



⑩ A **Terinzagelegging** ⑪ **8105386**

Nederland

⑲ NL

- ⑤4 **Superluminescente, licht-emitterende diode met een rendementskoppeling met een optische golfgeleider.**
- ⑤1 Int.Cl³: H01L33/00.
- 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. 8105386.
- ②2 Ingediend 27 november 1981.
- ③2 Voorrang vanaf 28 november 1980.
- ③3 Land van voorrang: Ver. St. v. Am. (US).
- ③1 Nummer van de voorrangsaanvraag: 211231 .
- ⑥2 --

- ④3 Ter inzage gelegd 16 juni 1982.

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

Superluminescente, licht-emitterende diode met een rendementskoppeling met een optische golfgeleider.

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op optische golfgeleiders omvattende transmissiestelsels, en meer in het bijzonder op superluminescente, licht-emitterende diodes, die licht met maximaal rendement kunnen afleveren aan een optische golfgeleider of vezel.

5 Alhoewel met halfgeleiderlasers als optische bronnen in vezelgolfgeleiders omvattende systemen uitstekende resultaten zijn bereikt, dienen met betrekking tot dergelijke inrichtingen nog talrijke problemen te worden opgelost. In het bijzonder geldt, dat voor talrijke lasers de levensduur in geen vergelijking staat tot die van de andere componenten in
10 vezelgolfgeleidersystemen, terwijl tevens hun fabricage-opbrengst nog niet zo hoog als wenselijk is. Volgens enige theorieën ter verklaring van het gemis aan voldoende levensduur van zulk een laser, is gesteld, dat de aanwezigheid van optische pieken in het inwendige van de caviteit van de laser, er in feite toe kan bijdragen, dat de prestatie van de inrichting
15 snel slechter wordt. Licht-emitterende diodes produceren daarentegen incoherente straling, zodat binnen hun actieve gebied geen staande golven van optische energie mogelijk zijn en wegens deze reden kan de levensduur van dergelijke diodes aanzienlijk langer zijn dan die van hun laser-tegenhanger. Met de tot nu toe gefabriceerde licht-emitterende diodes is het
20 echter niet mogelijk om de voor systeemtoepassingen benodigde hoeveelheden optisch vermogen in een vezel in te koppelen en wegens die reden is voorgesteld om gebruik te maken van superluminescente, licht-emitterende diodes (SLD). SLD's zijn in vergelijking met normale licht-emitterende diodes (LED's) superieur, in die zin dat zij een grotere modulatieband-
25 breedte en een kleinere spectrale breedte bezitten. Bij deze soort van licht-emitterende diodes wordt het actieve gebied tot een dusdanig niveau gepompt, dat de lichtbundels, die binnen het actieve gebied worden gegenereerd, een versterking ondergaan, waarbij de inrichting met opzet niet is voorzien van een optische resonator, teneinde te vermijden, dat laser-
30 trillingen ontstaan.

Een soort van superluminescente, licht-emitterende diodes is beschreven in een artikel van T.P.Lee e.d., getiteld: "A Stripe-Geometry Double-Hetero Structure Amplified-Spontaneous-Emission (Superluminescent) Diode", gepubliceerd in I.E.E.E. Journal of Quantum Electronisc, Volume Q-9, nr. 8

van Augustus 1973, blz. 820-828. Bij een SLD van de in dit artikel beschreven soort, wordt een strook-geometrie stroom-beperkend gebied gevormd door het contact op een dubbele-heterostructuurinrichting, en het contact is met opzet korter gemaakt dan de totale lengte van de halfgeleiderchip, teneinde te verzekeren, dat straling wordt geabsorbeerd in het niet-gepompte gebied, dat niet door het contact is bedekt. Op deze wijze wordt laserwerking verhinderd.

In het bovenvermelde artikel is tevens voorgesteld om de "geometrische" numerieke apertuur van het actieve gebied in hoofdzaak gelijk te maken aan de numerieke apertuur van de fiber, waarin de lichtenergie moet worden ingekoppeld.

