(19) Octrooiraad Nederland

(11) 194186

(12) C OCTROOI

(21) Aanvrage om octrooi: 9300850

(22) Ingediend: 14.05.1993

(51) Int.Cl.[7] H01S5/32

(30) Voorrang:
14.05.1992 JP 0148679/92
10.06.1992 JP 0177483/92
erkend
04.02.1993 JP 0017185/93
28.04.1993 JP 0102083/93

(43) Ter inzage gelegd:
01.12.1993 I.E. 1993/23

(44) Openbaargemaakt:
02.04.2001 I.E. 2001/04

(47) Dagtekening:
03.08.2001

(45) Uitgegeven:
01.10.2001 I.E. 2001/10

(73) Octrooihouder(s):
Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha te Tokio, Japan (JP).

(72) Uitvinder(s):
Kenzo Mori te Hyogo (JP)
Tadashi Kimura te Hyogo (JP)
Yoshitatu Kawama te Hyogo (JP)
Nobuaki Kaneno te Hyogo (JP)
Tatuya Kimura te Hyogo (JP)
Yuji Okura te Hyogo (JP)
Hitoshi Tada te Hyogo (JP)

(74) Gemachtigde:
Ir. P.N. Hoorweg c.s. te 2502 EN Den Haag.

(54) Halfgeleiderlaser en werkwijze voor het maken daarvan.

NL C 194186

Halfgeleiderlaser en werkwijze voor het maken daarvan

De onderhavige uitvinding betreft een halfgeleiderlaser, omvattende een vlak substraat van p-type halfgeleidermateriaal, met op dat substraat een optische golfgeleider in de vorm van een in bovenaanzicht streepvormige mesablok, waarin een actieve lichtopwekkende laag tussen een onderlaag van p-type halfgeleidermateriaal en een bovenlaag van n-type halfgeleidermateriaal in ligt, en aan weerszijden van het mesablok op het substraat een aantal opeengestapelde insluitingslagen van halfgeleidermateriaal, waaronder drie lagen die respectievelijk van het p-type, het n-type en het p-type zijn, gecompleteerd door de gewenste afdekkingslagen en elektroden. Een dergelijke halfgeleiderlaser is bekend uit een artikel van S. Kakimoto et al in Electronics Letters, Vol. 24, nr. 24, pp. 1500–1501 (1988).

Wordt tijdens het bedrijf van deze halfgeleiderlaser dwars op de elektroden een spanning in doorlaatrichting aangelegd, dan vloeit een elektrische stroom tussen de elektroden en worden in de actieve laag elektronen en gaten vanuit naburige lagen geïnjecteerd. Deze elektroden en gaten zullen vervolgens recombineren onder opwekking van licht, hetgeen een laserwerking tengevolge heeft. Aangezien de actieve laag verborgen ligt binnen een kristal van halfgeleidermateriaal met kleinere brekingsindex, blijft het opwekte licht binnen de actieve laag besloten en kan het alleen via één der langseinden van de actieve laag uittreden. Bovendien vormen twee van de drie genoemde insluitingslagen een in sperrichting aangesloten pn-overgang, waardoor de bruikbare elektrische stroombaan doeltreffend wordt vernauwd. De laser van dit type heeft derhalve een relatief groot uitgangsvermogen.

Hoewel de bekende halfgeleiderlaser goed voldoet, kunnen daarin als gevolg van de gekozen opbouw nog bepaalde lekstromen optreden. Een eerste mogelijke baan voor lekstromen loopt vanaf het substraat en de eerste insluitingslaag (beide van p-type halfgeleidermateriaal) via een haaks op het substraat staande pn-overgang naar de laag van n-type halfgeleidermateriaal boven in het mesablok. De grootte van de lekstroom door deze baan hangt af van de weerstand van de eerste insluitingslaag, die omgekeerd evenredig is met de dikte van die laag. Ter beperking van de lekstroom zal men dus naar vermindering van de dikte van de eerste insluitingslaag moeten streven.

Een tweede mogelijke baan voor lekstromen ontstaat, als de tweede insluitingslaag in contact komt met de eerdergenoemde laag boven in het mesablok. Aangezien deze beide lagen van n-type halfgeleidermateriaal zijn, kan er bij onderling contact gemakkelijk een lekstroom door vloeien. Deze contactmogelijkheid doet zich overigens slechts in enkele gevallen voor, met name als de eerste insluitingslaag van p-type halfgeleidermateriaal te dun is uitgevallen, of als het mesablok een zandlopervormige doorsnede heeft, waardoor de eerste insluitingslaag onvoldoende hoog tegen de zijwanden van het mesablok aan komt te liggen.

Op grond van deze mogelijke lekstroombanen dient men dus bij het aanbrengen van de insluitingslagen enerzijds naar een zo dun mogelijke eerste laag van p-type halfgeleidermateriaal te streven, maar anderzijds trachten te vermijden dat de tweede insluitingslaag van n-type halfgeleidermateriaal met de laag van overeenkomstig materiaal in het mesablok in contact komt. Deze eisen zijn gedeeltelijk tegenstrijdig en derhalve moeilijk te realiseren.

Hierbij komt nog, dat de insluitingslagen traditioneel worden aangebracht door epitaxiale groei uit de vloeistoffase (LPE-methode). Hoewel deze methode gemakkelijk te hanteren is, heeft zij het nadeel dat de diverse laagdikten niet nauwkeurig regelbaar zijn, hetgeen de problemen met mogelijke lekstroombanen vergroot.

Er bestaat nog een andere methode voor het laten aangroeien van kristallijne lagen op een ondergrond, namelijk de MOCVD-methode, waarbij het materiaal voor de lagen wordt afgezet vanuit een dampfase, die vluchtige verbindingen van dat materiaal als bron bevat (MOCVD-methode). Bij deze methode is de laagdikte wel goed regelbaar, maar blijkens het artikel van Kakimoto et al in Electronics Letters is zij tot nu toe alleen nog maar voor de opbouw van het mesablok, dat wil zeggen het opbrengen van kristallijne lagen op een vlak oppervlak gebruikt. Hoe deze methode zich gedraagt bij het aanbrengen van kristallijne lagen tegen de zijwand van een mesablok is niet bekend.

Bij proeven die tot de uitvinding leidden, is nu verrassenderwijs gebleken, dat men door gebruik van de MOCVD-methode voor het aanbrengen van de insluitingslagen aan weerszijden van het mesablok uitstekende resultaten kan verkrijgen. Met behulp van deze methode kan de laagdikte van de insluitingslagen goed worden geregeld, zodat de eerste insluitingslaag van p-type halfgeleidermateriaal voldoende dun kan worden gemaakt om de mogelijke lekstroombaan van het eerste type klein te houden. Bovendien blijkt bij het aangroeien van een insluitingslaag tegen de zijwand van het mesablok, dat zich daar aan de bovenzijde een schuin oppervlak vormt, dat verdere kristalgroei tegengaat. De vervolgens opgebrachte tweede laag sluit zich daarbij aan en groeit niet over het schuine bovenoppervlak van de eerste laag heen.

Daardoor blijft de tweede insluitingslaag van n-type halfgeleidermateriaal op afstand van de zijwand van het mesablok, zodat geen contact met een laag van soortgelijk materiaal in het mesablok kan ontstaan en geen lekstroombaan van het tweede type wordt gevormd. Op deze wijze kan het probleem van de mogelijke lekstromen tot een minimum worden beperkt.

De uitvinding verschaft derhalve een halfgeleiderlaser van het in de aanvang genoemde type, met als kenmerk, dat van het genoemde drietal insluitingslagen aan weerszijden van het mesablok de eerste laag van p-type halfgeleidermateriaal zodanig tegen een zijwand van het mesablok aanligt, dat zij een schuin bovenvlak met oriëntatie (011)B naast de uit n-type halfgeleidermateriaal bestaande bovenlaag in het mesablok vertoont, en doordat de tweede laag van n-type halfgeleidermateriaal in het genoemde drietal insluitingslagen niet in contact verkeert met de uit n-type halfgeleidermateriaal bestaande bovenlaag in het mesablok.

Tevens verschaft de uitvinding een werkwijze voor het maken van de zojuist genoemde halfgeleiderlaser, omvattende het achtereenvolgens vormen van een laag uit p-type halfgeleidermateriaal, een actieve lichtopwekkende laag en een laag uit n-type halfgeleidermateriaal op een vlak substraat van p-type halfgeleidermateriaal, waarvan het bovenvlak een oriëntatie (001) of vrijwel (001) heeft, het wegetsen van materiaal ter omzetting van de opgebrachte lagen tot een in bovenaanzicht streepvormig mesablok, dat zich in de lijnrichting [100] uitstrekt, en het aanbrengen van een aantal opeengestapelde insluitingslagen van halfgeleidermateriaal aan weerszijden van het streepvormige mesablok, waaronder drie lagen die resp. van het p-type, het n-type en het p-type zijn, gevolgd door de benodigde afdekkingslagen en elektroden, met als kenmerk, dat de genoemde drie insluitingslagen met behulp van de MOCVD-methode aan weerszijden van het mesablok worden aangebracht, waarbij de eerste laag van p-type halfgeleidermateriaal zodanig tegen de zijwand van het mesablok komt te liggen, dat zij een schuin bovenvlak met oriëntatie (011)B naast de uit n-type halfgeleidermateriaal bestaande bovenlaag in het mesablok vertoont, en de tweede laag van n-type halfgeleidermateriaal zodanig op de eerste laag van p-type halfgeleidermateriaal komt te liggen dat deze tweede laag niet in contact met de uit n-type halfgeleidermateriaal bestaande bovenlaag in het mesablok komt.

Andere kenmerken van de uitvinding zullen uit het navolgende blijken.

