
Octroiraad



⑩ A **Terinzagelegging** ⑪ **7901122**

Nederland

⑲ NL

- ⑤4 **Halfgeleiderlaser en werkwijze ter vervaardiging daarvan.**
- ⑤1 Int.Cl.³: H01S3/19, H01L33/00.
- ⑦1 Aanvrager: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.
- ⑦4 Gem.: Ir. R.A. Bijl c.s.
Internationaal Octroobureau B.V.
Prof. Holstlaan 6
5656 AA Eindhoven.

-
- ②1 Aanvraag Nr. 7901122.
 - ②2 Ingediend 13 februari 1979.
 - ③2 --
 - ③3 --
 - ③1 --
 - ②3 --
 - ⑥1 --
 - ⑥2 --

④3 Ter inzage gelegd 15 augustus 1980.

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

PHN 9344

N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

Halfgeleiderlaser en werkwijze ter vervaardiging daarvan.

De uitvinding heeft betrekking op een halfgeleider-
laser met een halfgeleiderlichaam bevattende een substraat
van een eerste geleidingstype, een op het substraat gele-
gen eerste passieve laag van het eerste geleidingstype,
5 een daarop gelegen actieve laag die zich althans ten dele
binnen een door twee reflecterende oppervlakken van het
lichaam gevormde resonator bevindt, en een op de actieve
laag gelegen tweede passieve laag, waarbij de passieve la-
gen een grotere verboden bandbreedte hebben dan de actieve
10 laag, en het substraat voorzien is van een uitholling waar-
door straling uittreedt, welke uitholling zich door de ge-
hele dikte van het substraat heen uitstrekt tot aan de eer-
ste passieve laag, en waarbij het substraat en de tweede
passieve laag elk elektrisch verbonden zijn met een aan-
15 sluitgeleider, tussen welke aansluitgeleiders zich een
pn-overgang bevindt om ladingsdragers in de actieve laag
te injecteren.

De uitvinding heeft bovendien betrekking op een
werkwijze ter vervaardiging van de halfgeleiderlaser.

20 Een halfgeleiderlaser van de beschreven soort is
bekend uit IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED
24, No. 7, Juli 1977 bladzijden 995 tot en met 1000, in het
bijzonder figuur 7. Het betreft hier een dubbele hetero-
junction laser van het gebruikelijke type, met op een sub-
25 straat een tussen twee passieve lagen gelegen actieve laag
met een kleinere verboden bandbreedte en een andere samen-
stelling dan de passieve lagen, waarbij de reflecterende
zijvlakken van het halfgeleiderkristal de resonatorvormen,
en stroominjectie plaatsvindt vanuit een strookvormige
30 elektrode op de tweede passieve laag. In het substraat is

790 1122

PHN 9344

voor meetdoeleinden een uitholling aangebracht om ook straling loodrecht op het vlak van de actieve laag te kunnen observeren. De pn-overgang waarover ladingsdragers in de actieve laag worden geïnjecteerd wordt gevormd tussen de actieve laag en één van de passieve lagen, en loopt in zijn geheel evenwijdig aan de laagrichting.

Bij de gebruikelijke lasers met dubbele hetero-overgang, die meestal overeenkomen met de hierboven beschreven en slechts voor meetdoeleinden dienende laser, met uitzondering van de uitholling in het substraat, treedt de laserstraling uit evenwijdig aan de actieve laag, en wordt de resonator gevormd door reflecterende evenwijdige splijtvlakken, die de zijvlakken van het halfgeleiderkristal vormen. Deze lasers hebben een actief volume dat in één richting een vrij grote lengte, in de orde van enkele honderden μm , heeft en daardoor aanleiding geeft tot longitudinale Fabry-Pérot trillingsmodi met relatief zeer geringe onderlinge golflengteverschillen waardoor het werken in één longitudinale mode wordt bemoeilijkt. Bovendien is het aanbrengen van de splijtvlakken een vrij subtiële operatie, waarvoor ook een nauwkeurige kristaloriëntatie vereist is.

Verder is bij deze bekende laserstructuren de kans, dat in het vrij lange strookvormige actieve gebied kristaldefecten optreden vrij groot, terwijl de evenwijdige aan de actieve laag uittredende stralingsbundel door de geringe actieve laagdikte een tamelijk grote divergentie vertoont. Verder is de bundel vaak tamelijk sterk astigmatisch.

De uitvinding beoogt onder meer een nieuwe laserstructuur te verschaffen met een zeer klein actief volume, zonder gebruik van splijtvlakken, die op zeer eenvoudige wijze in combinatie met een glasvezel-lichtgeleider kan worden gemonteerd, en een stralingsbundel met zeer weinig divergentie en astigmatisme levert.

De uitvinding berust onder meer op het inzicht, dat met voordeel althans een van de reflecterende vlakken van de resonator gevormd kan worden door het oorspronkelijke kristallografische grensvlak tussen twee aangrenzende half-

790 1122

PHN 9344

geleiderlagen van de inrichting, in plaats van door een splijtvlak.

Een halfgeleiderlaser van de in de aanhef vermelde soort is daartoe volgens de uitvinding daardoor gekenmerk, dat een gebied van het tweede geleidingstype zich
 5 vanaf het oppervlak van het halfgeleiderlichaam door tenminste de gehele dikte van de tweede passieve laag heen uitstrekt, en met het aangrenzende deel van het halfgeleiderlichaam van het eerste geleidingstype een pn-overgang vormt
 10 die een in projectie boven de uitholling gelegen halfgeleidergebied althans zijdelings geheel omringt en een actief volume van de actieve laag bepaalt, en dat op het genoemde oppervlak een electrodelaag is aangebracht die aansluit op het gebied van het tweede geleidingstype, waarbij een der
 15 reflecterende oppervlakken van de resonator gevormd wordt door het binnen de uitholling vrijliggende optisch vlakke grensvlak tussen het substraat en de eerste passieve laag dat de bodem van de uitholling vormt.