De onderhavige uitvinding steunt op het inzicht, dat een superluminescente, licht-emitterende diode met maximum-rendement kan worden gekoppeld met een optische vezel of andere golfgeleider, wanneer de optische energie in het actieve gebied van de licht-emitterende diode, lateraal wordt begrensd, zodat binnen het actieve gebied een golfgeleider wordt gevormd, waarvan de effectieve laterale numerieke apertuur NA_g (i.p.v. de "geometrische" numerieke apertuur) in hoofdzaak gelijk wordt gemaakt aan de numerieke apertuur NA_f van de optische golfgeleider, die door de SLD moet worden aangedreven. Bovendien is er bij de constructie van de SLD rekening mee gehouden, dat de lengte L en de breedte D van een gepompt golfgeleidergebied, alsook de effectieve brekingsindex n zodanig zijn gedi-mensioneerd, dat de "geometrische" numerieke apertuur $nD/2L$ aanzienlijk kleiner is dan de numerieke apertuur van de SLD-geleider. Met andere woorden geldt $NA_g = NA_f$ en $nD/2L \ll NA_g$. Een en-ander heeft tot gevolg, dat de geïnverteerde populatie van dragers binnen het actieve gebied uiterst effectief wordt gebruikt voor het versterken van lichtstralen die alle zijn ingevangen door de kern van de vezel, of de externe golfgeleider.

Bij een specifieke nog te beschrijven uitvoeringsvorm wordt de zich binnen de SLD bevindende golfgeleider gerealiseerd door de actieve laag richelgewijs te belasten. De effectieve index van de zich onder het richelgebied bevindende actieve laag is groter dan de effectieve index in de actieve laag die zich bevindt buiten het richelsgewijs belaste gebied, zodat binnen de actieve laag een laterale golfgeleider is gevormd. Bij deze richelsgewijs belaste, specifieke uitvoeringsvorm wordt onder gebruik-making van de elementen indium, gallium, arseen en fosfor, door epitaxiale

aangroeiing op een indiumfosfidesubstraat, een quaternaire actieve laag gevormd, en deze quaternaire laag wordt belast met een richel van indiumfosfide. Bij andere uitvoeringsvormen kan de quaternaire actieve laag door middel van een tweede quaternaire laag van andere samenstelling worden geïsoleerd ten opzichte van het indiumfosfidesubstraat en elk van de structuren kan door het aanbrengen van een derde quaternaire laag tussen de actieve laag en de richel van indiumfosfide fijn worden ingesteld ter verkrijging van de optimale numerieke apertuur.

De uitvinding zal in het onderstaande nader worden beschreven met verwijzing naar de tekening, waarin:

fig. 1 een schematisch overzicht geeft ter illustratie van een superluminescente, licht-emitterende diode (SLD) die volgens de uitvinding is ingericht ter aanpassing aan een standaard multimodus optische-vezelgolfgeleider;

fig. 2 een schema weergeeft ter illustratie van een SLD en een multimodus optische vezel die voor een realisatie van de onderhavige uitvinding zijn opgesteld; en

fig. 3 een grafische voorstelling geeft, waarin het rendement (in termen van optisch vermogen dat wordt geïntroduceerd in de vezel met betrekking tot het elektrisch vermogen dat wordt afgeleverd aan de diode) is uitgezet tegen de laterale numerieke apertuur van de golfgeleider, voorzover geldend binnen de actieve gebiedslaag van de diode.

De superluminescente, lichtemitterende diode (SLD) is opgesteld op een plaats tussen een licht-emitterende diode, die geen versterking geeft en een injectielaser. Deze SLD straalt incoherent licht uit met een grote helderheid, een versmald spectraal- en stralingspatroon en een grote modulatiebandbreedte.

