



⑩ A **Terinzagelegging** ⑪ **8202385**

Nederland

⑲ **NL**

- ⑤4 **Gestabiliseerde halfgeleiderlaser.**
- ⑤1 Int.Cl.: H01S3/19.
- ⑦1 Aanvrager: Western Electric Company, Incorporated te New York.
- ⑦4 Gem.: Ir. H.M. Urbanus c.s.
Vereenigde Octrooibureaux
Nieuwe Parklaan 107
2587 BP 's-Gravenhage.

-
- ②1 Aanvraag Nr. 8202385.
 - ②2 Ingediend 11 juni 1982.
 - ③2 Voorrang vanaf 12 juni 1981.
 - ③3 Land van voorrang: Ver. St. v. Am. (US).
 - ③1 Nummer van de voorrangsaanvraag: 273109.
 - ⑥2 --

-
- ④3 Ter inzage gelegd 3 januari 1983.

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

Gestabiliseerde halfgeleiderlaser.

De uitvinding heeft betrekking op een licht-uitstralende structuur, omvattende een actieve laag, eerste en tweede halfgeleiderlagen op tegenover gelegen zijden van de actieve laag en een derde laag, die contact maakt met tegenover gelegen zijvlakken van de actieve
5 en de eerste en tweede halfgeleiderlagen.

Momenteel beschouwde optische communicatiesystemen maken gebruik van een lichtbron en een fotodetector, die optisch met elkaar gekoppeld zijn door middel van een glastransmissielijn, welke in het algemeen een optische vezel genoemd wordt. Als mogelijkheden voor
10 de lichtbron worden 2 typen inrichtingen, t.w. licht-emitterende diodes en lasers serieus bekeken. De laser wordt in het algemeen, in het bijzonder voor hoge-datasnelheden, als de beste inrichting beschouwd.

Er zijn verscheidene halfgeleider-laserstructuren beschouwd om te gebruiken als lichtbron in dergelijke optische communicatiesystemen. Momenteel zijn vakmensen het er over eens, dat begraven heterostructuur (BH)-lasers de beste mogelijkheden bieden voor optische
15 communicatiesystemen vanwege hun lage stroomdrempelwaarde en stabiele werking, ook bij hoge vermogens. Een BH-laser wordt typisch gefabriceerd door een dubbele heterostructuurlaser te laten groeien, een mesa te etsen
20 en de zijden van de mesa te bekleden met halfgeleidermateriaal, dat gedurende een tweede groei aangegroeid is. De resulterende laser wordt "index guided" met dragers die begrensd zijn tot de actieve laag in beide dwarsrichtingen. Dergelijke BH-lasers hebben de gewenste karakteristieken, zoals een lineaire licht versus stroomkarakteristiek, een stabiel
25 zijn bij pulseren en de afwezigheid van totaal-defecten en geen optisch astigmatisme.

Een ouder artikel, dat de begin-werkzaamheden aan BH-lasers beschrijft is gepubliceerd in Journal of Applied Physics, 45, blz. 4899 - 4906, November 1974. Dit artikel beschrijft een $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As-GaAs}$ -
30 BH-laser, waarmee een werking in de laagste modus verkregen werd. Een dergelijke werking is gewenst, omdat daardoor verzekerd is, dat het lichtemissiepatroon, en derhalve de koppellefficiëntie tussen de laser en de optische vezel, niet zal veranderen. Deze werking werd verkregen door gebruik te maken van een zeer smal en dun, bij voorkeur minder dan
35 0,4 micrometer in zowel hoogte als breedte, actief gebied, dat omgeven

werd door een materiaal met een brekingsindex die niet meer dan 5% afweek van die van de actieve laag. Deze beperkingen wat betreft de afmetingen, maken het onpraktisch om de laser op betrouwbare wijze te construeren en zorgen bovendien voor een laag vermogen.

5 Een latere structuur, die een BH-laser met een begraven optische geleider (BOG) genoemd werd, is beschreven in Applied Physics Letters, 35, blz. 513 - 516, 1 October 1979. Deze inrichting maakt gebruik van een geleidingslaag, aangrenzend aan de actieve laag om het nabije veldpatroon loodrecht op het junctievlak te verbreden en zo het vermo-
10 gen dat in een optische vezel gekoppeld kan worden te vergroten. De inrichting kan ook gebruik maken van een streepbreedte ter grootte van 4 micrometer. Een dergelijke afmeting wordt alleen verkregen als de begraven laag een brekingsindex bezit, die zeer dicht gelegen is bij die van de geleidingslaag.