Aangezien de resonator bij de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding niet gevormd wordt door splijtvlakken
 20 kunnen de laserkristallen die gelijktijdig op één halfgeleiderschijf vervaardigd worden op eenvoudige wijze van elkaar gescheiden worden bijvoorbeeld door zagen of breken. Door het zeer kleine actieve volume bestaat weinig kans op
 25 kristalfouten in dit volume. Verder kan een glasvezellichtgeleider op eenvoudige wijze binnen de uitholling worden gemonteerd, terwijl door het ten opzichte van het actieve volume relatief grote uittree-oppervlak slechts weinig
 30 divergentie optreedt. Doordat de afmetingen van het actieve volume zeer klein gekozen kunnen worden is bedrijf in één stralingsmode mogelijk; in het bijzonder geldt dit ook voor de longitudinale mode, daar de uittredende bundel loodrecht op de actieve laag staat. Verder kan de drempelstroom relatief laag gehouden worden, en kunnen de laserkristallen
 35 tijdens de vervaardiging, terwijl zij nog via de halfgeleiderschijf verbonden zijn, worden getest.

De voornaamste uitvoeringsvormen van de halfge-

790 1122

PHN 9344

leiderlaser volgens de uitvinding kunnen onderscheiden worden in twee voorkeursuitvoeringen.

5 Een eerste uitvoeringsvorm is daardoor gekenmerkt, dat de actieve laag en de tweede passieve laag beide van het eerste geleidingstype zijn en dat het gebied van het tweede geleidingstype zich door de actieve laag heen uitstrekt en met de actieve laag een dwars door deze laag lopende pn-overgang vormt die een boven de uitholling gelegen deel van de actieve laag en de tweede passieve laag omringt.
10

Volgens een tweede voorkeursuitvoering is de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding daardoor gekenmerkt, dat de pn-overgang het gebied van het tweede geleidingstype binnen het halfgeleiderlichaam geheel omsluit en in
15 hoofdzaak evenwijdig aan de actieve laag loopt.

Een bijzonder geschikte werkwijze ter vervaardiging van de halfgeleiderlaser is volgens de uitvinding daardoor gekenmerkt, dat op een halfgeleidersubstraat van een eerste geleidingstype achtereenvolgens ten minste een
20 eerste passieve halfgeleiderlaag, een actieve halfgeleiderlaag en een tweede passieve halfgeleiderlaag, alle van het eerste geleidingstype, worden aangegroeid waarbij het materiaal van de passieve lagen een grotere verboden bandbreedte heeft dan dat van de actieve laag, dat vervolgens
25 een halfgeleidergebied van het tweede geleidingstype wordt gevormd dat zich vanaf het tegenover het substraat gelegen oppervlak tenminste tot aan de actieve laag uitstrekt en met het aangrenzende gebied van het eerste geleidingstype een pn-overgang vormt die een aan het oppervlak grenzend
30 gebied althans zijdelings omringt, dat in het substraat een uitholling wordt geëtst door middel van een etsproces waardoor het materiaal van de eerste passieve laag niet wordt aangetast, welk etsproces wordt voortgezet tot op de bodem van de uitholling een deel van het oorspronkelijke grensvlak tussen het substraat en de eerste passieve laag is
35 blootgelegd, waarbij de uitholling wordt aangebracht tegenover het genoemde door de pn-overgang omringde gebied, en

790 1122

PHN 9344

dat het substraat en het tweede gebied van elektrodelagen worden voorzien.

De uitvinding zal thans nader worden toegelicht aan de hand van de tekening, waarin

5 Figuur 1 schematisch in dwarsdoorsnede een eerste uitvoeringsvorm van de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding toont,

Figuur 2 tot en met 5 schematisch in dwarsdoorsnede opeenvolgende stadia van vervaardiging van de halfgeleiderlaser volgens Figuur 1 tonen en

10 Figuur 6 schematisch in dwarsdoorsnede een tweede uitvoeringsvorm van de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding toont.

De figuren zijn schematisch en niet op schaal getekend, waarbij in het bijzonder de afmetingen in de dikte vergroot zijn weergegeven terwille van de duidelijkheid. Overeenkomstige delen zijn in de regel met dezelfde verwijzingscijfers aangeduid; halfgeleidergebieden van hetzelfde geleidingstype zijn in dezelfde richting gearceerd.

20 Figuur 1 toont schematisch in dwarsdoorsnede een halfgeleiderlaser volgens de uitvinding. De laser heeft een halfgeleiderlichaam 1 dat een substraat 2 bevat van een eerste geleidingstype, in dit voorbeeld een n-type substraat vangalliumarsenide (GaAs). Op dit substraat 2 ligt een eerste passieve laag 3, eveneens van het n-geleidingstype, in dit voorbeeld een 10 μ m dikke laag van n-type galliumaluminiumarsenide met 30 atoomprocenten aluminium, dus met een samenstelling $\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3}\text{As}$ en met een doteringsconcentratie van $5 \cdot 10^{17}$ tin atomen per cm^3 . Op de eerste passieve laag 3 ligt een actieve laag 4, in dit voorbeeld van galliumarsenide, met een dikte van 0,5 μ m, welke actieve laag zich voor een deel binnen een later te bespreken resonator bevindt.

35 Op de actieve laag 4 ligt een tweede passieve laag 5, met een samenstelling $\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3}\text{As}$, en een dikte van 2 μ m. De passieve lagen 3 en 5 hebben beide een grotere verboden bandbreedte dan de actieve laag 4, waardoor de ge-

790 1122

PHN 9344

injekteerde ladingsdragers binnen het halfgeleiderlichaam praktisch tot de actieve laag worden beperkt.

Het substraat 2 is voorzien van een uitholling 6 waardoor de straling volgens de pijl 7 uittreedt. De uitholling 6 is in dit voorbeeld rotatiesymmetrisch met de lijn MM' als symmetrie-as, zodat de doorsnede van de uitholling evenwijdig aan de laagrichting cirkelvormig is. De uitholling 6 strekt zich door de gehele dikte van het substraat 2 heen uit tot aan de eerste passieve laag 3. Het substraat 2 en de tweede passieve laag 5 zijn elk elektrisch verbonden met een aansluitgeleider, namelijk het substraat 2 met een elektrodelaag 8 en de tweede passieve laag 5 met een elektrodelaag 9. Tussen de aansluitgeleiders 8 en 9 bevindt zich een pn-overgang 10 om ladingsdragers, in dit geval gaten, in de actieve laag 4 te injecteren.