De uitvinding wordt thans nader beschreven aan de hand van de tekening, die het exacte groeimechanisme van de insluitingslagen aan weerszijden van het mesablok, alsook een complete uitvoeringsvorm van de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding en zijn fabricagewerkwijze weergeeft. Tot beter begrip laat deze tekening ook de halfgeleiderlaser volgens de stand der techniek en zijn fabricagewerkwijze zien.

Figuren 1(a)–1(e) laten het groeimechanisme van de insluitingslagen aan weerszijden van een mesablok met rechthoekige dwarsdoorsnede zien, indien deze insluitingslagen met de MOCVD-methode worden gevormd.

Figuren 2(a)–2(e) laten het groeimechanisme van de insluitingslagen aan weerszijden van een mesablok met trapeziumvormige dwarsdoorsnede zien, indien deze insluitingslagen met de MOCVD-methode worden gevormd.

Figuren 3(a)–3(b) laten het groeimechanisme van de insluitingslagen aan weerszijden van een mesablok met zandlopervormige dwarsdoorsnede zien, indien deze insluitingslagen met de MOCVD-methode worden gevormd.

Figuren 4(a)–4(d) illustreren de complete fabricagewerkwijze voor een eerste uitvoeringsvorm van de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding.

Figuur 5 toont deze eerste uitvoeringsvorm van de halfgeleider volgens de uitvinding in dwarsdoorsnede.

Figuur 6 is een grafiek ter illustratie van de spreiding van baanbreedten voor de lekstroom in een halfgeleider volgens de uitvoeringsvorm van figuur 5.

Figuur 7 is een grafiek ter illustratie van de spreiding van baanbreedten voor de lekstroom in een bekende halfgeleider volgens figuur 10.

Figuur 8 toont een mesablok met rechthoekige dwarsdoorsnede op een substraat, gebruikt bij de fabricage van een tweede uitvoeringsvorm van de halfgeleider volgens de uitvinding.

Figuur 9 toont een mesablok met zandlopervormige dwarsdoorsnede op een substraat, gebruikt bij de fabricage van een derde uitvoeringsvorm van de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding.

Figuur 10 toont een halfgeleiderlaser volgens de stand der techniek, gezien in dwarsdoorsnede.

Figuren 11(a)–11(d) illustreren de fabricagewerkwijze van de halfgeleiderlaser van figuur 10.

Figuur 12 en figuur 13 zijn doorsneden door de halfgeleiderlaser van figuur 10, waarin de plaats van een eerste, resp. tweede mogelijke lekstroombaan is aangegeven.

Figuur 14 toont een mesablok met zandlopervorm op een substraat, gezien in dwarsdoorsnede.

Figuur 15 toont een halfgeleiderlaser overeenkomstig figuur 10, maar met het mesablok van figuur 14, in dwarsdoorsnede, waarbij de plaats van een lekstroombaan is aangegeven.

Aan de hand van de figuren 10–15 volgt hier eerst een beschrijving van de bekende halfgeleiderlaser uit het artikel van Kakimoto et al en zijn fabricagewerkwijze.

Figuur 10 is een dwarsdoorsnede door deze bekende halfgeleiderlaser. Daarin heeft het verwijzingscijfer 201 een vlak substraat uit p-type InP aan. Op het substraat bevinden zich achtereenvolgens een onderste bekledingslaag 202 van p-type InP, een actieve lichtopwekkende laag 203 van niet-gedoteerd InGaAsP, en een eerste bovenste bekledingslaag 204 van n-type InP. Door selectief etsen van de lagen 202, 203 en 204 is op het substraat een optische golfgeleider in de vorm van een in bovenaanzicht streepvormig mesablok gevormd. Aan weerszijden van dit mesablok bevinden zich opeengestapeld een aantal insluitingslagen, namelijk een laag 205 van p-type InP, een stroomblokkeringslaag 206 van n-type InP en een stroomblokkeringslaag 207 van p-type InP, waarbij de laag 207 ook op delen van de laag 205 rust. Over de eerste bovenste bekledingslaag 204 van n-type InP en de stroomblokkeringslaag 207 van p-type InP ligt een tweede bovenste bekledingslaag 208 van n-type InP, met daarop een contactlaag 209 van n-type InGaAsP. Een elektrode 211 van de n-zijde bevindt zich op de contactlaag 209, terwijl een elektrode 210 van de p-zijde zich op de rugzijde van het substraat 201 bevindt. Ofschoon de bekende halfgeleiderlaser ook nog een lichtgeleidingslaag met een diffractierooster op de actieve lichtopwekkende laag omvat, is deze lichtgeleidingslaag in figuur 10 weggelaten.

De figuren 11(a) tot en met 11(d) illustreren de diverse stappen bij het maken van de halfgeleiderlaser van figuur 10. Gelijke delen zijn hier met gelijke cijfers aangeduid.

Zoals blijkt uit figuur 11(a) gaat men uit van een substraat 201 uit p-type InP met oppervlakte-oriëntatie (001) of nagenoeg (001), waarop achtereenvolgens een laag 202 van p-type InP met een dikte van ca. 1 µm, een actieve lichtopwekkende laag 203 van InGaAsP met een dikte van ca. 0,1 µm, en een eerste bovenste bekledingslaag 204 uit n-type InP met een dikte van ca. 1 µm worden gevormd. Bij voorkeur wordt elk van deze lagen aangebracht door afzetting uit de dampfase, welke dampfase vluchtige verbindingen van de af te zetten elementen bevat (MOCVD-methode).

Op de eerste bovenste bekledingslaag 204 wordt vervolgens een negatieve fotolak 215 aangebracht en door fotolithografie omgezet tot een streepvormig patroon met een breedte van ca. 6 µm. zie figuur 11(b). Dit streepvormige patroon heeft een lijnoriëntatie [100]. Aangezien na de kristalgroei een oxidefilm aan het oppervlak van de eerste bovenste bekledingslaag 204 aanwezig is, dient het aanbrengen van de fotolak 215 pas te geschieden nadat de oxidefilm met behulp van waterstoffluoride van het oppervlak is verwijderd.

Onder gebruikmaking van het streepvormige laagje fotolak 215 als masker worden de lagen daaronder vervolgens weggeëtst totdat het etsfront het substraat 210 heeft bereikt. Zodoende wordt een mesablok verkregen, dat in bovenaanzicht streepvormig met lijnoriëntatie [100] is en waarin zich een actieve lichtopwekkende laag 203 van 1–2 µm breedte bevindt. Zie figuur 11(c). Bij voorkeur wordt een mengsel van broom en methanol als etsmiddel gebruikt.

Na verwijdering van het laagje fotolak 215 worden achtereenvolgens de insluitingslagen, namelijk de laag 205 van p-type InP, de stroomblokkeringslaag 206 van n-type InP en de stroomblokkeringslaag 207 van p-type InP aan weerszijden van het mesablok op het substraat 210 aangebracht. Zie figuur 11(d). Het aanbrengen van deze lagen geschiedt door epitaxiale groei vanuit de vloeistoffase (LPE-methode).

Daarna worden achtereenvolgens de tweede bovenste bekledingslaag 208 van n-type InP en de contactlaag 209 van n-type InGaAsP door epitaxiale groei over het gehele oppervlak van de laagstructuur aangebracht. De halfgeleiderlaser van figuur 10 wordt voltooid door het aanbrengen van de elektroden 210 en 211 op resp. de rugzijde van het substraat 201 en op de contactlaag 209.

In een variant van de zojuist beschreven werkwijze wordt als masker voor de etsing van het mesablok geen laag van fotolak, maar een film van SiO_2 gebruikt, welke door sputteren of dergelijke direct in de vorm van een streeppatroon kan worden opgebracht. Deze film van SiO_2 hecht steviger aan de halfgeleiderlagen en wordt pas na het aanbrengen van de insluitingslagen 205, 206 en 207 verwijderd, zodat men een ongewenste groei van de laag 207 op het mesablok kan vermijden.

De halfgeleiderlaser van figuur 10 werkt als volgt.

Wordt dwars op de elektroden 210 en 211 een spanning in de doorlaatrichting aangelegd, dan vloeit een elektrische stroom tussen de elektroden en worden in de actieve lichtopwekkende laag 203 van InGaAsP elektronen en gaten geïnjecteerd vanuit resp. de bovenste bekledingslaag 204 van n-type InP en de onderste bekledingslaag 202 van p-type InP. De in de lichtopwekkende laag 203 geïnjecteerde elektronen en gaten zullen recombineren onder opwekking van licht, hetgeen een laserwerking tengevolge heeft. Aangezien de laag 205 van p-type InP, de stroomblokkeringslaag 206 van n-type InP en de stroom-

blokkeringslaag 207 van p-type InP als insluitingslagen aan weerszijden van het mesablok aanwezig zijn, ligt de actieve stroomopwekkende laag 203 uit InGaAsP verborgen binnen een kristal van InP met een kleinere brekingsindex dan InGaAsP, zodat het in de actieve laag opgewekte licht op doeltreffende wijze binnen die actieve laag 203 opgesloten blijft. Aangezien verder door de stroomblokkeringslaag 206 van n-type InP en de stroomblokkeringslaag 207 van p-type InP aan weerszijden van het mesablok een in sperrichting aangesloten pn-overgang wordt gevormd, wordt de baan voor de elektrische stroom vernauwd en worden ladingsdragers met hoog rendement in de actieve stroomopwekkende laag geïnjecteerd.

Een nadeel van de bekende halfgeleiderlaser uit figuur 10 is, dat daarin nog bepaalde lekstromen kunnen optreden. Hiervoor wordt verwezen naar de schetsen van figuur 12 en figuur 13.