15 Een BH-laser welke momenteel de stand van de techniek vormt, is de begraven optische geleider (BOG)-laser, die beschreven is in IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-16, blz. 205 - 214, Februari 1980. Deze laser omvat een passieve optische golfgeleider, waardoor de laser een hoge differentiaal quantumefficiëntie bezit, een lage verre
20 veldspreiding en hoge grenzen voor de catastrofale optische schade. Met de BOG-lasers zijn drempelwaarden bereikt met een waarde van 10 mA/micrometer streepbreedte. Alhoewel de BOG-laser geschikt is voor veel doeleinden, heeft deze het nadeel dat er kritische fabricagestappen nodig zijn. Alhoewel het relatief eenvoudig is om BH- of BOG-lasers
25 te laten groeien met multimodus-golfgeleiders, omdat er minimale beperkingen gelden voor de tweede of hergroeisamenstelling, is het moeilijk om BH- of BOG-lasers te maken met golfgeleiders die hetzij enkel-modus zijn of een versterking van de fundamentele transversale modus hebben, welke aanzienlijk groter is dan die van enige andere modus zonder dat
30 er kritische eisen gesteld worden aan de samenstelling, afmetingen, en dergelijke. In de BH- en BOG-lasers wordt de gewenste werking in de laagste modus verkregen door de brekingsindex van de tweede groei of de buitenste bekledingslaag, zodanig te kiezen, dat deze zeer weinig kleiner is dan de effectieve brekingsindex van de mesa-lagen. Dit stelt zeer
35 kritische grenzen aan de samenstelling van de hergroeilaag. Voor b.v. 2 - 3 micrometer brede BOG-lasers moet de x van $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ hergroeit of

tweede groeilaag ongeveer slechts 1 - 2% groter zijn dan de effectieve waarde van $\underline{x}$ (x_{eff}) van de mesalagen. Omdat x_{eff} een functie is van de afmetingen en de samenstelling van de lagen van de centrale mesa, moeten deze lagen ook binnen nauwe toleranties gehouden worden. Het percentage verandering in de brekingsindex, $\underline{n}$, is ongeveer 1/5 van het percentage verandering in $\underline{x}$, d.w.z. wanneer $\underline{n}$ met 1% verandert, verandert $\underline{x}$ met 5%.

Volgens de uitvinding worden deze problemen opgelost in een licht-uitstralende structuur, omvattende een actieve laag, eerste en tweede halfgeleiderlagen aan tegenover gelegen zijden van de actieve laag, een derde laag, welke contact maakt met tegenover gelegen zijvlakken van de actieve en eerste en tweede halfgeleiderlagen, waarbij de actieve laag een bandafstand heeft, die kleiner is dan de bandafstanden van de eerste en tweede halfgeleiderlagen en waarbij de derde laag een halfgeleiderlaag is met een brekingsindex, die ten minste ongeveer 4% kleiner is dan de brekingsindex van de actieve laag.

De uitvinding zal in het hierna volgende nader worden beschreven aan de hand van een uitvoeringsvoorbeeld, onder verwijzing naar de tekening, hierin toont:

fig. 1 een aanzicht in dwarsdoorsnede van een verliesgestabiliseerde begraven heterostructuurlaser volgens de uitvinding;

fig. 2 het berekende verstrooiingsverlies van het scheidingsvlak, in verticale richting, uitgezet tegen in horizontale richting de breedte van de mesa voor een laser volgens de uitvinding en

fig. 3 het verstrooiingsverlies in verticale richting, uitgezet tegen de discontinuïteit in de brekingsindex in horizontale richting, voor de 2 laagste modes van een laser volgens de uitvinding.

Volgens de uitvinding is gebleken, dat een begraven heterostructuurlaser met een enkele modus gemaakt kan worden zonder enige kritische fabricagestap. Het ontbreken van kritische fabricagestappen en de eenvoud van het groeien ontstaat doordat niet gepoogd wordt een enkelmodusstructuur te laten groeien door nauwkeurig de afmetingen en de samenstelling te regelen, maar doordat een meermodusgeleider gevormd wordt door een begraven laag te laten groeien met een samenstelling die een grote discontinuïteit in de brekingsindex geeft tussen de mesa en de begraven laag. De discontinuïteit in de brekingsindex en de ruwheid

van de mesawanden geven verliezen welke snel toenemen met het modusgetal en doelmatig in een werking in de laagste modus resulteren.

Fig. 1 toont een inrichting volgens de uitvinding, welke in het algemeen aangegeven is met 100. De inrichting omvat een substraat 1 en geplaatst op dit substraat een eerste bekledingslaag 3, een eerste geleidingslaag 5, een actieve laag 7, een tweede geleidingslaag 9, en een tweede bekledingslaag 11. De door de lagen 3, 5, 7, 9 en 11 gevormde mesa is ingebed in de laag die in het algemeen aangegeven is met 110 en die, zoals getoond is, contact maakt met de tegenover gelegen zijvlakken van de lagen 3, 5, 7, 9 en 11, alsook met substraat 1. Laag 110 omvat verder laag 19, laag 21 en laag 23. Op laag 11 en laag 23 zijn een diffusie laag 13 en metaallagen 15 en 17 geplaatst. Laag 25 is geplaatst op het oppervlak van het substraat 1, tegenover de lagen 3 en 19. Terwille van de duidelijkheid is de inrichting niet op schaal getoond.