Volgens de uitvinding strekt zich vanaf het oppervlak van het halfgeleiderlichaam door tenminste de gehele dikte van de tweede passieve laag 5 heen een gebied van het tweede geleidingstype, in dit voorbeeld een p-typegebied 11, uit, dat met het aangrenzende deel van het halfgeleiderlichaam van het eerste, n-, geleidingstype een pn-overgang 10 vormt die een in projectie boven de uitholling 6 gelegen, in dit voorbeeld eveneens rotatiesymmetrisch om de lijn MM' liggend halfgeleidergebied, gevormd door de actieve laag 4 en de tweede passieve laag 5, zijdelings geheel omringt en een actief volume 4A van de actieve laag 4 bepaalt. Verder is volgens de uitvinding op het oppervlak een elektrodelaag 9 aangebracht die aansluit op het gebied 11, waarbij de resonator gevormd wordt enerzijds door het binnen de uitholling 6 vrijliggende reflecterende, optisch vlakke grensvlak 12 tussen het substraat 2 en de eerste passieve laag 3, dat de bodem van de uitholling vormt, en anderzijds door het oppervlak van de tweede passieve laag 5. In de hierbeschreven uitvoeringsvorm van de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding zijn de actieve laag 4 en de tweede passieve laag 5 beide van het eerste geleidingstype, in dit voorbeeld dus n-type geleidend. De laag 4 heeft in

790 1122

PHN 9344

dit voorbeeld een doteringsconcentratie van $5 \cdot 10^{17}$ tin atomen per cm^3 , de laag 5 eveneens van $5 \cdot 10^{17}$ tinatomen per cm^3 . Het gebied 11 strekt zich door de actieve laag 4 heen uit, en vormt met deze laag 4 een dwars door deze laag lopende pn-overgang.

Op het gebied 11 van het tweede geleidingstype bevindt zich in deze uitvoeringsvorm een halfgeleidende contactlaag 13 van p-type galliumarsenide met een dikte van ongeveer $1 \mu\text{m}$ en een dotering van $5 \cdot 10^{17}$ tinatomen per cm^3 . Deze contactlaag 13 bevat een boven de uitholling 6 gelegen opening die zich tot aan de tweede passieve laag 5 uitstrekt. Het gebied 11 strekt zich door de gehele contactlaag 13 heen uit.

Verder bestaat in dit voorbeeld het substraat 2 uit een $80 \mu\text{m}$ dik dragerlichaam 14 met een dotering van 10^{18} siliciumatomen/ cm^3 waarop een $5 \mu\text{m}$ dikke epitaxiale laag 15 van hetzelfde materiaal en hetzelfde geleidingstype, in dit voorbeeld met een doteringsconcentratie van $5 \cdot 10^{17}$ tinatomen/ cm^3 is aangebracht. Het grensvlak 12, dat als reflector wordt gebruikt, is dan een grensvlak tussen twee epitaxiale lagen en vertoont daardoor minder onvolkomenheden dan het grensvlak tussen een dragerlichaam en de eerste daarop aangegroeide epitaxiale laag. Het is echter ook mogelijk, voor het substraat 2 een éénkristallijn halfgeleiderplaatje zonder epitaxiale laag te gebruiken.

Het oppervlak van het deel 5A van de laag 5 is in dit voorbeeld bedekt met een dielektrische laag 16, en de elektrodel laag 9 is aangebracht op de contactlaag 13 en de isolerende laag 16. Door de aanwezigheid van de laag 16 kan bij het aanbrengen van de elektrodel laag 9 en de daarbij optredende verhitting het oppervlak van het gebied 5A niet door legeereffecten worden beschadigd, zodat een zo vlak mogelijk oppervlak wordt behouden. De laag 16 heeft bij voorkeur een dikte praktisch gelijk aan een halve golflengte van de laserstraling in het materiaal van de laag 16. De reflectie aan de elektrodel laag 9 is dan vrijwel gelijk aan die welke verkregen zou worden wanneer de laag 9 direct op

7901122

PHN 9344
 het halfgeleideroppervlak zou zijn aangebracht. De laag 16 kan bijvoorbeeld uit siliciumoxyde of siliciumnitride bestaan, of uit een opeenvolging van deellagen met verschillende samenstelling.

5 Het is bij de uitvoering van figuur 1 echter niet nodig dat de elektrodelaag 9 ook boven het gebied 5A wordt aangebracht, aangezien de stroomtoevoer via het gebied 11 plaatsvindt. Het oppervlak van het gebied 5A kan desgewenst geheel vrij liggen, of slechts bedekt zijn met een reflectieverhogende laag, terwijl tenslotte in de uitvoering volgens 10 figuur 1 de laag 16 ook geheel kan worden weggelaten.

Ook kan de bodem 12 van de uitholling 6 met voordeel voorzien worden van een reflectieverhogende laag 17. Dit kan een, uit één of meer op elkaar gelegen lagen 15 gevormde, dielektrische laag zijn, of een zeer dunne metaallaag, bijvoorbeeld een goudlaag met een dikte van bijvoorbeeld 10 nm, die voldoende doorlatend is voor de uittredende straling.

De grootste afmeting van het actieve volume 4A 20 van de actieve laag 4 in elke richting evenwijdig aan de loogerichting, in dit voorbeeld dus de diameter van het schijfvormige deel 4A, bedraagt hier 10 μm en bedraagt in het algemeen bij voorkeur ten hoogste 100 μm . Bij een dergelijk klein actief volume is de kans op het voorkomen van 25 kristalfouten daarin vrijwel verwaarloosbaar.

De beschreven halfgeleiderlaser levert bij het aanleggen van een spanning in de doorlaatrichting tussen de elektrodelaagen 8 en 9 boven een bepaalde drempelstroom een stralingsbundel 7 met zeer weinig divergentie en astigmatisme op. Op zeer eenvoudige wijze kan koppeling met een lichtgeleider, bijvoorbeeld een glasvezel-lichtgeleider, worden 30 verkregen door deze met een uiteinde in de uitholling 6 te monteren.

Doordat de afstand tussen de reflecterende vlakken 35 12 en 18 slechts ongeveer 13 μm bedraagt, treedt bij de beschreven halfgeleiderlaser slechts één longitudinale Fabry-

7901122

PHN 9344

Pérot stralingsmode op, in tegenstelling tot de meeste bekende lasers, waar de afstand tussen de reflecterende vlakken in het algemeen enkele honderden μm bedraagt.

