

---

Octrooiraad



⑫A **Terinzagelegging** ⑪ **9001193**

Nederland

⑲ NL

---

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

⑤1 Int.Cl.<sup>5</sup>: 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. 9001193.

②2 Ingediend 23 mei 1990.

③2 --

③3 --

③1 --

③2 --

---

④3 Ter inzage gelegd 16 december 1991.

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 waarop zich  
achtereenvolgens ten minste bevinden een onderste opsluitlaag van het  
5 eerste geleidingstype, een actieve laag en een bovenste opsluitlaag van  
een tweede geleidingstype, waarbij de actieve laag en ten minste een van  
de opsluitlagen, hierna eerste opsluitlaag genoemd, onderling  
verschillende halfgeleidermaterialen bevatten die elk een mengkristal  
omvatten van ten minste twee binaire verbindingen en met twee  
10 subroosters, waarbij op ten minste een van de subroosters, hierna eerste  
subrooster genoemd, atomen van verschillende elementen naast elkaar  
aanwezig zijn. De uitvinding heeft tevens betrekking op een werkwijze  
ter vervaardiging van een straling-emitterende halfgeleiderdiode,  
waarbij op een halfgeleidersubstraat van een eerste geleidingstype  
15 achtereenvolgens ten minste een onderste opsluitlaag van het eerste  
geleidingstype, een actieve laag en een bovenste opsluitlaag van een  
tweede geleidingstype worden aangebracht, waarbij voor de actieve laag  
en voor ten minste een van de opsluitlagen, hierna eerste opsluitlaag  
genoemd, onderling verschillende halfgeleidermaterialen gekozen worden  
20 die elk een mengkristal omvatten van ten minste twee binaire  
verbindingen en met twee subroosters, waarbij op ten minste een  
subrooster, hierna eerste subrooster genoemd, atomen van verschillende  
elementen aangebracht worden.

Zulke straling-emitterende dioden, in het bijzonder  
25 wanneer de golflengte van de emissie in het zichtbare deel van het  
spectrum ligt, zijn - indien als laser uitgevoerd - geschikte  
stralingsbronnen voor onder meer informatie verwerkende systemen zoals  
laser-printers waarmee informatie geschreven wordt en "optical disc"  
systemen zoals Compact Disc (Video) (CD(V)) spelers of streepjes-code  
30 lezers waarbij informatie gelezen wordt en Digitale Optical Recording  
(DOR) systemen waarbij informatie geschreven en gelezen wordt. Ook  
wanneer dergelijke dioden als LED uitgevoerd worden zijn er talrijke

9001193

toepassingen in opto-electronische systemen.

Een dergelijke straling-emitterende diode en een dergelijke werkwijze ter vervaardiging daarvan, zijn bekend uit het artikel "AlGaInP Double Heterostructure Visible-Light Laser Diodes with aGaInP Active Layer Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy" van K. Kobayashi e.a., dat gepubliceerd is in IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. QE-23, No. 6, June 1987, p. 704. Daarin wordt een straling-emitterende halfgeleiderdiode beschreven waarbij zich op een substraat van n-GaAs een tussen twee opsluitlagen gelegen actieve laag bevindt. De actieve laag en de eerste opsluitlaag, hier beide opsluitlagen, bevatten onderling verschillende halfgeleidermaterialen, hier respectievelijk InGaP en InAlGaP, die elk een mengkristal van ten minste twee, hier precies twee voor de actieve laag en drie voor de eerste opsluitlaag, binaire verbindingen, hier InP, AlP en GaP, en met twee subroosters, namelijk twee f.c.c. roosters, waarin zich de atomen, hier enerzijds In-, Al- en Ga- atomen en anderzijds P- atomen, die de binaire verbindingen vormen, bevinden en waarbij op ten minste een van de subroosters, hier het subrooster waarop zich In-, Al-, en Ga-atomen bevinden, atomen van verschillende elementen, hier In- en Ga- atomen voor de actieve laag en In-, Al- en Ga- atomen voor de eerste opsluitlaag, naast elkaar aanwezig zijn. In de straling-emitterende diode, die hier als laser is uitgevoerd, bevindt zich een strookvormig gebied dat als trilholte fungeert en waarbinnen door de aanwezige pn-overgang electromagnetische straling opgewekt kan worden in de actieve InGaP laag bij stroomdoorgang in de voorwaartsrichting. De bekende diodelasers worden vervaardigd bij een groeitemperatuur van 700 °C of lager en bevatten een galiumarsenide bufferlaag. De golflengte van de emissie van de hier als laser uitgevoerde diode bedraagt ongeveer 670 nm (d.w.z. de golflengte in photoluminescentie bedraagt ongeveer 660 nm wat overeenkomt met een bandgap van ongeveer 1,88 eV).

Een nadeel van de bekende halfgeleiderdiodelaser is dat de maximale bedrijfstemperatuur daarvan relatief laag is. Deze hangt onder meer af van de temperatuurafhankelijkheid van de startstroom. De startstroom ( $I$ ) hangt als volgt af van de temperatuur ( $T$ ):  $I/I_0 = \exp((T+\Delta T)/T_0)$ , waarin  $I_0$  de startstroom bij 0 °C is,  $T$  de temperatuur van de heatsink is,  $\Delta T$  de temperatuurstijging in het actieve gebied is en  $T_0$  de zogenaamde karakteristieke temperatuur is. Deze

9001193

bedraagt in het temperatuurgebied van 30 tot 60 °C voor de bekende diodelaser typisch 75 tot maximaal 90 K terwijl bijvoorbeeld voor een GaAs/AlGaAs laser de  $T_0$  waarde wel 150 K kan bedragen, hetgeen een veel geringere toename van de startstroom bij stijgende temperatuur  
5 impliceert. De grootte van  $T_0$  is direct gerelateerd aan optische en elektrische verliezen binnen de lasertrilholte en kan verhoogd worden door het verschil in bandgap tussen de actieve laag en een of beide opsluitlagen te vergroten. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door het aluminiumgehalte van de opsluitlagen te verhogen, maar dit is vanwege  
10 het indirect zijn van die lagen minder effectief en het is dan moeilijker om de opsluitlagen, met name de p-type opsluitlaag, voldoende hoog te doteren.

De onderhavige uitvinding beoogt onder meer een straling-emitterende halfgeleiderdiode - met name een halfgeleiderdiodelaser - te  
15 realiseren die het genoemde bezwaar niet of althans in veel mindere mate heeft en dus een relatief lage temperatuurafhankelijkheid van de startstroom bezit. De uitvinding beoogt tevens een eenvoudige werkwijze ter vervaardiging van een dergelijke straling-emitterende diode te verkrijgen.

20 De uitvinding berust onder meer op het inzicht dat het beoogde doel kan worden gerealiseerd door gebruik te maken van een andere mogelijkheid dan verandering van samenstelling om de bandgap van een halfgeleidermateriaal te veranderen.

