
Octrooiraad



⑫ A **Terinzagelegging** ⑪ **8900748**

Nederland

⑲ NL

- ⑤4 **Straling-emitterende halfgeleiderinrichting en werkwijze ter vervaardiging van een dergelijke halfgeleiderinrichting.**
- ⑤1 Int.Cl.⁵: H01L 33/00.
- ⑦1 Aanvrager: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.
- ⑦4 Gem.: Ir. J.E.M. Galama c.s.
Internationaal Octroobureau B.V.
Prof. Holstlaan 6
5656 AA Eindhoven.

-
- ②1 Aanvraag Nr. 8900748.
- ②2 Ingediend 28 maart 1989.
- ③2 --
- ③3 --
- ③1 --
- ⑥2 --

-
- ④3 Ter inzage gelegd 16 oktober 1990.

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

N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

Straling-emitterende halfgeleiderinrichting en werkwijze ter vervaardiging van een dergelijke halfgeleiderinrichting.

De uitvinding heeft betrekking op een straling-emitterende halfgeleiderdiode omvattende een halfgeleiderlichaam met een halfgeleidersubstraat van een eerste geleidingstype dat aan de onderzijde voorzien is van een geleidende laag en waarop zich
5 achtereenvolgens ten minste bevinden een eerste opsluitlaag van het eerste geleidingstype, een actieve laag, een tweede opsluitlaag van een tweede geleidingstype en een contactlaag van het tweede geleidingstype die een mesavormige strook omvat waarop zich een geleidendelaag bevindt die zich uitstrekt tot
10 buiten de mesavormige strook en daarbuiten een een barrière vormende overgang vormt met een daaronder gelegen laag. De uitvinding heeft tevens betrekking op een werkwijze ter vervaardiging van een straling-emitterende diode, waarbij op een halfgeleidersubstraat achtereenvolgens tenminste een eerste opsluitlaag van het eerste
15 geleidingstype, een actieve laag, een tweede opsluitlaag van het tweede geleidingstype en een contactlaag van het tweede geleidingstype worden aangebracht waarbij een door middel van photolithografie en etsen een mesavormige strook wordt gevormd die tenminste de contactlaag bevat waarna een geleidende laag op het substraat wordt
20 aangebracht en een geleidende laag over en buiten de mesavormige strook) wordt aangebracht die buiten de mesavormige strook met een eronder gelegen laag een een barrière vormende overgang vormt.

Zulke straling-emitterende dioden, in het bijzonder wanneer de golflengte van de emissie in het zichtbare deel van het
25 spectrum, zijn - indien als laser uitgevoerd - geschikte stralingsbronnen voor onder meer informatieverwerkende systemen zoals laser printers waarmee informatie geschreven wordt en zoals "optical disc" systemen waarin informatie uitgelezen wordt - b.v. z.g. Compact Disc (CD) en Video Long Play (VLP) spelers - of geschreven en uitgelezen
30 wordt - b.v. Digital Optical Recording (DOR) -. Ook wanneer dergelijke dioden als LED uitgevoerd worden zijn er talrijke toepassingen in opto-electronische systemen.

8900743.

Een dergelijke straling-emitterende diode en een dergelijke werkwijze ter vervaardiging daarvan, zijn bekend uit het artikel van M.C. Amann, "New stripe-geometry laser with simplified fabrication process" dat gepubliceerd is in Electron. Lett. 5 vol. 15 No.14, 5th july 1979, pp. 441-442. Daarin wordt een straling-emitterende halfgeleiderdiode beschreven waarbij op een n-GaAs substraat een n-AlGaAs opsluitlaag, een GaAs actieve laag, een p-AlGaAs opsluitlaag en een p-GaAs contactlaag zijn aangebracht. Zowel het substraat als de contactlaag zijn voorzien van een geleidende laag. De 10 straling-emitterende diode bevat een mesavormige strook die ten minste de GaAs contactlaag bevat die daarbuiten is weggëetst waardoor op die plaatsen een een barrière vormende overgang gevormd wordt tussen de bovenste geleidende laag en de tweede opsluitlaag. In de straling-emitterende diode bevindt zich een strookvormig gebied waarvan de 15 mesavormige strook deel uitmaakt waarbinnen door een aanwezige pn-overgang electromagnetische straling opgewekt kan worden bij stroomdoorgang in de voorwaartsrichting. Door de aanwezigheid van de een barrière vormende overgang wordt de stroom bij gebruik in hoofdzaak begrensd tot de mesavormige strook.

20 Een nadeel van de bekende halfgeleiderdiode is dat de eigenschappen van de een barrière vormende overgang niet onafhankelijk ingesteld kunnen worden ten opzichte van bijvoorbeeld de eigenschappen van de opsluitlaag. Het nadeel is dus hierin gelegen dat de eigenschappen van de opsluitlaag tegelijkertijd optimaal dienen te 25 zijn ter vervulling van verschillende functies. Immers, de opsluitlaag vervult meerdere functies: optische en elektrische opsluiting van fotonen respectievelijk ladingsdragers in de actieve laag, stroomdoorgangslaag en barrière vormer. Bij de bekende werkwijze treedt bovendien een verder nadeel op wanneer de mesavormige strook ter 30 verkrijging van zogenaamde index-guiding ook een deel van de opsluitlaag dient te bevatten. In dat geval dient de tweede opsluitlaag buiten de mesavormige strook tot geringe dikte te worden teruggeëetst hetgeen moeilijk beheerst kan worden uitgevoerd. Bovendien zal wanneer de dikte van de tweede opsluitlaag over het oppervlak van een substraat niet 35 constant is, hetgeen in de praktijk - met name wanneer grote substraten gebruikt worden - meestal het geval is, het etsen resulteren in een relatief grote spreiding in de dikte van de tweede opsluitlaag buiten de

0900748

mesavormige strook. Hierdoor worden straling-emitterende dioden verkregen met verschillende eigenschappen, bijvoorbeeld verschillende mate van index-guiding, hetgeen ongewenst is. Een belangrijk nadeel van de bekende halfgeleiderdiode is, zoals hierboven reeds aangeduid, dat de eigenschappen van de opsluitlaag tegelijkertijd optimaal dienen te zijn ter vervulling van verschillende functies.

De onderhavige uitvinding beoogt onder meer een straling-emitterende halfgeleider diode en een werkwijze ter vervaardiging daarvan te realiseren die de genoemde bezwaren niet of althans in veel mindere mate bezitten, waardoor goedkope straling-emitterende dioden met gunstige eigenschappen, zoals een effectieve stroombegrenzing, verkregen worden.