Aan de onderhavige uitvinding heeft een studie ten grondslag gelegen om na te gaan hoe een maximaal rendement is te bereiken, wanneer een SLD wordt gekoppeld met een optische vezelgolfgeleider. Ter verkrijging van maximaal rendement, uitgedrukt in termen van optisch vermogen dat is ingekoppeld in de golfgeleider gerelateerd aan het elektrisch vermogen, dat is gekoppeld in de SLD, wordt de optische energie binnen de SLD zijdelings begrensd, hetgeen wordt bereikt door de SLD zodanig te construeren, dat in het grensvlak van de actieve gebiedslaag, een golfgeleider is gevormd. Bij de uitgevoerde studie werd het gedrag van een strook-geometrie

SLD gesimuleerd door een computermodel. Volgens dit programma werden lichtstralen getraceerd, die afkomstig waren van bronnen, die gelijkmatig over de strook-golfgeleider waren verdeeld, zodat vermogenverdelingen werden verkregen met accumulaties in discrete punten in het inwendige van de structuur, waardoor de fotonendichtheid en het uitgangsvermogen aan elk einde van de strook waren te berekenen. De interrelatie tussen fotonendichtheid, verzadiging van de versterking, en de versterking die de fotonendichtheid bepaalt, betekent een niet-lineair probleem. Stationaire oplossingen werden gevonden door opeenvolgende iteraties.

De resultaten van de computerstudie kunnen het beste worden geïllustreerd door te verwijzen naar de in fig. 3 weergegeven grafische voorstellingen. Bij de beide in deze figuur weergegeven grafieken is uitgegaan van de veronderstelling, dat een zich in de SLD bevindende strook-golfgeleiderstructuur, bij elk uiteinde van het actieve gebied, een reflectiecoëfficiënt van nul bezit. Verder is in deze beide grafieken uitgegaan van een numerieke apertuur voor de optische vezel-golfgeleider van 0,2. Zoals op dit gebied van de techniek algemeen bekend is, is dit de typische numerieke apertuur die wordt verkregen in multimodus optische vezels die volgens de thans gebruikelijke technieken worden gefabriceerd onder toepassing van opdamptechnieken. De beide grafieken zijn getekend tegen een ordinaat waarlangs waarden zijn uitgezet indicatief voor het rendement uitgedrukt in termen van het optisch vermogen dat wordt geïntroduceerd in de optisch vezelgeleider, gedeeld door het elektrisch vermogen dat in de SLD is ingevoerd, en tegen een abscis waarlangs waarden zijn uitgezet die indicatief zijn voor de effectieve laterale numerieke apertuur van de golfgeleider binnen het actieve gebied van de inrichting. Voor de beide grafieken geldt verder, dat het golfgeleidergebied een breedte D , een lengte L en een effectieve brekingsindex n bezit, waarbij dit gebied wordt gepompt met een stroomdichtheid van 5000 amp/cm^2 . Zoals is aangegeven in fig. 3 heeft de inrichting, waarvoor de kromme 301 representatief is, een zeer grote rendementspiek voor een positie, waarbij de numerieke apertuur van de golfgeleider in de SLD gelijk is aan de numerieke apertuur van de optische vezel. Zulks is in contrast met de inrichting waarvoor de kromme 302 representatief is, waarbij het rendement bij deze numerieke apertuur van 0,2 slechts enigszins groter is dan het rendement bij grotere waarden voor de numerieke apertuur.