Een verder voordeel van de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding is, dat de dikte van de actieve en passieve lagen een minder grote rol speelt dan bij bekende halfgeleiderlasers. Wat betreft de actieve laag treedt er namelijk een zekere compensatie op doordat bij dezelfde stroom door de laser, bij een dunnere actieve laag de concentratie aan ladingsdragers in het actieve volume, dus ook de versterking, groter is, maar deze versterking over een korter traject (de dikte van de actieve laag) optreedt, en omgekeerd. Hoewel deze tegengesteld werkende effecten niet in dezelfde mate van de dikte van de actieve laag afhangen, wordt door deze gedeeltelijke compensatie de tolerantie voor de laagdikte toch groter dan bij bekende, in de laagrichting stralende lasers. Wat betreft de dikte van de passieve lagen, deze bepaalt tezamen met de dikte van de actieve laag de golflengte-afstand van naburige longitudinale modi en heeft een vrij ruime tolerantie.

De drempelstroombichtheid van de laserstructuur volgens de uitvinding is relatief hoog. Dit vindt onder meer zijn oorzaak in het feit, dat het gebied waarover versterking optreedt, dat wil zeggen de laagdikte, slechts zeer klein is en in dit actieve gebied de concentratie aan ladingsdragers dus zeer groot moet zijn.

Aangezien de afmetingen van het actieve volume klein is zal echter de drempelstroom toch laag zijn; bij een contactdiameter van $5 \mu\text{m}$ zal deze in de orde van 40 mA zijn in afwezigheid van de lagen 16 en 17. Door de werking van deze reflectieverhogende lagen kan de drempelstroom nog aanzienlijk worden verlaagd.

Zoals eerder gezegd is de dikte van de actieve en passieve lagen voor de werking van de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding relatief minder belangrijk.

7901122

PHN 9344

De totale dikte van de actieve en passieve lagen 3, 4 en 5 echter, die de lengte van de laser tussen de reflecterende vlakken 12 en 18 vormt, wordt bij voorkeur tenminste gelijk aan $5\ \mu\text{m}$ en ten hoogste gelijk aan $20\ \mu\text{m}$ gekozen. Bij een grotere totale dikte komen de golflengten van de longitudinale Fabry-Pérot modes zo dicht bij elkaar te liggen, dat gevaar voor het optreden van meerdere longitudinale stralingsmodi ontstaat. Bij een kleinere totale dikte dan ongeveer $5\ \mu\text{m}$ komen de golflengten van naburige modi zover uiteen te liggen, dat het zou kunnen gebeuren dat er geen enkele mode binnen het versterkingsprofiel (dat een breedte heeft in de orde van 20 nm) valt. De modeafstand $\Delta\lambda$ voor een totale laagdikte van $13\ \mu\text{m}$ bij het beschreven uitvoeringsvoorbeeld bedraagt ongeveer 7 nm; de golflengte van de uitgezonden straling bedraagt ongeveer 900 nm. De halfgeleiderlaser volgens Figuur 1 kan volgens de uitvinding op de volgende wijze worden vervaardigd, zie Fig. 2 t/m 5. Uitgegaan wordt bijvoorbeeld van een halfgeleiderschijf 14 van galliumarsenide van een eerste, in dit voorbeeld n-geleidingstype met een dotering van 10^{18} silicium-atomen per cm^3 en een dikte van ongeveer $300\ \mu\text{m}$. Daarop wordt bijvoorbeeld door aangroeien vanuit de vloeibare fase een $5\ \mu\text{m}$ dikke laag 15 van n-type GaAs met een dotering van $5 \cdot 10^{17}$ tin-atomen/ cm^3 aangegroeid. Het achtereenvolgens aangroeien van epitaxiale lagen uit de vloeibare fase is een algemeen bekende techniek; hier toe kan bijvoorbeeld verwezen worden naar het boek van D.Elwell en H.J.Scheel, Crystal Growth from High Temperature Solutions, Academic Press 1975, blz. 433 t/m 467.

Op het zo verkregen substraat 2 van n-type galliumarsenide, bestaande uit de lagen 14 en 15, worden achtereenvolgens, zonder de schijf uit de aangroei-apparatuur te verwijderen, een laag 3 van n-type $\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3}\text{As}$ met een dikte van $10\ \mu\text{m}$ en een dotering van $5 \cdot 10^{17}$ tinatomen/ cm^3 , een laag 4 van n-type Ga As met een dikte van $0,5\ \mu\text{m}$ en een dotering van $5 \cdot 10^{17}$ tin-

790 1122

PHN 9344

atomen/cm³, een laag 5 van n-type Ga_{0,7}Al_{0,3}As met een dikte van 2 μm en een dotering van 5.10¹⁷ tin-atomen/cm³ en een laag 13 van n-type GaAs met een dikte van 1 μm en een dotering van 5.10¹⁷ tin-atomen/cm³ aangebracht.

5 Vervolgens wordt een halfgeleidergebied 11 van het tweede (p-)geleidingstype gevormd, zie Fig. 2. Dit kan op verschillende wijze geschieden. In dit voorbeeld wordt daartoe op het oppervlak onder toepassing van algemeen bekende depositie - en fotolithografische etstechnieken een
10 eiland 20 van siliciumnitride aangebracht. Daarna wordt zink ingediffundeerd ter vorming van het p-type gebied 11, waarbij het siliciumnitride 20 als maskering tegen de diffusie dient. Deze diffusie kan bijvoorbeeld geschieden in een geëvacueerde capsule met ZnAs₂ als bron bij ongeveer
15 800°C. Het is echter ook heel goed mogelijk het gebied 11 op andere wijze aan te brengen. Zo kan bijvoorbeeld dáár, waar het gebied 11 gevormd moet worden, het materiaal van de lagen 3, 4, 5 en 13 verwijderd worden, en vervangen worden door via epitaxiale aangroeiing verkregen p-type
20 halfgeleidermateriaal, bijvoorbeeld p-type gallium-aluminiumarsenide.