De uitvinding berust onder meer op het inzicht dat het beoogde doel kan worden gerealiseerd door de aanwezigheid van een extra laag die verschillende functies kan vervullen.

Een straling-emitterende halfgeleiderdiode van de in de aanhef beschreven soort heeft daartoe volgens de uitvinding het kenmerk dat zich tussen de geleidende laag en de daaronder gelegen laag een tussenlaag bevindt die met de geleidende laag de een barrière vormende overgang vormt, van het tweede geleidingstype is en een halfgeleidermateriaal bevat met een andere bandgap dan de tweede opsluitlaag en de contactlaag. De eigenschappen van de tussenlaag kunnen tot op zekere hoogte vrijer gekozen worden dan de eigenschappen van de tweede opsluitlaag. De tussenlaag zit verder van de actieve laag dan de opsluitlaag en zal derhalve minder invloed hebben op de actieve laag: uitdiffusie vanuit deze tussenlaag zal de actieve laag niet zo vlug bereiken, waardoor, ook wanneer de dotering van de tussenlaag hoog gekozen wordt, het gevaar dat de pn-overgang zich verwijdert van de actieve laag klein blijft. Bovendien behoeft de tussenlaag ter vorming van een barrière met de geleidende laag slechts een ten opzichte van de opsluitlaag relatief geringe dikte waardoor de tussenlaag relatiefweinig invloed heeft op bijvoorbeeld de stroomdoorvoer evenwijdig aan en loodrecht op de lagenstructuur. Een werkwijze ter vervaardiging van een straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding heeft volgens de uitvinding het kenmerk dat tussen de tweede opsluitlaag en de contactlaag een tussenlaag wordt aangebracht en dat bij het etsen van de mesavormige strook op deze laag gestopt wordt.

000740.

Aangezien bij het etsen van de contactlaag de tussenlaag als etsstop laag gebruikt kan worden wordt de dikte van de tweede opsluitlaag buiten de mesavormige strook precies gelijk aan de dikte waarmee deze opsluitlaag werd aangebracht. Daardoor is - met name wanneer index-
5 guided lasers gewenst worden - het proces volgens de uitvinding minder gevoelig voor dikte verschillen in de opsluitlaag in vergelijking met het bekende proces. Een belangrijk bijkomend voordeel van de werkwijze volgens de uitvinding is dat deze zeer eenvoudig is: na het groeien van een halfgeleiderlagenstructuur in één ononderbroken aangroeiproces
10 en na tweezijdige metallisatie kunnen de individuele halfgeleiderdioden uit het substraat geïsoleerd worden. Dit geldt zowel voor straling-emitterende halfgeleiderdioden van het zogenaamde "gain-guided" type als van het "index-guided" type, die dus beiden eenvoudig en goedkoop vervaardigd kunnen worden.

15 In een eerste uitvoeringsvorm bevat het substraat GaAs en is van het n-geleidingstype, bevatten de opsluitlagen InAlGaP of InAlP en de tussenlaag en de actieve laag InGaP of InAlGaP. Deze materiaalkeuze maakt het mogelijk dioden met een zeer lage emissie golflengte, nl. ongeveer 600 nm, te vervaardigen, bijvoorbeeld door een
20 actieve laag die ongeveer 15 atoomprocenten aluminium bevat. Een samenstelling van de tussenlaag die overeenkomt met $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$ - een samenstelling waarvan de bijbehorende roosterconstante overeenkomt met die van GaAs - voldoet uitstekend om gebruik te maken van de mogelijkheden die deze laag biedt: een dergelijke tussenlaag vormt met
25 de geleidende laag een barrière die voldoende groot is om de stroom door de stroombegrenzende gebieden bij de gebruiksspanning van de halfgeleiderdiode nagenoeg nul te maken, deelt de bandgap stap tussen de tweede opsluitlaag ($E_g = 2,3$ eV) en de contactlaag ($E_g = 1,4$ eV) nagenoeg in twee gelijke delen ($E_g = 1,9$ eV) en kan uitstekend als
30 etsstop laag fungeren. De opsluitlagen zullen in het algemeen ongeveer 20 tot 50 atoomprocenten Al bevatten, de actieve laag en de tussen laag tussen 0 en 15 atoomprocenten Al. Bij een gegeven Al gehalte ligt het In en Ga gehalte van de quaternaire, aluminium houdende lagen vast wanneer er vanuit gegaan wordt dat: de som van de gehalten van de III-elementen
35 één is en dat alle lagen ongeveer dezelfde roosterconstante hebben als het substraat. Bij ternaire systemen, zoals InGaP, wordt de samenstelling bepaald door de eis dat de roosterconstante gelijk moet

8900748

zijn aan die van het substraat i.c. GaAs. De bandgap, en daarmee de golflengte van eventuele emissie en de brekingsindex liggen dan vast. Wanneer aan het vereiste van "lattice matching" - d.w.z. de roosterconstanten van een epilaag en het substraat waarop deze gegroeid zijn (nagenoeg) aan elkaar gelijk - voldaan wordt, zullen over het algemeen straling-emitterende halfgeleiderdioden verkregen worden met een lage startstroom en een grote levensduur. Daarvoor is dan wel het gebruik van een van de beschikbare vrijheidsgraden met betrekking tot de samenstelling noodzakelijk. Het is echter zeer wel mogelijk om niet aan deze eis te voldoen. In dat geval kunnen de halfgeleiderdioden bijvoorbeeld ook op andere substraten zoals silicium gegroeid worden en blijft ook bij een ternair systeem een vrijheidsgraad met betrekking tot de samenstelling beschikbaar voor het instellen van bandgap, brekingsindex etc.

15 In een andere uitvoeringsvorm van een straling-emitterende diode volgens de uitvinding bevat de tussenlaag AlGaAs. Ook met dit materiaal kan een geleidende laag uitstekend een een barrière vormende overgang vormen, waarmee een effectieve stroombegrenzing gerealiseerd kan worden. Een dergelijke laag heeft het voordeel dat de roosterconstante voor elke samenstelling nagenoeg gelijk is aan die van GaAs waardoor een zeer precieze beheersing van de samenstelling niet noodzakelijk is. Wanneer het Al gehalte van de laag ongeveer 40 atoomprocenten is, is de bandgap ongeveer 1,9 eV hetgeen een gunstige waarde is zoals hierboven uitgelegd.