Het verschil tussen de twee inrichtingen, waarvoor de grafieken 301 en 302 representatief zijn, kan worden gespecificeerd in termen van de "geometrische" numerieke apertuurparameter $nD/2L$, waarin n de effectieve index van de golfgeleider, D de breedte van de golfgeleider en L de lengte van de golfgeleider voorstellen. Voor de grafiek 302 geldt, dat deze parameter $nD/2L$ gelijk is aan 0,28, ofwel ongeveer gelijk is aan de numerieke apertuur van de optische vezel. Voor de grafiek 301, waarbij de inrichting waarvoor deze grafiek representatief is, een kritische rendementspiek heeft, is deze parameter $nD/2L$ gelijk aan 0,035, ofwel aanzienlijk kleiner dan de numerieke apertuur van de optische golfgeleider. In feite is de kromme 301 representatief voor een dunne, in sterke mate langgerekte strook-golfgeleider in het actieve gebied, waarbij deze parameter $nD/2L$ aanzienlijk kleiner is dan de numerieke apertuur van de optische golfgeleider. In deze situatie kunnen de optische stralen binnen de golfgeleider de populatie-inversie van elektronen onbelemmerd opgebruiken, zodat primair stralen worden geproduceerd, die uitgesproken door de kern van de optische vezel worden ingevangen, in het bijzonder wanneer geldt, dat van deze golfgeleider de numerieke apertuur in hoofdzaak gelijk is aan de numerieke apertuur van de optische golfgeleider. Het door de grafiek 301 aangegeven rendement valt vanaf de piekwaarde af voor numerieke apertuurwaarden, die kleiner zijn dan de optimale waarde, aangezien deze situatie betekent, dat de optische stralen in mindere mate worden geleid en talrijke van deze stralen verloren gaan in de niet gepompte laag, die zich buiten het gepompte gebied bevindt. Het rendement valt af voor numerieke apertuurwaarden, die groter zijn dan de numerieke apertuurwaarde van de optische golfgeleider, aangezien voor die situaties de stralen zelfs nog sterker worden begrensd, zodat een groot gedeelte van de geïnverteerde populatie van elektronen wordt opgebruikt voor het produceren van stralen, die nimmer door de kern van de optische vezel kunnen worden ingevangen.

Concluderend kan worden gesteld, dat de uitgevoerde computerstudie de volgende criteria heeft opgeleverd op grond waarvan het rendement van een koppeling tussen een SLD en een optische golfgeleider kan worden gemaximeerd:

- 1) de numerieke apertuur, zoals verkregen door laterale begrenzing in het actieve gebied van een richelgewijs emitterende strook-SLD zal

ongeveer gelijk moeten worden gemaakt aan de numerieke apertuur van de optische golfgeleider, en

2) het actieve gebied zou wat effectieve index n , breedte D en lengte L betreft, zodanig dienen te zijn geconstrueerd, dat $nD/2L$ aanzienlijk kleiner is dan de numerieke apertuur van de optische golfgeleider. In alle gevallen is het echter vanzelfsprekend nodig, dat in de SLD een netto versterking wordt geïntroduceerd en dat de breedte van het actieve gebied in de SLD kleiner is dan de breedte van de kern van de optische golfgeleider.

10 Een uitvoeringsvorm van een SLD, die kan worden geconstrueerd onder toepassing van de onderhavige uitvinding en onder gebruikmaking van een gestandaardiseerde multi-modus optische-vezel met een numerieke apertuur van 0,2, is in fig. 1 van de tekening weergegeven en aangeduid door het verwijzingssymbool 150. Zoals in fig. 1 is aangegeven is een 2 micron
15 dikke laag 101 van indiumfosfide door epitaxiale aangroeiing gevormd op een substraat 100 van indiumfosfide met daarop een actieve laag 102 van In, Ga, As, P, die door epitaxiale aangroeiing is gevormd op de laag 101 en die een dikte heeft van 0,6 micron. De elementen van deze laag 102 zijn zodanig gekozen dat een bandspleet die representatief is voor een golf-
20 lengte van 1,3 micron, wordt verkregen. De laag 101 is aangegroeid met een n-type dotering. Een p-type laag 103 van indiumfosfide is door epitaxiale aangroeiing op de laag 102 gevormd met een dikte van 1 micron. Tenslotte is een deklaag 104 met een sterke p-type dotering door epitaxiale aangroeiing gevormd op de laag 103, teneinde een goed elektrisch
25 contact te vormen met de zich daaronder bevindende lagen. Onder toepassing van gestandaardiseerde etstechnieken wordt aan het ene uiteinde van de inrichting een richelstructuur met een lengte L van 500 micron gevormd, waarbij aan het achtereinde van de inrichting ongeveer 500 micron van de oorspronkelijke niet-gesneden lagen 103 en 104 resteren om dienst te doen
30 als absorptiemiddel. De gehele bovenzijde van de inrichting, uitgezonderd de bovenzijde van de richel, wordt vervolgens bedekt met een laag 106 van siliciumnitride en de bovenzijde van de richel wordt bedekt met een door een goud/zinklegering gevormd contact 105. De gehele bodemzijde van de inrichting onder het substraat 100 wordt eveneens bedekt met een goud/
35 tincontact 107. In het actieve gebied van de laag 102 wordt een laterale begrenzing verkregen, als gevolg van de omstandigheid, dat de zich boven het actieve gebied bevindende richel er oorzaak van is, dat voor een