Blijkens figuur 12 wordt een eerste mogelijke baan voor een lekstroom geschapen door de in doorlaatrichting aangesloten pn-overgang, haaks op het substraat 201, tussen de laag 205 van p-type InP en de laag 204 van n-type InP. Dit betekent, dat een deel van de in de laser geïnjecteerde stroom door deze lekstroombaan kan gaan (zie de langgerekte pijl in figuur 12), waardoor dit deel van de stroom niet aan de laserwerking bijdraagt. De lekstroom heeft een nadelige invloed op de trillingsdrempel, het maximale uitgangsvermogen en de temperatuureigenschappen van de laser. De grootte van de lekstroom hangt af van de weerstand in de lekstroombaan, die weer verband houdt met de breedte ervan (links in figuur 12 aangegeven). Ter verkrijging van een halfgeleiderlaser met een kleinere lekstroom en verbeterde eigenschappen is het dan ook nodig om de weerstand van dit eerste type lekstroombaan door versmalling van die baan te verhogen. De versmalling van de lekstroombaan wordt verkregen door vermindering van de dikte van de laag 205 van p-type InP aan weerszijden van de lichtopwekkende laag 203.

Overigens kan men met de verhoging van de weerstand in het eerste type lekstroombaan niet te ver gaan, zoals figuur 13 lat zien. Wordt namelijk de dikte van de laag 205 aan weerszijden van de lichtopwekkende laag 203 verminderd, dan slinkt ook de dikte van de laag 205 naast het bovendeel van het mesablok. Dit houdt het risico in zich, dat de op de laag 205 volgende stroomblokkeringslaag 206 met de bekledingslaag 204 in contact komt. Aangezien beide lagen 206 en 204 van n-type InP zijn, zal zich in dat geval tussen deze lagen een in doorlaatrichting aangesloten nn-overgang (haaks op het substraat 201) vormen, die gemakkelijk stroom doorlaat. Daarmee is dan een tweede type lekstroombaan geschapen, zie de langgerekte pijl in figuur 13. Om deze lekstroombaan te voorkomen, dient men derhalve elk ongewenst contact tussen de lagen 206 en 204 te vermijden, hetgeen alleen mogelijk is door de laag 205 niet teveel in dikte te verminderen.

Ter verkrijging van een halfgeleiderlaser met een geringere lekstroom en verbeterde eigenschappen is het dan ook noodzakelijk om de dikte van de insluitingslaag 205 van p-type InP bij het vormen van die laag nauwkeurig te regelen.

Bij gebruik van de LPE-methode voor het maken van de insluitingslagen zijn de diverse laagdikten echter niet goed regelbaar, zodat een halfgeleiderlaser met geringere lekstroom en verbeterde eigenschappen niet met die methode kan worden verkregen.

Bij gebruik van de MOCVD-methode zijn de laagdiktes wel goed regelbaar. Tot nu toe is deze methode echter alleen voor het aanbrengen van kristallijne lagen op een vlak substraat gebruikt. Hoe deze methode uitwerkt bij het aanbrengen van insluitingslagen tegen de wanden van een mesablok is niet bekend.

Verder wordt erop gewezen, dat de uitwendige vorm van het mesablok, zoals die door etsing is ontstaan, bij het aanbrengen van de insluitingslagen voor verrassingen kan zorgen. Dit wordt nader geïllustreerd door figuur 14 en figuur 15.

Wordt het mesablok gevormd door wegetsen van materiaal onder gebruikmaking van een film van SiO_2 als masker, dan vindt vlak onder het masker nauwelijks etsing in zijdelingse richting plaats, omdat het masker stevig aan de bovenste bekledingslaag 204 hecht. Verder neerwaarts, dus op grotere afstand van het masker, kan echter wel etsing in zijdelingse richting optreden. Gebeurt dit, dan krijgt het mesablok in dwarsdoorsnede een zandlopervorm, met overhellende zijwanddelen van oriëntatie (011)A in het bovengedeelte (zie figuur 14). Worden vervolgens de insluitingslagen met behulp van de LPE-methode aan weerszijden van het mesablok aangebracht, dan zal de laag 205 van p-type InP niet, maar de daaropvolgende laag 206 van n-type InP wel tegen de overhellende zijwanddelen van het mesablok aangroeien. Het gevolg is dat een ongewenst contact tussen de stroomblokkeringslaag 206 en de bekledingslaag 204 (beide van n-type InP) ontstaat. Dit ongewenst contact voert tot het ontstaan van het tweede type lekstroombaan, zoals in figuur 15 weergegeven. Bovendien zorgt de LPE-methode in dat geval voor een oneffenheid in de aangebrachte lagen, die een nadelige invloed bij het later aanbrengen van elektroden heeft, waardoor het productierendement achteruitgaat.

Ook indien een laagje fotolak als masker wordt gebruikt bij het wegetsen van materiaal, kan soms een mesablok me zandlopervorm ontstaan, maar alleen indien de fotolak stevig aan de bovenste bekledingslaag

hecht. Doorgaans is dit echter niet het geval, zodat de beschreven problemen dan niet optreden.

In overeenstemming met de uitvinding kunnen de problemen met de bekende halfgeleiderlaser van figuur 10 nu grotendeels worden ondervangen door de insluitingslagen aan weerszijden van het mesablok met behulp van de MOCVD-methode aan te brengen. Men kan dan een halfgeleiderlaser met geringere lekstroom en verbeterde eigenschappen verkrijgen.

Om dit duidelijk te maken, volgt thans aan de hand van figuur 1(a) t/m 1(e) en figuur 2(a) t/m 2(e) een gedetailleerde beschrijving van het aanbrengen der insluitingslagen met behulp van MOCVD-methode, waarbij vooral het groeimechanisme aanschouwelijk wordt gemaakt.

De MOCVD-methode wordt uitgevoerd in een verticale reactor met vacuümbuis, bij een temperatuur van 650 graden Celcius en een druk van 76 Torr. Als grondstof voor de insluitingslagen van InP dienen de gassen trimethylindium (TMIn) en fosfine (PH_3), waarbij de verhouding PH/TMIn 100:1 bedraagt. De groeisnelheid wordt ingesteld op 3 µm/h. Achtereenvolgens worden lagen van p-type InP en n-type InP aangebracht, waarbij diëthylzink (DEZn) en waterstofsulfide (H_2S) als bron voor de verontreinigingen van p-type, resp. n-type worden gebruikt. Stijging en daling van de temperatuur vóór en na de kristalgroei geschieden onder een atmosfeer van PH_3-gas teneinde een thermische vervorming van het substraat te vermijden.

In het geval van figuur 1 gaat men uit van een mesablok 105 met rechthoekige dwarsdoorsnede op een vlak substraat. Inwendige lagen zijn niet weergegeven. Het substraatoppervlak 106 heeft een oriëntatie (001), terwijl het mesablok in bovenaanzicht streepvormig met lijnoriëntatie [100] is. De rechthoekige dwarsdoorsnede van het mesablok is verkregen door droog etsen met methaan en zuurstof, zodat een oppervlak 104 met oriëntatie (010) de zijwand vormt. Op het bovenoppervlak van het mesablok bevindt zich een streepvormige film 103 van SiO_2, die reeds als masker bij het etsen heeft gediend en vervolgens als masker bij het aanbrengen van de insluitingslagen aan weerszijden daarvan functioneert. Zie figuur 1(a).

Bij toepassing van de MOCVD-methode zal de eerste insluitingslaag 120 zowel tegen het substraat-oppervlak 106 als tegen de opstaande zijwand 104 van het mesablok 105 aangroeien en wel met dezelfde groeisnelheid. Bij dit aangroeien van de laag vormen zich nieuwe oppervlakken 106 en 104 evenwijdig aan de oude oppervlakken. Nabij de bovenzijde van de wand 104 zal de laag 120 eindigen in een schuin oppervlak 107 met oriëntatie (011)B, waarop in dit stadium verder geen aangroei plaatsvindt. De hoek O_1 tussen het vlak 107 en het substraatoppervlak 106 is 55 graden, zie figuur 1(b).

Bij het aanbrengen van de volgende insluitingslaag 121 herhaalt dit groeimechanisme zich, waarbij wederom nieuwe oppervlakken 106 en 104 worden gevormd. Het gedeelte van de laag 121 dat tegen het oppervlak 104 aangroeit, kan echter niet hoger dan het overeenkomstige gedeelte van de laag 120 komen en eindigt aan de bovenzijde in een schuin vlak 107, dat in het verlengde van het eerdergenoemde oppervlak 107 ligt. Dit heeft tot gevolg, dat het als zijwand dienende nieuwe oppervlak 104 aanzienlijk korter dan het oude oppervlak 104 wordt, zie figuur 1(c).

Wordt daarna een derde insluitingslaag 122 op dezelfde wijze aangebracht, dan vormt zich nog wel een schuin oppervlak 107 en een vlak oppervlak 106, maar geen zijwandoppervlak 104 meer, zie figuur 1(d). Dit betekent, dat een volgende laag niet meer tegen een opstaande zijwand behoeft aan te groeien en dat de belemmering door het schuine oppervlak 107 verdwijnt.

Wordt vervolgens een vierde laag 123 op dezelfde wijze aangebracht, dan zal deze ongehinderd over de oppervlakken 106 en 107 aangroeien, zodat het mesablok volledig door kristallijne halfgeleiderlagen raakt ingesloten, zie figuur 1(e).

Dankzij het feit, dat het masker 103 niet buiten de opstaande zijwanden van het mesablok uitsteekt, zal dat masker bij het aanbrengen van de insluitingslagen geen nadelige invloed op de stroming van de gebruikte gassen hebben, zodat de aangebrachte lagen een plat oppervlak krijgen, zoals in figuur 1(e) getekend.

Worden in de stappen van figuur 1(b) tot figuur 1(e) achtereenvolgens een insluitingslaag 120 van p-type InP, twee insluitingslagen 121 en 122 van n-type InP (die tezamen een enkele laag vormen), en daarna een insluitingslaag 123 van p-type InP aangebracht, dan resulteert dit in een laserstructuur, waarin de insluitingslaag van n-type InP niet in contact komt met de bekledingslaag van n-type InP in het bovendeel van het mesablok. Een lekstroombaan van het tweede type ontbreekt derhalve. Weliswaar is nog wel een lekstroombaan van het eerste type aanwezig, maar door de goede regelbaarheid van de laagdikte van de eerste insluitingslaag kan deze baan zo smal mogelijk worden gehouden.