25 In een verdere uitvoeringsvorm van een straling-emitterende diode volgens de uitvinding heeft de tussenlaag een dotering van 5×10^{17} tot 4×10^{18} at/cm³ en de tweede opsluitlaag een dotering van 1×10^{17} tot 5×10^{17} at/cm³. Deze doteringen zijn bijzonder geschikt gebleken. Een hoge dotering van de tussenlaag bevordert de stroomspanningskarakteristiek. Een lagere dotering van de tweede opsluitlaag voorkomt dat door diffusie tijdens het aangroeien van de lagen de pn-junctie te ver verwijderd raakt van de actieve laag, vooral indien de tweede opsluitlaag een p-type doterende stof bevat die over het algemeen relatief snel diffundeert.

35 In een verdere uitvoeringsvorm van een straling-emitterende diode volgens de uitvinding vertoont de tussenlaag een gradient in de dotering zodanig dat de dotering hoger is aan de zijde

8800749.

van tweede opsluitlaag en lager is aan de zijde van de contactlaag. Hierdoor wordt een optimale werking van de tussenlaag mogelijk: enerzijds bevordert een lagere dotering het ontstaan van een grote barrière tussen de tussenlaag en de geleidende laag waardoor de stroombegrenzing verbetert, anderzijds bevordert een hogere dotering de stroom-spannings karakteristiek..

In een verdere uitvoeringsvorm van een straling-emitterende diode volgens de uitvinding vertoont de tussenlaag een gradient in de samenstelling zodanig dat deze hoger is aan de zijde van tweede opsluitlaag en lager is aan de zijde van de contactlaag. Ook hierdoor wordt een optimale werking van de tussenlaag mogelijk: enerzijds bevordert een lage bandgap aan de zijde van de geleidende laag het ontstaan van een grote barrière tussen de tussenlaag en de geleidende laag waardoor de effectiviteit van de stroombegrenzing verbetert, anderzijds bevordert een gradient in de bandgap de stroom-spannings karakteristiek.

In een verdere uitvoeringsvorm van een straling-emitterende diode volgens de uitvinding heeft de tussenlaag een dikte liggend tussen 200 en 2000 \AA . De bovengrens wordt bepaald door het optreden van ongewenste stroomspreiding in de tussenlaag, in het bijzonder wanneer deze een relatief lage weerstand heeft, de ondergrens wordt bepaald door de gewenste stroom-spannings karakteristiek.. In de praktijk zal bij voorkeur een dikte van ongeveer 800 \AA gebruikt worden.

In een verdere uitvoeringsvorm van een straling-emitterende diode volgens de uitvinding bevat de geleidende laag een of meer van de metalen Pt, Cr of Ti. Deze metalen zijn bijzonder geschikt gebleken om een Schottky barrière van voldoende grootte te realiseren, in het bijzonder wanneer de tussenlaag van het p-geleidingstype is.

In een verdere uitvoeringsvorm van een straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding bevat het halfgeleiderlichaam binnen de mesavormige strook tussen de tussenlaag en de contactlaag een derde opsluitlaag en een daarop gelegen verdere tussenlaag waarvan de grootte van de bandgap ligt tussen die van de derde opsluitlaag en de contactlaag. Hierdoor ontstaat, wanneer de diode als laserdiode uitgevoerd wordt, dat wil zeggen dat het strookvormige gebied tussen twee spiegelvlakken een trilholte vormt en de

8900748.

stroomsterkte voldoende is voor het opwekken van coherente electro-
magnetisch straling, de mogelijkheid om een index-guided laser te
vervaardigen. In dat geval wordt de tweede opsluitlaag vrij dun (bijv.
ongeveer 0,2 μm) gemaakt zodat de opgewekte straling buiten de
5 mesavormige strook een andere brekingsindex ervaart dan er binnen
waardoor er dus een stap in de effectieve brekingsindex optreedt.
Aangezien de tweede en de derde opsluitlaag meestal de zelfde bandgap
zullen bezitten is het in dit geval niet nodig dat de tussenlaag een
bandgap stap in twee min of meer gelijke delen verdeeld. De derde
10 opsluitlaag dient er toe om binnen de mesavormige strook een effectieve
opsluiting van de straling te bewerkstelligen en de verdere tussenlaag
heeft uitsluitend de functie om de bandgap stap tussen de derde
opsluitlaag en de contactlaag in twee ongeveer gelijke delen te delen,
met het oog op een goede stroom-spannings karakteristiek. In verband met
15 deze uitvoeringsvorm bevat een tweede uitvoering van een werkwijze
volgens de uitvinding het aanbrengen van een derde opsluitlaag en een
verdere tussenlaag tussen de tweede opsluitlaag en de contactlaag en het
vormen van de mesavormige strook tot aan de tussenlaag. Op deze wijze
wordt een index-guided diode verkregen, die tevens de voordelen van een
20 geringe stroomspreiding bezit. De vervaardiging is in essentie gelijk
aan de vervaardiging van de dioden volgens eerdere uitvoeringsvormen.

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

- 25 fig. 1 in dwarsdoorsnede een eerste uitvoering van een
straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding toont;
fig. 2 in dwarsdoorsnede een tweede uitvoering van een
straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding toont;
fig. 3 de stroom-spannings karakteristiek toont van de
30 halfgeleiderdiode van fig. 1 en ter vergelijking de stroom-spannings
karakteristiek van een vergelijkbare diode waarin de contactlaag geheel
is verwijderd toont;
fig. 4 en 5 in dwarsdoorsnede de straling-emitterende
halfgeleiderdiode van fig. 1 in opeenvolgende stadia van de
35 vervaardiging tonen.

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 het zelfde geleidingstype zijn als regel in dezelfde richting gearceerd.