Een straling-emitterende halfgeleiderdiode van de in de  
25 aanhef beschreven soort heeft daartoe volgens de uitvinding het kenmerk dat de verdeling van de atomen van verschillende elementen over het eerste subrooster in de actieve laag meer geordend is dan in de eerste opsluitlaag en de meer geordende verdeling voor het halfgeleidermateriaal van de actieve laag resulteert in een verlaagde  
30 bandgap. Experimenteel is vastgesteld dat de bandgap voor sommige halfgeleidermaterialen die een mengkristal bevatten van binaire verbindingen varieert met de mate van ordening van atomen van verschillende elementen in een subrooster van het mengkristal: wanneer de ordening laag is, dat wil zeggen wanneer de verdeling van de atomen  
35 van verschillende elementen over het subrooster meer willekeurig is, is de bandgap bij een constante samenstelling van het mengkristal relatief het grootst. Wanneer een geschikte meer geordende verdeling optreedt

gaat dit gepaard met een verlaging van de bandgap. In de straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding die de combinatie bevat van een meer geordende actieve laag en een meer wanordelijke eerste opsluitlaag zal eerstgenoemde een relatief lage bandgap hebben en  
5 laatstgenoemde een relatief hoge of althans geen verlaagde bandgap hebben. Hierdoor wordt het verschil in bandgap vergroot ten opzichte van de situatie waarin de actieve laag en de eerste opsluitlaag op dezelfde wijze en in dezelfde mate geordend of juist niet geordend zijn. Door het grotere verschil in bandgap heeft de laserdiode lagere verliezen  
10 resulterend in een hoge  $T_0$  waarde. Een werkwijze ter vervaardiging van een straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding heeft volgens de uitvinding het kenmerk dat de groeicondities tijdens het aanbrengen van de eerste opsluitlaag en van de actieve laag zodanig gekozen worden dat de atomen van verschillende elementen op het eerste  
15 subrooster worden aangebracht met een meer geordende verdeling in de actieve laag dan in de eerste opsluitlaag en de bandgap van de verschillende halfgeleidermaterialen door de meer geordende verdeling wordt verlaagd. Het is gebleken dat groeicondities zoals groeisnelheid, groeitemperatuur en V/III verhouding de mate van ordening in een  
20 mengkristal beïnvloeden. De V/III verhouding is de verhouding van de tijdens het groeien aangeboden hoeveelheid V-elementen en de hoeveelheid aangeboden III-elementen. Door nu een of meer van deze groeicondities tijdens het groeien van de actieve laag zo te kiezen dat een meer geordende verdeling ontstaat en tijdens het groeien van de eerste  
25 opsluitlaag zo te kiezen dat een meer willekeurige verdeling ontstaat worden halfgeleiderdiodelasers verkregen die beter aan de gestelde eisen voldoen.

In een eerste uitvoeringsvorm van een straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding, waarbij de twee  
30 subroosters van het f.c.c. (vlak gecenterde kubus) type zijn, is de verdeling van de atomen van verschillende elementen over het eerste subrooster in de eerste opsluitlaag nagenoeg volledig willekeurig (random) terwijl deze verdeling in de actieve laag meer geordend. Er is waargenomen dat binnen mengkristallen van veel halfgeleidermaterialen  
35 met een f.c.c. structuur een meer geordende verdeling optreedt die lijkt op de ordening van de zogenaamde CuAu of CuPt structuur. Bij een dergelijke meer geordende verdeling treedt voor die

9001193

halfgeleidermaterialen een verlaging van de bandgap op ten opzichte van nagenoeg volledig wanordelijke verdeling van de atomen van verschillende elementen over het eerste subrooster. Zo is binnen de mengkristallen van III-V binaire verbindingen voor het materiaalsysteem InGaP/InAlGaP een  
5 meer geordende verdeling waargenomen in de richting van de CuPt structuur. Hierbij vindt de ordening plaats binnen de (111), nauwkeuriger binnen de  $1/2(1\bar{1}1)$  en  $1/2(11\bar{1})$ , vlakken. Door het verschil in ordening tussen de InGaP actieve laag en de eerste InAlGaP opsluitlaag is het verschil in bandgap tussen die lagen bij een straling-  
10 emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding relatief sterk vergroot hetgeen in een hoge  $T_0$  waarde resulteert. In het bijzonder voor deze toch nog relatief kortgolvlige diodelasers is een verhoging van de  $T_0$  van groot voordeel. Wanneer de eerste opsluitlaag van InAlGaP zoveel mogelijk ongeordend is en bijvoorbeeld 30 atoomprocenten  
15 aluminium bevat is de bandgap ongeveer 2.3 eV. Wanneer de actieve laag van InGaP vrij sterk geordend is kan de bandgap in plaats van ongeveer 1.94 eV dalen tot ongeveer 1.84 eV. Deze afname van 0.1 eV verhoogt het verschil in bandgap van 0.4 eV naar 0.5 eV hetgeen een toename is van ongeveer 25 %. Ook voor een geringere mate van ordening van de InGaP  
20 bevattende actieve laag die tussen de genoemde toestanden in ligt kan nog een aantrekkelijke verbetering van de  $T_0$  waarde optreden. Zo is voor een actieve laag van InGaP met een bandgap van 1.86 eV een  $T_0$  waarde van 130 K gevonden hetgeen veel gunstiger is dan voor de bekende diodelasers in dit materiaal systeem. Een bandgap waarde van 1.86 eV  
25 heeft bovendien het voordeel dat de golflengte van de emissie van de diodelaser nog relatief laag is: in plaats van ongeveer 650 nm bedraagt deze dan ongeveer 670 nm, hetgeen voor veel toepassingen een geschikte golflengte is. Opgemerkt wordt dat in het algemeen de golflengte van de emissie van een diodelaser ongeveer 10 nm hoger ligt dan de golflengte  
30 die in een photoluminescentie meting gevonden wordt. In een gunstige uitvoeringsvorm bevat het substraat galliumarsenide dat aan de onderzijde van een geleidende laag voorzien is, bevinden zich op de bovenste opsluitlaag achtereenvolgens een tussenlaag van indiumgalliumphosphide of aluminiumgalliumarsenide en een contactlaag van  
35 galliumarsenide, welke lagen van het tweede geleidingstype zijn, en omvat het halfgeleiderlichaam een aan zijn oppervlak grenzende mesavormige strook die ten minste de contactlaag bevat en die bedekt is

met een andere geleidende laag die zich uitstrekt tot buiten de mesavormige strook en daarbuiten een een barrière vormende overgang vormt met een daaronder gelegen laag. Deze uitvoeringsvorm heeft een uitstekende stroombegrenzing, een lage startstroom die ook een hoge  
5 bedrijfstemperatuur bevordert en is bovendien eenvoudig te vervaardigen.

