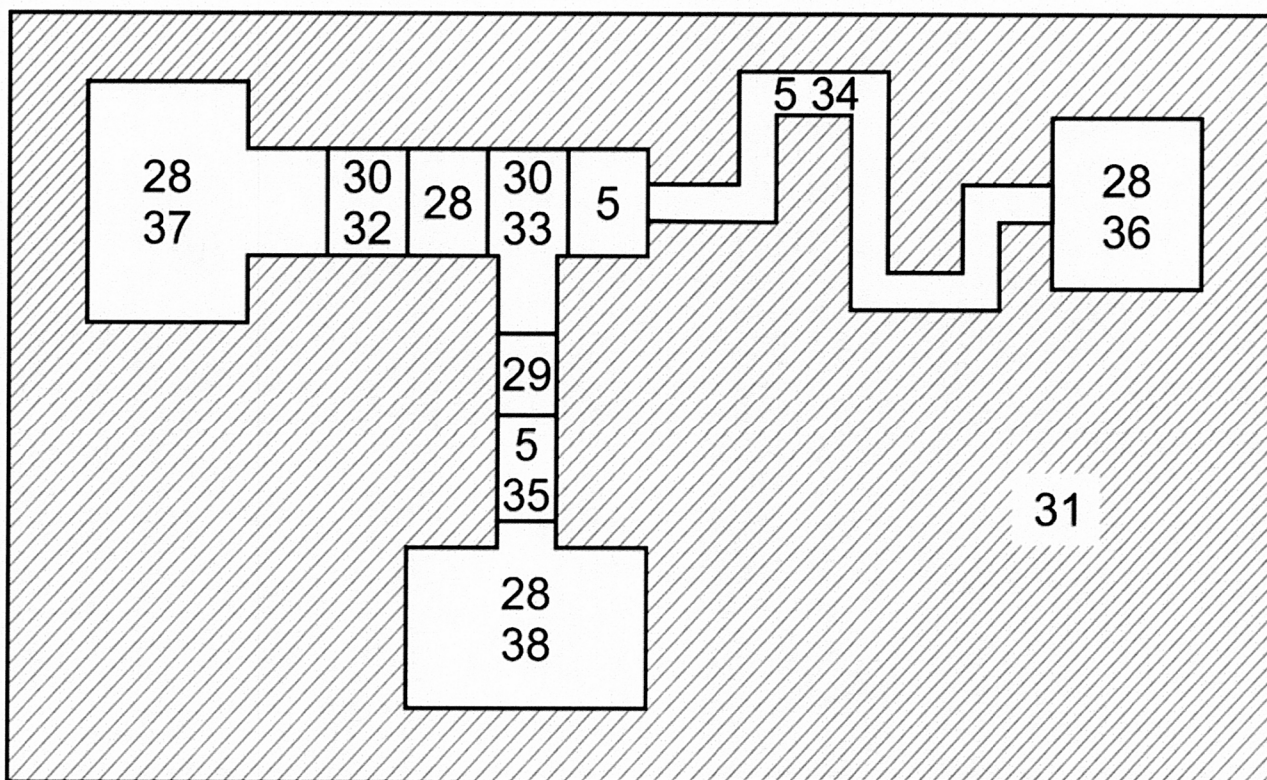


Fig. 6b