gedeelte van de actieve laag 102 de effectieve index hoger is dan van die gedeelten in de actieve laag 102, die niet door de richel zijn bedekt. De voor deze golfgeleider geldende numerieke apertuur Na_g is gelijk aan $\sqrt{N_1^2 - N_2^2}$, waarin N_1 de effectieve index van het actieve gebied in de laag 102 onder de richel en N_2 de effectieve index in gebieden van de laag 102, die niet zijn bedekt door de richelstructuur, voorstellen. Deze effectieve indices N_1 en N_2 kunnen worden berekend onder gebruikmaking van de technieken, zoals voorgesteld door H. Kogelnik e.d. in hun artikel, getiteld: "Scaling Rules for Thin-films Optical Wave-guides", gepubliceerd in Applied Optics, Volume 13, 1974, blz. 1857-1862.

Voor de in fig. 1 weergegeven structuur met een dikte van 0,6 micron voor het actieve gebied, is voor de TE-modus respectievelijk de TM-modus de numerieke apertuur berekend op een waarde gelijk aan 0,26 respectievelijk 0,44. Bij een andere structuur, waarvoor is gebleken, dat de numerieke apertuurwaarden de numerieke apertuur van een multi-modus-vezel dicht naderen, is de laag 101 door epitaxiale aangroeiing gevormd als een quaternaire laag met een bandspleet, die equivalent is met een golflengte van 1,1 micron. In dit laatste geval is de numerieke apertuur voor de TE-modus respectievelijk de TM-modus gelijk aan 0,26 respectievelijk 0,36. In deze beide gevallen kunnen de numerieke apertuurwaarden enigszins worden verminderd, teneinde een nog betere aanpassing te verkrijgen aan de optische golfgeleider en wel door een quaternaire laag epitaxiaal tussen de lagen 102 en 103 te laten aangroeien met een index, die lager is dan die van de laag 102, zodat in feite de effectieve indices in elk van de gebieden fijn worden ingesteld.

De aldus geconstrueerde inrichting met een laterale begrenzing, teneinde een numerieke apertuur te geven, die ongeveer gelijk is aan die van de optische-vezelgolfgeleider, kan vervolgens op de in fig.2 aangegeven wijze worden gemonteerd, zodat zijn uitgangsstraling rechtstreeks wordt afgeleverd aan de kern van een optische vezel. Het biedt voordeel om de SLD voorafgaande aan deze montage te voorzien van een anti-reflecterende deklaag 201, die de gehele licht-emitterende zijde van de SLD 150 bedekt. Indien het reflecterend vermogen van het uitgangsvlak voldoende klein is, kan een extra winst aan uitgangsvermogen worden verkregen door het absorptieorgaan aan het andere uiteinde van de SLD te vervangen door een spiegel met een eindig reflecterend vermogen. Voor de gemiddelde vak-

man op dit gebied van de optica zal het duidelijk zijn, dat het koppelrendement nog verder kan worden verbeterd door tussen de SLD en de optische vezel, een cilindrische lens, die evenwijdig is opgesteld aan het scheidingsvlak, aan te brengen, zodat de optische stralen, die worden uitgezonden door het actieve gebied van de SLD beter worden ingevangen. Door een dergelijke aanpassing wordt het rendement verbeterd, aangezien de transversale numerieke apertuur loodrecht op het scheidingsvlak van dit actieve gebied, in de regel zeer groot is met betrekking tot de numerieke apertuur van de optische vezel.