Een eerste uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding, waarbij als binaire verbindingen III-V verbindingen gekozen worden, heeft het kenmerk dat als groeicondities de groeitemperatuur en de verhouding tussen de hoeveelheid aangeboden V-elementen en de  
10 hoeveelheid aangeboden III-elementen, hierna V/III verhouding genoemd, gekozen worden. Van de groeicondities die invloed hebben op de mate van ordening in een mengkristal, zoals de groeitemperatuur, de V/III verhouding en de groeisnelheid zijn de twee eerstgenoemde in de praktijk het meest geschikt gebleken. In een eerste variant worden de eerste  
15 opsluitlaag en de actieve laag bij een constante V/III verhouding aangebracht terwijl de eerste opsluitlaag bij een relatief hoge groeitemperatuur wordt aangebracht en de actieve laag bij een gebruikelijke groeitemperatuur wordt aangebracht. Hierdoor wordt de verdeling van elementen over het eerste subrooster in de eerste  
20 opsluitlaag in hoge mate willekeurig terwijl deze verdeling in de actieve laag vrij sterk geordend wordt. Hierdoor wordt het verschil in bandgap tussen deze lagen relatief groot, althans groter dan in de bekende werkwijze waarbij de lagen bij dezelfde temperatuur worden aangebracht. Voor InGaP en InAlGaP is een gebruikelijke groeitemperatuur  
25 ongeveer 700 °C. Gunstige resultaten zijn verkregen wanneer de eerste opsluitlaag bij ongeveer 760 °C en de actieve laag bij ongeveer 700 °C wordt aangebracht terwijl de V/III verhouding bij beide lagen op ongeveer 300 wordt gehouden. In een verdere variant wordt de eerste opsluitlaag bij een sterk verhoogde groeitemperatuur en een  
30 gebruikelijke V/III verhouding aangebracht en de actieve laag bij een enigszins verhoogde groeitemperatuur en bij een verhoogde V/III verhouding. Een lage V/III verhouding - bijvoorbeeld lager dan 100 - , zo is gebleken, geeft evenals een hogere groeitemperatuur een toenemende mater van wanorde. Door de groeitemperatuur tijdens het aanbrengen van  
35 de eerste opsluitlaag relatief sterk te verhogen ontstaat in de opsluitlaag een grotere mate van wanorde. Een verhoging van de V/III verhouding tijdens het groeien van de actieve laag bevordert het

9001193

geordend zijn daarvan. Het enigzins verhogen van de groeitemperatuur tijdens het aanbrengen van de actieve laag werkt wel contraproductief met betrekking tot het ordenen van die laag, echter het houdt het temperatuurverschil tussen de actieve laag en de eerste opsluitlaag

5 beperkt hetgeen een snelle en voor het interface tussen die laag en de eerste opsluitlaag veilige opwarming of afkoeling bevordert. Bij voorkeur wordt bij deze variant als groeitemperatuur voor de eerste opsluitlaag ongeveer 760 °C en voor de actieve laag ongeveer 730 °C gekozen, terwijl voor de V/III verhouding tijdens het groeien van de

10 actieve laag ongeveer 700 wordt gekozen. In een verdere variant worden de eerste opsluitlaag en de actieve laag bij dezelfde doch ten opzichte van de gebruikelijke enigzins verhoogde groeitemperatuur aangebracht terwijl tijdens het aanbrengen van de actieve laag de V/III verhouding verhoogd wordt. De verhoging van de V/III verhouding tijdens het groeien

15 van de actieve laag bevordert het geordend zijn daarvan. In dit geval wordt het verschil in ordening tussen de actieve en de eerste opsluitlaag dank zij de verhoging van de V/III verhouding tijdens het aanbrengen van de actieve laag verkregen. Het constant zijn van de groeitemperatuur heeft het voordeel dat opwarmen of afkoelen tijdens het

20 aangroeiproces niet nodig is. Bij voorkeur wordt bij deze variant als groeitemperatuur voor de eerste opsluitlaag en de actieve laag ongeveer 730 °C gekozen, terwijl voor de V/III verhouding tijdens het groeien van de actieve laag ongeveer 700 wordt gekozen. Bijzonder gunstige resultaten zijn verkregen wanneer bij de werkwijze volgens de uitvinding

25 MOVPE (= Metal Organic Vapour Phase Epitaxy) als aangroeitechniek voor de halfgeleiderlagen werd toegepast. De bufferlaag bevat bijvoorbeeld zoals de contactlaag 6 galliumarsenide, doch bij voorkeur galliumaluminiumarsenide met een aluminiumgehalte van ten minste ongeveer 6 at. % voor een eerste opsluitlaag die een vrij grote mate van

30 wanorde bezit en van ten minste ongeveer 9 at. % voor een eerste opsluitlaag een nagenoeg wanordelijke verdeling bezit. Hierdoor is het mogelijk dat de halfgeleiderlagen, met name de eerste opsluitlaag, bij een relatief hoge groeitemperatuur (bijvoorbeeld 730 °C voor een bufferlaag met ten minste 6 at. % aluminium en bijvoorbeeld 760 °C

35 voor een bufferlaag met ten minste 9 at. % aluminium) kunnen worden aangebracht terwijl de kristalliniteit en de morfologie van die lagen goed blijft. Voor nadere bijzonderheden met betrekking tot de bufferlaag

9001193



wordt verwezen naar een door aanvraagster gelijktijdig ingediende nederlands octrooiaanvraag die aangeduid wordt met PHN 13.335.

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

figuur 1 in dwarsdoorsnede een uitvoering van een straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding toont;

figuur 2 en 3 in dwarsdoorsnede de straling-emitterende halfgeleiderdiode van figuur 1 in opeenvolgende stadia van de  
10 vervaardiging;

figuur 4 de groeitemperatuur en de V/III verhouding als functie van de tijd gedurende gedurende de vervaardiging van het halfgeleiderlichaam van de straling-emitterende halfgeleiderdiode van figuur 1 in een eerste uitvoering van een werkwijze volgens de  
15 uitvinding;

figuur 5 de groeitemperatuur en de V/III verhouding als functie van de tijd gedurende gedurende de vervaardiging van het halfgeleiderlichaam van de straling-emitterende halfgeleiderdiode van figuur 1 in een tweede uitvoering van een werkwijze volgens de  
20 uitvinding;

figuur 6 de groeitemperatuur en de V/III verhouding als functie van de tijd gedurende gedurende de vervaardiging van het halfgeleiderlichaam van de straling-emitterende halfgeleiderdiode van figuur 1 in een derde uitvoering van een werkwijze volgens de  
25 uitvinding;

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  
30 aangeduid. Halfgeleidergebieden van hetzelfde geleidingstype zijn als regel in dezelfde richting gearceerd.