De actieve laag heeft een bandafstand, die kleiner is dan de bandafstanden van de lagen 3 en 11 en de lagen 5 en 9 en er is een grote discontinuïteit in de brekingsindex tussen de mesalagen en laag 110. De brekingsindex van laag 110 is in het algemeen ten minste 4% kleiner dan de effectieve brekingsindex van de mesalagen.

Zoals in het hierna volgende beschreven zal worden, draagt de discontinuïteit in de brekingsindex bij aan de verliezen die snel toenemen met een toenemend modusgetal en verschaffen een selectiemechanisme voor werking in de laagste modus. Dit wordt verkregen zonder kritische beperkingen aan de maximum-afmetingen van de actieve laag of de samenstelling van de begraven laag, aan welke eisen moeilijk voldaan kan worden bij de fabricage van de feitelijke inrichting.

Het substraat 1 en de lagen 3 en 5 zijn van een eerste geleidbaarheidstype en de lagen 9 en 11 van een tweede geleidbaarheidstype, zodat een p-n-overgang binnen de actieve laag gevormd wordt. De actieve laag kan van een van beide geleidbaarheidstypes zijn. Laag 21 is van een tweede geleidbaarheidstype en de lagen 19 en 23 van een eerste geleidbaarheidstype. In een voorkeursuitvoeringsvorm is het eerste geleidbaarheidstype het n-type en het tweede geleidbaarheidstype het p-type.

De halfgeleidermaterialen kunnen gekozen worden uit de elementen van groep III - V. B.v. kan $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ of InGaAsP gebruikt worden. In een voorkeursuitvoeringsvorm omvatten de halfgeleiderlagen $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ met $x = 0$ voor substraat 1 en laag 7, $x = 0,30$ voor de lagen

3 en 11, $x = 0,15$ voor de lagen 5 en 9 en $x = 0,65$ voor de lagen 19, 21 en 23. De lagen 3 en 5 waren van het n-type en de lagen 7, 9 en 11 van het p-type. De lagen 19 en 23 waren van het n-type en laag 21 van het p-type.

5 De lasers volgens de uitvinding worden op geschikte wijze gefabriceerd door een modificatie in het welbekende tweestaps-vloeibarefase-epitaxieproces, dat beschreven zal worden met verwijzing naar de fabricage van $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -lasers. Bij de eerste stap laat men de gewenste laseropbouw groeien en de totale dikte van de epitaxiale lagen
10 is typisch ongeveer 4 micrometer. Het is noodzakelijk om door de epitaxiale lagen in het substraat te etsen om de mesa's te vormen en met het masker gericht in de geschikte kristallografische richting kan, zoals bekend, een mesa met de getoonde configuratie gevormd worden. Een 12 micrometer-breed streepmasker met een breedte van 12 μm werd ge-
15 bruikt om mesa's te vormen met een topbreedte van 4 micrometer. De breedte van het masker is in het algemeen ongeveer 3 x de breedte van het smalle gedeelte van de mesa. Een geschikt etsmiddel is $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$ (30%): $\text{H}_2\text{O} = 1 : 8 : 10$ bij 24°C . De strepen waren gericht langs de $\langle 110 \rangle$ of $\langle 001 \rangle$ richtingen om mesa's met een smal middengedeelte
20 te vormen en de breedte van de mesa bij de actieve laag is in het algemeen minder dan 3 micrometer, dit in verband met later te noemen redenen. Het etsen wordt op geschikte wijze gecontroleerd door de breedte van de mesatop door het transparante fotoresistente masker te beschouwen. Een Shipley 1350 J fotoresistent masker kan b.v. gebruikt worden. Met
25 deze werkwijze kunnen op eenvoudige wijze gewenste mesa's gevormd worden, die geëtsd zijn in het substraat, met enige schommelingen in de breedte van de mesatoppen ten gevolge van het extensieve etsen. Na een visuele beschouwing werd geschat, dat de breedte van de mesatop in het algemeen weinig veranderde over afstanden van 10 micrometer en dat de maximale
30 verandering in de breedte typisch ongeveer 0,3 micrometer was, terwijl de effectieve waarden van de amplitude van de schommelingen in de plaats van de scheidingswand van elke mesa-zijwand, in de onderhavige aanvraag A genoemd, ongeveer 0,1 micrometer was. Het fotoresistente masker werd verwijderd in een in de handel verkrijgbaar verwijderingsmiddel voor
35 fotoresistent materiaal en vervolgens liet men, als een laatste reinigingsstap, een natuurlijk oxyde op het oppervlak van het monster groeien.