10 Voor de gemiddelde vakman op dit gebied van de techniek zal het tevens duidelijk zijn, dat de onderhavige uitvinding kan worden toegepast door het aanpassen van de numerieke apertuur van de SLD aan de numerieke apertuur van het optische systeem, waarin energie wordt ingekoppeld. Aldus kan ook een gestandaardiseerde, sferische lens worden aangebracht tussen SLD en de optische vezelgolfgeleider, teneinde zowel de breedte, alswel de numerieke apertuur van de optische golfgeleider te transformeren in een effectieve numerieke apertuur en breedte, zoals deze worden gezien door de SLD. Deze transformatie zal vanzelfsprekend de standaard-optische relatie zoals gegeven door de lens, volgen, waarbij 20 het produkt van de breedte en numerieke apertuur, bij de transformatie constant blijft.

Andere technieken en methodes die bekend zijn aan de gemiddelde vakman op het gebied van de halfgeleider-lasertechniek kunnen bovendien worden toegepast om de vereiste laterale begrenzing in de SLD-golfgeleider 25 te realiseren.

C O N C L U S I E S.

1. Richelgewijs emitterende, superluminescente, licht-emitterende diode, met een actieve laag met een gepompt gebied, waarvan de lengte L is, alsook koppelbaar met een uitgaand optisch golfgeleiderstelsel met een kerndiameter, die groter is dan de breedte van het licht-emitterende gebied van deze diode en met een numerieke apertuur gegeven door NA_F , met het kenmerk, dat de brekingsindices in genoemde actieve laag grenzend aan het genoemde gepompte gebied in genoemde superluminescente, licht-emitterende diode, zodanig zijn gekozen, dat licht in de actieve laag van genoemde diode, lateraal wordt begrensd, zodat een golfgeleidergebied wordt gevormd met een breedte D en een laterale numerieke apertuur NA_g die in hoofdzaak gelijk is aan de numerieke apertuur NA_F van het genoemde uitgaande optische golfgeleiderstelsel, waarbij de parameter $nD/2L$ aanzienlijk kleiner is dan de numerieke apertuur NA_g , waarin n de effectieve brekingsindex in het licht-emitterende gebied van genoemde diode voorstelt.
2. Structuur volgens conclusie 1, waarbij genoemde superluminescente, licht-emitterende diode verder is gekenmerkt, doordat de laterale begrenzing van licht wordt verkregen door een richelstructuur, die slechts aanwezig is boven het licht-emitterende gebied van genoemde licht-emitterende diode.
3. Structuur volgens de conclusies 1 of 2, met het kenmerk, dat de actieve laag van genoemde superluminescente, licht-emitterende diode, chemisch is samengesteld uit elementen van de groep, die indium, gallium, arseen en fosfor bevat.
4. Structuur volgens conclusies 2 of 3, met het kenmerk, dat genoemde richelstructuur een laag indiumfosfide omvat, die door epitaxiale aangroeiing is gevormd op genoemde actieve laag.
5. Structuur volgens een van de voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat de genoemde superluminescente, licht-emitterende diode is voorzien van een anti-reflecterende deklaag, die zich bevindt op de licht-emitterende richel van de diode.