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  
35 aansluitgeleider 8 voorzien substraatgebied 1 van een eerste, hier het n-, geleidingstype en in dit voorbeeld bestaande uit éénkristallijn 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 onderste opsluitlaag 2, van het n-, geleidingstype, een actieve laag 3, en een bovenste opsluitlaag 4, van het tegengestelde, hier dus het p, geleidingstype. De actieve laag 3 en de eerste opsluitlaag, hier beide opsluitlagen (2,4), bevatten onderling verschillende halfgeleidermaterialen, hier respectievelijk InGaP en InAlGaP, die elk een mengkristal van ten minste twee, hier precies twee voor de actieve laag 3 en drie voor de eerste opsluitlaag (2,4), binaire verbindingen, hier InP, AlP en GaP, en met twee subroosters, namelijk twee f.c.c. roosters, waarin zich de atomen, hier enerzijds In-, Al- en Ga- atomen en anderzijds P- atomen, die de binaire verbindingen vormen, bevinden en waarbij op ten minste een van de subroosters, hier het subrooster waarop zich In-, Al-, en Ga-atomen bevinden, atomen van verschillende elementen, hier In- en Ga- atomen voor de actieve laag 3 en In-, Al- en Ga- atomen voor de eerste opsluitlaag (2,4), naast elkaar aanwezig zijn. Volgens de uitvinding is de verdeling van de atomen van verschillende elementen, hier In- en Ga- atomen voor de actieve laag 3 en In-, Al- en Ga- atomen voor de eerste opsluitlaag (2,4), over het eerste subrooster, hier het f.c.c. rooster van de III-elementen, in de actieve laag 3 meer geordend dan in de in de eerste opsluitlaag, hier zowel de onderste 2 als de bovenste 4 opsluitlaag, en resulteert de meer geordende verdeling, voor het halfgeleidermateriaal van de actieve laag 3, hier InGaP, in een verlaagde bandgap. In dit voorbeeld is in de eerste opsluitlaag (2,4) de verdeling van de atomen van verschillende elementen over het eerste subrooster nagenoeg random terwijl binnen de actieve laag 3 de verdeling van de atomen van verschillende elementen over het eerste subrooster meer geordend is. Hierdoor wordt volgens de uitvinding het verschil in bandgap tussen de actieve laag 3 en de eerste opsluitlaag (2,4) relatief groot. Dit heeft tot gevolg dat bij de halfgeleiderdiode volgens de uitvinding de temperatuurafhankelijkheid van de startstroom relatief gering is waardoor deze een hoge maximale bedrijfstemperatuur bezit terwijl de golflengte van de emissie, ongeveer 670 nm nog in het zichtbaar deel van het spectrum licht. Voor de diode van dit voorbeeld werd een  $T_0$  waarde gevonden van 130 K bij een golflengte van de emissie van 670 nm. Voor vergelijkbare laserdioden waarbij de actieve laag 3 en de eerste opsluitlaag (2,4) beiden

9001193

ongeordend zijn was de  $T_0$  waarde 110 K. Voor 50  $\mu\text{m}$  brede lasers zijn de gevonden  $T_0$  waarden respectievelijk 110 K en 90 K. Voor beide breedtes van het actieve gebied heeft een halfgeleiderdiodelaser volgens de uitvinding een belangrijk hogere  $T_0$  waarde dan de bekende

5 halfgeleiderdiodelaser. Boven de bovenste opsluitlaag bevinden zich een tussenlaag 5, van het tegengestelde, hier dus het p-, geleidingstype en hier van indiumgalliumphosphide en een contactlaag 6 eveneens van het tegengestelde, hier dus het p-, geleidingstype, en hier van galliumarsenide welke een mesavormige strook 12 vormt. Over deze

10 mesavormige strook is een geleidende laag 7 aangebracht die met de daaronder gelegen tussenlaag 5 buiten de mesavormige strook 12 een een barrière vormende overgang vormt. Hierdoor ontstaan in het halfgeleiderlichaam twee strookvormige gebieden 14 en 15 waar beneden een bepaalde spanning geen of nagenoeg geen stroom door loopt, wanneer

15 de geleidende lagen 7 en 8 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 electromagnetische straling. Aangezien de geleidende

20 laag 7 een goed elektrisch 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 gain-guided type. In verband met de uitvoering als diodelaser wordt de mesavormige strook 12 loodrecht op de

25 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 strookvormige gebied 13 in de actieve laag 3 een trilholte voor de opgewekte straling. De tussenlaag 5 die

30 materiaal met een bandgap bevat gelegen tussen die van de bovenste opsluitlaag 4 en de contactlaag 6 dient er enerzijds toe om bij een relatief groot verschil in bandgap tussen deze lagen dit verschil in twee ongeveer even grote stappen te verdelen waardoor de stroomspannings karakteristiek van de diode bevorderd wordt en anderzijds om

35 buiten het strookvormige gebied 12 een zo goed mogelijke een barrière vormende overgang met de geleidende laag 7 te vormen. De bufferlaag bevat bijvoorbeeld zoals de contactlaag 6 galliumarsenide, doch bij

9001193

voorkeur galliumaluminiumarsenide met een aluminiumgehalte dat ten minste gelijk is aan bij de bandgap van de eerste opsluitlaag behorende minimale waarde. In dit voorbeeld bedraagt het aluminiumgehalte van de bufferlaag ongeveer 25 at. %. De eerste opsluitlaag kan een zeer

5 geringe mate van ordening bezitten omdat deze laag dankzij een dergelijke bufferlaag bij een relatief hoge temperatuur aangebracht kan worden terwijl toch goede kristallijne en morfologische eigenschappen verkregen worden. In dit voorbeeld zijn de volgende samenstellingen, doteringen en diktes voor de diverse halfgeleiderlagen toegepast.

10	Laag	Halfgeleider	Type	Doterings- concentr. (at/cm <sup>3</sup> )	Dikte (µm)	Bandgap
	1	GaAs (substrate)	N	$2 \times 10^{18}$	350	1,4
	11	$\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$	N	$2 \times 10^{18}$	0,1	1,7
15	2	$\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,2}\text{P}$	N	$2 \times 10^{18}$	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	$4 \times 10^{17}$	0,8	2,3
	5	$\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P}$	P	$1 \times 10^{18}$	0,1	1,9
	6	GaAs	P	$2 \times 10^{18}$	0,5	1,4

20 De breedte van de mesavormige strook 12 is ongeveer 5 of 50 µm. De geleidende laag 8 op het substraat 1 is in dit voorbeeld een goud-germanium-nikkellaag, met een dikte van ongeveer 1000 Å. De geleidende laag 7 is in dit voorbeeld een platina-, een tantaal- en een goudlaag laag met een dikte van respectievelijk ongeveer 1000, ongeveer

25 500 en ongeveer 2500 Å.

De beschreven straling-emitterende halfgeleiderdiode wordt volgens de uitvinding als volgt vervaardigd (zie fig. 2 en 3). Uitgegaan wordt van een (001) substraat 1 van éénkristallijn n-type galliumarsenide met een doteringsconcentratie van  $2 \times 10^{18}$  atomen per

30  $\text{cm}^3$  en een dikte van bijvoorbeeld 350 µm. Na polijsten en etsen van het oppervlak wordt hierop 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 AlGaAs met een aluminium gehalte van 20 atoomprocenten en een doteringsconcentratie van

35 ongeveer  $2 \times 10^{18}$  atomen per  $\text{cm}^3$ , een 0,8 µm dikke laag 2 van n-type  $\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,30}\text{Ga}_{0,20}\text{P}$  met een doteringsconcentratie van ongeveer  $2 \times 10^{18}$  atomen per  $\text{cm}^3$ , een 0,08 µm dikke laag 3 van