In het nu te bespreken geval van figuur 2 gaat men uit van een mesablok met trapeziumvormige dwarsdoorsnede op een vlak substraat. Ook hier zijn geen inwendige lagen weergegeven. Het oppervlak van het substraat heeft een oriëntatie (001). Het mesablok 110 is in bovenaanzicht streepvormig met lijnoriëntatie [100]. Aan de bovenzijde draagt het een laag 111 van InGaAs, waarop zich een streepvormige

film 103 van SiO_2 bevindt. Dit mesablok is verkregen door natte etsing met een mengsel van HBr, H_2O_2 en H_2O, waarbij de film 103 als masker diende. Dankzij de aanwezigheid van de laag 111 is daarbij in dwarsdoorsnede een trapeziumvorm met een vloeiende overgang naar het substraatoppervlak verkregen. Als gevolg van de etsing steekt het masker 103 over een afstand x van 1,7 tot 1,8 µm buiten elke zijwand van het mesablok uit, hetgeen circa 70% van de hoogte d van het mesablok is. Zie figuur 2(a).

Met behulp van de MOCVD-methode worden vervolgens diverse insluitingslagen van kristallijn halfgeleidermateriaal aan weerszijden van het mesablok op het substraat aangebracht. De eerste laag 130 groeit ook tegen de zijwand van het mesablok aan en eindigt daar aan de bovenzijde in een schuin oppervlak 107 met oriëntatie (011)B, evenals in figuur 1(b). Verder verkrijgt de aangegroeide laag 130 een zijwand 112 met oriëntatie (021)B. De hoek O2 tussen de zijwand 112 en het vlak met oriëntatie (001) bedraagt 70 graden. Zie figuur 2(b).

Bij het opbrengen van de volgende insluitingslaag 131 blijkt deze dankzij de schuine stand van de oppervlakken 107 en 112 praktisch alleen op het vlakke deel van de eerst gevormde laag 130 aan te groeien. Zie figuur 2(c). De daaropvolgende insluitingslaag 132 groeit wel aan tegen de zijwand 112, die daardoor geheel verdwijnt, en vertoont aan de bovenzijde een schuin oppervlak, dat in het verlengde van het vlak 107 ligt. Zie figuur 2(d). Daarop volgt een vierde insluitingslaag 133, die over het schuine oppervlak 107 heen groeit, zodat het mesablok 110 volledig ingesloten geraakt. Zie figuur 2(e).

Blijkens figuur 2(e) is het bovenoppervlak van de insluitingslagen niet geheel vlak, maar vertoont het inzinkingen van ca. 0,8 µm diepte aan weerszijden van het mesablok. Deze inzinkingen zijn veroorzaakt door de uitstekende rand van het masker 103, welke een belemmering voor de gasstromen bij het afzetten van de insluitingslagen vormde. De inzinkingen verdwijnen echter, indien na de verwijdering van het masker 103 nog een afdeklaag van ca. 2 µm dikte over de gehele breedte van de laserstructuur wordt aangebracht.

Worden in de stappen van figuur 2(b) tot en met figuur 2(e) achtereenvolgens een insluitingslaag 130 van p-type InP, twee insluitingslagen 131 en 132 van n-type InP (die tezamen een enkele laag vormen), en een insluitingslaag 133 van p-type InP aangebracht, dan resulteert dit in een laserstructuur, waarin de insluitingslaag van n-type InP niet in contact komt met de bekledingslaag van n-type InP in het mesablok, zodat een lekstroombaan van het tweede type ontbreekt. Wel is een lekstroombaan van het eerste type aanwezig, maar dankzij de aanwezigheid van het oppervlak 112 met oriëntatie (021)B, waarop niet onmiddellijk verdere kristalgroei plaatsvindt, kan deze lekstroombaan zo smal mogelijk worden gehouden.

In figuur 3 is een derde geval weergegeven, waarbij men uitgaat van een mesablok met zandlopervormige doorsnede op een vlak substraat. Ook hier zijn geen inwendige lagen weergegeven. Het oppervlak van het substraat heeft een oriëntatie (001). Het mesablok 113 is in bovenaanzicht streepvormig met lijnoriëntatie [100] en draagt een eveneens streepvormige film 103 van SiO_2 aan de bovenzijde. Dit mesablok 113 is verkregen door natte etsing met broom en methanol onder gebruikmaking van de film 103 als masker, waarbij zich zijwanden met een overhellend gedeelte 114 hebben gevormd. Zie figuur 3(a).

Wordt nu met behulp van de MOCVD-methode een insluitingslaag van halfgeleidermateriaal aan weerszijden van het mesablok 113 aangebracht, dan zal deze insluitingslaag evenals in figuur 1 en figuur 2 volledig tegen de zijwanden van het mesablok aangroeien en daar aan de bovenzijde door een schuin eindvlak worden begrensd. Zie figuur 3(b). Ook de daaropvolgende insluitingslagen laten zich op dezelfde wijze als in figuur 1 en 2 aanbrengen. Het verschil is alleen, dat de insluitingslagen aan de buitenzijde bovenaan een ongelijkmatig oppervlak 115 vertonen, omdat ook de overhellende wanddelen 114 van het mesablok als gevolg van de etsing een ongelijkmatig oppervlak hebben. Dit resulteert tenslotte in een laserstructuur, waarin de lekstroombaan van het tweede type ontbreekt, en de lekstroombaan van het eerste type wel smal is, maar plaatselijke variaties in dikte vertoont.

Aan de hand van figuur 4(a)–figuur 4(d) zal thans een volledige fabricagewerkwijze voor een halfgeleiderlaser volgens de uitvinding worden beschreven, en wel voor een uitvoeringsvorm, die correspondeert met het geval van figuur 2.

Uitgaande van een substraat 91 van p-type InP met oppervlakte-oriëntatie (001), worden daarop achtereenvolgens een bufferlaag 92 van p-type InP (dikte 2 µm), een actieve lichtopwekkende laag 93 van niet-gedoteerd InGaAsP (dikte 0,1 µm), een eerste bovenste bekledingslaag 94 van n-type InP (dikte 0,7 µm), een afdekkingslaag 116 van n-type InGaAs (dikte 0,1 µm) en een afdekkingslaag 117 van n-type InP (dikte 0,1 µm) aangebracht. De lagen van het p-type bevatten Zn, de lagen van het n-type bevatten S als verontreiniging.

Al deze lagen worden gevormd met de MOCVD-methode. Als uitgangsmaterialen daarvoor worden trimethylindium (TMIn), triëthylgallium (TEGa), fosfine (PH_3), arsine (AsH_3) en verder waterstofsulfide (H_2S) en diëthylzink (DEZn) gebruikt. De MOCVD-methode wordt uitgevoerd bij een groeitemperatuur van 625 graden Celsius en een druk van 50 Torr. De verhouding van elementen uit groep V tot elementen uit groep

III is 100:1. Zie figuur 4(a).

Na selectief verwijderen van de afdekkingslaag 117 met behulp van HCl wordt op de afdekkingslaag 116 van n-type InGaAs door sputteren een film 103 uit SiO_2 afgezet. Deze film 103 wordt vervolgens langs fotolithografische weg tot een streeppatroon met een breedte van 5 µm en een lijnoriëntatie [100] omgezet. Onder gebruikmaking van de streepvormige film 103 als masker worden de diverse lagen vervolgens 16 minuten geëtst met een mengsel van HBr, HO_2 en H_2O (2:1:10), waardoor een in bovenaanzicht streepvormig mesablok met trapeziumvormige dwarsdoorsnede wordt verkregen. Zie figuur 4(b).

Aan weerszijden van het zo gevormde mesablok worden vervolgens de nodige insluitingslagen aangebracht. Dit geschiedt met de MOCVD-methode, onder dezelfde omstandigheden als in figuur 2(b)–2(e). Met name worden op de bufferlaag 92 van p-type InP aan weerszijden van het mesablok achtereenvolgens een eerste insluitingslaag 96 van p-type InP (dikte 0,7 µm op het platte oppervlak), een insluitingslaag 97 van n-type InP (dikte 0,8 µm op plat oppervlak) en een insluitingslaag 98 van p-type InP (dikte 1 µm op plat oppervlak) gevormd. Zie figuur 4(c).

Na verwijdering van het masker 103 van SiO_2 met HF, en van de afdekkingslaag 116 van n-type InGaAs met HNO_3, worden over alles heen een tweede bovenste bekledingslaag 99 van n-type InP (dikte 1,5 µm) en een contactlaag 118 van n-type InP (dikte 0,5 µm, hogere ladingdragerconcentratie) afgezet, teneinde een plat oppervlak te verkrijgen. Zie figuur 4(d).

Vervolgens worden elektroden 119 op de contactlaag 118 van n-type InGaAs en op het rugoppervlak van het substraat 91 aangebracht, en wordt de structuur doorgesneden ter blootlegging van een facet aan het kopvlak. Dit levert de halfgeleiderlaser volgens figuur 5, die een eerste uitvoeringsvorm van de halfgeleider volgens de uitvinding vormt.

In figuur 5 ziet men, dat de eerste insluitingslaag 96 zowel op het substraat als tegen de zijwand van het mesablok aanligt en aan de bovenzijde van het mesablok wordt afgesloten door een schuin eindvlak, overeenkomend met het vlak 107 uit figuur 2(b). De tweede insluitingslaag 97 ligt tegen de eerste laag 96 aan en wordt op soortgelijke wijze door een schuin eindvlak in het verlengde van het eerste schuine vlak afgesloten, evenals de gecombineerde lagen 131 en 132 in figuur 2(d). Dit betekent, dat de laag 97 van n-type InP niet met de bekledingslaag 94 van hetzelfde materiaal in het mesablok in contact kan komen en dat een lekstroombaan van het tweede type afwezig is.