5 Figuur 1 toont in dwarsdoorsnede een eerste uitvoering van een straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding. De halfgeleiderdiode omvat een halfgeleiderlichaam met een van een aansluitgeleider 8 voorzien substraatgebied 1 van een eerte, hier het n-, geleidingstype en in dit voorbeeld bestaande uit éénkristallijn
10 galliumarsenide. Daarop is aangebracht een halfgeleiderlagenstructuur welke onder meer een bufferlaag 11 bevat, van hetzelfde, hier dus het n-, geleidingstype. Hierop zijn achtereenvolgens aangebracht, een eerste opsluitlaag 2, van het n-, geleidingstype, een actieve laag 3, een tweede opsluitlaag 4, van het tegengestelde, hier dus het p,
15 geleidingstype. Hierboven bevinden zich binnen een mesavormige strook 12 een derde opsluitlaag 9, van het tegengestelde, hier dus het p-, geleidingstype, een verdere tussenlaag 10, van het tegengestelde, hier dus het p-, geleidingstype en een contactlaag 6 eveneens van het tegengestelde, hier dus het p-, geleidingstype. Over deze mesavormige
20 strook is een geleidende laag 7 aangebracht die met een daaronder gelegen laag buiten de mesavormige strook 12 een een barrière vormende overgang vormt. Hierdoor ontstaan in het halfgeleiderlichaam twee strookvormige gebieden 13 en 15 waar beneden een bepaalde spanning geen of nagenoeg geen stroom door loopt, wanneer de geleidende lagen 7 en 8
25 in een stroomkring worden opgenomen. Binnen het halfgeleiderlichaam bevindt zich een strookvormig gebied 13, waar de mesavormige strook 12 deel van uitmaakt, waarbinnen zich een pn-overgang bevindt die bij voldoende hoge stroomsterkte in de doorlaatrichting leidt tot emissie van elektromagnetische straling. Aangezien de geleidende laag 7 een goed
30 electisch contact vormt met de contactlaag 6 vormt het gebied 13 een voorkeurspad voor de elektrische stroom. In dit voorbeeld is de straling-emitterende halfgeleiderdiode uitgevoerd als een diodelaser en wel van het index-guided type. Dit betekent dat bij voldoende hoge stroomsterkte de emissie coherent is. In verband met de uitvoering als diodelaser
35 wordt de mesavormige strook 12 loodrecht op de lengterichting begrensd door twee in het vlak van tekening liggende onderling evenwijdige spiegelvlakken die samenvallen met natuurlijke splijtvlakken van het

kristal waaruit het halfgeleiderlichaam gevormd is. Hierdoor vormt zich binnen het stookvormige gebied 13 in de actieve laag 3 een trilholte voor de opgewekte straling. Volgens de uitvinding bevindt zich tussen de geleidende laag 7 en een daaronder gelegen laag, in dit voorbeeld de

5 tweede opsluitlaag 4 een tussenlaag 5 die met de geleidende laag 7 de een barrière vormende overgang vormt, van het tweede, hier dus het p-, geleidingstype is en een halfgeleidermateriaal bevat met een andere bandgap dan de tweede opsluitlaag 4 en de contactlaag 6. De eigenschappen van deze tussenlaag 5 zijn min of meer onafhankelijk

10 van de eigenschappen van de tweede opsluitlaag 4 en volgens de uitvinding zo gekozen dat een aantal voordelen bereikt zijn. Zoals uit onderstaande tabel blijkt bevat de tweede opsluitlaag 4 evenals de overige opsluitlagen indiumaluminiumgalliumphosphide en bevat de contactlaag 6 galliumarsenide. In dit voorbeeld bevat de

15 tussenlaag 5 indiumgalliumphosphide waarvan de bandgap afwijkt van de tweede opsluitlaag 4 en de contactlaag 6. Hierdoor kan de tussenlaag 5 als etsstop-laag fungeren bij de vorming van de mesavormige strook 12. Verder vormen bij deze samenstelling van de tussenlaag 5 de geleidende laag 7 en de tussenlaag 5 daar waar deze aan elkaar grenzen een een

20 barrière vormende overgang die bij de gebruiksspanning van de halfgeleiderdiode, die in dit voorbeeld ongeveer 2,5 Volt bedraagt, zeer goede stroomsperrende eigenschappen bezit. Verder is zoals ook uit onderstaande tabel blijkt de dotering van de tussenlaag 5, die in dit voorbeeld 1×10^{18} at/cm³ bedraagt, zo gekozen dat binnen de

25 mesavormige strook 12 een goede stroomdoorgang van de derde opsluitlaag 9 naar de tweede opsluitlaag 4 mogelijk is. In dit voorbeeld zijn de volgende samenstellingen, doteringen en diktes voor de diverse halfgeleiderlagen toegepast.

30	Laag	Halfgeleider	Type	Doterings- concentr. (at/cm ³)	Dikte (µm)	Bandgap
	1	GaAs (substraat)	N	2×10^{18}	350	1,4
	11	GaAs (bufferlaag)	N	2×10^{18}	0,5	1,4
35	2	$\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,2}\text{P}$	N	2×10^{18}	0,8	2,3
	3	$\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$		-	0,08	1,9
	4	$\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,2}\text{P}$	P	4×10^{17}	0,2	2,3

8800748.

5	$\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$	P	1×10^{18}	0,1	1,9
9	$\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,2}\text{P}$	P	4×10^{17}	0,7	2,3
10	$\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$	P	1×10^{18}	0,1	1,9
6	GaAs (contactlaag)	P	2×10^{18}	0,5	1,4

5

De door deze halfgeleiderdiode geëmitteerde straling heeft een golflengte van ongeveer 680 nm. De breedte van de mesavormige strook 12 is ongeveer 3 μm . De geleidende laag 8 op het substraat 1 is in dit voorbeeld een goud-germanium-nikkellaag, met een dikte van ongeveer 1000 \AA . De geleidende laag 7 is in dit voorbeeld een platina-, een tantaal- en een goudlaag laag met een dikte van respectievelijk ongeveer 1000, ongeveer 500 en ongeveer 2500 \AA .

De beschreven straling-emitterende halfgeleiderdiode wordt volgens de uitvinding als volgt vervaardigd (zie fig. 4 en 5).

- 15 Uitgegaan wordt van een substraat 1 van éénkristallijn n-type galliumarsenide met een doteringsconcentratie van 2×10^{18} atomen per cm^3 en een dikte van bijvoorbeeld 350 μm . Na polijsten en etsen van het oppervlak, dat bij voorkeur een misorientatie van ten hoogste 6 graden ten opzichte van de (001) orientatie heeft wordt hierop
- 20 bijvoorbeeld vanuit de gasfase met behulp van OMVPE (= Organo Metallic Vapour Phase Epitaxy) achtereenvolgens aangegroeid: een 0,5 μm dikke laag 11 van n-type GaAs met een doteringsconcentratie van ongeveer 2×10^{18} atomen per cm^3 , een 0,8 μm dikke laag 2 van n-type $\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,2}\text{P}$ met een doteringsconcentratie van ongeveer
- 25 2×10^{18} atomen per cm^3 , een 0,08 μm dikke laag 3 van $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$, een 0,2 μm dikke laag 4 van p-type $\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,2}\text{P}$ met een doteringsconcentratie van ongeveer 4×10^{17} atomen per cm^3 , een 0,08 μm dikke laag 3 van p-type $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$ met een doteringsconcentratie van 1×10^{18} atomen per
- 30 cm^3 , een 0,7 μm dikke laag 9 van p-type $\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,2}\text{P}$ met een doteringsconcentratie van 4×10^{17} atomen per cm^3 , een 0,08 μm dikke laag 10 van p-type $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$ met een dotering van ongeveer 1×10^{18} atomen per cm^3 en een 0,5 μm dikke laag 6 van p-type GaAs met een dotering van ongeveer 1×10^{18} atomen per cm^3 . Een schematische
- 35 dwarsdoorsnede van de op deze manier gemaakte structuur is weergegeven in fig. 4. Het aangroeien van deze meerlaagstructuur kan ook geschieden met andere aangroeitechnieken dan de hier gebruikte zoals het aangroeien