$\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$ , een 0,8  $\mu\text{m}$  dikke laag 4 van p-type  
 $\text{In}_{0,5}\text{Al}_{0,30}\text{Ga}_{0,20}\text{P}$  met een doteringsconcentratie van ongeveer  
 $4 \times 10^{17}$  atomen per  $\text{cm}^3$ , een 0,08  $\mu\text{m}$  dikke laag 5 van p-type  
 $\text{In}_{0,49}\text{Ga}_{0,51}\text{P}$  met een doteringsconcentratie van  $1 \times 10^{18}$  atomen per  
5  $\text{cm}^3$ , en een 0,5  $\mu\text{m}$  dikke laag 6 van p-type GaAs met een dotering van  
ongeveer  $1 \times 10^{18}$  atomen per  $\text{cm}^3$ . Hierop wordt een 1  $\mu\text{m}$  dikke  
maskeringslaag 10 aangebracht bijvoorbeeld van photolak in de vorm van  
een strook waarvan de lengte as loodrecht staat op het vlak van tekening  
van fig. 2 die een schematische dwarsdoorsnede van de resulterende  
10 structuur bevat. Bij de werkwijze volgens de uitvinding worden voor de  
actieve laag 3 en voor ten minste een van de opsluitlagen (2,4), verdere  
eerste opsluitlaag genoemd, onderling verschillende  
halfgeleidermaterialen, hier InGaP voor de actieve laag 3 en InAlGaP  
voor de eerste opsluitlaag (2,4), gekozen die elk een mengkristal van  
15 ten minste twee binaire, hier InP en GaP voor de actieve laag 3 en InP,  
AlP en GaP, bevatten met twee subroosters, namelijk twee f.c.c.  
roosters, waarin zich de atomen, hier enerzijds In-, Al- en Ga- atomen  
en anderzijds P- atomen, die de binaire verbindingen vormen, bevinden en  
waarbij op ten minste een van de subroosters, hier het subrooster waarop  
20 zich In-, Al-, en Ga-atomen bevinden, atomen van verschillende  
elementen, hier In- en Ga- atomen voor de actieve laag 3 en In-, Al- en  
Ga- atomen voor de eerste opsluitlaag (2,4), naast elkaar aanwezig  
zijn. Volgens de uitvinding worden de groeicondities tijdens het  
aanbrengen van de eerste opsluitlaag (2,4) en van de actieve laag 3  
25 zodanig gekozen dat de atomen van verschillende elementen op het eerste  
subrooster worden aangebracht in de actieve laag 3 met een meer  
geordende verdeling dan in de eerste opsluitlaag (2,4) waardoor de  
bandgap van het halfgeleidermateriaal van de actieve laag, hier van  
InGaP, wordt verlaagd. In de werkwijze volgens de uitvinding van dit  
30 voorbeeld wordt dit bereikt door de groeitemperatuur als zo'n  
groeiconditie te gebruiken: tijdens het groeien van de eerste  
opsluitlaag (2,4), hier beide opsluitlagen, wordt de groeitemperatuur  
 $T_g$  op een hogere dan de gebruikelijke temperatuur ingesteld, namelijk  
op ongeveer 760 °C, terwijl tijdens het groeien van de actieve laag 3  
35 een gebruikelijke temperatuur van ongeveer 700 °C ingesteld wordt.  
Gedurende het groeien van zowel de actieve laag 3 als de eerste  
opsluitlaag (2,4) wordt de V/III verhouding constant gehouden. In fig. 4

zijn de groeitemperatuur en de V/III verhouding weergegeven als functie van de tijd gedurende gedurende de vervaardiging van het halfgeleiderlichaam van de straling-emitterende halfgeleiderdiode van dit voorbeeld in een eerste uitvoering van een werkwijze volgens de  
5 uitvinding. De tijdstippen  $t_2$  en  $t_3$  op de horizontale (tijds) as markeren het begin en het einde van het groeien van de de onderste opsluitlaag 2, de overeenkomstige tijdstippen voor de bovenste opsluitlaag 4 zijn  $t_4$  en  $t_5$  en voor de actieve laag 3 zijn deze tijdstippen  $t_3$  en  $t_4$ . De gearceerde curve 20 geeft het verloop weer  
10 van de groeitemperatuur die op de linker verticale as wordt afgelezen. De getrokken curve 21 geeft het verloop weer van de V/III verhouding die op de rechter verticale as wordt weergegeven. Dankzij de relatief hoge groeitemperatuur tijdens het groeien van de eerste opsluitlaag (2,4) is de verdeling van de atomen van verschillende elementen, hier In, Al en  
15 Ga, over het eerste subrooster, nagenoeg willekeurig waardoor de bandgap van het halfgeleidermateriaal van de eerste opsluitlaag (2,4) relatief groot is. Tijdens het groeien van de actieve laag 3 ontstaat door de relatief lage groeitemperatuur een ordening in het halfgeleidermateriaal van die laag. Hierdoor wordt met deze uitvoeringsvorm van de werkwijze  
20 volgens de uitvinding een relatief groot verschil in bandgap tussen de eerste opsluitlaag (2,4) en de actieve laag 3 verkregen waardoor de straling-emitterende halfgeleiderdiode van dit voorbeeld de bovengenoemde gunstige eigenschappen heeft. Als aangroeitechniek kunnen ook andere aangroeitechnieken zoals VPE (=Vapor Phase Epitaxy) of MBE  
25 (=Molecular Beam Epitaxy) gekozen worden.

Vervolgens wordt in de halfgeleiderlagenstructuur van fig. 2 een mesavormige strook 12 geëtst (zie fig. 3) waarbij de GaAs contactlaag 6 verwijderd wordt met behulp van een etsmiddel dat  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  bevat in de verhouding 2 : 1 : 50, waarvan de  
30 etssnelheid bij kamer temperatuur ongeveer  $0,7 \mu\text{m}/\text{min}$  is. Hierbij fungeert de onderliggende  $\text{In}_{0,50}\text{Ga}_{0,50}\text{P}$  tussenlaag 5 als etsstoplaag. Na verwijderen van het masker 10 en nadat de aldus verkregen structuur gereinigd is, wordt op het substraat 1 door middel van bijvoorbeeld sputteren een geleidende laag 8 bijvoorbeeld bestaande uit  
35 een goud-germanium-nikkellaag met een dikte van ongeveer  $1000 \text{ \AA}$  (zie fig. 1). Tenslotte wordt bijvoorbeeld met dezelfde techniek over de bovenzijde van de structuur een geleidende laag 7 bijvoorbeeld bestaande

9001193

uit een platina-, een tantaal- en een goudlaag waarvan de dikte respectievelijk ongeveer 1000, ongeveer 500 en ongeveer 2500 Å bedraagt, aangebracht. Na klieven van het substraat op algemeen gebruikelijke wijze zijn de individuele straling-emitterede  
5 halfgeleiderdioden - in dit geval diodenlasers van het index-guided type - voor afmontage beschikbaar.