Wel is nog een lekstroombaan van het eerste type aanwezig, maar de breedte W1 daarvan blijkt gering te zijn. Uit figuur 2 kan namelijk worden afgeleid, dat zodra de tegen de zijwand van het mesablok aangebrachte eerste insluitingslaag 96 een buitenoppervlak met bepaalde hellingshoek, namelijk het vlak 112 van figuur 2(b) heeft, geen verdere aangroei tegen dat oppervlak meer plaatsvindt. Dit betekent, dat de eerste insluitingslaag 112 dun zal blijven.

Figuren 6 en 7 zijn grafieken, die de spreiding in breedte van de lekstroombanen weergeven voor resp. een halfgeleiderlaser volgens figuur 5 en een bekende halfgeleiderlaser volgens figuur 10. De metingen zijn verricht aan een doorsnede evenwijdig aan de lengterichting van het mesablok, op bepaalde afstanden uit het centrum van dat mesablok. Volgens figuur 6 blijkt de breedte van de lekstroombaan in een gebied tot 30 mm uit het centrum een gemiddelde waarde van 0,18 µm met een standaardafwijking van 0,008 µm te hebben. Voor een gebied van 30 mm aan weerszijden van het centrum is de breedte gemiddeld 0,185 ± 0,015 µm (tussen de stippellijnen). In figuur 7 daarentegen is de breedte van de lekstroombanen gemiddeld 0,355 ± 0,035 µm. Het blijkt derhalve, dat bij de eerste uitvoeringsvorm volgens de uitvinding (figuur 5) zeer nauwe en gelijkmatige lekstroombanen worden verkregen, vergeleken met de lekstroombanen in de laser van de stand der techniek.

Blijkens figuur 6 zijn de lekstroombanen in de nabijheid van de einden van de laser breder dan die in het centrum. Dit komt doordat het mesablok in de nabijheid van zijn einden een grotere hoogte verkrijgt tijdens de natte etsing, waardoor de insluitingslaag 97 van n-type InP betrekkelijk laag komt te liggen ten opzichte van de actieve lichtopwekkende laag 93. De invloed van de hoogte van het mesablok op de lekstroombaan werd bij een proef gemeten; het bleek dat een variatie in hoogte binnen een gebied van ± 0,2 µm geen nadelige invloed op de breedte van de lekstroombaan heeft.

Volgens de eerste uitvoeringsvorm van de uitvinding kunnen derhalve halfgeleiderlasers met kleinere lekstromen en verbeterd groot uitgangsvermogen met grote gelijkmatigheid en reproduceerbaarheid worden gevormd.

Voor het maken van een tweede uitvoeringsvorm van de halfgeleider volgens de uitvinding wordt eenvoudigheidshalve verwezen naar figuur 8 en figuur 1(b)–1(e), Figuur 8 toont een mesablok met rechthoekige dwarsdoorsnede op een substraat, welk mesablok door droog etsen met ethaan en zuurstof is gevormd. Gelijke onderdelen als in de figuren 1(a)–1(e) zijn met dezelfde cijfers aangegeven. Als met behulp van de MOCVD-methode achtereenvolgens diverse insluitingslagen aan weerszijden van het

mesablok op de bufferlaag 92 van p-type InP worden aangebracht, verloopt de groei van deze lagen volgens figuur 1(b)–1(e).

Eerst wordt een laag 96 van p-type InP, overeenkomend met de laag 120 van figuur 1(b) aangebracht; deze laag zal, voorzover zij tegen de zijwand van het mesablok aangroeit, door een schuin eindvlak 107 met oriëntatie (011)B worden afgesloten. Vervolgens wordt de laag 97 van n-type InP, overeenkomend met de beide lagen 121 en 122 van figuur 1(c) en 1(d), aangebracht. Deze laag 97 groeit niet over de laag 96 heen, maar eindigt met een schuin eindvlak in het verlengde van het eerdere schuine vlak, zodat de laag 97 wordt verhinderd om met de bekledingslaag 94 van n-type InP in het mesablok in contact te komen. Een lekstroombaan van het tweede type wordt derhalve niet gevormd.

Wel wordt ook in dit geval een lekstroombaan van het eerste type gevormd, maar deze zal doorgaans smal zijn, omdat de dikte van de eerste insluitingslaag 96 met behulp van de MOCVD-methode goed regelbaar is en gering gehouden kan worden. Als de gemiddelde breedte van de lekstroombaan op 0,1 µm wordt gesteld, zal de regelbaarheid (inclusief gelijkmatigheid en reproduceerbaarheid) van die breedte binnen ± 0,01 µm liggen, hetgeen betekent dat de regelbaarheid significant is verbeterd. Als gevolg daarvan wordt de lekstroom significant verminderd.

Voor een derde uitvoeringsvorm van de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding wordt gemakshalve verwezen naar figuur 9 en figuur 3(a)–3(b). Figuur 9 toont een mesablok met zandlopervorm op een substraat, zoals door etsing met broom en methanol ontstaan. Vergeleken met figuur 3(a) is nu ook de inwendige opbouw weergegeven, waarbij de diverse lagen met dezelfde cijfers als in figuur 4(b) zijn aangeduid. Als met behulp van de MOCVD-methode diverse insluitingslagen aan weerszijde van het mesablok op het substraat worden aangebracht, zal de eerste insluitingslaag zover mogelijk tegen de zijwand van het mesablok aangroeien, zelfs tegen het overhellende gedeelte daarvan, zie figuur 3(b). De tweede insluitingslaag krijgt daardoor geen kans om in contact met het bovendeel van het mesablok te komen, zodat een tweede lekstroombaan ontbreekt. Wel is ook hier een lekstroombaan van het eerste type aanwezig, en door het ongelijkmatige oppervlak van de eerste insluitingslaag, zoals bij figuur 3(b) beschreven, laat de breedte van deze lekstroombaan zich in tegenstelling tot de lekstroombaan in de eerste en de tweede uitvoeringsvorm slecht regelen.

Deze derde uitvoeringsvorm levert derhalve een minder goed resultaat dan de eerste en de tweede uitvoeringsvorm, al heeft zij nog altijd voordelen boven de stand der techniek.

Het geheel van de drie uitvoeringsvormen overziende, kan men gemakkelijk de meest gunstige vorm voor de dwarsdoorsnede van het mesablok vaststellen. Als namelijk de zijwanden van het mesablok, gezien in neerwaartse richting, een hoek kleiner dan 55 graden met het oppervlak van het substraat maken, zal een tegen de zijwand van het mesablok aangebrachte halfgeleiderlaag geen eindvlak met oriëntatie (011)B vertonen en wordt het effect van de uitvinding niet bereikt. Maken de zijwanden daarentegen een hoek groter dan 90 graden met het oppervlak van het substraat, zodat een overhellend gedeelte ontstaat, dan wordt het effect van de uitvinding slechts ten dele bereikt. Daarom wordt het mesablok in dwarsdoorsnede bij voorkeur begrensd door:

a. zijwanden, die gezien in neerwaartse richting, een hoek van 55 tot 90 graden met het oppervlak van het substraat maken, of

b. zijwanden die, gezien in neerwaartse richting, in het bovendeel een hoek van 55 tot 90 graden met het oppervlak van het substraat maken en verder vloeiend in de richting van het substraat verlopen.

In het geval dat de breedte van de lekstroombaan in figuur 5 met behulp van het oppervlak 112 met oriëntatie (021)B uit figuur 2(b) wordt geregeld, geldt zelfs een nog strengere voorwaarde. In dat geval dienen de zijwanden van het mesablok aanvankelijk zelfs een hoek groter dan 70 graden met het vlak van het substraat te maken, want bij een hoek kleiner dan 70 graden wordt het oppervlak (021)B niet gevormd.

Tot slot wordt nog het volgende opgemerkt: Hoewel bij de beschreven uitvoeringsvormen InP en InGaAs of InP en InGaAsP als materialen voor de halfgeleiderlaser worden gebruikt, kunnen ook andere halfgeleidermaterialen uit de groepen III–V van het periodiek systeem met hetzelfde effect worden toegepast.

Hoewel beschreven eerste uitvoeringsvorm een halfgeleiderlaser met een substraat van p-type halfgeleidermateriaal betreft, kan het kristalgroeimechanisme voor deze eerste uitvoeringsvorm ook bij het maken van een halfgeleiderlaser met een substraat van het n-type worden toegepast.

Conclusies

1. Halfgeleiderlaser, omvattende een vlak substraat van p-type halfgeleidermateriaal, met op dat substraat een optische golfgeleider in de vorm van een in bovenaanzicht streepvormig mesablok, waarin een actieve lichtopwekkende laag tussen een onderlaag van p-type halfgeleidermateriaal en een bovenlaag van n-type halfgeleidermateriaal in ligt, en aan weerszijden van het mesablok op het substraat een aantal opeengestapelde insluitingslagen van halfgeleidermateriaal, waaronder drie lagen die respectievelijk van het p-type, het n-type en het p-type zijn, gecompleteerd door de benodigde afdekkingslagen en elektroden, met het kenmerk, dat van het genoemde drietal insluitingslagen aan weerszijden van het mesablok de eerste laag van p-type halfgeleidermateriaal zodanig tegen een zijwand van het mesablok aanligt, dat zij een schuin bovenvlak met oriëntatie (011)B naast de uit n-type halfgeleidermateriaal bestaande bovenlaag in het mesablok vertoont, en dat de tweede laag van n-type halfgeleidermateriaal in het genoemde drietal insluitingslagen niet in contact verkeert met de uit n-type halfgeleidermateriaal bestaande bovenlaag in het mesablok.

2. Halfgeleiderlaser volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de zijwanden van het mesablok, gezien in neerwaartse richting, een hoek van 55 tot 909 graden met het oppervlak van het substraat maken, of de zijwanden van het mesablok in het bovendeel een hoek van 55 tot 90 graden met het oppervlak van het substraat maken en verder vloeiend in de richting van het substraat verlopen.