De lagen 19, 21 en 23 werden vervolgens door epitaxiale hergroei gevormd. Vooraf aan de hergroeistap, werd het natuurlijk oxyde verwijderd door een kort drenken in gelijke delen ammoniumhydroxyde en water.

Als alternatief voor het gebruik van het beschreven ruw-
 5 makende etsmiddel, kan gebruik gemaakt worden van een ruwmakend masker, d.w.z. een streepmasker, met fluctuaties in de breedte ervan. Het etsen van de mesa kan dan als volgt geschieden: De bovenste bekledingslaag wordt eerst selectief verwijderd over afstanden van ongeveer 100 micrometer, gescheiden door afstanden van ongeveer 280 micrometer, zodat na
 10 hergroei en reiniging in het passieve 100 micrometergebied lasers met spiegels in de passieve gebieden gevormd worden. Dit wordt verkregen door zodanig te maskeren, dat in het heterostructuuroppervlak sleuven bloot komen te liggen met afmetingen van 5 micrometer bij 100 micrometer, waardoorheen de bovenste bekledingslaag selectief tot op de actieve laag
 15 geëtsd wordt. Het oppervlak wordt vervolgens gereinigd, het streepmasker wordt over de geëtsde sleuven geplaatst en het etsen van de mesa wordt uitgevoerd.

Een geschikte samenstelling voor het bekleden van de mesa's, d.w.z. het vormen van een laag $\text{Al}_{0,65}\text{Ga}_{0,35}\text{As}$, aangezien
 20 dit uitstekende stroombegrenzingskarakteristieken kan verschaffen, alhoewel iedere $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -samenstelling met een x -waarde die ten minste ongeveer 20% groter is dan de effectieve x -waarde van de mesastructuur, gebruikt kan worden. De uitstekende stroombegrenzing ontstaat, omdat het bijzonder moeilijk is om deze concentratie in de vloeibare fase-epitaxie
 25 te dopen, zowel het p-type met Ge en het n-type met Sn, en omdat bij het groeien bij deze samenstelling een aantal p-n-overgangen de neiging hebben zich te vormen. Om dit gedrag te verbeteren, liet men zowel p-type (0,1 atoom % Ge) en n-type (0,4 atoom % Sn) lagen groeien en de koelsnelheid werd vergroot tot $0,4^\circ\text{C}/\text{minuut}$, hetgeen het dubbele is van de normale
 30 koelsnelheid. Deze groeimethode verschaftte een uitstekende, te reproduceren stroombegrenzing met een meervoud van p-n-overgangen, gevormd in de tweede groei of hergroeistap.

De samenstelling van de smelten werd zodanig ingesteld, dat $\text{Al}_{0,65}\text{Ga}_{0,35}\text{As}$ bij de hergroeistap aangroeide. Het monster werd
 35 in de groeischuit geplaatst en bij een constante temperatuur (750°C) onder de eerste smelt geplaatst. Om een goede bevochtiging te verkrijgen,

werd de oventemperatuur 1°C verhoogd en gedurende 30 minuten op die temperatuur gehouden. Het resulterende terugsmelten hetgeen geschat wordt niet meer te zijn dan ongeveer 0,2 micrometer, helpt het geëtste oppervlak te reinigen en verkleint de niet-stralingsrecombinatie bij de
 5 scheidingsvlakken van de mesa-hergroeilaag. Na deze terugsmeltstap werd de oventemperatuur met $0,4^{\circ}\text{C}/\text{minuut}$ verlaagd om een laag te laten groeien van ongeveer 1 micrometer dikte. Deze laag werd gedoopt met Sn (0,4 atoom %) zodat, wanneer de mesazijde bevochtigd werd en opnieuw aangroeide tot de p-type bovenste bekledingslaag in de mesa, het vloeien van
 10 de stroom beter verhinderd zou worden door de p-n heterojunctie, die op deze wijze gevormd is, dan door een p-p-heterojunctie. Het monster werd vervolgens onder de tweede smelt geschoven, p-type, 0,1 atoom % Ge, en na het aangroeien van ongeveer 2 micrometer liet men een andere n-type (0,4 atoom % Sn)-laag van ongeveer 2 micrometer dik groeien. Het is voor-
 15 delig gebleken om de samenstelling met ongeveer $\text{Al}_{0,65}\text{Ga}_{0,35}\text{As}$ te gebruiken om de hergroeistap te doen beginnen, zelfs wanneer de begraven laag deze samenstelling niet ongeveer hoeft te hebben, vanwege de goede bevochtigingskarakteristiek van deze samenstelling.

