Octrooiraad

(12)A **Terinzagelegging** (11) **8902292**

Nederland (19) **NL**

(54) **Werkwijze voor het vervaardigen van een een mesa bevattende halfgeleiderinrichting.**

(51) Int.Cl[5].: H01L21/308.

(71) Aanvrager: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

(74) Gem.: Ir. J.E.M. Galama c.s.
Internationaal Octrooibureau B.V.
Prof. Holstlaan 6
5656 AA Eindhoven.

(21) Aanvrage Nr. 8902292.

(22) Ingediend 14 september 1989.

(32) - -

(33) - -

(31) - -

(62) - -

(43) Ter inzage gelegd 2 april 1991.

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

Werkwijze voor het vervaardigen van een een mesa bevattende halfgeleiderinrichting.

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze ter vervaardiging van een halfgeleiderlichaam waarbij op een halfgeleidersubstraat een halfgeleiderlagenstructuur wordt aangebracht met ten minste een eerste halfgeleiderlaag die een eerste halfgeleidermateriaal bevat en een daarop aangebrachte tweede halfgeleiderlaag die een tweede halfgeleidermateriaal anders dan het eerste halfgeleidermateriaal bevat en de dikte van de eerste halfgeleiderlaag relatief klein gekozen wordt ten opzichte van de dikte van de tweede halfgeleiderlaag, waarna door etsen en met behulp van een masker een mesa die ten minste de eerste en de tweede halfgeleiderlaag omvat wordt gevormd in de halfgeleiderlagenstructuur, waarbij gebruik wordt gemaakt van een nat-chemisch etsmiddel voor het verwijderen van de tweede halfgeleiderlaag.

Een dergelijke werkwijze is bijzonder geschikt voor het vervaardigen van zogenaamde begraven hetero-junctie halfgeleiderdiodelasers, in het bijzonder wanneer deze geheel vervaardigd worden met OMVPE (= Organo Metallic Vapour Phase Epitaxy) als aangroeitechniek. Ook kunnen op deze wijze al dan niet begraven stralingsgeleiders vervaardigd worden. Wanneer een dergelijke werkwijze toegepast wordt op het materiaal systeem InP/InGaAsP worden daarmee stralingsbronnen, stralingsgeleiders enz. verkregen welke van groot belang zijn voor glasvezelcommunicatie systemen in het golflengtegebied van 1 tot 1,6 µm.

Een dergelijke werkwijze is bekend uit het artikel van S. Adachi e.a. met als titel "Chemical etching of InGaAsP/InP DH wafer", dat gepubliceerd is in Journal of Electrochemical Society, Vol. 129, No. 5, Mei 1982 pp. 1053-1062. Daarin wordt een werkwijze beschreven voor het vervaardigen van mesa's in een halfgeleiderlagenstructuur die een relatief dunne InGaAsP bevattende eerste halfgeleiderlaag bevat tussen twee InP bevattende halfgeleiderlagen, waarvan de bovenste de tweede halfgeleiderlaag vormt. Hierbij wordt voor het verwijderen van de halfgeleiderlagen gebruik gemaakt van selectieve of niet selectieve nat-chemische

etsmiddelen zoals HCl en mengsels daarvan met H_2O, H_2O_2, CH_3COOH of H_3PO_4 hetgeen selectieve etsmiddelen zijn voor InP, mengsels van H_2SO_4, H_2O_2 en H_2O hetgeen selectieve etsmiddelen zijn voor InGaAsP, en mengsels van HCl en CH_3COOH of H_3PO_4 waaraan H_2O_2 wordt toegevoegd of mengsels van Br_2 en CH_3OH hetgeen niet selectieve etsmiddelen zijn waarmee dus zowel InP als InGaAsP geëtst kunnen worden. Er wordt bij het etsen van een mesa gebruikgemaakt van een SiO_2 bevattende maskerlaag.

Een nadeel van de bekende werkwijze is, zoals in de praktijk is gebleken, dat bij een aantal van de daarbij gebruikte etsmiddelen, met name de niet selectieve etsmiddelen zoals mengsels van Br_2 en CH_3OH de bekende werkwijze resulteert in onderetsing ten opzichte van het masker. Hierdoor wordt een nauwkeurige definitie van de breedte van de mesa ter plaatse van de eerste halfgeleiderlaag bemoeilijkt, daar deze breedte in dat geval afhangt van de dikte van de tweede halfgeleiderlaag. Door deze onnauwkeurige breedte definitie zijn een aantal belangrijke eigenschappen van bijvoorbeeld stralingsgeleiders of halfgeleiderdiodelasers waarvan de mesa deel uitmaakt, onbepaald, hetgeen ongewenst is. Dergelijke eigenschappen zijn bijvoorbeeld de laterale mode waarin de straling zich bevindt en de startstroom van een halfgeleiderdiodelaser. Bij sommige andere niet selectieve etsmiddelen zoals mengsels van HCl en HNO_3 doet zich soms het probleem voor dat deze InP niet of nauwelijks aanetsen. Wanneer bij de bekende werkwijze uitsluitend gebruik wordt gemaakt van selectieve etsmiddelen treedt een ander probleem op dat samenhangt met het feit dat de eerste halfgeleiderlaag ten opzichte van de tweede halfgeleiderlaag relatief dun is. Het precies wegetsen van deze relatief dunne laag is moeilijk aangezien het een nat-chemisch etsmiddel betreft waarvan de etssnelheid van tal van factoren afhangt zoals de precieze samenstelling van de halfgeleiderlaag en het etsmiddel, de temperatuur van het etsmiddel enz. enz. Wanneer de eerste halfgeleiderlaag doeltreffend weggeëtst moet worden, dat wil zeggen dat er zich buiten de mesa op geen enkele plaats nog iets van deze laag bevindt, moet enige onderetsing geaccepteerd worden. Door de onderetsing en met name door de onzekerheid over de mate daarvan wordt de breedte van de mesa ter plaatse van de eerste halfgeleiderlaag onzeker. Daardoor treden dezelfde bezwaren op als hierboven genoemd