FIG. 1

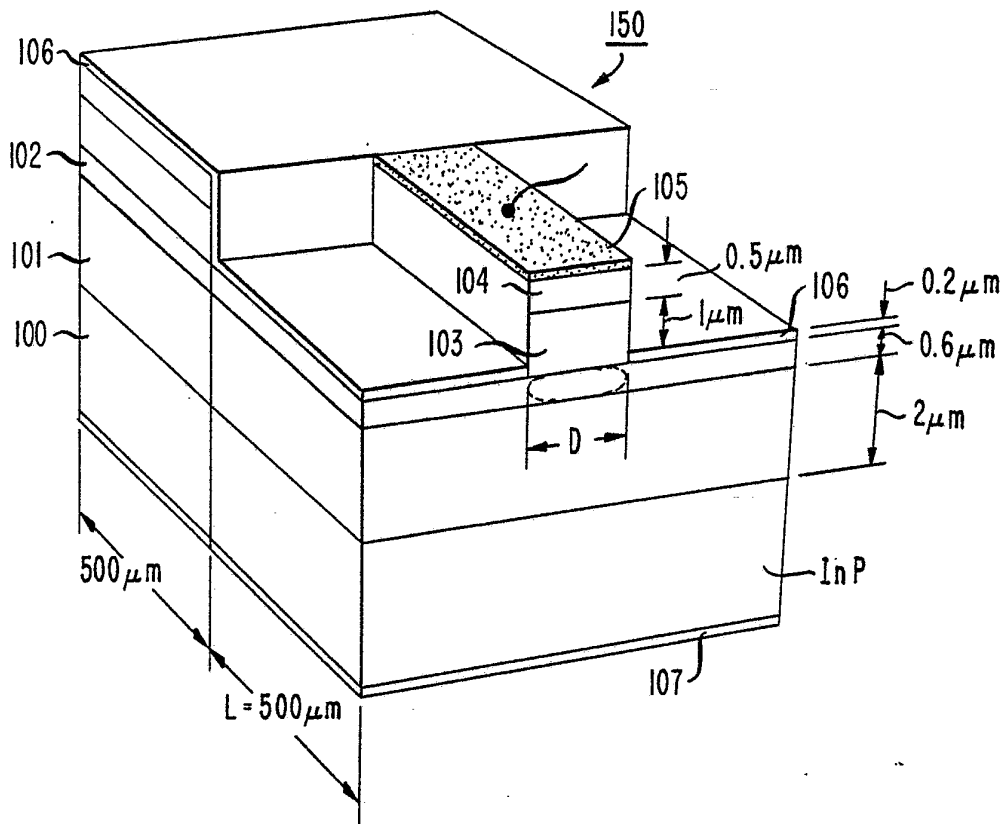
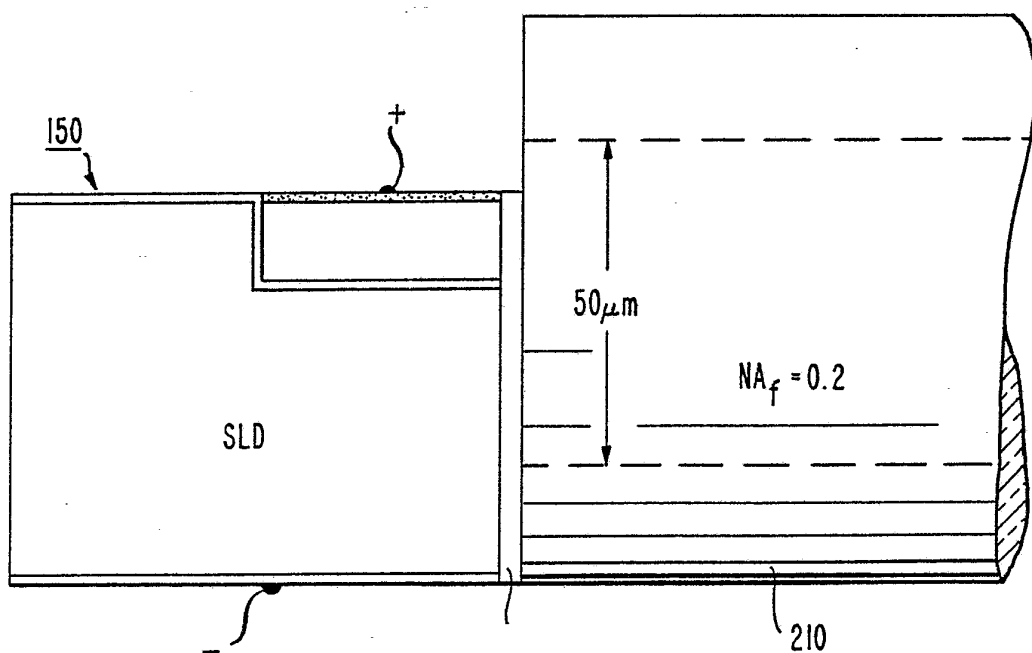