vanuit de vloeistoffase met behulp van LPE (= Liquid Phase Epitaxy), in welk geval de orientatie van het substraat 1 bij voorkeur nagenoeg de (001) orientatie is, hoewel het gebruik van deze techniek in het gegeven materiaalsysteem om praktische redenen niet erg voor de hand ligt.

- 5 Hetzelfde geldt voor het aangroeien vanuit de gasfase met behulp van de zogenaamde VPE (=Vapor Phase Epitaxy) techniek. Een meer voor de hand liggend alternatief voor de hier gebruikte aangroetechniek is voor het gegeven materiaalsysteem de zogenaamde moleculaire bundel epitaxie MBE (=Molecular Beam Epitaxy). Voor andere materiaalsystemen dan het hier
- 10 gekozen kunnen echter de bovengenoemde LPE en VPE zeer wel geschikte aangroetechnieken vormen. Voor details betreffende de hier gebruikte OMVPE-techniek wordt verwezen naar het overzichtsartikel van M.J. Ludowise, "Metalorganic chemical vapour deposition of III-V
- 15 semiconductors" in Journal of Applied Physics, 58 (1985) 31. Nadat de aldus verkregen halfgeleiderlagenstructuur uit de aangroeiapparatuur verwijderd is en op algemeen gebruikelijke manier gereinigd is word
- 20 vervolgens met behulp van photolithografie en algemeen gebruikelijke etsmiddelen een mesavormige strook 12 geëtsd (zie fig. 5). Allereerst worden hierbij de GaAs contactlaag 6 verwijderd met behulp van een
- etsmiddel dat NH_3 , H_2O_2 en H_2 bevat in de verhouding 2 : 1 : 50 , waarvan de etssnelheid bij kamer temperatuur ongeveer $0,7 \mu\text{m}/\text{uur}$ is, en de $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$ laag 10 met een etsmiddel dat geconcentreerd zwavelzuur bevat waarvan de etssnelheid bij 70°C ongeveer $350^\circ\text{A}/\text{min}$ bedraagt. Vervolgens wordt de $\text{In}_{0,50}\text{Al}_{0,30}\text{Ga}_{0,20}\text{P}$ laag
- 25 9 selectief geëtsd met een etsmiddel dat geconcentreerd fosforzuur bevat waarvan de etssnelheid bij 60°C ongeveer $0,7 \mu\text{m}/\text{min}$ bedraagt. Hierbij fungeert de onderliggende $\text{In}_{0,50}\text{Ga}_{0,50}\text{P}$ tussenlaag 5 als etsstop-laag. Nadat de aldus verkregen structuur wederom op algemeen gebruikelijke manier gereinigd is, wordt op het substraat 1 door middel
- 30 van bijvoorbeeld sputteren een geleidende laag 8 bijvoorbeeld bestaande uit een goud-germanium-nikkellaag met een dikte van ongeveer 1000°A (zie fig. 1). Tenslotte wordt bijvoorbeeld met dezelfde techniek over de bovenzijde van de structuur een geleidende laag 7 bijvoorbeeld bestaande uit een platina-, een tantaal- en een goudlaag waarvan de dikte
- 35 respectievelijk ongeveer 1000 , ongeveer 500 en ongeveer 2500°A bedraagt, aangebracht. Na klieven van het substraat op algemeen gebruikelijke wijze zijn de individuele straling-emitterede

6900748.

halfgeleiderdioden - in dit geval diodenlasers van het index-guided type
- voor afmontage beschikbaar.

Opgemerkt moet hier worden dat de halfgeleiderlagen ook andere samenstellingen mogen hebben dan de hier genoemde. Dit hangt
5 onder meer af van de gewenste golflengte van de op te wekken straling. Daarnaast kan met name het aluminium gehalte van de opsluitlagen gevarieerd worden om de opsluiting van en daarmee de mate van index-
10 gevarieerd worden om de opsluiting van en daarmee de mate van index-
guiding (met name voor wat de tweede opsluitlaag betreft) te beïnvloeden. Ook kunnen de samenstelling en de doteringsconcentratie van
15 de tussenlaag gevarieerd worden om een zo optimaal mogelijke afstemming op de verschillende functies van deze laag te verkrijgen. Zo kan deze laag een gradient in beide grootheden vertonen zodat de vorming van een zo effectief mogelijke barrière gecombineerd kan worden met een goede stroom-spannings karakteristiek. De samenstelling en de dotering van de
20 verdere tussenlaag 10 kunnen zo gekozen worden dat een zo gunstig mogelijke stroom-spannings karakteristiek van de diodelaser verkregen wordt. Met name is het daartoe gewenst dat de samenstelling zo gekozen wordt dat de relatief grote stap in de bandgap tussen de derde opsluitlaag en de contactlaag in twee ongeveer gelijke stappen wordt
25 verdeeld door deze verdere tussenlaag.

Figuur 2 toont in dwarsdoorsnede een tweede uitvoering van een straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding. De halfgeleiderdiode omvat in dit voorbeeld dezelfde lagen als in het
vorige voorbeeld, met uitzondering van twee lagen, namelijk de derde
25 opsluitlaag 9 en de verdere tussenlaag 10, welke ontbreken. De samenstellingen, dikten en doteringen van de overige lagen zijn op een uitzondering na, zoals uit onderstaande tabel blijkt, gelijk aan die van het vorige voorbeeld.