voor het etsen met niet selectieve etsmiddelen. Wanneer bij de bekende werkwijze voor het verwijderen van de halfgeleiderlagen afwisselend gebruik wordt gemaakt van een bekend chemisch etsmiddel dat selectief etst en van een bekend chemisch etsmiddel dat niet selectief etst treden bovengenoemde problemen zij het in mindere mate nog steeds op. In de praktijk worden vaak mesa's verlangd waarvan de zijwanden nagenoeg vlak, dat wil zeggen nagenoeg niet gekromd zijn. Hierbij verloopt bijvoorbeeld de breedte van een mesa in de hoogterichting van de mesa op zeer gedefinieerde wijze, waardoor de eerder genoemde problemen van een ongedefineerde breedte ter plaatse van de eerste halfgeleiderlaag minder groot zijn. In het bijzonder doen zich die problemen nauwelijks voor wanneer de mesa nagenoeg rechte zijwanden heeft. Bovendien zijn dergelijke vlakke zijwanden vaak zeer geschikt wanneer bijvoorbeeld met behulp van de OMVPE aangroeitechniek naast de mesa andere halfgeleiderlagen worden aangebracht. Deze vlakke zijwanden worden vaak gerealiseerd door gebruik te maken van preferentiele etsmiddelen. Een additioneel bezwaar van de bekende werkwijze doet zich in dat geval voor wanneer meerdere etsmiddelen gebruikt worden voor het etsen van de mesa en een van deze etsmiddelen niet preferentieel of niet op dezelde wijze preferentieel als een van de andere etst. Zo is bijvoorbeeld gebleken dat waneer de tweede halfgeleiderlaag InP en de eerste halfgeleiderlaag InGaAsP bevat en de tweede halfgeleiderlaag geëtst wordt met behulp van een mengsel van HCl en H_3PO_4 een mesa met nagenoeg vlakke en rechte zijwanden ter plaatse van die laag verkregen wordt. Wanneer vervolgens de eerste halfgeleiderlaag met een etsmiddel dat een mengsel van Br_2 en CH_3OH bevat geëtst wordt, wordt ondanks de relatief geringe dikte van de te etsen laag de vorm van de mesa aangetast doordat hierbij tevens de tweede halfgeleiderlaag zodanig wordt aangeëtst dat de vlakheid van de zijkant van de mesa ter plaatse van die laag verdwijnt. Tevens treedt hierbij enige onderetsing ten opzichte van het masker op. Tenslotte moet als bezwaar genoemd worden dat verschillende chemische etsmiddelen een grote onderetsing opleveren ter plaatse van het interface tussen het masker en de tweede halfgeleiderlaag.

De onderhavige uitvinding beoogt onder meer een werkwijze te geven waarmee mesa's gevormd worden met nagenoeg vlakke

zijwanden over de gehele hoogte van de mesa en waarvan de afmetingen ter plaatse van de eerste halfgeleiderlaag nauwkeurig bepaald worden door de maat van het masker en waarbij niet meer dan een geringe onderetsing optreedt.

Een werkwijze van de in de aanhef beschreven soort heeft daartoe het kenmerk dat bij het verwijderen van de tweede halfgeleiderlaag een selectief en preferentieel etsmiddel wordt gebruikt terwijl daarbij nagenoeg geen onderetsing optreedt ten opzichte van het masker en voor het verwijderen van de eerste halfgeleiderlaag het halfgeleidermateriaal daarvan en van een deel van de tweede halfgeleiderlaag door nagenoeg niet selectieve anodische oxydatie worden omgezet in halfgeleidermateriaal oxyden, waarna deze verwijderd worden met een etsmiddel dat niet selectief is ten opzichte van de halfgeleidermateriaal oxyden en selectief is ten opzichte van de halfgeleidermaterialen. Onder halfgeleidermateriaal oxyde wordt hier verstaan een mengsel van een of meer oxyden of zuurstof houdende verbindingen van die elementen die deel uit maken van het halfgeleidermateriaal. Aangezien de hoogte van de te vormen mesa hoofdzakelijk bepaald wordt door de tweede halfgeleiderlaag wordt door het etsen daarvan met behulp van een selectief en preferentieel etsmiddel een mesa met nagenoeg vlakke zijwanden verkregen. Bovendien kan de dunne eerste halfgeleiderlaag zonder onderetsing ten opzichte van de tweede halfgeleiderlaag verwijderd worden aangezien de anodische oxydatie nagenoeg niet selectief plaats vindt. Omdat het hierbij in halfgeleidermateriaal oxyde omgezette deel van de tweede halfgeleiderlaag lateraal gezien slechts een geringe breedte heeft welke zeer uniform is over de dikte van de tweede halfgeleiderlaag wordt aldus, nadat het halfgeleidermateriaal oxyde verwijderd is, een mesa verkregen waarvan de vorm en afmeting in laterale richting zeer goed behouden blijven. Voor het oplossen van de verschillende gevormde halfgeleidermateriaal oxyden wordt een etsmiddel gebruikt dat niet selectief is ten opzichte van deze oxyden en selectief is ten opzichte van het halfgeleidermateriaal. Met de werkwijze volgens de uitvinding wordt een mesa verkregen met nagenoeg vlakke wanden, met een geringe onderetsing ten opzichte van het masker, waarvan de afmeting in laterale richting zeer nauwkeurig bepaald worden door de afmeting van

het masker en die ter plaatse van de eerste halfgeleiderlaag geen of nagenoeg geen insnoering vertoont. Het verwijderen van de halfgeleidermateriaal oxyden kan uitgevoerd worden in een afzonderlijk bad of tegelijkertijd met het anodisch oxyderen in het daarvoor gebruikte bad. Een additioneel voordeel van de werkwijze volgens de uitvinding is dat het verwijderen van de eerste halfgeleiderlaag zeer nauwkeurig en reproduceerbaar uitgevoerd kan worden aangezien de dikte van de halfgeleidermateriaal oxyde bevattende laag niet door een etstijd maar door een aangelegde spanning bepaald wordt.