De figuren 5 en 6 tonen analoog aan fig. 4 de  
groei temperatuur  $T_g$  en de V/III verhouding als functie van de tijd gedurende de vervaardiging van het halfgeleiderlichaam van de straling-  
10 emitterende halfgeleiderdiode van fig. 1 in twee verdere uitvoeringen van de werkwijze volgens de uitvinding. Bij de uitvoering waarmee fig. 5 correspondeert worden de opsluitlagen 2,4 bij een relatief hoge temperatuur van bijvoorbeeld 760 °C gegroeid terwijl de actieve laag 3 bij een enigzins verhoogde temperatuur van ongeveer 730 °C wordt  
15 gegroeid. Hierdoor ontstaat een verschil in ordening zoals bij de werkwijze die met fig. 4 correspondeert, zij het dat het verschil in ordening tengevolge van de groei temperatuur geringer is daar het temperatuurverschil geringer is. Dit laatste heeft echter het voordeel dat het overschakelen in temperatuur tussen de actieve laag 3 en de  
20 opsluitlagen 2 en 4 sneller plaats kan vinden hetgeen de kwaliteit van de interfaces tussen de actieve laag 3 en de opsluitlagen 2 en 4 bevordert. Ter verhoging van het verschil in ordening wordt bij deze uitvoering tevens de V/III verhouding gebruikt als groeiconditie waarmee de ordening beïnvloed wordt. Tijdens het groeien van de actieve laag 3  
25 wordt een V/III verhouding van ongeveer 700 ingesteld waardoor de ordening in de actieve laag bevorderd wordt. Bij de opsluitlagen 2,4 wordt een V/III verhouding van ongeveer 300 gebruikt. Bij de uitvoering waarmee fig. 6 correspondeert worden zowel de opsluitlagen 2,4 als de actieve laag 3 bij een enigzins verhoogde groei temperatuur van  
30 bijvoorbeeld 730 °C gegroeid. Dit heeft het voordeel dat de temperatuur tussen de actieve laag 3 en de opsluitlagen 2 en 4 niet veranderd hoeft te worden waardoor de kwaliteit van de interfaces tussen de actieve laag 3 en de opsluitlagen 2 en 4 optimaal is. Om een verschil in ordening te realiseren tussen de eerste opsluitlaag (2,4) en de  
35 actieve laag 3 wordt bij deze variant slechts de V/III verhouding als groeiconditie gebruikt. Tijdens het groeien van de actieve laag 3 wordt een V/III verhouding van ongeveer 700 ingesteld, terwijl bij de

9001193

opsluitlagen 2,4 een V/III verhouding van ongeveer 300 gebruikt. De V/III verhouding die bepaald wordt door de grootte van de gasstromen van V-elementen of verbindingen daarvan en van III-elementen of verbindingen daarvan kan zeer snel op een andere waarde worden ingesteld waardoor het  
5 aangroeiproces praktisch continu plaats kan blijven vinden hetgeen de kwaliteit van de interfaces bevordert.

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  
10 andere halfgeleidermaterialen of andere samenstellingen van de gekozen halfgeleidermaterialen dan de in de voorbeelden genoemde worden toegepast. Hierbij kan ook gedacht worden aan II-VI materialen en mengkristallen daarvan waarmee emissie in het blauwe deel van het spectrum mogelijk is. Ook kunnen de geleidingstypen alle (tegelijk) door  
15 hun tegengestelde worden vervangen.

Al naar gelang de toepassing kan voor een LED uitvoering of een laser uitvoering van een straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens de uitvinding gekozen worden. Hoewel de begrippen startstroom en met name  $T_0$  waarde over het algemeen slechts bij laserdioden worden  
20 gebruikt om onder meer de maximale bedrijfstemperatuur te karakteriseren, kan de uitvinding ook met voordeel bij een LED worden toegepast, met name bij een zogenaamde super-radiant LED. Binnen de laseruitvoering kan zowel een gain-guided als een index-guided structuur worden toegepast. Tenslotte moet nog gezegd worden dat de in de  
25 uitvoeringsvoorbeelden gezigde methoden om de halfgeleiderlagen aan te brengen ook een andere dan de MOVPE techniek kan zijn. Zo kan behalve MOVPE ook MBE (= Molecular Beam Epitaxy) of VPE (= Vapour Phase Epitaxy) worden toegepast.



Conclusies:

1. Straling-emitterende halfgeleiderdiode omvattende een halfgeleiderlichaam met een halfgeleidersubstraat van een eerste geleidingstype waarop zich achtereenvolgens ten minste bevinden een onderste opsluitlaag van het eerste geleidingstype, een actieve laag en  
5 een bovenste opsluitlaag van een tweede geleidingstype, waarbij de actieve laag en ten minste een van de opsluitlagen, hierna eerste opsluitlaag genoemd, onderling verschillende halfgeleidermaterialen bevatten die elk een mengkristal omvatten van ten minste twee binaire verbindingen met twee subroosters, waarbij op ten minste een van de  
10 subroosters, hierna eerste subrooster genoemd, atomen van verschillende elementen naast elkaar aanwezig zijn, met het kenmerk, dat de verdeling van de atomen van verschillende elementen over het eerste subrooster in de actieve laag meer geordend is dan in de eerste opsluitlaag en de meer geordende verdeling ten minste voor het halfgeleidermateriaal van de  
15 actieve laag resulteert in een verlaagde bandgap.
2. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens conclusie 1, waarbij de twee subroosters van het face centred cube type zijn, met het kenmerk, dat de verdeling van de atomen van verschillende elementen over het eerste subrooster in de eerste opsluitlaag nagenoeg volledig  
20 willekeurig (random) is terwijl deze verdeling in de actieve laag meer geordend is.
3. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens conclusie 1 of 2, waarbij de binaire verbindingen III-V verbindingen zijn, met het kenmerk, dat de actieve laag indiumgalliumphosphide (InGaP) of  
25 indiumaluminiumgalliumphosphide (InAlGaP) bevat en de opsluitlagen indiumaluminiumgalliumphosphide (InAlGaP) met een hoger aluminiumgehalte dan de actieve laag of indiumaluminiumphosphide (InAlP) bevatten.
4. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens conclusie 3, met het kenmerk, dat het substraat galliumarsenide bevat en aan de  
30 onderzijde van een geleidende laag voorzien is, zich op de bovenste opsluitlaag achtereenvolgens een tussenlaag van indiumgalliumphosphide of aluminiumgalliumarsenide en een contactlaag van galliumarsenide bevinden, welke lagen van het tweede geleidingstype zijn, en het halfgeleiderlichaam een aan zijn oppervlak grenzende mesavormige strook  
35 omvat die ten minste de contactlaag bevat en die bedekt is met een andere geleidende laag die zich uitstrekt tot buiten de mesavormige strook en daarbuiten een een barrière vormende overgang vormt met een

daaronder gelegen laag.

5. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens conclusie 3 of 4, met het kenmerk, dat zich tussen het substraat en de onderste opsluitlaag een bufferlaag van aluminiumgalliumarsenide (AlGaAs) bevindt  
5 waarbij het aluminium gehalte van de bufferlaag ten minste een bij de ordening van de eerste opsluitlaag behorend minimale waarde heeft.
6. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat het aluminiumgehalte in de bufferlaag ten minste ongeveer 6 atoomprocenten bedraagt.
- 10 7. Straling-emitterende halfgeleiderdiode volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat het aluminiumgehalte in de bufferlaag ten minste ongeveer 9 atoomprocenten bedraagt.
8. Werkwijze ter vervaardiging van een straling-emitterende diode volgens conclusie 1, waarbij op een halfgeleidersubstraat van een  
15 eerste geleidingstype achtereenvolgens ten minste een onderste opsluitlaag van het eerste geleidingstype, een actieve laag en een bovenste opsluitlaag van een tweede geleidingstype worden aangebracht, waarbij voor de actieve laag en voor ten minste een van de opsluitlagen, hierna eerste opsluitlaag genoemd, onderling verschillende  
20 halfgeleidermaterialen gekozen worden die elk een mengkristal bevatten van ten minste twee binaire verbindingen met twee subroosters, waarbij op ten minste een subrooster, hierna eerste subrooster genoemd, atomen van verschillende elementen aangebracht worden, met het kenmerk, dat de groeicondities tijdens het aanbrengen van de eerste opsluitlaag en van  
25 de actieve laag zodanig gekozen worden dat de atomen van verschillende elementen op het eerste subrooster worden aangebracht met een meer geordende verdeling in de actieve laag dan in de eerste opsluitlaag en de bandgap van de verschillende halfgeleidermaterialen door de meer geordende verdeling wordt verlaagd.
- 30 9. Werkwijze volgens conclusie 8, waarbij als binaire verbindingen III-V verbindingen gekozen worden, met het kenmerk, dat als groeicondities de groeitemperatuur en de verhouding tussen de hoeveel aangeboden V-elementen en de hoeveelheid aangeboden III-elementen, hierna V/III verhouding genoemd, gekozen worden.
- 35 10. Werkwijze volgens conclusie 9, met het kenmerk, dat de actieve laag van indiumgalliumphosphide (InGaP) of van indiumaluminiumgalliumphosphide (InAlGaP) en de opsluitlagen van

indiumaluminiumgalliumphosphide (InAlGaP) vervaardigd worden.

11.           Werkwijze volgens conclusie 9 of 10, met het kenmerk, dat de eerste opsluitlaag en de actieve laag bij een constante V/III verhouding aangebracht worden terwijl de eerste opsluitlaag bij een  
5   relatief hoge groeitemperatuur en de actieve laag bij een gebruikelijke groeitemperatuur wordt aangebracht.
12.           Werkwijze volgens conclusie 11, met het kenmerk, dat de eerste opsluitlaag bij ongeveer 760 °C en de actieve laag bij ongeveer 700 °C wordt aangebracht, terwijl de V/III verhouding op ongeveer 300  
10   gehouden wordt.
13.           Werkwijze volgens conclusie 9 of 10, met het kenmerk, dat de eerste opsluitlaag bij een verhoogde groeitemperatuur en een gebruikelijke V/III verhouding wordt aangebracht en de actieve laag bij een enigzins verhoogde groeitemperatuur en bij een verhoogde V/III  
15   verhouding wordt aangebracht.
14.           Werkwijze volgens conclusie 13, met het kenmerk, dat de eerste opsluitlaag bij 760 °C en bij een V/III verhouding van ongeveer 300 wordt aangebracht en de actieve laag bij 730 °C en bij een V/III verhouding van ongeveer 700 wordt aangebracht.
- 20 15.           Werkwijze volgen conclusie 9 of 10, met het kenmerk, dat de eerste opsluitlaag en de actieve laag bij constante doch ten opzichte van de gebruikelijke enigzins verhoogde groeitemperatuur aangebracht worden terwijl tijdens het aanbrengen van de actieve laag de V/III verhouding verhoogd wordt.
- 25 16.           Werkwijze volgens conclusie 15, met het kenmerk, dat voor de groeitemperatuur ongeveer 730 °C   gekozen wordt en voor de V/III verhouding tijdens het aanbrengen van de actieve laag ongeveer 700 gekozen wordt.
- 30 17.           Werkwijze volgens een der conclusies 8 t/m 16, met het kenmerk, dat de eerste opsluitlaag en de actieve laag met behulp van MOVPE worden aangebracht en als orientatie voor het substraat de (001) orientatie gekozen wordt.