30	Laag	Halfgeleider	Type	Doterings- concentr. (at/cm ³)	Dikte (µm)	Bandgap
	1	GaAs (substraat)	N	2×10^{18}	350	1,4
	11	GaAs (bufferlaag)	N	2×10^{18}	0,5	1,4
35	2	$\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,2}\text{P}$	N	2×10^{18}	0,8	2,3
	3	$\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$		-	0,08	1,9
	4	$\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,2}\text{P}$	P	4×10^{17}	0,8	2,3

5	$\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$	P	1×10^{18}	0,1	1,9
6	GaAs (contactlaag)P		2×10^{18}	0,5	1,4

Ook de straling-emitterende halfgeleiderdiode van dit voorbeeld is uitgevoerd als diodelaser maar nu van het gain-guided type. Daartoe zijnde dikte en de samenstelling van de tweede opsluitlaag 4 ongeveer gelijk aan die van de eerste opsluitlaag 2. Ook hier bevindt zich volgens de uitvinding tussen de geleidende laag 7 en een daaronder gelegen laag, in dit voorbeeld de tweede opsluitlaag 4 een tussenlaag 5 die met de geleidende laag 7 de een barrière vormende overgang vormt, van het tweede, hier dus het p-, geleidingstype is en een halfgeleidermateriaal bevat met een andere bandgap dan de tweede opsluitlaag 4 en de contactlaag 6. De eigenschappen van deze tussenlaag 5 zijn min of meer onafhankelijk van de eigenschappen van de tweede opsluitlaag 4 en volgens de uitvinding zo gekozen dat een aantal voordelen bereikt zijn. Zoals uit bovenstaande tabel blijkt bevat de tweede opsluitlaag 4 evenals de overige opsluitlagen indiumaluminiumgalliumphosphide en bevat de contactlaag 6 galliumarsenide. In dit voorbeeld bevat de tussenlaag 5 indiumgalliumphosphide waarvan de bandgap afwijkt van de tweede opsluitlaag 4 en de contactlaag 6. Hierdoor kan de tussenlaag 5 als etsstop-laag fungeren bij de vorming van de mesavormige strook 12. Verder vormen bij deze samenstelling van de tussenlaag 5 de geleidende laag 7 en de tussenlaag 5 daar waar deze aan elkaar grenzen een een barrière vormende overgang die bij de gebruiksspanning van de halfgeleiderdiode, die in dit voorbeeld ongeveer 2,5 Volt bedraagt, zeer goede stroomsperrende eigenschappen bezit. Verder is zoals ook uit bovenstaande tabel blijkt de dotering van de tussenlaag 5, die in dit voorbeeld 1×10^{18} at/cm³ bedraagt, zo gekozen dat binnen de mesavormige strook 12 een goede stroomdoorgang van de derde opsluitlaag 9 naar de tweede opsluitlaag 4 mogelijk is. De breedte van de mesavormige strook 12 is in dit voorbeeld ongeveer 7 μm . De door deze halfgeleiderdiodelaser uitgezonden straling heeft een golflengte van ongeveer 680 nm. Hetgeen hierboven opgemerkt werd met betrekking tot de samenstelling van de halfgeleiderlagen is ook op dit voorbeeld van toepassing. De vervaardiging van de straling-emitterende halfgeleiderdiodelaser van dit voorbeeld verloopt nagenoeg identiek aan

8800748.

de vervaardiging van die van het vorige voorbeeld.

Figuur 3 toont de stroom-spannings karakteristiek van de halfgeleiderdiodelaser van fig. 2 en ter vergelijking de stroom-spannings karakteristiek van een vergelijkbare diode waarin de contactlaag 6 geheel is verwijderd. De afmetingen van beide type dioden bedragen ongeveer $300 \times 300 \mu\text{m}^2$. Bij een voorwaarts spanning van bijvoorbeeld 2,5 Volt loopt door de halfgeleiderdiodelaser volgens de uitvinding waarbij de mesavormige strook ongeveer $8 \mu\text{m}$ breed is, een stroom van ongeveer 80 mA en door de halfgeleiderdiode waarin de contactlaag geheel ontbreekt slechts 0,6 mA. Deze vergelijking toont aan dat op deze wijze zeer eenvoudige en goedkoop te vervaardigen halfgeleiderdiodelasers van het gain-guided type verkregen kunnen worden waarbij de stroom zeer effectief tot de mesavormige strook beperkt kan worden.

Ook andere uitvoeringsvormen zijn binnen dit uitvoeringsvoorbeeld mogelijk zo kan de tussenlaag 5 ook uit AlGaAs vervaardigd worden. Bij een Aluminiumgehalte van ongeveer 40 procent wordt een zeer effectieve barrière gevormd met de geleidende laag 7, kan de GaAs contactlaag 6 uitstekend selectief geëtsd worden en wordt de bandgap stap tussen de tweede opsluitlaag 4 en de contactlaag 6 in twee ongeveer gelijke stappen verdeeld waardoor een uitstekende stroom-spannings karakteristiek verkregen wordt.

De uitvinding is niet beperkt tot de gegeven uitvoeringsvoorbeelden, daar voor de vakman binnen het kader van de uitvinding vele modificaties en variaties mogelijk zijn. Zo kunnen andere halfgeleidermaterialen of andere samenstellingen van de gekozen halfgeleidermaterialen dan de in de voorbeelden genoemde worden toegepast. Op deze manier kunnen bijvoorbeeld halfgeleiderdioden gerealiseerd worden die emitteren in het infrarode deel van het spectrum. Het substraat en de opsluitlagen kunnen in dat geval bijvoorbeeld van InP, de actieve laag en de tussenlaag van InGaAsP en de contactlaag van InGaAs vervaardigd worden. Aangezien de stap in de bandgap tussen InP en InGaAs niet groot is kan, in geval van een index-guided structuur zoals in fig. 1, de verdere tussenlaag achterwege blijven.

Ook kunnen de geleidingstypen alle (tegelijk) door hun tegengestelde worden vervangen. Verder kan al naar gelang de toepassing

8900748.

voor een LED uitvoering of een laser uitvoering van een straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding gekozen worden. Binnen de laseruitvoering kan zowel een gain-guided als een index-guidedstructuur gekozen worden waarbij de uitvinding met voordeel kan
5 worden toegepast. Tenslotte moet nog gezegd worden dat de in de uitvoeringsvoorbeelden gebezigde methoden om de halfgeleider lagen en de geleidende lagen - ten dele afhankelijk van het materiaal systeem waarin de halfgeleiderdiode vervaardigd wordt - met andere dan de hier genoemde technieken aangebracht kunnen worden: zo kan in plaats van MOCVD ook
10 LPE, VPE of MBE worden toegepast en in plaats van sputteren ook bijvoorbeeld opdampen.