In een eerste uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding worden het eerste en het tweede halfgeleidermateriaal zo gekozen dat de bandgap van het eerste halfgeleidermateriaal kleiner is dan de bandgap van het tweede halfgeleidermateriaal terwijl vóór het aanbrengen van de eerste halfgeleiderlaag een derde halfgeleiderlaag van het tweede halfgeleidermateriaal aangebracht wordt en de mesa ten minste tot in de derde halfgeleiderlaag gevormd wordt, en wordt na het etsen van de eerste halfgeleiderlaag het etsen van de derde halfgeleiderlaag uitgevoerd met behulp van het selectief en preferentieel estmiddel. Op deze wijze worden mesa's verkregen waarin zich een dubbele hetero-junctie structuur bevindt en die een nagenoeg vlakke zijkant hebben. Deze mesa's zijn bijzonder geschikt voor gebruik als stralingsgeleider of als uitgangsproduct voor de vervaardiging van begraven stralingsgeleiders of halfgeleiderdiodelasers. Wanneer uitgegaan wordt van een halfgeleidersubstraat met een (001) kristalorientatie en wanneer de [110] kristalrichting als lengterichting van de te vormen mesa's gekozen wordt ontstaan mesa's met nagenoeg vlakke en nagenoeg loodrecht op de halfgeleiderlagenstructuur staande zijwanden. Deze mesa's, met een nagenoeg rechthoekige dwarsdoorsnede zijn bijzonder geschikt gebleken voor de vervaardiging van stralingsgeleiders of halfgeleiderdiodelasers waarbij naast de mesa een of meer verdere halfgeleiderlagen aangegroeid worden met behulp van OMVPE. In het bijzonder in het InP/InGaAsP materiaalsysteem kunnen met de werkwijze volgens de uitvinding begraven halfgeleiderdiodelasers met gunstige eigenschappen zoals een lage startstroom en een hoge levensduur en een geringe spreiding in voornoemde eigenschappen vervaardigd worden.

In een verdere uitvoeringsvorm van een werkwijze

volgens de uitvinding wordt het masker waarmee de tweede halfgeleiderlaag geëtst wordt gevormd in een laag die op de tweede halfgeleiderlaag wordt aangebracht en met behulp van een verder masker plaatselijk wordt weggeëtst. Anders dan wanneer gewerkt wordt met een fotolak als masker wordt het materiaal van de het masker vormende laag nu vrij gekozen en wel zo dat het masker niet aangeëtst wordt door het etsmiddel van de tweede halfgeleiderlaag en tevens dat er zo weinig mogelijk spanning ontstaat tussen het masker en de tweede halfgeleiderlaag, waardoor het optreden van onderetsing beperkt blijft. In de praktijk is bijvoorbeeld een laag van siliciumnitride die door plasma CVD (= Chemical Vapour Deposition) aangebracht wordt zeer geschikt gebleken. In een variant van deze uitvoeringsvorm wordt een vierde halfgeleiderlaag gebruikt als masker vormende laag. Wanneer hiervoor, bijvoorbeeld in het InP/InGaAsP materiaalsysteem, een halfgeleiderlaag gekozen wordt die InGaAsP bevat, kan deze, bij voorkeur met een selectief etsmiddel voor een dergelijke halfgeleiderlaag, nauwkeurig onderetst worden ten opzichte van een verder masker dat zich op de halfgeleiderlaag bevindt. De onderetsing van de vierde halfgeleiderlaag ten opzichte van het verder masker kan nauwkeurig ingesteld worden daar deze eenvoudig, bijvoorbeeld onder een lichtmicroscoop, waargenomen kan worden. Op deze wijze kunnen de laterale afmetingen van de te vormen mesa nauwkeurig ingesteld worden. Indien het kristalrooster van de vierde halfgeleiderlaag nauwkeurig aansluit op het kristalrooster van de tweede halfgeleiderlaag wordt bij een werkwijze volgens de uitvinding waarbij de tweede halfgeleiderlaag geëtst wordt met behulp van een selectief en preferentieel etsmiddel nagenoeg geen onderetsing van de tweede halfgeleiderlaag gevonden ten opzichte van het in de vierde halfgeleiderlaag gevormde masker. Bovendien kan de vierde halfgeleiderlaag uitstekend gebruikt worden als contact vormende laag voor een te vormen halfgeleiderdiodelaser. De tweede halfgeleiderlaag, die bijvoorbeeld InP bevat, is hier in het algemeen minder geschikt voor. Bij het toepassen van de werkwijze volgens de uitvinding waarbij een vierde halfgeleiderlaag als masker vormende laag gebruikt wordt zal bij het verwijderen van de eerste halfgeleiderlaag de vierde halfgeleiderlaag in dezelfde geringe mate als de tweede halfgeleiderlaag in laterale richting verwijderd worden, hetgeen de

eerder genoemde voordelen met zich meebrengt.

Wanneer het verder masker wordt gevormd door bijvoorbeeld een siliciumdioxyde of siliciumnitride bevattende laag en wanneer de laterale afmetingen, bijvoorbeeld de breedte, van het verder masker groter worden gekozen dan de gewenste overeenkomstige afmeting van het masker steekt het verder masker, nadat het masker door etsen gevormd is, uit buiten het masker. Een dergelijke configuratie is in de praktijk zeer geschikt gebleken wanneer er andere halfgeleiderlagen met behulp van OMVPE naast de mesa worden aangebracht. Op deze wijze worden nagenoeg vlakke begraven hetero halfgeleiderdiodelasers verkregen. Het vlak zijn van een dergelijke laser is een belangrijk voordeel bij het metalliseren en afmonteren daarvan.

In een belangrijke uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding wordt de dikte van de eerste halfgeleiderlaag kleiner dan 0,2 µm gekozen. Dit dikte gebied is bij uitstek geschikt voor de vervaardiging van halfgeleiderdiodelasers en stralingsgeleiders. In het bijzonder is een werkwijze volgens de uitvinding geschikt voor het vervaardigen van mesa's welke een veellaags quantum put structuur bevatten, waarvan de eerste halfgeleiderlaag deel uit maakt. Wanneer een dergelijke veellaagsstructuur met behulp van selectieve nat-chemische etsmiddelen voor respectievelijk de een barrière vormende lagen en de een quantum put vormende lagen geëtst wordt ontstaat een mesa met in een dwarsdoorsnede ter plaatse van die veellaagsstructuur een kamvorm. Bij het etsen van de n-de laag van een dergelijke structuur worden ook de (n-2)-de, de (n-4)-de, etc lagen opnieuw aangeëtst. Hierdoor gaat de breedte van de veellaagsstructuur zeer sterk varieren, hetgeen ongewenst is. Een additioneel bezwaar van deze bekende werkwijze is dat vaak van etsmiddel gewisseld moet worden hetgeen bijzonder omslachtig is. Bovendien neemt in dat geval de kans op fouten en besmetting van de etsmiddelen of het halfgeleiderlichaam toe.