Vervolgens wordt in dit voorbeeld, ofschoon dit niet volstrekt noodzakelijk is, in de laag 13 een opening aangebracht. Daartoe wordt het nitride 20 door middel van
25 heet fosforzuur verwijderd, waarna door middel van bekende depositie- en fotolithografische etstechnieken een masker 21 van siliciumoxyde wordt aangebracht (zie Fig. 3). Door etsen met bijvoorbeeld een oplossing bestaande uit 25 cm³ waterstofperoxyde van 30 volumen %, 25 cm³ water en 0,5 cm³
30 NH₄OH van 30 volumen %, die wel galliumarsenide maar geen gallium-aluminiumarsenide aantast wordt een opening in de laag 13 geëtst waarvan de bodem met het grensvlak tussen de lagen 5 en 13 samenvalt en optisch vlak is.

Vervolgens wordt over het geheel een siliciumnitridelaag 16 aangebracht, zie Fig. 3. Deze laag 16 heeft
35 een dikte van ongeveer 0,45 μm hetgeen overeenkomt met on-

7901122

PHN 9344

geveer een halve golflengte van de laserstraling binnen het nitride. Dan wordt de oxydelaag 21 met de daarop liggende delen van de laag 16 door etsen verwijderd, waarna een metaallaag 9 wordt neergeslagen (zie Fig. 4), die in
 5 dit voorbeeld uit een 50 nm dikke chroomlaag, een daarop gelegen 100 nm dikke platinalaag en een daarop liggende 50 nm dikke goudlaag is samengesteld. De laag 9 kan echter ook uit andere metalen bestaan.

10 Zoals eerder vermeld kan de laag 16 desgewenst, echter ten koste van een minder perfect reflecterend oppervlak, achterwege gelaten worden.

.De metaallaag 9 wordt bij voorkeur bij 350° gedurende enkele minuten ingebakken. Door slijpen en etsen wordt aan de substraatzijde de dikte van de halfgeleiderschijf gereduceerd tot een totale dikte van ongeveer $100\mu\text{m}$
 15 is bereikt. Daarna wordt aan de substraatzijde op het oppervlak een elektrodelaag 8 (zie Fig. 5), bestaande bijvoorbeeld uit een goud-germanium-nikkellegering aangebracht, en ingebakken bij 425° gedurende enkele minuten. Daarvan
 20 wordt in het substraat een uitholling 6 geëtst. Daartoe wordt, na maskeren van de elektrodelaag 8 met een fotolakmasker, eerst binnen een opening met een diameter van ongeveer $150\mu\text{m}$ ter plaatse van de aan te brengen uitholling de laag 8 verwijderd. Vervolgens wordt een nieuw fotolakmasker met kleinere opening aangebracht, en door etsen
 25 met dezelfde etsvloeistof als gebruikt werd voor het weg-etsen van de laag 13, het GaAs-substraat 2 verwijderd waarbij, aangezien dit etsmiddel gallium-aluminiumarsenide niet aantast, op de bodem van de uitholling een deel van het
 30 oorspronkelijke grensvlak 12 tussen het substraat 2 en de laag 3 wordt blootgelegd. De uitholling 6 wordt tegenover de in de laag 13 geëtste opening, dus tegenover het door de pn-overgang 10 omringde gebied van de lagen 4 en 5 aangebracht.

35 Nadat desgewenst binnen de opening 6 op het

790 1122

PHN 9344

oppervlak 12 nog een reflectieverhogende laag 17 als eerder vermeld is aangebracht, is hiermede de halfgeleiderlaser van Figuur 1 verkregen.

5 Het zal duidelijk zijn dat op éénzelfde halfgeleiderschijf gelijktijdig vele laserstructuren kunnen worden aangebracht, die vervolgens bijvoorbeeld door zagen, breken of etsen van elkaar worden gescheiden. Een belangrijk voordeel van de uitvinding is daarbij, dat de lasers reeds tijdens de fabricage, terwijl zij nog aan elkaar
10 vastzitten, kunnen worden getest.

Behalve de tot hiertoe beschreven structuur kan de halfgeleiderlaser volgens de uitvinding nog andere structuren vertonen. Een belangrijke variant is ⁱⁿdwarsdoorsnede weergegeven in Figuur 6. Bij deze uitvoeringsvorm
15 is het gebied 11 van het tweede (p-) geleidingstype zo aangebracht, dat de pn-overgang 10 het gebied 11 binnen het halfgeleiderlichaam geheel omsluit. De pn-overgang 10 loopt daarbij in hoofdzaak evenwijdig aan de actieve laag 4. Het gebied 11 strekt zich tenminste tot aan de actieve
20 laag uit en kan zich, zoals in Figuur 6 getekend, tot in de actieve laag, of tot even voorbij de actieve laag in de laag 3 uitstrekken. Bij deze uitvoering is de elektrodel laag 9 buiten het gebied 11 door een isolerende laag, bijvoorbeeld een siliciumoxydelaag, van het halfgeleider-
25 oppervlak gescheiden, terwijl de actieve laag hier een hogere dotering heeft dan in Figuur 1 aangezien hier de injectie van elektronen vanuit de laag 4 in het gebied 11 de laserwerking bepaalt, in het bijzonder wanneer het gebied 11 zich door de gehele dikte van de laag 4 heen uit-
30 strekt, in welk geval het actieve volume geheel p-type geleidend is. De dotering van de laag 4 bedraagt hier dan ook bijvoorbeeld $5 \cdot 10^{18}$ telluur-atomen/cm³. De overige afmetingen, laagdikten en doteringsconcentraties kunnen desgewenst dezelfde zijn als in de uitvoering van Figuur
35 1.

790 1122

PHN 9344

Bij de uitvoering als geschetst in Figuur 6, waarbij het gebied 11 zich niet over de gehele dikte van de laag 4 uitstrekt bestaat het actieve volume uit een p-type deel waarin vanuit de laag 4 electronen worden geïnjecteerd, en daaronder een n-type deel waarin vanuit het gebied 11 gaten worden geïnjecteerd.

Ook in Figuur 6 is de inrichting rotatiesymmetrisch (om de lijn NN') verondersteld. Overeenkomstige delen worden met dezelfde verwijzingscijfers als in Figuur 1 aangeduid. Ook in dit geval bepaalt de pn-overgang 10, in het bijzonder het evenwijdig aan de laagrichting lopende deel ervan, het actieve volume van de laser.