3. Halfgeleiderlaser volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat de lagen van p-type en n-type halfgeleidermateriaal hoofdzakelijk uit InP bestaan, terwijl de actieve lichtopwekkende laag uit InGaAsP of InGaAs bestaat.

4. Werkwijze voor het maken van een halfgeleiderlaser van het in conclusie 1 beschreven type, omvattende:

het achtereenvolgens vormen van een laag uit p-type halfgeleidermateriaal, een actieve lichtopwekkende laag en een laag uit n-type halfgeleidermateriaal op een vlak substraat van p-type halfgeleidermateriaal, waarvan het bovenvlak een oriëntatie (001) of vrijwel (001) heft, het wegetsen van materiaal ter omzetting van de opgebrachte lagen tot een in bovenaanzicht streepvormig mesablok, dat zich in de lijnrichting [100] uitstrekt, en het aanbrengen van een aantal opeengestapelde insluitingslagen van halfgeleidermateriaal aan weerszijden van het streepvormige mesablok, waaronder drie lagen die respectievelijk van het p-type, het n-type en het p-type zijn, gevolgd door de benodigde afdekkingslagen en elektroden, met het kenmerk, dat de genoemde drie insluitingslagen met behulp van de MOCVD-methode aan weerszijden van het mesablok worden aangebracht, waarbij de eerste laag van p-type halfgeleidermateriaal zodanig tegen de zijwand van het mesablok komt aan te liggen, dat zij een schuin bovenvlak met oriëntatie (011)B naast de uit n-type halfgeleidermateriaal bestaande bovenlaag in het mesablok vertoont, en de tweede laag van n-type halfgeleidermateriaal zodanig op de eerste laag van p-type halfgeleidermateriaal komt te liggen, dat deze tweede laag niet in contact met de uit n-type halfgeleidermateriaal bestaande bovenlaag van het mesablok komt.

5. Werkwijze volgens conclusie 4, met het kenmerk, dat de zijwanden van het mesablok, gezien in neerwaartse richting, een hoek van 55 tot 90 graden met het oppervlak van het substraat maken, of de zijwanden van het mesablok in het bovendeel een hoek van 55 tot 90 graden met het oppervlak van het substraat maken en verder vloeiend in de richting van het substraat verlopen.

6. Werkwijze volgens conclusie 4 of 5, met het kenmerk, dat het kenmerk, dat de lagen van p-type en n-type halfgeleidermateriaal hoofdzakelijk uit InP bestaan, terwijl de actieve lichtopwekkende laag uit InGaAsP of InGaAs bestaat.