Conclusies

1. Straling-emitterende halfgeleiderdiode omvattende een halfgeleiderlichaam met een halfgeleidersubstraat van een eerste geleidingstype dat aan de onderzijde voorzien is van een geleidende laag en waarop zich achtereenvolgens ten minste bevinden een eerste opsluitlaag van het eerste geleidingstype, een actieve laag, een tweede opsluitlaag van een tweede geleidingstype en een contactlaag van het tweede geleidingstype die een mesavormige strook omvat waarop zich een geleidendelaag bevindt die zich uitstrekt tot buiten de mesavormige strook en daarbuiten een een barrière vormende overgang vormt met een daaronder gelegen laag, met het kenmerk, dat zich tussen de geleidende laag en de daaronder gelegen laag een tussenlaag bevindt die met de geleidende laag de een barrière vormende overgang vormt, van het tweede geleidingstype is en een halfgeleidermateriaal bevat met een andere bandgap dan de tweede opsluitlaag en de contactlaag.

2. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat het substraat galliumarsenide (GaAs) bevat en van het n-geleidingstype is, dat de opsluitlagen indiumaluminiumgalliumphosphide (InAlGaP) of indiumaluminiumphosphide bevatten, en dat de tussenlaag en de actieve laag indiumgalliumphosphide (InGaP) of indiumaluminiumgalliumphosphide (InAlGaP) met een lager aluminiumgehalte dan de opsluitlagen, bevatten.

- 25 3. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens conclusie
1 of 2, met het kenmerk, dat de tussenlaag aluminiumgalliumarsenide
(AlGaAs) bevat.
4. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens
30 conclusie 2, met het kenmerk, dat de tussenlaag een dotering heeft van
 5×10^{17} tot 4×10^{18} at/cm³ en de tweede opsluitlaag een dotering
van 1×10^{17} tot 5×10^{17} at/cm³ heeft.
5. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens
35 conclusie2, met het kenmerk, dat de dotering van de tussenlaag verloopt
vanaf de onderzijde tot aan de bovenzijde van ongeveer 10^{18} at/cm³
tot ongeveer 10^{17} at/cm³.

6. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens conclusie een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat de samenstelling van de tussenlaag verloopt vanaf de onderzijde tot aan de bovenzijde van
5 ongeveer 10 atoom procenten aluminium tot ongeveer 0 atoomprocenten, waarbij de bandgap varieert van ongeveer 2,1 eV tot ongeveer 1,9 eV.
7. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat de dikte van de tussenlaag
10 ligt tussen ongeveer 200 \AA en ongeveer 2000 \AA .
8. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat de geleidende laag aan de bovenzijde van het halfgeleiderlichaam platina (Pt), chroom (Cr) of
15 titanium (Ti) bevat.
9. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat het halfgeleiderlichaam binnen de mesavormige strook tussen de de tussenlaag en de contactlaag
20 een derde opsluitlaag en een daarop gelegen verdere tussenlaag waarvan de grootte van de bandgap ligt tussen die van de derde opsluitlaag en de contactlaag, bevat.
10. Werkwijze ter vervaardiging van een straling-emitterende
25 diode volgens een der conclusies 1 t/m 8, waarbij op een halfgeleidersubstraat achtereenvolgens tenminste een eerste opsluitlaag van het eerste geleidingstype, een actieve laag, een tweede opsluitlaag van het tweede geleidingstype en een contactlaag van het tweede geleidingstype worden aangebracht waarbij een
30 door middel van photolithografie en etsen een mesavormige strook wordt gevormd die tenminste de contactlaag bevat waarna een geleidende laag op het substraat wordt aangebracht en een geleidende laag over en buiten de mesavormige strook wordt aangebracht die buiten de mesavormige strook met een eronder gelegen laag een een
35 barrière vormende overgang vormt, met het kenmerk, dat tussen de tweede opsluitlaag en de contactlaag een tussenlaag wordt aangebracht en dat bij het etsen van de mesavormige strook op deze

8810740

laag wordt gestopt met etsen.

11. Werkwijze volgens conclusie 10, met het kenmerk, dat
tussen de tussenlaag en de contactlaag een derde opsluitlaag
5 en een verdere tussenlaag worden aangebracht en dat de
mesavormige strook gevormd wordt tot aan de tussenlaag en de
derde opsluitlaag en de verdere tussenlaag bevat.

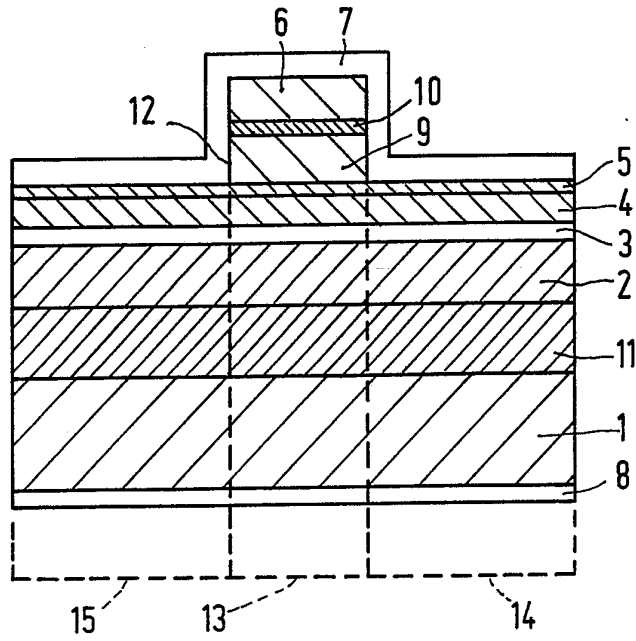


FIG.1

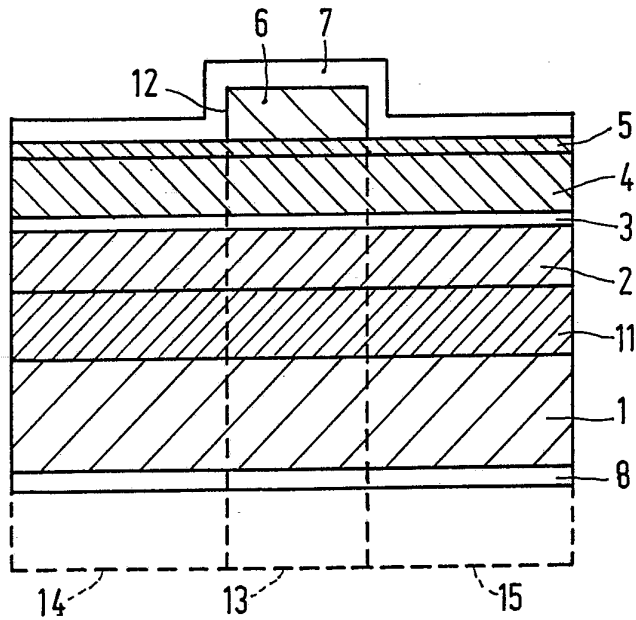


FIG.2

8900748.