Het zal duidelijk zijn dat de uitvinding niet beperkt is tot de gegeven uitvoeringsvoorbeelden, doch dat binnen het kader van de uitvinding door de vakman vele variaties kunnen worden aangebracht. Zo is het bijvoorbeeld geenszins noodzakelijk dat de uitholling 6 en de opening in de contactlaag 13 rotatiesymmetrisch zijn, hoewel dit de voorkeur verdient indien een-symmetrische stralingsbundel gewenst is. Ook kunnen de laagdikten en de doteringsconcentraties, alsmede de materialen waaruit de diverse lagen bestaan, door de vakman naar behoefte worden gevarieerd; uit de vakliteratuur zijn zeer vele voor laserfabricage geschikte halfgeleidermaterialen bekend waaruit de vakman zijn keuze kan maken. Verder kunnen uiteraard alle geleidingstypen alle (tegelijk) door hun tegengestelde vervangen worden. Ook de elektrodelagen 8 en 9 kunnen door andere, al dan niet uit meerdere op elkaar liggende metaallagen bestaande, ohmse kontaktmetalliseringen worden vervangen.

CONCLUSIES:

1. Halfgeleiderlaser met een halfgeleiderlichaam bevattende een substraat van een eerste geleidingstype, een op het substraat gelegen eerste passieve laag van het eerste geleidingstype, een daarop gelegen actieve laag die zich althans ten dele binnen een door twee reflec-

790 1122

PHN 9344

terende oppervlakken van het lichaam gevormde resonator be-
vindt, en een op de actieve laag gelegen tweede passieve
laag, waarbij de passieve lagen een grotere verboden band-
breedte hebben dan de actieve laag, en het substraat voor-
5 zien is van een uitholling waardoor straling uittreedt,
welke uitholling zich door de gehele dikte van het sub-
straat heen uitstrekt tot aan de eerste passieve laag, en
waarbij het substraat en de tweede passieve laag elk elek-
trisch verbonden zijn met een aansluitgeleider, tussen wel-
10 ke aansluitgeleiders zich een pn-overgang bevindt om ladings-
dragers in de actieve laag te injecteren, met het kenmerk,
dat een gebied van het tweede geleidingstype zich vanaf
het oppervlak van het halfgeleiderlichaam door tenminste
de gehele dikte van de tweede passieve laag heen uitstrekt,
15 en met het aangrenzende deel van het halfgeleiderlichaam
van het eerste geleidingstype een pn-overgang vormt die
een in projectie boven de uitholling gelegen halfgeleider-
gebied althans zijdelings geheel omringt en een actief vo-
lume van de actieve laag bepaalt, en dat op het genoemde
20 oppervlak een elektrodel laag is aangebracht die aansluit op
het gebied van het tweede geleidingstype, waarbij een der
reflecterende oppervlakken van de resonator gevormd wordt
door het binnen de uitholling vrijliggende optisch vlakke
grensvlak tussen het substraat en de eerste passieve laag
25 dat de bodem van de uitholling vormt.

2. Halfgeleiderlaser volgens conclusie 1 met
het kenmerk dat de grootste afmeting van het actieve volu-
me van de actieve laag in een richting evenwijdig aan de
laagrichting ten hoogste $100 \mu\text{m}$ bedraagt.

30 3. Halfgeleiderlaser volgens conclusie 1 of
2, met het kenmerk, dat de totale dikte van de halfgelei-
derlagen tussen de bodem van de uitholling en het tegen-
overliggende oppervlak tenminste $5 \mu\text{m}$ en ten hoogste
 $20 \mu\text{m}$ bedraagt.

35 4. Halfgeleiderlaser volgens een der voor-
gaande conclusies met het kenmerk, dat de uitholling een

790 1122

PHN 9344

nagenoeg cirkelvormige doorsnede heeft.

5. Halfgeleiderlaser volgens een der voorgaande conclusies met het kenmerk, dat althans de bodem van de uitholling bedekt is met een reflectieverhogende laag.

5 6. Halfgeleiderlaser volgens een der voorgaande conclusies met het kenmerk, dat het substraat bestaat uit een dragerlichaam en een daarop aangegroeide epitaxiale laag van hetzelfde materiaal en hetzelfde geleidingstype, welke epitaxiale laag met de eerste passieve laag het genoemde grensvlak vormt.

10 7. Halfgeleiderlaser volgens een der voorgaande conclusies met het kenmerk, dat de actieve laag en de tweede passieve laag beide van het eerste geleidingstype zijn en dat het gebied van het tweede geleidingstype zich door de actieve laag heen uitstrekt en met de actieve laag een dwars door deze laag lopende pn-overgang vormt die een boven de uitholling gelegen deel van de actieve laag en de tweede passieve laag omringt.

20 8. Halfgeleiderlaser volgens conclusie 7 met het kenmerk, dat op het oppervlak van het door de pn-overgang omringde gebied van het eerste geleidingstype een isolerende laag is aangebracht.

25 9. Halfgeleiderlaser volgens conclusie 8 met het kenmerk, dat de dikte van de isolerende laag nagenoeg een halve golflengte van de door de laser uitgezonden straling binnen de isolerende laag bedraagt.

30 10. Halfgeleiderlaser volgens conclusie 8 of 9 met het kenmerk, dat de op het gebied van het tweede geleidingstype aansluitende elektrodelag zich ook op de isolerende laag uitstrekt.

35 11. Halfgeleiderlaser volgens een der conclusies 7 t/m 10 met het kenmerk, dat op het gebied van het tweede geleidingstype een halfgeleidende contactlaag is aangebracht die een boven de uitholling gelegen opening bevat die zich tot aan de tweede passieve laag uitstrekt, waarbij het gebied van het tweede geleidingstype zich

790 1-1 22

PHN 9344

door de gehele dikte van de contactlaag heen uitstrekt.

12. Halfgeleiderinrichting volgens een der conclusies 1 t/m 6 met het kenmerk, dat de pn-overgang het gebied van het tweede geleidingstype binnen het halfgeleiderlichaam geheel omsluit en in hoofdzaak evenwijdig aan de actieve laag loopt.