Hierbij 10 bladen tekening

Fig.1 a

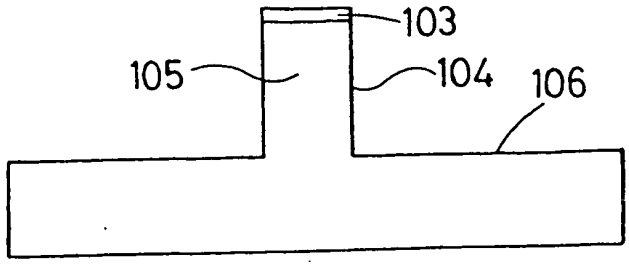


Fig.1 b

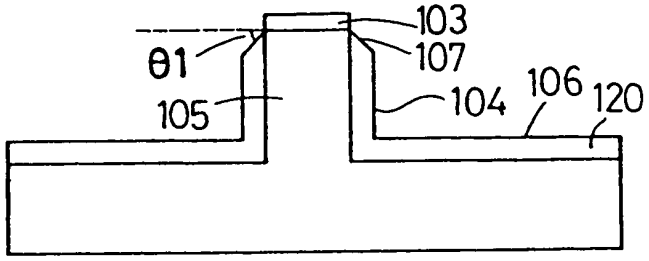


Fig1 c

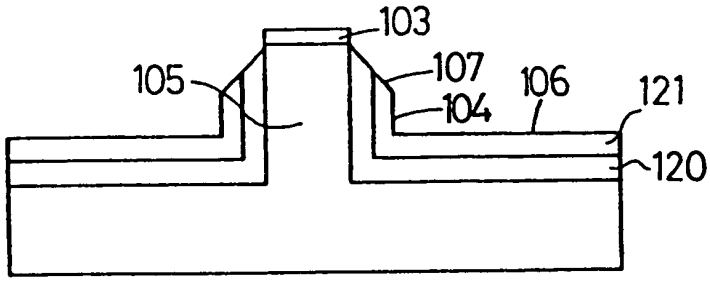


Fig.1 d

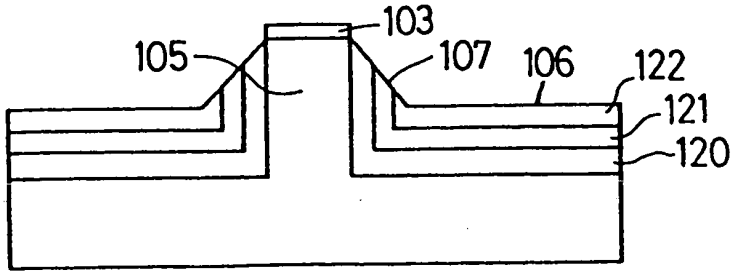


Fig.1 e

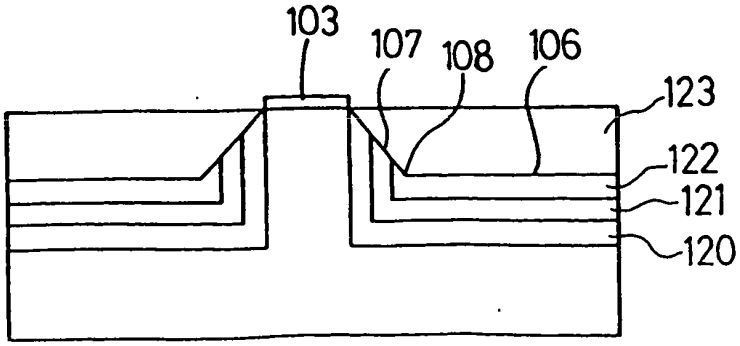


Fig. 2 a

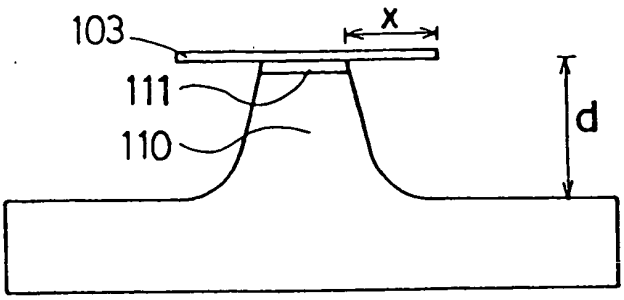


Fig. 2b

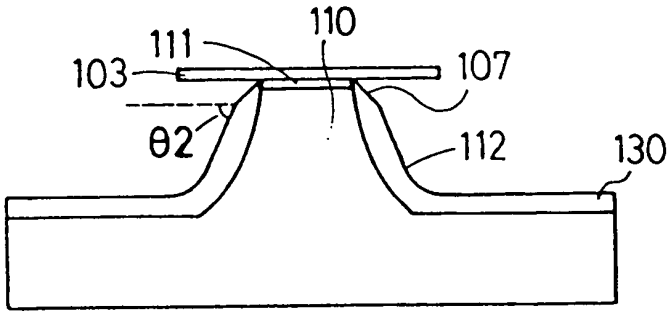


Fig. 2 c

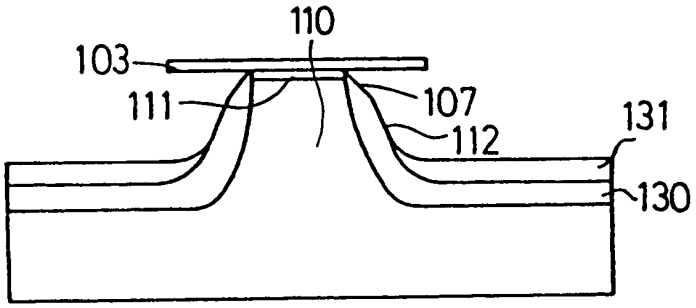


Fig. 2 d

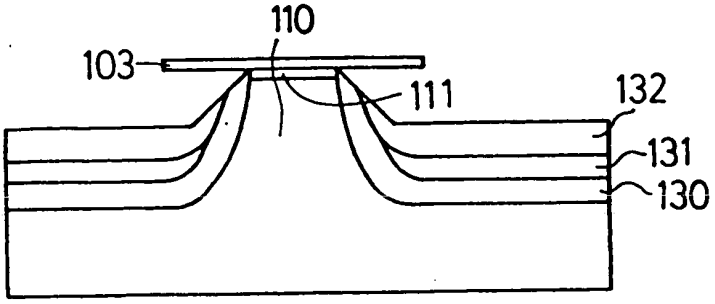


Fig. 2 e

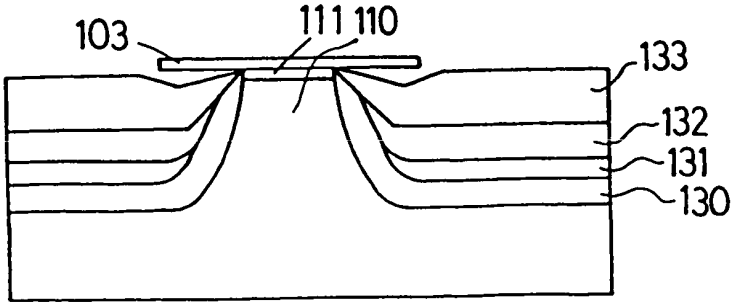


Fig.3 a

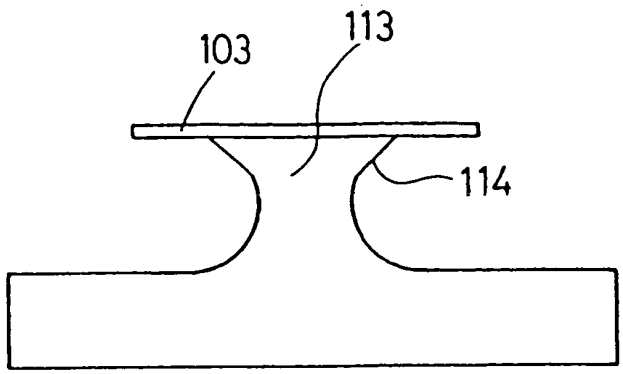


Fig.3 b

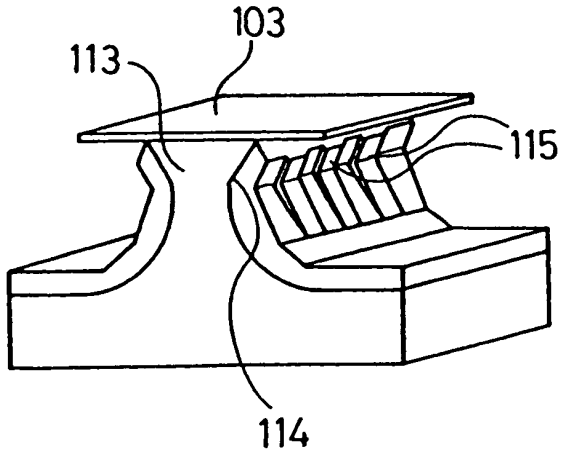


Fig. 4 a

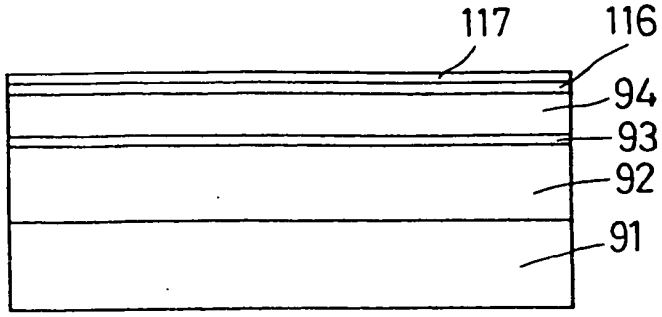


Fig. 4 b

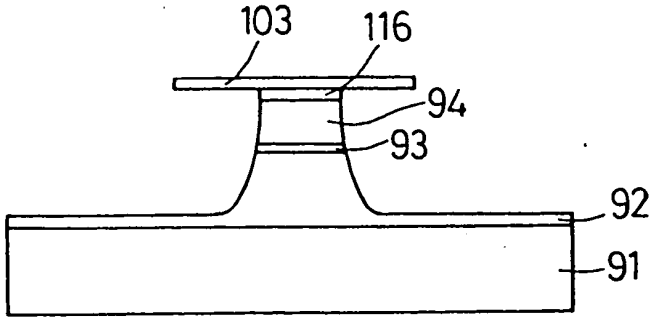


Fig. 4 c

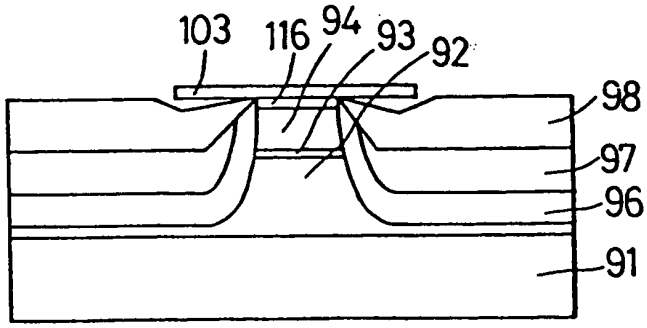


Fig. 4 d

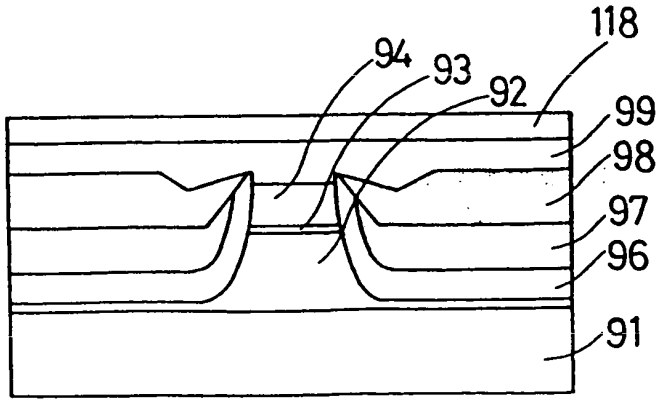


Fig. 5

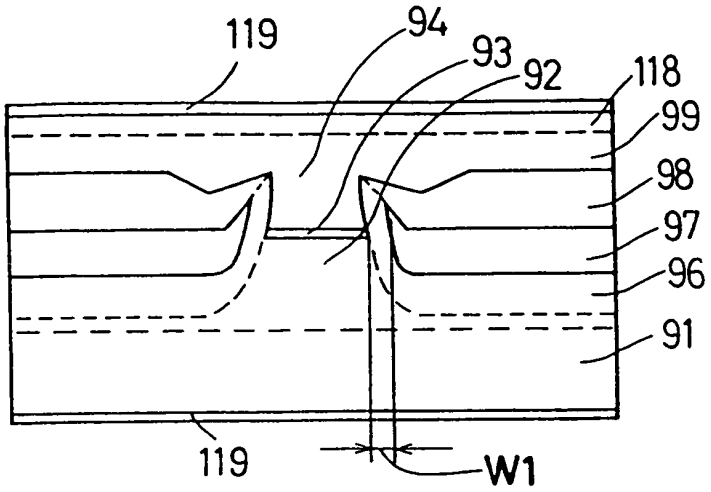


Fig. 8

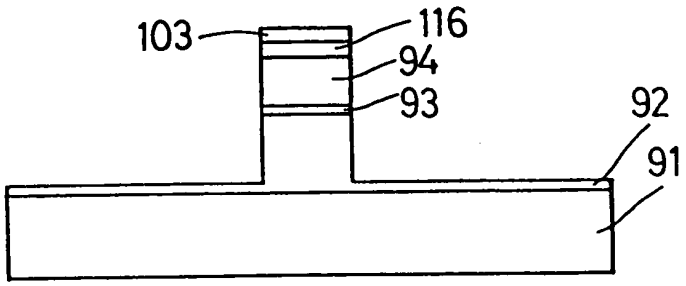


Fig. 9

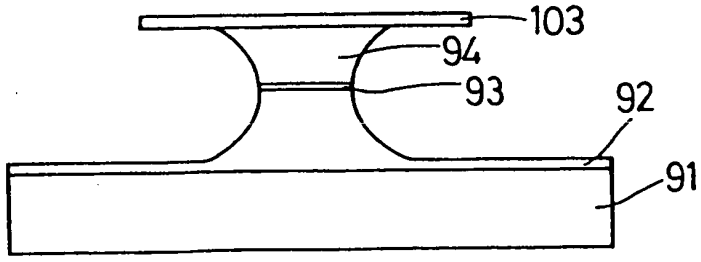


Fig. 6

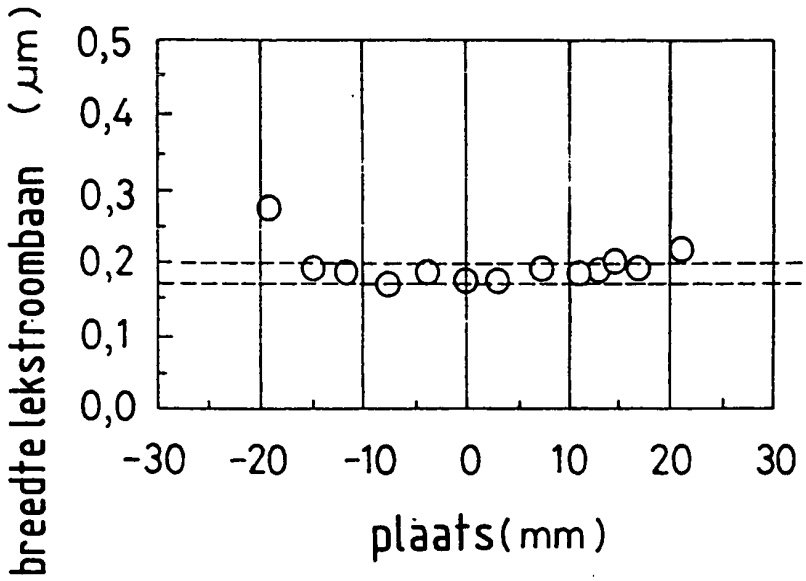

breedte lekstroombaan (µm)
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
-30
-20
-10
0
10
20
30
plaats (mm)