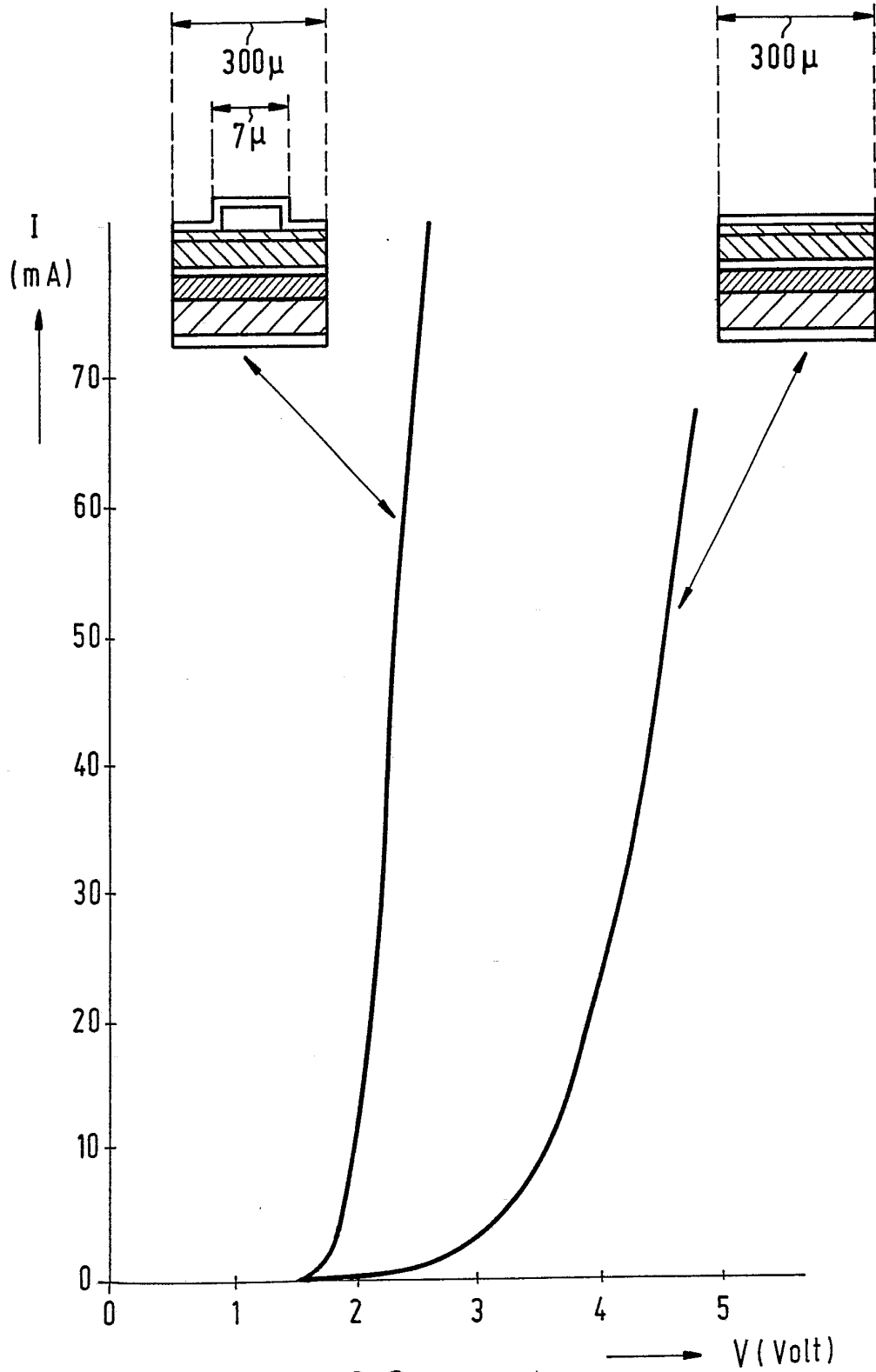


FIG.3

8800748.

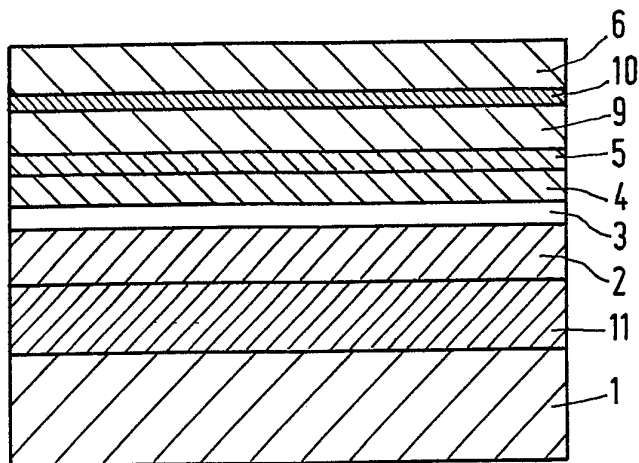


FIG. 4

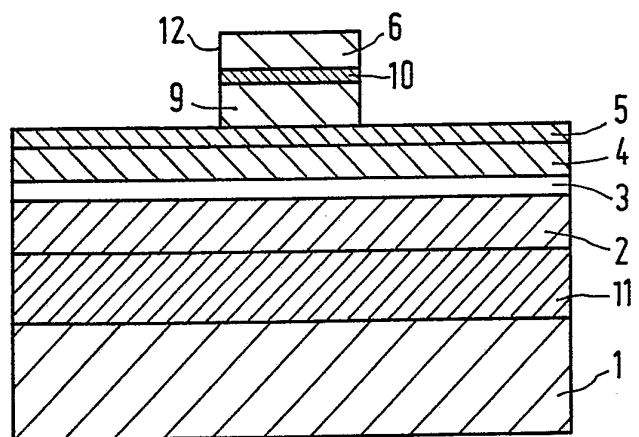


FIG. 5