Het monster werd vervolgens gereinigd van oppervlakte-
 20 Ga-druppels, door achtereenvolgende anodiserings, waarbij het Ga wordt omgezet in oxydes, welke gemakkelijk van het oppervlak geveegd kunnen worden. Het zal duidelijk zijn, dat na de eerste anodisering het natuurlijke oxyde zich slechts op de toppen van de mesa vormt en dat er weinig natuurlijk oxyde tussen de mesa's groeit vanwege het hoog-resistente pad
 25 dat door de hergroei gevormd is.

Omdat het enige verticaal geleidende pad door de inrichting dat door de mesa is, kan dit geleidende pad nuttig gebruikt worden voor het vormen van rijen geïsoleerde lasers, waarmee afzonderlijk contact gemaakt kan worden. De afstand van laser tot laser wordt
 30 bepaald door de afstand tussen de strepen in het etsmasker dat gebruikt wordt om de mesa's te vormen. Wanneer het eerder beschreven 12 micrometer brede streepmasker gebruikt wordt, kan de afstand tussen de laser slechts 15 micrometer zijn, aangezien de 3 micrometer niet-gemaskerde afstand tussen gemaskerde strepen voldoende is om het etsen van de mesa tot stand
 35 te brengen.

De inrichting wordt vervolgens onderworpen aan een korte Zn-diffusie om een p^{+} -gediffundeerde laag met een dikte van ongeveer

0,3 micrometer te vormen. De metallisering bestaat uit 10 nanometer Ti (laag 15) en 200 nanometer Au (laag 17) op de p-zijde en 30 nanometer Sn, 50 nanometer Au en 100 nanometer Ni (laag 25) op de n-zijde. Door gebruik te maken van dezelfde foto-lithografische technieken als gebruikt werden bij het etsen van de mesa, werden vensters-in het goud aan het p-oppervlak met een breedte van 10 - 25 micrometer geëtst om de luminescentie van de actieve laag te observeren. Om ohm'se contacten te vormen werden de metallisering en gelegeerd door kort te verhitten tot 510°C en de lasers werden door conventioneel kloven gevormd.

De in de laseropbouw gebruikte doopmiddelen hebben concentraties van $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$. De nominale laagdikten zijn: actieve laag 0,15 micrometer, golfgeleiderlagen 0,5 micrometer en bovenste en onderste bekledingslagen 1,5 micrometer. De in fig. 1 getoonde laser kan gemodificeerd worden door de golfgeleiderlagen weg te laten of door het aanbrengen van slechts een enkele geleiderlaag. Ook andere uitvoeringsvormen kunnen geconstrueerd worden. De actieve laag kan b.v. InGaAsP bevatten en de bekledings- en golfgeleiderlagen kunnen InP omvatten. Bovendien kan laag 110 van slechts een enkel geleidbaarheidstype zijn.

Typische stroomdrempelwaarden waren 7 mA/micrometer voor lasers zonder golfgeleiderlagen en 10 mA/micrometer voor de lasers met golfgeleiderlagen.

Het licht versus stroomverband voor de verlies-gestabiliseerde lasers met een begraven optische geleider was vrijwel lineair en had differentiaal-kwantum-efficiënties van ongeveer 50 - 60%. Het licht versus stroomverband voor de verlies-gestabiliseerde lasers met een begraven heterostructuur was een weinig niet-lineair en had differentiaal-kwantum-efficiënties van ongeveer 25 - 35%. Dit feit maakt de lasers met een begraven optische geleider in het algemeen superieur aan de lasers met een begraven heterostructuur.

De temperatuurafhankelijkheid van de drempelwaarde stroom kon ongeveer gesteld worden op I_{th} die ongeveer gelijk is aan $\exp(T/T_0)$, waarbij $T_0 = 167^{\circ}\text{K}$ in het lage temperatuurgebied waar T kleiner is dan 325°K , en $T_0 = 57^{\circ}\text{K}$ in het hoge temperatuurgebied waar T groter is dan 350°K . De gegevens voor de verlies-gestabiliseerde lasers met een begraven heterostructuur waren gelijk. De exacte oorzaak voor de abrupte verandering in T_0 wordt niet volledig begrepen, maar verondersteld wordt,

dat deze te wijten is aan een vergrote stroomgeleiding rond de actieve streep. Opgemerkt wordt, dat de toename in stroom met de temperatuur optreedt bij temperaturen die hoger zijn dan die waarbij de meeste lasers verondersteld worden te werken.