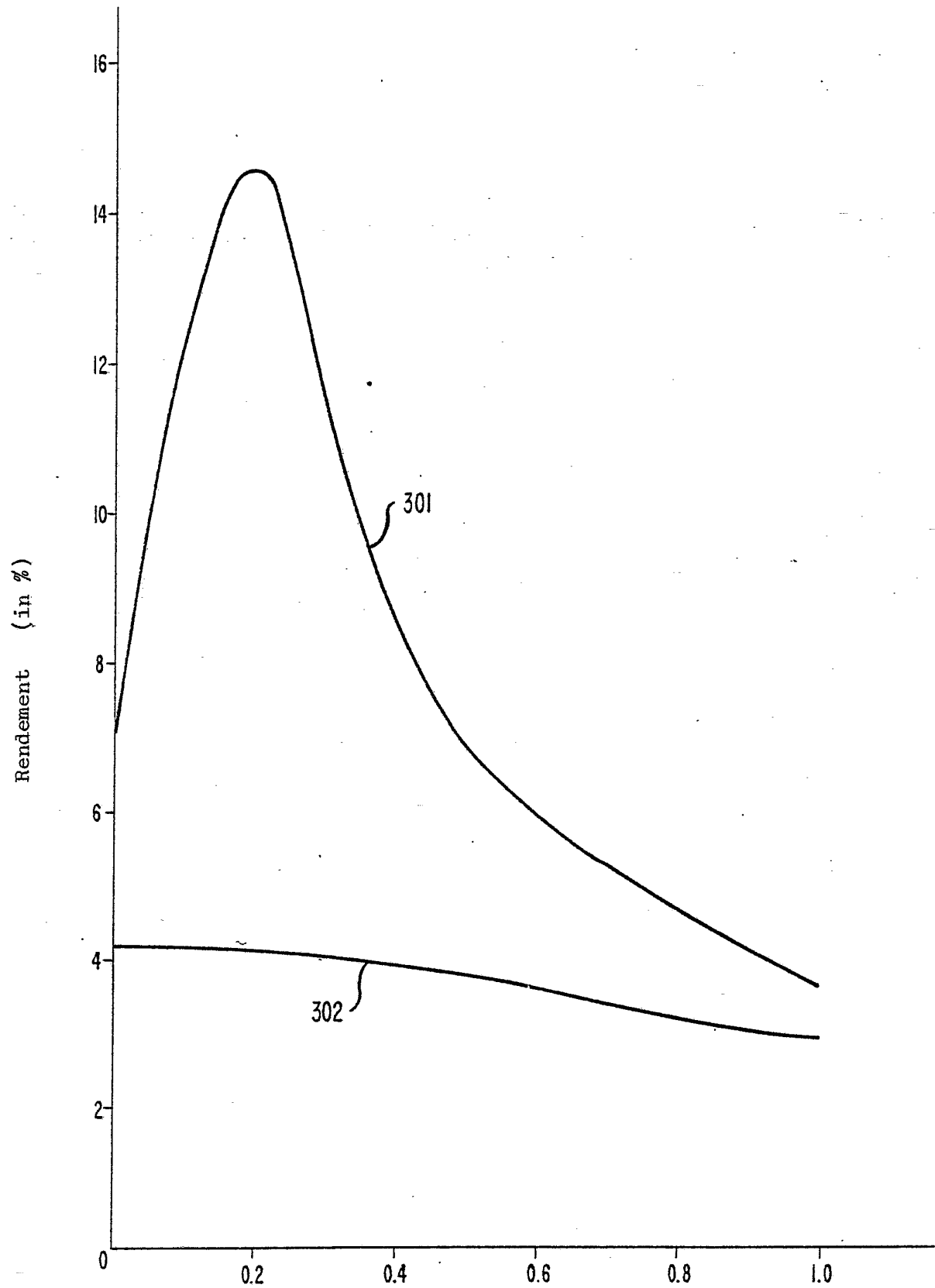


FIG. 2



8105386

FIG. 3



Laterale numerieke apertuur

8105386