Fig. 7

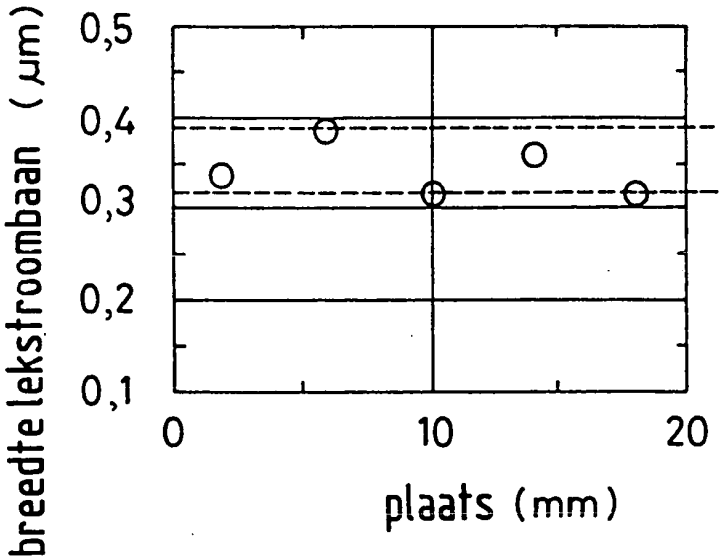
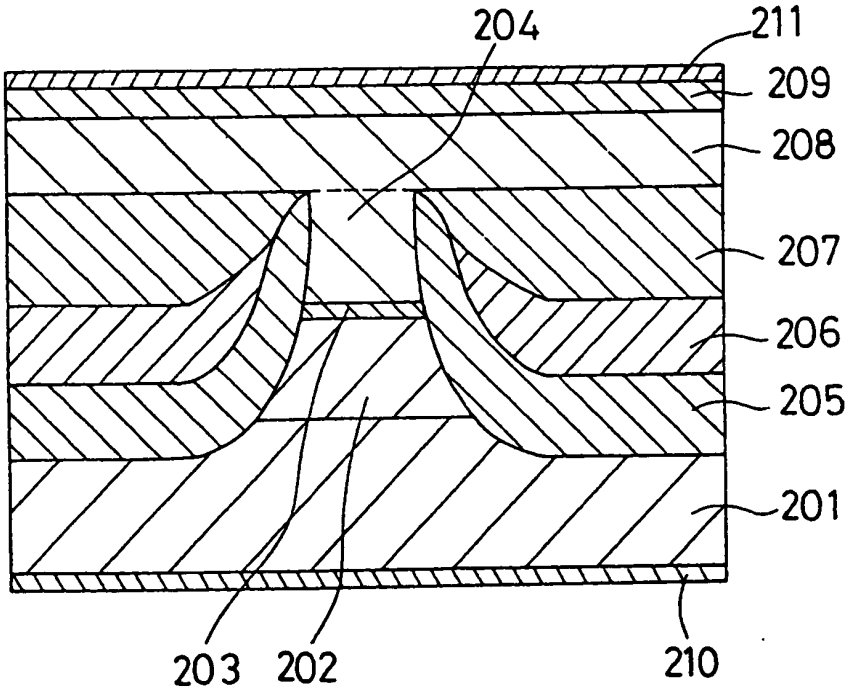

breedte lekstroombaan (µm)
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
10
20
plaats (mm)

Fig. 10 (Bekend)



(Bekend)

Fig.11 a

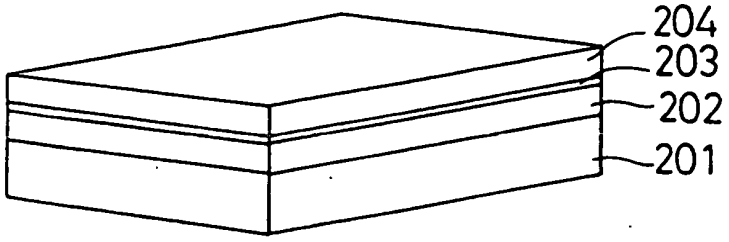


Fig.11 b

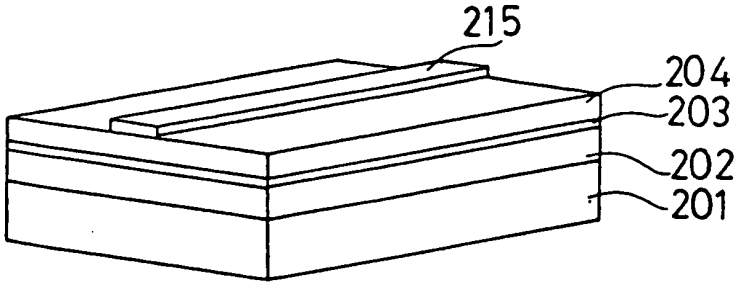


Fig.11 c

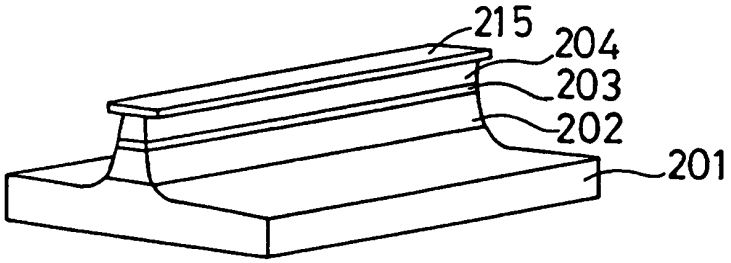


Fig.11 d

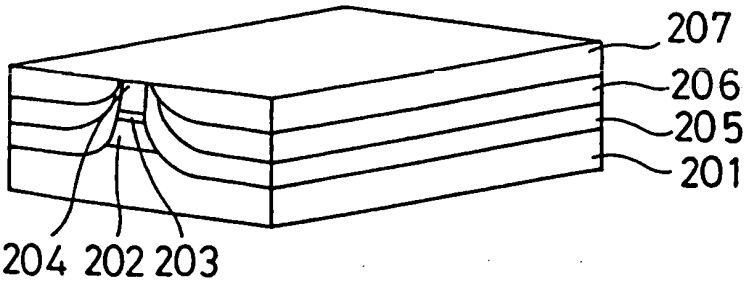


Fig. 12 (Bekend)

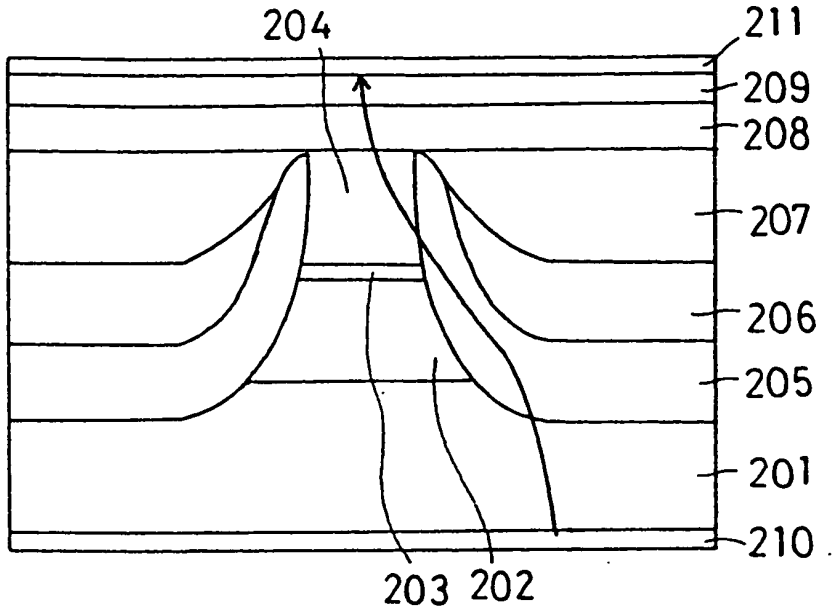


Fig. 13 (Bekend)

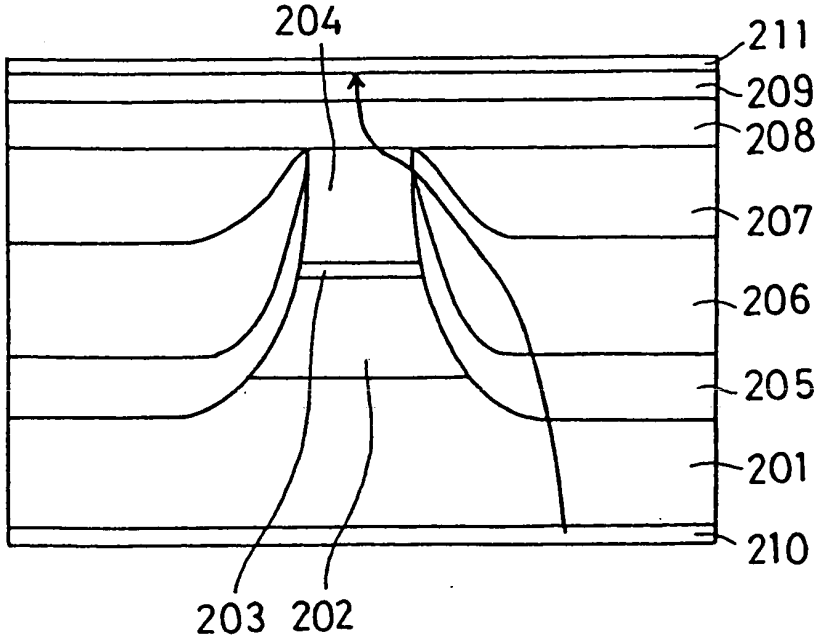


Fig. 14 (Bekend)

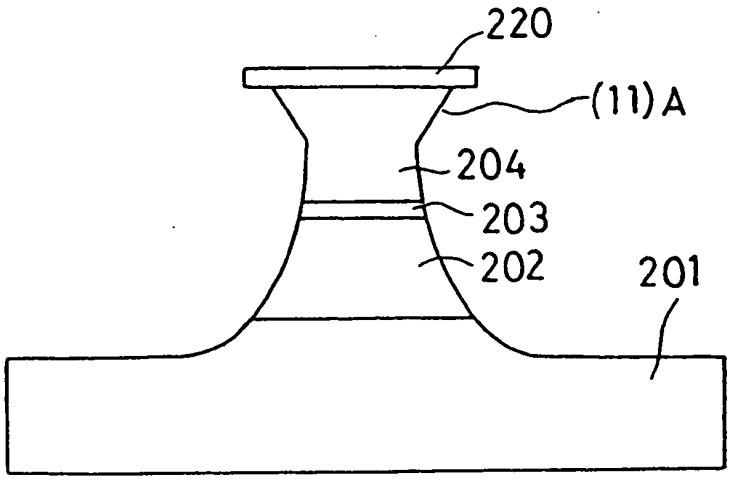


Fig. 15 (Bekend)