De anodische oxydatie van de eerste halfgeleiderlaag kan wanneer deze InGaAsP of InGaAs als halfgeleidermateriaal bevat zeer goed gedaan worden in een drieprocentige oplossing van citroenzuur in water waarvan de pH met behulp van NH_4OH op ongeveer zes wordt gebracht, verdund met twee delen ethyleenglycol. Het

gevormde halfgeleidermateriaal oxyde kan bijvoorbeeld opgelost worden met een anderhalf molaire oplossing van phosphorzuur in water. De anodische oxydatie en het oplossen van het gevormde oxyde kunnen ook tegelijkertijd in één medium uitgevoerd worden. Daarvoor kan gebruik worden gemaakt van een drieprocentige oplossing van citroenzuur in water waarvan de pH met behulp van H_3PO_4 op ongeveer 1,0 wordt gebracht, verdund met twee delen ethyleenglycol. Wanneer de tweede en de derde halfgeleiderlaag InP als halfgeleidermateriaal bevatten wordt bij voorkeur als selectief etsmiddel een oplossing van zoutzuur en phosphorzuur in een verhouding van 1:4 gebruikt, voor het selectief etsen van een InGaAsP houdende laag wordt bij voorkeur een etsmiddel gebruikt dat zwavelzuur, waterstofperoxyde en water bevat in een verhouding van 1:1:9.

Van de uitvinding zal thans een nadere toelichting volgen aan de hand van twee uitvoeringsvoorbeelden en de daarbij behorende tekening, waarin

fig. 1 t/m fig. 4 een eerste uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding voor de vervaardiging van een stralingsgeleider weergeeft aan de hand van een dwarsdoorsnede van de stralingsgeleider in opeenvolgende stadia van de vervaardiging;

fig. 5 t/m fig. 10 een tweede uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding voor de vervaardiging van een begraven veellaags quantum put halfgeleiderdiodelaser waarbij OMVPE als aangroeitechniek gebruik wordt weergeven aan de hand van een dwarsdoosnede van de begraven halfgeleiderdiodelaser in opeenvolgende stadia van de vervaardiging;

fig. 11 het met fig. 9 overeenkomende stadium bij gebruik making van de bekende werkwijze waarbij uitsluitend selectieve nat-chemische etsmiddelen gebruikt worden.

De figuren zijn schematisch en niet op schaal getekend, waarbij in het bijzonder de afmetingen in de dikterichting ter wille van de duidelijkheid zijn overdreven. Overeenkomstige delen zijn als regel in de verschillende voorbeelden met hetzelfde verwijzingscijfer aangeduid. Halfgeleidergebieden van hetzelfde geleidingstype zijn als regel in dezelfde richting gearceerd.

Fig. 1 t/m 4 tonen een eerste uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding voor de vervaardiging van een

stralingsgeleider die in een dwarsdoorsnede getoond wordt in opeenvolgende stadia van de vervaardiging. Uitgegaan wordt van een substraat 1 van eenkristallijn n-type InP met een doteringsconcentratie van $2x10^{18}$ tot $5x10^{18}$ at/cm^3, met een dikte van ongeveer 350 µm en een (001) orientatie heeft. Na polijsten en etsen van het oppervlak wordt hierop bijvoorbeeld met behulp van OMVPE achtereenvolgens gegroeid: een ongeveer 1 µm dikke laag 2 van n-type InP met een doteringsconcentratie van 10^{18} at/cm^3, een ongeveer 0,15 µm dikke laag 3 van niet opzettelijk gedoteerd InGaAsP met een In-gehalte van 73 at. % en een As gehalte van 60 at. %overeenkomend met een golflengte van 1,3 µm en een ongeveer 1,0 µm dikke laag 4 van n-type InP met een doteringsconcentratie van 10^{18}at/cm^3. Hierop wordt vervolgens door middel van plasma CVD een 0,15 µm dikke laag 5 van Si_3N_4 aangebracht (zie fig. 1). Hierna wordt met behulp van photolithografie en etsen een strookvormig masker waarvan de lengterichting samenvalt met de [110] kristalrichting van het halfgeleiderlichaam en loodrecht staat op het vlak van tekening gevormd in de laag 5 waarna door etsen met behulp van een selectief en preferentieel etsmiddel voor InP dat zoutzuur en phosphorzuur bevat in een verhouding van 1:4 bij kamertemperatuur (etssnelheid is ongeveer 0,7 µm/min) de InP bevattende laag 4 zonder onderetsing ten opzichte van het in de laag 5 gevormde masker plaatselijk verwijderd. Dan wordt met behulp van anodische oxydatie bij een stroomdichtheid van 2 mA/cm^2 in een oplossing van citroenzuur waarvan de pH met behulp van phosphorzuur op ongeveer 1 is gebracht, verdund met twee delen ethyleenglycol het met 6 aangeduide gebied van het halfgeleiderlichaam verwijderd. Hierbij ontstaat volgens de uitvinding geen onderetsing van de halfgeleiderlaag 3 ten opzichte van de erboven gelegen halfgeleiderlaag 4 daar het etsen niet selectief geschiedt. Doordat de halfgeleiderlaag 3 relatief dun is wordt er slechts weinig materiaal van de halfgeleiderlaag 4 verwijderd en blijft de maat en de vorm van de mesa nagenoeg behouden (zie fig. 3). Vervolgens wordt met behulp van OMVPE naast de mesa een n-type InP halfgeleiderlaag 7 met een dikte van ongeveer 2 µm en een doteringsconcentratie van ongeveer 10^{18} at/cm^3 aangebracht. Na herhaald klieven van het halfgeleiderlichaam in een richting loodrecht op de lengterichting van de mesa waarbij in het vlak van tekening liggende spiegelvlakken

gevormd worden zijn de stralingsgeleiders welke in het bijzonder geschikt zijn voor transport van straling met een golflengte van 1,3 tot 1,5 µm gereed (zie fig. 4).