9 0 0 1 1 9 3

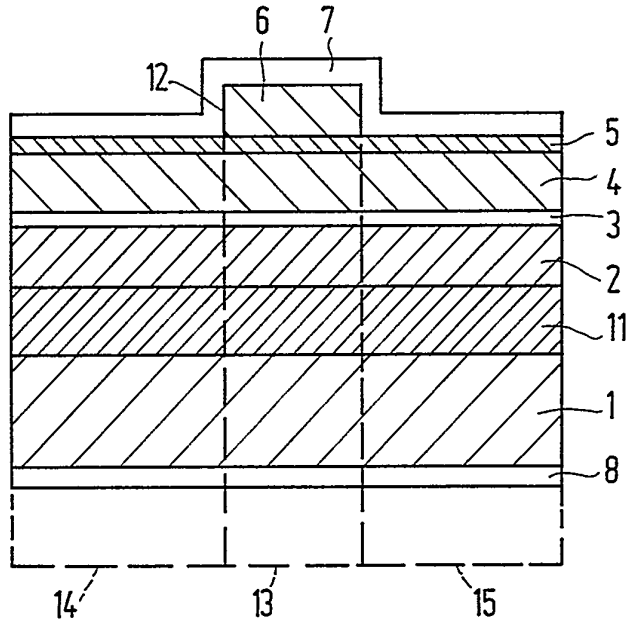


FIG.1

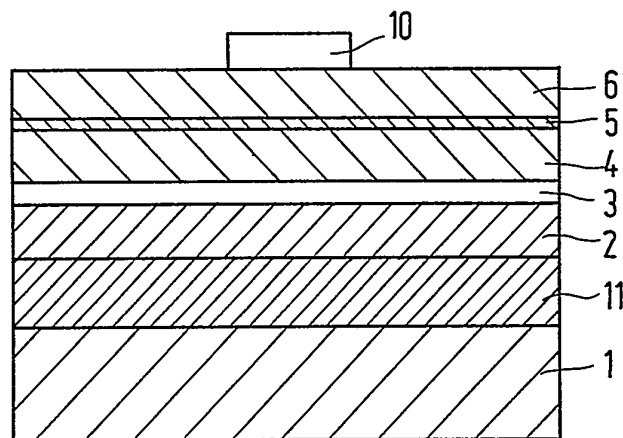


FIG.2

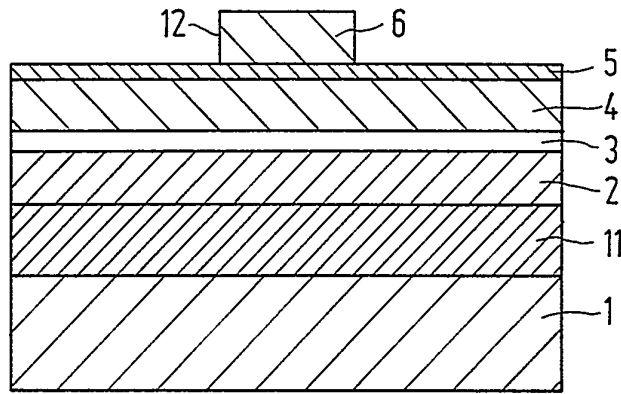


FIG.3

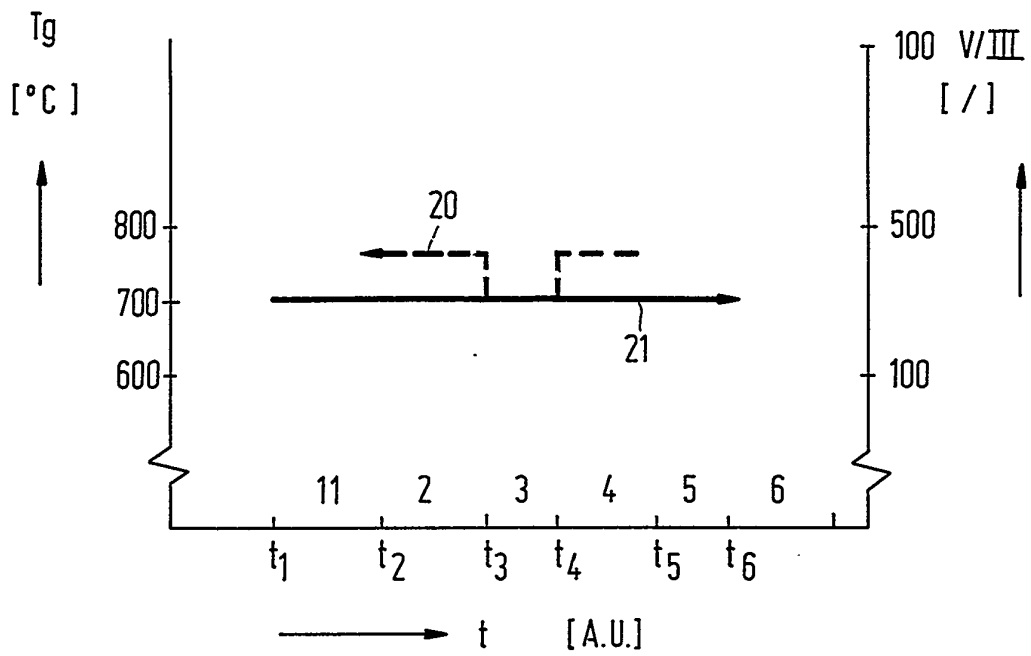


FIG.4

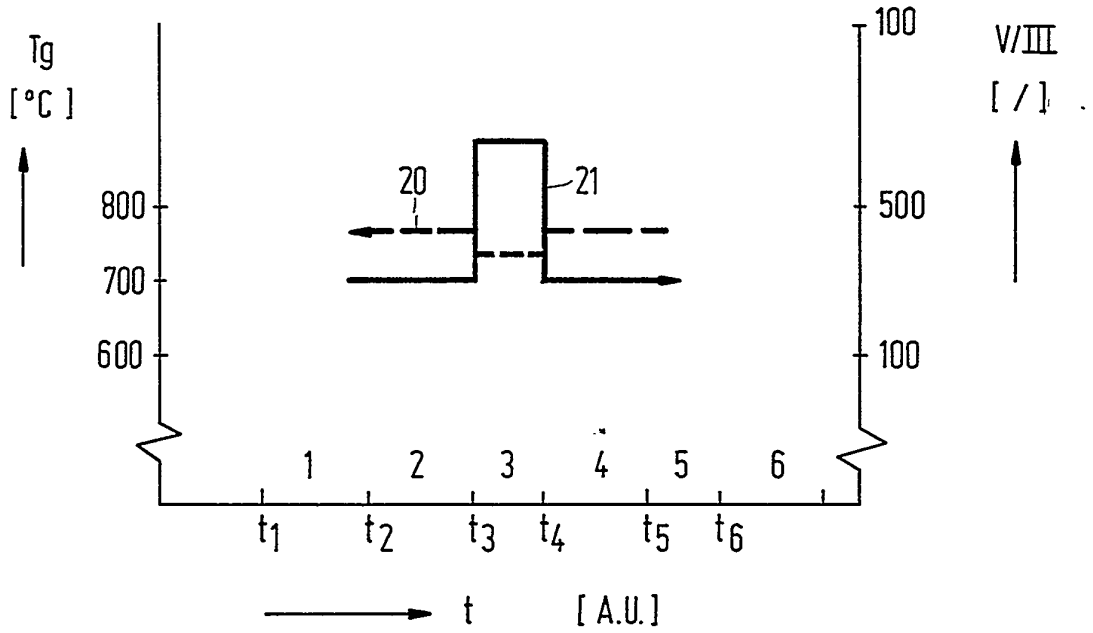


FIG. 5

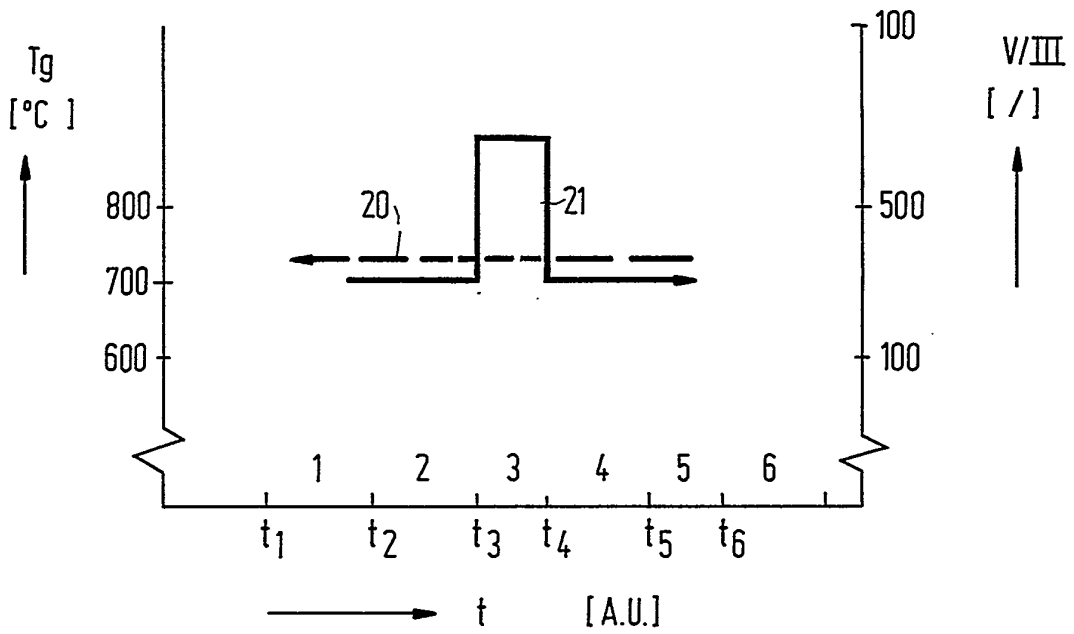


FIG. 6