5 De verliesgestabiliseerde laser werkt hetzij in een enkele transversale modus met hetzij één longitudinale modus hetzij enkele op korte afstand van elkaar gelegen longitudinale modes. Bij hoge stromen, in het algemeen meer dan $2,5 I_{th}$, verbreden de spectra zich echter soms en in een enkel geval zal een tweede stel modes verschijnen. In één
10 geval, waarbij I_{th} ongeveer 22 mA was en een tweede stel modes bij ongeveer 70 mA verscheen, werd het verre veldpatroon gemeten door een spectrometer en werden de laserlijnen geïdentificeerd als behorende bij de laagste en de eerst geëxciteerde transversale modes, d.w.z. TE_{00} en TE_{01} , waarbij de TE_{01} -modus optreedt bij de hogere stroom. De gemeten volle
15 hoeken bij halve intensiteit waren 21° en 48° . De energie van de TE_{01} -modus is 35 cm^{-1} hoger in fotonenenergie dan de TE_{00} -modus. Dit bewijst dat het verlies van de TE_{01} -modus, wanneer de stroom boven de drempel van 70 mA voor de TE_{01} -modus is, groter is dan dat van de TE_{00} -modus. Laseractiviteit vindt plaats bij een waarde van $h\nu$, waarbij de ver-
20 sterkingsskromme maximaal is. Wanneer de versterking toeneemt ten gevolge van een vergrote dragerdichtheid, verschuift het maximum van de versterkingsskromme naar hogere energieën.

De grote indexdiscontinuïteit tussen laag 110 en de lagen welke de centrale mesa vormen, ten minste 4%, veroorzaakt samen
25 met de ruwheid van de geëtste mesawanden verliezen wanneer door scheidingsvlakverstrooiing licht van de begin-modus naar andere modes gekoppeld wordt. De verliezen nemen snel toe met het modusgetal, zoals duidelijk zal worden uit de bespreking van fig. 2, en verschaffen een selectiemechanisme, dat de laser in de laagste modus doet werken.

30 De coëfficiënten van het verstrooiingsverlies werden theoretisch berekend volgens de gedetailleerde theorie van scheidingsvlakverstrooiing, die beschreven is door D. Marcuse in Bell System Technical Journal, 48, blz. 3187 - 3215, December 1969. De verstrooiingsverliesformule werd gebruikt om verstrooiingsverliezen voor zowel de
35 laagste als voor hogere orde modes te berekenen. In fig. 2 is het verstrooiingsverlies verticaal uitgezet in eenheden van cm^{-1} en de streep-

breedte is in eenheden van millimeters horizontaal uitgezet. De krommen, die aangegeven zijn met 1, 2, 3, 4 en 5 geven resp. de TE_{00} , TE_{01} , TE_{02} , TE_{03} en TE_{04} modus weer. De effectieve amplitude van de breedtefluctuaties, gedefinieerd als A , was 0,1 micrometer en de coherentielengte van de fluctuaties was 10 micrometer. Deze waarden zijn gebaseerd op de benaderende metingen aan geëtste mesa's.

Laag 110 had een samenstelling van $Al_{0,65}Ga_{0,35}As$ en de effectieve samenstelling van de centrale mesa was $Al_{0,12}Ga_{0,88}As$. In dit geval is de discontinuïteit in de brekingsindex ongeveer 10%. De berekende verschillen tussen de drempelwaardestromen voor de tweede modus en de eerste modus zijn in kromme 2 voor verschillende streepbreedten, W , aangegeven. Er wordt op gewezen, dat voor smallere breedtes, b.v. 2,5 micrometer, het verschil in verstrooiingsverlies voor de laagste en eerste modus aanzienlijk is en dat het verschil tussen de drempelwaardestroom voor de tweede modus en de eerste modus ook aanzienlijk is. In het getoonde geval, d.w.z. een geleider met veel discrete modes, was meer dan 90% van het verstrooiingsverlies het resultaat van het koppelen van licht in gebonden modes, waarbij de resterende verliezen in het continuum gaan. Zoals door fig. 2 getoond wordt, neemt het verlies dus zowel toe met toenemend modusgetal als met afnemende streepbreedte W . Dit effect wordt verder vergroot door het zodanig etsen, dat de actieve laag 7 gelegen is bij het smalste gedeelte van de mesa, hetgeen de breedte van de actieve junctie aanzienlijk kleiner maakt dan de streepbreedte en de modusdiscriminatie verder vergroot.