De fig. 5 t/m fig. 10 tonen een tweede uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding voor de vervaardiging van een begraven halfgeleiderdiodelaser waarbij OMVPE als aangroeitechniek gebruik wordt aan de hand van een dwarsdoosnede van de begraven halfgeleiderdiodelaser in opeenvolgende stadia van de vervaardiging.Uitgegaan wordt van een substraat 1 van eenkristallijn n-type InP met een doteringsconcentratie van $2x10^{18}$ tot $5x10^{18}$ at/cm^3, met een dikte van ongeveer 350 µm en een (001) orientatie heeft. Na polijsten en etsen van het oppervlak wordt hierop bijvoorbeeld met behulp van OMVPE achtereenvolgens gegroeid: een ongeveer 1 µm dikke laag 2 van n-type InP met een doteringsconcentratie van $5x10^{17}$ at/cm^3, een eerste SC (=Separate Confinement) laag 4′ van InGaAsP met een In-gehalte van ongeveer 73 at. % en een As-gehalte van ongeveer 60 at. %, welke samenstelling overeenkomt met een golflengte van 1,3 µm voor bulkmateriaal, en waarvan de dikte ongeveer 500 ^{o}A bedraagt, een viertal dunne een quantum put vormende lagen 3 die InGaAs bevatten met een In-gehalte van ongeveer 53 at. %, overeenkomend met een golflengte van 1,65 µm voor bulkmateriaal, en met een dikte van ongeveer 75 ^{o}A welke van elkaar gescheiden worden door een drietal een barrière vormende dunne lagen 3′ die InGaAsP bevatten met een samenstelling overeenkomend met die van de eerste SC laag 4′ en met een dikte van ongeveer 50 ^{o}A, een tweede SC laag 2′ met dezelfde dikte en samenstelling als de eerste SC laag 4′, een ongeveer 1,0 µm dikke laag 4 van p-type InP met een doteringsconcentratie van ongeveer $5x10^{17}$ at/cm^3 en een ongeveer 0,2 µm dikke laag 5 van p-type InGaAsP met een doteringsconcentratie van ten minste ongeveer $5x10^{18}$ at/cm^3 en met een In-gehalte van 73 at. % en een As-gehalte van 60 at. % overeenkomend met een golflengte van 1,3 µm. Hierop wordt vervolgens door middel van de sputtertechniek een 0,15 µm dikke laag 6 van SiO_2 aangebracht (zie fig. 5). Hierna wordt met behulp van photolithografie en etsen een strookvormig verder masker met een breedte van ongeveer 4 µm waarvan de lengterichting samenvalt met de [110] kristalrichting van het halfgeleiderlichaam en loodrecht staat op het vlak van

tekening gevormd in de laag 6 waarna door etsen bij 20 ^{o}C met behulp van een selectief etsmiddel voor InGaAsP dat zwavelzuur, waterstofperoxyde en water in een verhouding van 1:1:9 (etssnelheid is ongeveer 0,1 µm/min) de InGaAsP bevattende laag 5 met onderetsing ten opzichte van het in de laag 6 gevormde verder masker plaatselijk verwijderd. De resulterende breedte van het in de halfgeleiderlaag 5 gevormde masker bedraagt ongeveer 2 µm (zie fig. 6). Hierna wordt door etsen met behulp van het in het vorige voorbeeld genoemde selectieve etsmiddel voor InP de halfgeleiderlaag 4 zonder onderetsing ten opzichte van het in de laag 5 gevormde masker plaatselijk verwijderd (zie fig. 7). Dan wordt met de werkwijze volgens de uitvinding met behulp van anodische oxydatie op de bij een eerder voorbeeld beschreven wijze het met 7 aangeduide gebied dat de vier een quantum put vormende lagen 3, de drie een barrière vormende lagen 3′ en de SC lagen 2′ en 4′ omvat omgezet in halfgeleidermateriaal oxyde waarna dit verwijderd wordt met een etsmiddel dat niet selectief is ten opzichte van het gevormde halfgeleidermateriaal oxyde en selectief is ten opzichte van het halfgeleidermateriaal (zie fig. 8). Aangezien de gebruikte halfgeleidermaterialen niet of nauwelijks aangetast worden door laatstgenoemd etsmiddel stopt het etsproces op het moment dat al het halfgeleidermateriaal oxyde verwijderd is en is deze etsstap dus niet critisch. Hierbij ontstaat volgens de uitvinding nagenoeg geen onderetsing van een van de halfgeleiderlagen 2′, 3, 3′ en 4 daar zowel het anodisch oxyderen als het oplossen van de gevormde oxydes niet selectief geschiedt. Doordat laatstgenoemde halfgeleiderlagen zeer dun zijn hoeft er slechts zeer weinig halfgeleidermateriaal verwijderd te worden en blijft de maat en de vorm van de mesa zeer goed behouden (zie fig. 3). Hierna wordt door etsen met behulp van het in het vorige voorbeeld genoemde selectieve etsmiddel voor InP de halfgeleiderlaag2 nagenoeg zonder onderetsing ten opzichte van het in de laag 5 gevormde masker plaatselijk verwijderd (zie fig. 9). Vervolgens worden met behulp van OMVPE naast de mesa achtereenvolgens een p-type InP halfgeleiderlaag 8 met een dikte van ongeveer 0,8 µm en een doteringsconcentratie van ongeveer $5x10^{17}$ at/cm^3, een n-type InP halfgeleiderlaag 9 met een dikte van ongeveer 0,6 µm en een doteringsconcentratie van ongeveer $5x10^{17}$ at/cm^3 en een p-type InP halfgeleiderlaag 10 met een dikte van ongeveer 0,6 µm en een

doteringsconcentratie van ongeveer $8x10^{17}$ at/cm^3 aangebracht, welke lagen door de gekozen geleidingstypen een stroomblokkering vormen ten opzichte van een aansluiting in de voorwaarts richting van de halfgeleiderlagenstructuur die binnen de mesa is gelegen. Door de aanwezigheid van het ten opzichte van de mesa overstekend verder masker 6 wordt naast de mesa een zeer gelijkmatige, goed aansluitende en vlakke aangroei verkregen van de halfgeleiderlagen 8, 9 en 10 terwijl op het verder masker 6 geen aangroei plaats vindt. Na op gebruikelijke wijze verwijderen van dit verder masker resulteert een nagenoeg vlakke structuur (zie fig. 10), hetgeen zeer voordelig is voor verdere behandelingen zoals metallisatie en montage. Na metallisatie op gebruikelijke wijze van de onderzijde en de bovenzijde van het halfgeleiderlichaam en na herhaald klieven van het halfgeleiderlichaam in een richting loodrecht op de lengterichting van de mesa waarbij in het vlak van tekening liggende spiegelvlakken gevormd worden zijn de resulterende halfgeleiderdiodelasers van het begraven hetero-junctie type voor afmontage gereed. Dergelijke lasers zijn in het bijzonder geschikt zijn voor gebruik als stralingsbron die toegepast wordt in optische glasvezel communicatie systemen.