13. Werkwijze ter vervaardiging van een halfgeleiderlaser volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat op een halfgeleidersubstraat van een eerste geleidingstype achtereenvolgens tenminste een eerste passieve halfgeleiderlaag, een actieve halfgeleiderlaag en een tweede passieve halfgeleiderlaag, alle van het eerste geleidingstype, worden aangegroeid waarbij het materiaal van de passieve lagen een grotere bandbreedte heeft dan dat van de actieve laag, dat vervolgens een halfgeleidergebied van het tweede geleidingstype wordt gevormd dat zich vanaf het tegenover het substraat gelegen oppervlak tenminste tot aan de actieve laag uitstrekt en met het aangrenzende gebied van het eerste geleidingstype een pn-overgang vormt die een aan het oppervlak grenzend gebied althans zijdelings omringt, dat in het substraat een uitholling wordt geëtsd door middel van een etsproces waardoor het materiaal van de eerste passieve laag niet wordt aangetast, welk etsproces wordt voortgezet tot op de bodem van de uitholling een deel van het oorspronkelijke grensvlak tussen het substraat en de eerste passieve laag is blootgelegd, waarbij de uitholling wordt aangebracht tegenover het genoemde door de pn-overgang omringde gebied, en dat het substraat en het tweede gebied van elektrodelagen worden voorzien.

14. Werkwijze volgens conclusie 13 met het kenmerk, dat op de tweede passieve laag een halfgeleidende contactlaag wordt aangegroeid, en dat in deze contactlaag boven de uitholling selectief een opening wordt geëtsd door middel van een etsproces dat het materiaal van de tweede passieve laag niet aantast, waardoor binnen de ope-

790 1 1 2 2

PHN 9344

ning een optisch vlak deel van het grensvlak tussen de tweede passieve laag en de contactlaag wordt blootgelegd.