Fig. 3 toont het verstrooiingsverlies verticaal in eenheden van cm^{-1} versus het verschil in aluminiumconcentraties tussen laag 110 en de mesa. De effectieve Al-concentratie in de mesa was 0,12, terwijl x_d de Al-concentratie in laag 110 weergeeft. De verliezen voor de twee laagste transversale modes TE_{00} en TE_{01} zijn getoond. De krommen zijn gegeven voor een W van 3 micrometer terwijl A en de coherentielengte dezelfde zijn als bij fig. 2, resp. 0,1 micrometer en 10 micrometer. Men kan dus zien, dat voor $\Delta x = x_d - x_{eff}$ d.w.z. $x_d - 12\% \geq 4\%$, het verschil in de brekingsindex groot is en dat vanwege de verschillen in verstrooiingsverlies er een wezenlijke modusselectie is. In tegenstelling daarmee heeft het regime van conventionele begraven heterostructuur lasers een Δx kleiner dan of gelijk aan ongeveer 4%. Met Δx groter dan ongeveer 4%, kan

de scheidingvlakverstrooiing aanzienlijk zijn en behulpzaam zijn bij de enkele modusstabiliteit van conventionele begraven heterostructuur-lasers. De waarden van A en de coherentielengte waren gekozen op basis van microscopische visuele observaties van de geëtste mesa's. De verlies-
 5 krommen in fig. 2 en fig. 3 zijn evenredig aan A^2 en kunnen op schaal gezet worden voor andere keuzes van deze parameter. Wanneer de breedtefluctuaties toenemen, zal het verschil in verstrooiingsverlies tussen de modes toenemen. Het verlies van de laagste modus zal echter ook toenemen en dan ongewenste niveaus breken. De optimale waarde van A zal
 10 dus afhangen van de lasergolflengte. Het verstrooiingsverlies neemt af als de inverse vierde macht van de golflengte en bij golflengten van b.v. 1,3 micrometer, kunnen grotere fluctuaties gewenst zijn of kan de breedte van de actieve laag verkleind worden.

Wanneer de laserstroom toeneemt boven de drempelwaarde,
 15 begint laserwerking in de laagste TE_{00} -modus. Deze modus heeft een weinig hogere bezetting van de actieve laag dan de andere modes hebben en, hetgeen belangrijker is, het laagste verlies. Bij de drempelwaarde is de dragerdichtheid uniform in de actieve laag, maar wanneer de stroom toeneemt boven de drempelwaarde en gestimuleerde emissie intens wordt,
 20 neemt de dragerdichtheid bij het midden van de geleider af en, om de constante versterking in de laagste modus te handhaven, zal de dragerdichtheid nabij de streepwanden toenemen. Deze verandering in dragerdichtheid, in het algemeen "het ruimtelijk branden van een gat" genoemd, zal de versterking in de TE_{01} -modus doen toenemen, welke uiteindelijk
 25 laserstralen begint uit te zenden. De optimale breedte, in termen van het maximaal maken van de verschillen in verlies tussen de eerste en lagere orde-modes, is ongeveer 2 tot 3 micrometer. De breedte moet de ongeveer 4 micrometer niet te boven gaan. Dit gebied doet de verliezen niet toenemen tot het niveau waarbij de eigenschappen van de laagste modus
 30 wezenlijk verslechterd zijn. Voor brede streeplasers, d.w.z. W groter dan 4 micrometer, is de verliesstabilisatie zwak en andere effecten, zoals een niet-uniforme dragerdichtheid en kristal-defecten, bepalen de lasermodus van de drempelwaarde.

CONCLUSIES

1. Lichtuitstralende structuur, omvattende een actieve laag, eerste en tweede halfgeleiderlagen aan tegenover gelegen zijden van de actieve laag en een derde laag, die contact maakt met tegenover gelegen zijvlakken van de actieve en de eerste en tweede golfgeleider-
- 5 lagen, met het kenmerk, dat de actieve laag een bandafstand bezit, die kleiner is dan de bandafstanden van de eerste en tweede halfgeleiderlagen en dat de derde laag een halfgeleiderlaag is met een brekingsindex, die ten minste ongeveer 4% kleiner is dan de brekingsindex van de actieve laag.
- 10 2. Structuur volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat eerste en tweede geleidingslagen (5, 9) gelegen zijn tussen resp. de actieve laag en de eerste halfgeleiderlaag en de actieve laag en de tweede halfgeleiderlaag.
3. Structuur volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de
- 15 lagen materialen omvatten uit groep III - V.
4. Structuur volgens conclusie 3, met het kenmerk, dat de halfgeleider $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ omvat, waarbij x van de derde laag ten minste ongeveer 20% groter is dan x_{eff} van de mesa.
5. Structuur volgens conclusie 4, met het kenmerk, dat
- 20 de actieve laag een breedte bezit tussen ongeveer 2,0 micrometer en 3,0 micrometer.
6. Structuur volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat x voor de derde laag ongeveer 0,65 is.
7. Structuur volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat x
- 25 voor de eerste laag ongeveer 0,3 is.
8. Werkwijze voor het fabriceren van ten minste één be-
- graven dubbele heterostructuurlaser, gekenmerkt door stappen, waarbij achtereenvolgens een eerste (5), een tweede (7) en een derde (9) halfgeleiderlaag aangroeit op een halfgeleidersubstraat (1), waarbij de
- 30 tweede laag (7) een bandafstand bezit, die kleiner is dan de bandafstanden van de eerste en de derde laag en waarbij de tweede laag een actieve laag is; door het etsen van een mesa met breedtefluctuaties door het verwijderen van gedeelten van de eerste, de tweede en de derde halfgeleiderlagen, waardoor het substraat wordt blootgelegd en door het laten aan-

groeien van een vierde halfgeleiderlaag, waarbij de vierde laag contact maakt met tegenover gelegen zijvlakken van de eerste, tweede en derde halfgeleiderlagen.