Fig. 11 toont het met fig. 9 overeenkomende stadium bij gebruik making van de bekende werkwijze waarbij uitsluitend selectieve etsmiddelen worden toegepast. Hierbij zijn voor het etsen van een quantum put vormende lagen 3 en de een barrière vormende lagen 3'afwisselend de eerder genoemde selectieve etsmiddelen voor InGaAsP en InP (of soortgelijke selectieve etsmiddelen) gebruikt. Door de eerder uiteengezette problemen van een dergelijke werkwijze ontstaat ter plaatse van de dunne lagen 3 en 3' een relatief sterke en variabele onderetsing. De resulterende (onregelmatige) kamstructuur heeft het bezwaar dat de breedte van de actieve laag van een te vormen halfgeleiderdiodelaser zeer onzeker wordt. De bezwaren daarvan zijn eerder uiteengezet. Wanneer het aantal lagen 3, 3' groot is bestaat zelfs de mogelijkheid dat de bovenste lagen 3, 3' helemaal weggeëtst worden waarbij het daarboven gelegen deel van de mesa loslaat.

De uitvinding is niet beperkt tot de gegeven uitvoerinsvoorbeelden, daar voor de vakman binnen het kader van de uitvinding vele modificaties en variaties mogelijk zijn. Zo kunnen

andere halfgeleidermaterialen of andere samenstellingen dan de in de voorbeelden genoemde worden toegepast. In plaats van een veellaags quantumput structuur die afwisselend lagen van InGaAs en InGaAsP bevatten kunnen de lagen van een dergelijke structuur afwisselend InGaAs of InGaAsP en InP bevatten. Hetzelfde geldt voor de samenstelling van het bad waarin de anodische oxydatie wordt uitgevoerd of voor het etsmiddel waarmee het resulterende halfgeleidermateriaal oxyde wordt opgelost. De keuze daarvan wordt mede bepaald door het betreffende halfgeleidermateriaal systeem. Ook kan een stroomblokkering bestaan uit een enkele hoog-ohmige halfgeleiderlaag. Wanneer een dergelijke laag bijvoorbeeld InP bevat kan deze laag hoogohmig gemaakt worden door bij de aangroei daarvan Fe atomen in te bouwen met een concentratie van ongeveer 10^{16} at/cm^3. De uitvinding is eveneens niet beperkt tot een werkwijze voor de vervaardiging van mesa's welke deel uitmaken van een stralingsgeleider of een halfgeleiderdiodelaser. Niet alleen (photo)dioden maar ook transistoren welke een mesa bevatten kunnen met een werkwijze volgens de uitvinding vervaardigd worden. Hierbij worden onder meer dezelfde voordelen genoten als die bij de vervaardiging van de eerder genoemde devices.

CONCLUSIES:

1. Werkwijze ter vervaardiging van een halfgeleiderlichaam waarbij op een halfgeleidersubstraat een halfgeleiderlagenstructuur wordt aangebracht met ten minste een eerste halfgeleiderlaag die een eerste halfgeleidermateriaal bevat en een daarop aangebrachte tweede halfgeleiderlaag die een tweede halfgeleidermateriaal anders dan het eerste halfgeleidermateriaal bevat en de dikte van de eerste halfgeleiderlaag relatief klein gekozen wordt ten opzichte van de dikte van de tweede halfgeleiderlaag, waarna door etsen en met behulp van een masker een mesa die ten minste de eerste en de tweede halfgeleiderlaag omvat wordt gevormd in de halfgeleiderlagenstructuur, waarbij gebruik wordt gemaakt van een nat-chemisch etsmiddel voor het verwijderen van de tweede halfgeleiderlaag, met het kenmerk, dat bij het verwijderen van de tweede halfgeleiderlaag een selectief en preferentieel etsmiddel wordt gebruikt terwijl daarbij nagenoeg geen onderetsing optreedt ten opzichte van het masker en voor het verwijderen van de eerste halfgeleiderlaag het halfgeleidermateriaal daarvan en van een deel van de tweede halfgeleiderlaag door nagenoeg niet selectieve anodische oxydatie worden omgezet in halfgeleidermateriaal oxyden, waarna deze verwijderd worden met een etsmiddel dat niet selectief is ten opzichte van het halfgeleidermateriaal oxyden en selectief is ten opzichte van de halfgeleidermaterialen.

2. Werkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat het eerste en tweede halfgeleidermateriaal zo gekozen worden dat de bandgap van het eerste kleiner is dan de bandgap van het tweede halfgeleidermateriaal terwijl vóór het aanbrengen van de eerste halfgeleiderlaag een derde halfgeleiderlaag van het tweede halfgeleidermateriaal aangebracht wordt en de mesa ten minste tot in de derde halfgeleiderlaag gevormd wordt, en dat na het etsen van de eerste halfgeleiderlaag het etsen van de derde halfgeleiderlaag uitgevoerd wordt met behulp van het selectief en preferentieel etsmiddel.

3. Werkwijze volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat de mesa strookvormig wordt uitgevoerd waarbij als lengte richting de [110] kristalrichting gekozen wordt en de mesa van nagenoeg

loodrechte op de halfgeleiderlagenstructuur staande zijwanden voorzien wordt.

4. Werkwijze volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat als halfgeleidersubstraat een substraat van indiumphosphide, als eerste halfgeleidermateriaal indiumgalliumarseen of indiumgalliumarseenphosphide en als tweede halfgeleidermateriaal indiumphosphide gekozen worden.

5. Werkwijze volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat het masker gevormd wordt in een laag die op de tweede halfgeleiderlaag wordt aangebracht en met behulp van een verder masker plaatselijk wordt weggeëtst.

6. Werkwijze volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat de laag van siliciumnitride vervaardigd wordt en door plasma CVD wordt aangebracht.

7. Werkwijze volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat als laag een vierde halfgeleiderlaag van het eerste halfgeleidermateriaal wordt aangebracht en daarop een verdere laag wordt aangebracht waarin het verdere masker gevormd wordt met behulp van photolithografie en etsen, waarna de vierde halfgeleiderlaag geëtst wordt met onderetsing ten opzichte van het verder masker waarbij het makser wordt gevormd in de vierde halfgeleiderlaag zodanig dat het verder masker uitsteekt buiten het masker.