790 1122

1/2

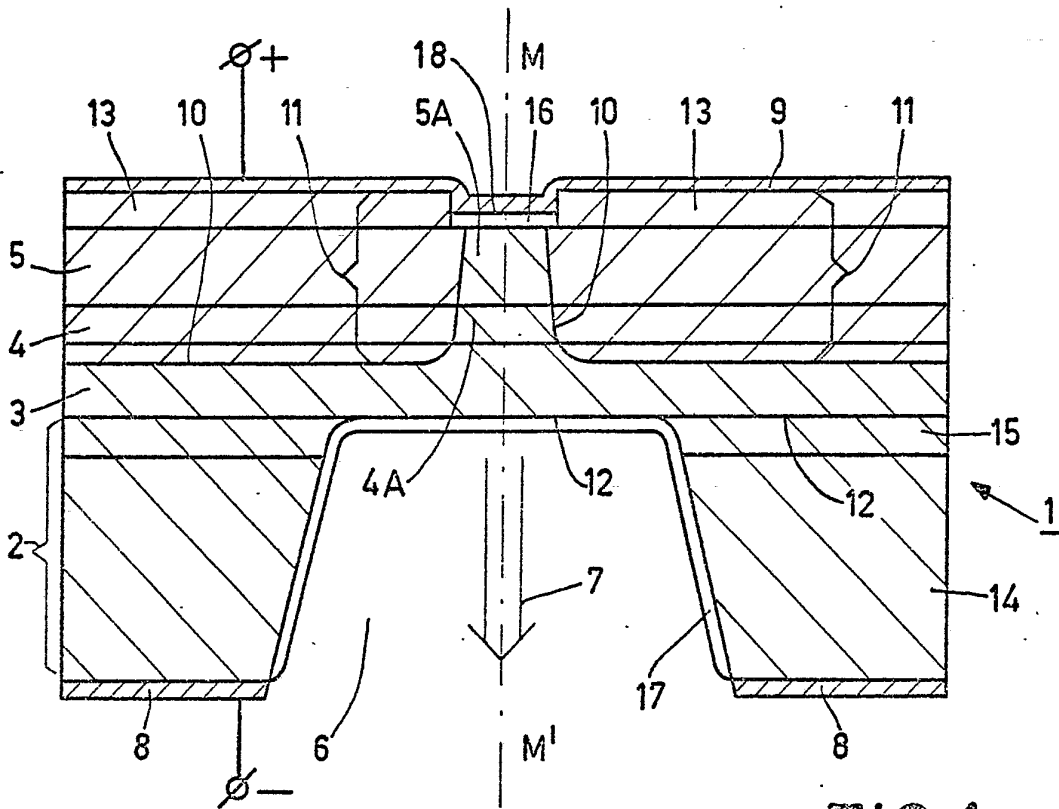


FIG. 1

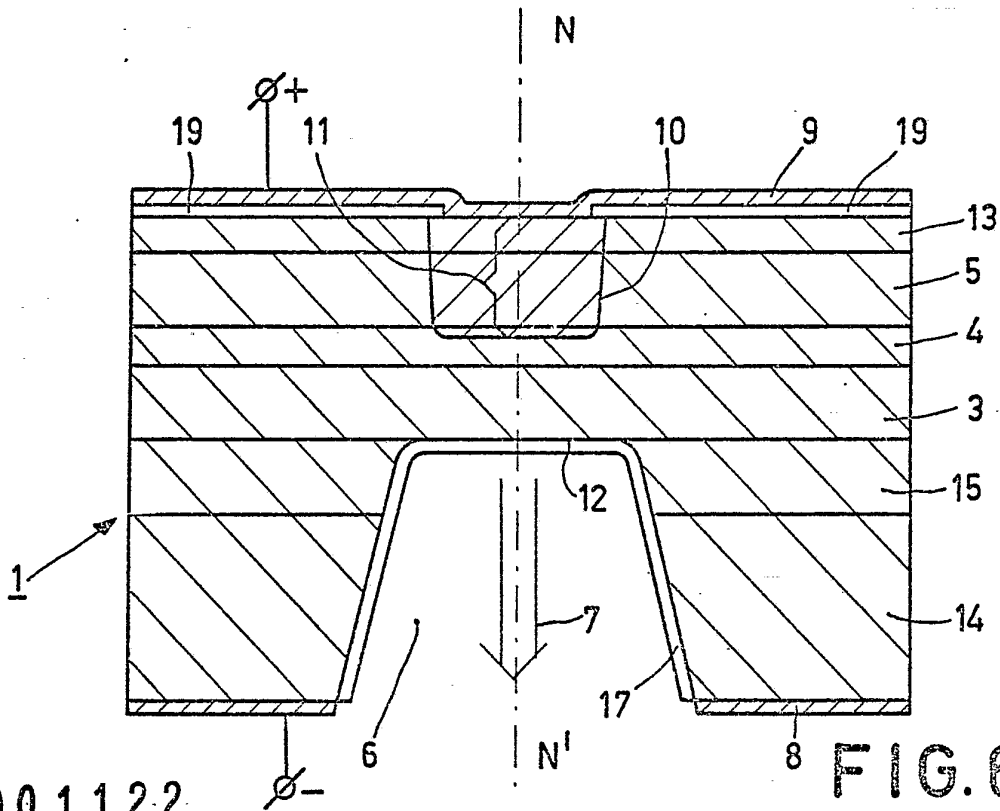


FIG. 6

790 1122

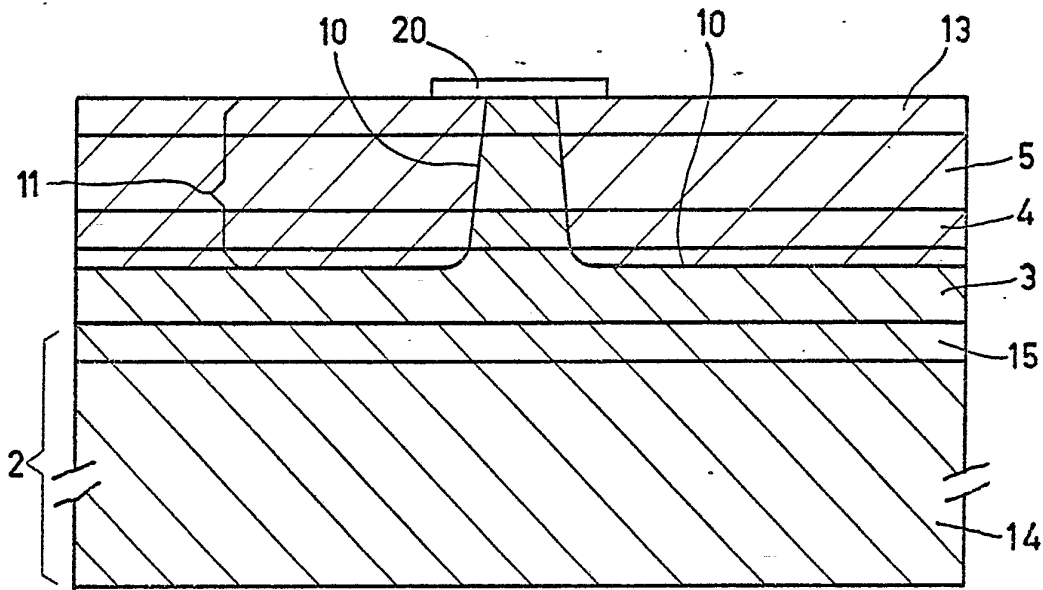


FIG. 2

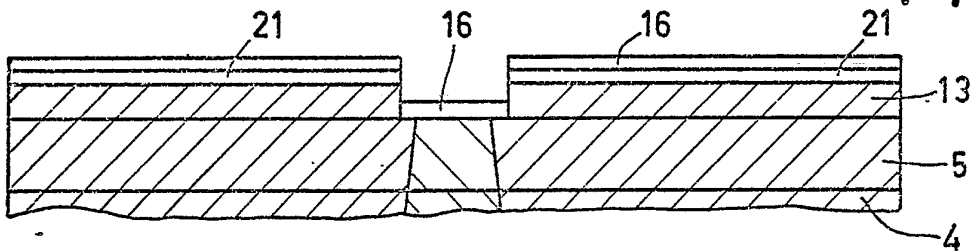


FIG. 3

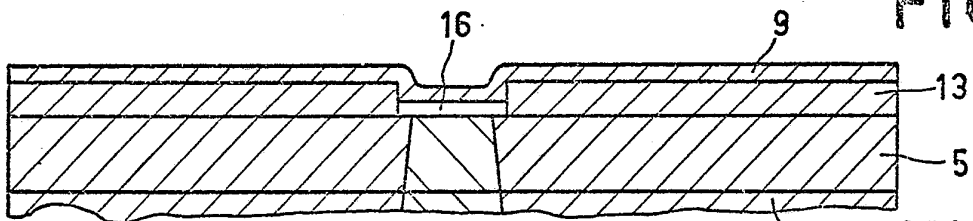


FIG. 4

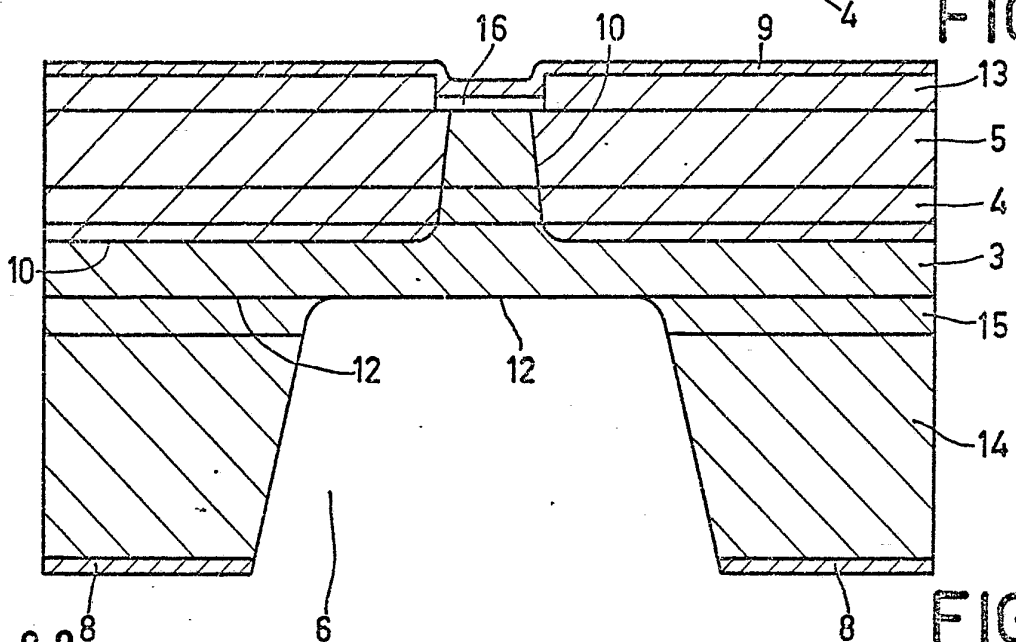


FIG. 5

790 1122⁸