9. Werkwijze volgens conclusie 8, met het kenmerk, dat bij
5 het etsen gebruik wordt gemaakt van een masker.

10. Werkwijze volgens conclusie 9, met het kenmerk, dat de
randen van het masker ruw gemaakt zijn.

11. Werkwijze volgens conclusie 8, met het kenmerk, dat
ten minste een eerste en een tweede dubbele heterostructuurlaser ge-
10 vormd wordt, waarbij de eerste en tweede dubbele heterostructuurlasers
op een afstand van ongeveer 15 micrometer van elkaar gelegen zijn.

12. Werkwijze volgens conclusie 8 of 11, gekenmerkt door
verdere stappen waarbij de derde laag gemaskeerd wordt om geselecteerde
gedeelten van deze laag blootgesteld te laten, door het etsen in de der-
15 de laag om de actieve laag bloot te leggen en door het plaatsen van een
masker over de geëtste sleuven vooraf aan het etsen van de mesa.

FIG. 1

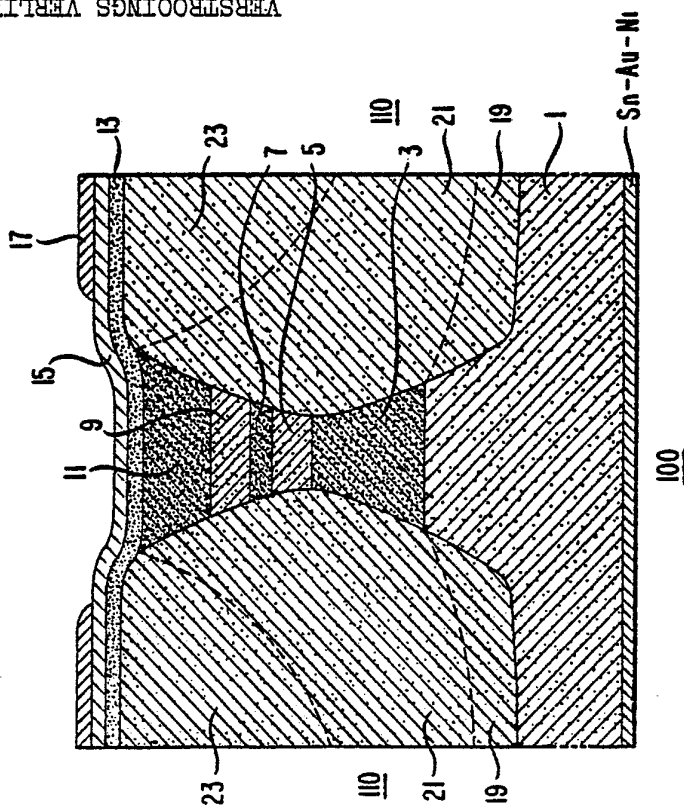


FIG. 2

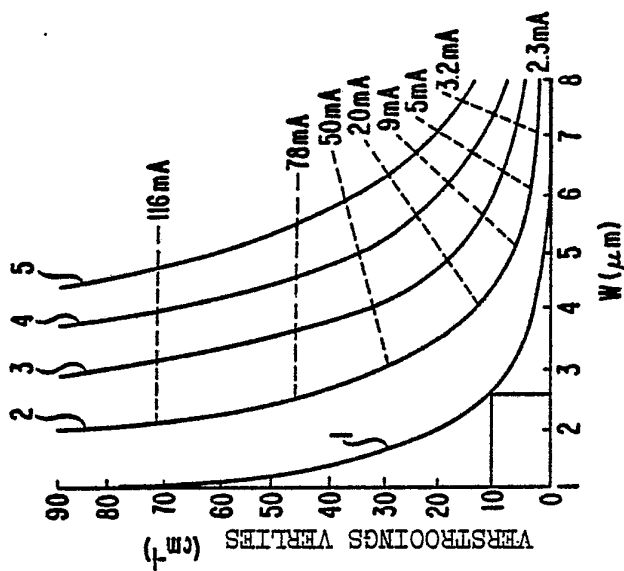


FIG. 3