8. Werkwijze volgens conclusie 7, met het kenmerk, dat de vierde halfgeleiderlaag geëtst wordt met behulp van een etsmiddel dat deze laag selectief etst ten opzichte van het halfgeleidermateriaal van de tweede halfgeleiderlaag.

9. Werkwijze volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat naast de mesa een of meer halfgeleiderlagen worden aangebracht met behulp van organo metaal gas fase epitaxie.

10. Werkwijze volgens conclusie 7, 8 of 9, met het kenmerk,

dat voor het halfgeleidersubstraat en de derde halfgeleiderlaag het eerste geleidingstype en voor de tweede en vierde halfgeleiderlaag het tweede geleidingstype worden gekozen, terwijl de eerste halfgeleiderlaag niet opzettelijk gedoteerd wordt, en na de vorming van de mesa naast de mesa een stroomblokkerings lagenstructuur wordt aangebracht in de vorm van een semi-isolerende halfgeleiderlaag of ten minste twee een blokkerende pn-overgang vormende halfgeleiderlagen, waarna de onderzijde van het halfgeleiderlichaam en de bovenzijde van de vierde halfgeleiderlaag van contacten voorzien worden en het halfgeleiderlichaam in een richting loodrecht op de mesa gekliefd wordt waarbij de mesa begrenzende spiegelvlakken gevormd worden zodat bij electrische aansluiting in de doorlaatrichting laserwerking optreedt waarbij een binnen de mesa gelegen deel van de eerste halfgeleiderlaag dat een trilholte vormt als actief, straling emitterend gebied fungeert.

11. Werkwijze volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat de dikte van de eerste halfgeleiderlaag kleiner of gelijk aan 0,2 µm gekozen wordt.

12. Werkwijze volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat de eerste halfgeleiderlaag uitgevoerd wordt als een van de lagen van een veellaags quantum put lagenstructuur die gevormd wordt door een stapeling van dunne halfgeleiderlagen waarbij elke een quantumput vormende laag omgeven wordt door halfgeleiderlagen die een halfgeleidermateriaal bevatten met een grote bandafstand dan de de quantum put vormende halfgeleiderlaag.

13. Werkwijze volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat het anodisch oxyderen en het etsen van de gevormde halfgeleidermateriaal oxyden gelijktijdig uitgevoerd wordt in een drie procentige oplossing van citroenzuur in water waarvan de pH met behulp van phosphorzuur op ongeveer een is gebracht, verdund met twee delen ethyleenglycol.

14. Werkwijze volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat het anodisch oxyderen uitgevoerd wordt in een drie

procentige oplossing van citroenzuur in water waarvan de pH met behulp van ammonia op ongeveer zes is gebracht, verdund met twee delen ethyleenglycol.

15. Werkwijze volgens conclusie 14, met het kenmerk, dat de gevormde halfgeleidermateriaal oxyden vervolgens geëtst worden in een anderhalf molaire oplossing van phosphorzuur.

16. Werkwijze volgens conclusie 4, met het kenmerk, dat indiumphosphide met behulp van een etsmiddel dat zoutzuur en phosphorzuur bevat in een verhouding van 1:4 geëtst wordt en indiumgalliumarseenphosphide van de vierde halfgeleiderlaag met een etsmiddel dat zwavelzuur, waterstofperoxyde en water bevat in een verhouding van 1:1:9 geëtst wordt.

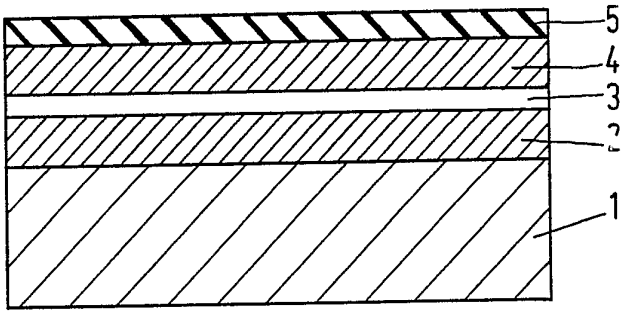

FIG.1

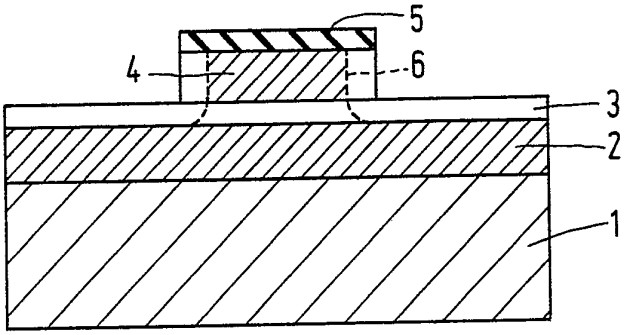

FIG.2

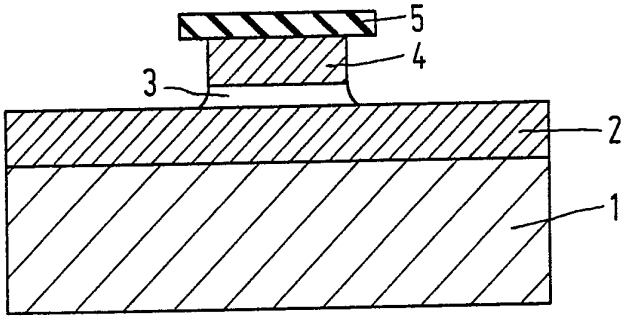

FIG.3

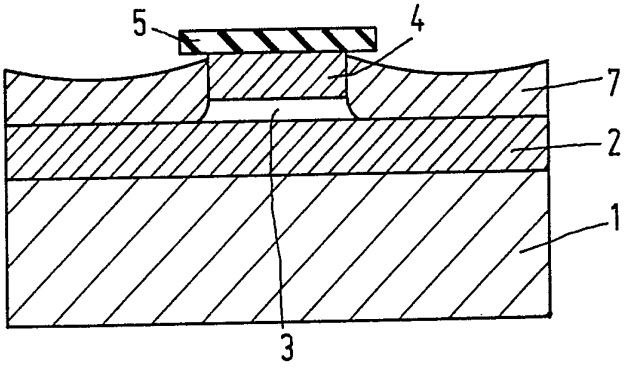

FIG.4

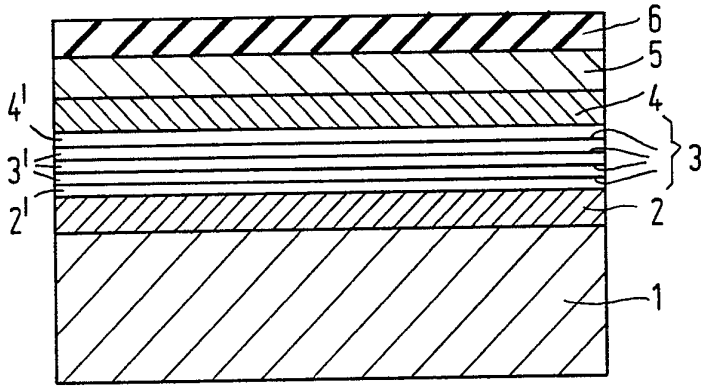

FIG.5

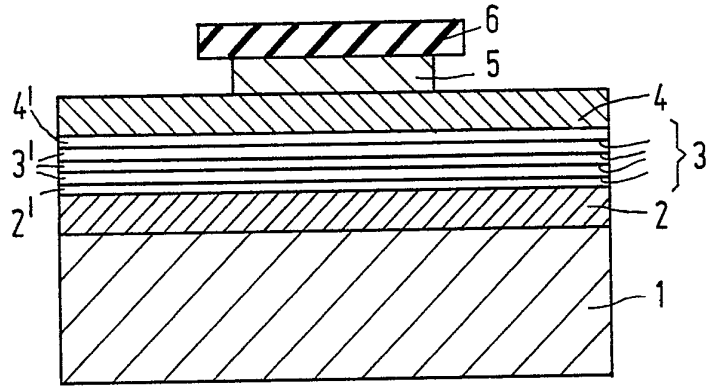

FIG.6

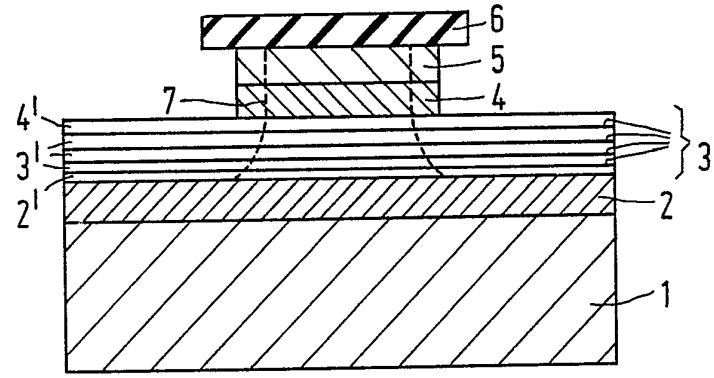

FIG.7

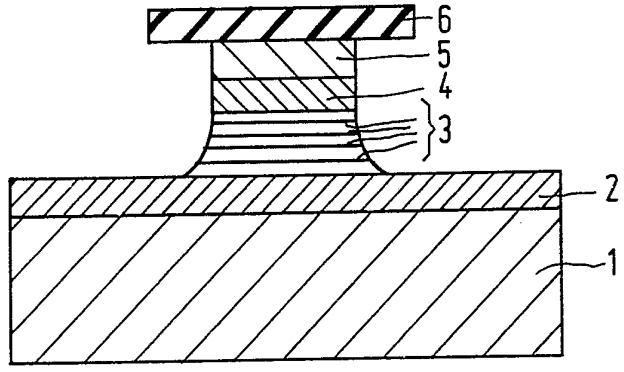

FIG.8

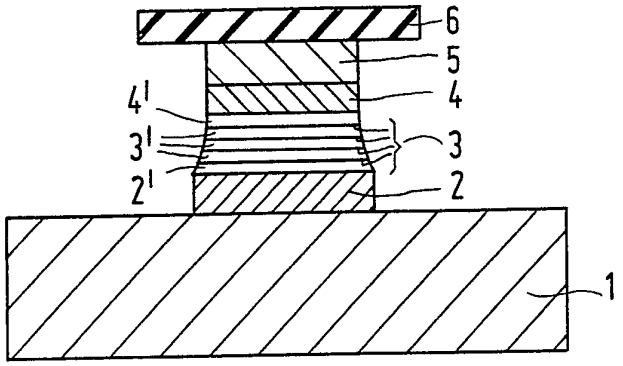

FIG.9

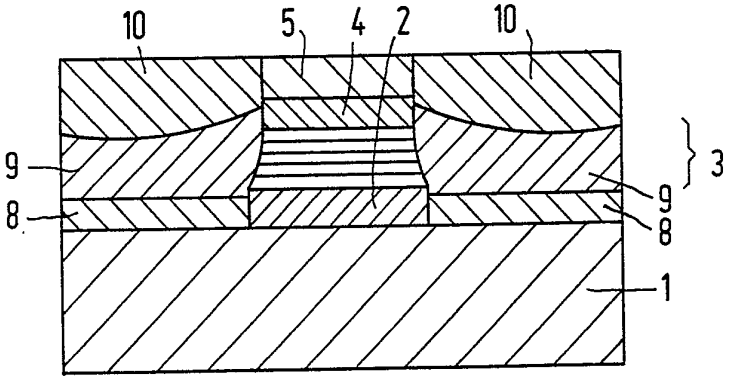

FIG. 10

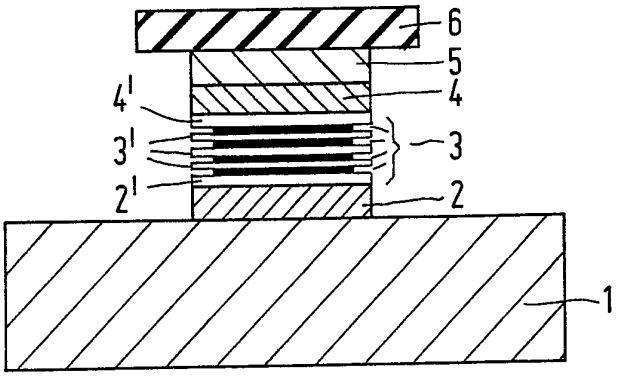

FIG.11