



⑫ A **Terinzagelegging** ⑪ **8501769**

Nederland

⑲ NL

- 
- ⑤4 **Bipolaire heterojunctie-transistor en werkwijze voor de vervaardiging daarvan.**
- ⑤1 Int.Cl.: H01L 29/16, H01L 29/167, H01L 21/265, H01L 21/223, H01L 29/72, H01L 21/205.
- ⑦1 Aanvrager: IMEC (Interuniversitair Micro-Electronica Centrum) VZW te Leuven, België.
- ⑦4 Gem.: Ir. R. Hoijtink c.s.  
Octroobureau Arnold & Siedsma  
Sweelinckplein 1  
2517 GK 's-Gravenhage.

- 
- ②1 Aanvraag Nr. 8501769.
- ②2 Ingediend 19 juni 1985.
- ③2 Voorrang vanaf 2 oktober 1984.
- ③3 Land van voorrang: Nederland (NL).
- ③1 Nummer van de voorrangsaanvraag: 8403005 .
- ⑥2 --

- 
- ④3 Ter inzage gelegd 1 mei 1986.

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

---

Bipolaire heterojunctie-transistor en werkwijze voor de ver-  
vaardiging daarvan.

-----

De uitvinding betreft een bipolaire heterojunctie-transistor, omvattende respectievelijk emitter, basis en collector vormende lagen.

Bij een bipolaire homojunctie-transistor, waarbij met 5 behulp van diffusie bij hoge temperatuur, bijvoorbeeld  $900^{\circ}\text{C}$  een de emitter vormende laag op een substraat wordt aangebracht, neemt bij een grote verontreinigingsdichtheid  $N$ , bijvoorbeeld  $3 \cdot 10^{20}$  atomen/cm<sup>3</sup>, de bandafstand in de de emitter vormende laag, in monokristallijn silicium met een kleine 10 verontreinigingsdichtheid ongeveer 1,1 eV, af tot ongeveer 0,9 eV. Voor het verkrijgen van een hoge stroomversterkingsfactor  $\beta$ , dat wil zeggen de verhouding tussen collectorstroom  $I_C$  en basisstroom  $I_B$  bij gebruik van de bipolaire homojunctie-transistor, is voor het verkrijgen van een grote collec- 15 torstroom  $I_C$  een bovengenoemde grote verontreinigingsdichtheid  $N$  noodzakelijk. Door het afnemen van de bandafstand in de de emitter vormende laag, neemt echter de basisstroom toe en wordt de factor  $\beta$  ongunstig beïnvloed.

De uitvinding heeft ten doel een bipolaire heterojunctie-transistor te verschaffen, die een grote collectorstroom 20  $I_C$  koppelt aan een kleine basisstroom  $I_B$ .

Dit doel wordt bereikt, doordat de de emitter vormende laag in hoofdzaak uitgedoteerd en gehydrogeneerd halfgeleidermateriaal tenminste gedeeltelijk in amorfe vorm bestaat, 25 waarbij omwille van de grotere bandafstand in amorf silicium, een heterojunctie-transistor gevormd wordt.

Een bipolaire heterojunctie-transistor met een hoge  $\beta$  is bekend uit de III-V technieken (dat wil zeggen een combinatie van drie- en vijfwaardige elementen, bijvoorbeeld 30 GaAs), in het bijzonder door het toepassen van de AlGaAs-GaAs junctie, waarbij AlGaAs een bandafstand van 2,3 eV vertoont.

Deze III-V-transistor wordt gevormd door middel van een epitaxiale laag van AlGaAs op GaAs. Deze techniek is moeilijk te beheersen en kostbaar.

Een bipolaire heterojunctie-transistor in de silicium-technologie met een grote factor  $\beta$  is de SIPOS-techniek, waarbij de de emitter vormende laag zodanig wordt gevormd uit een  $N_2-SiH_4-N_2O-PH_3$  damp bij ongeveer  $650^\circ C$ , dat een met fosfor gedoteerde Si-SiO<sub>2</sub>-polykristallijne structuur ontstaat. Vervolgens wordt dit materiaal voor het verlagen van de toestanddichtheid aan het junctieoppervlak ontlaten bij een temperatuur van  $900^\circ C$  in een H<sub>2</sub>-omgeving, waarna het een bandafstand van 1,5 eV vertoont.

10 Nadeel van deze techniek is, dat door het ontlaten bij hoge temperatuur fosfor in de basislaag diffundeert en de nauwkeurig gedefinieerde emitter-basis-junctie verstoort, en zodoende de overgang tussen de bandafstand in de de emitter vormende laag en de bandafstand in de de basis vormende laag 15 minder scherp maakt. Voorts vertoont een dergelijke transistor een grote emitterweerstandswaarde vanwege de isolerende werking van SiO<sub>2</sub>.

Bij de transistor volgens de uitvinding is de resistiviteit van de de emitter vormende laag 1-10  $\Omega$  cm, hetgeen met 20 behulp van de SIPOS-techniek niet haalbaar is.

Een verder voordeel van de bipolaire heterojunctie-transistor volgens de uitvinding is dat het gedoteerde en gehydrogeneerde halfgeleidermateriaal, dat tenminste gedeeltelijk in amorse vorm is, niet op zichzelf bij een hoge temperatuur 25 behoeft te worden aangebracht, hetgeen het voordeel heeft dat bij een lagere temperatuur de voorheen aangebrachte de basis vormende laag minder door de de emitter vormende laag wordt verstoord, zodat de de basis vormende laag met een dikte van minder dan ongeveer 0,5  $\mu m$  kan worden aangebracht, 30 zodat de transistor volgens de uitvinding zeer geschikt is om bij hoge frequenties te worden gebruikt.

Bij voorkeur wordt voorts de werkwijze voor het vervaardigen van een bipolaire heterojunctie-transistor volgens de uitvinding gekenmerkt doordat de de emitter vormende laag 35 bij een temperatuur van ten hoogste  $450^\circ C$  door middel van een plasma, dat ionen of radicalen van halfgeleidermateriaal, van doteringsmateriaal en van waterstof omvat, zodanig op de de basis vormende laag wordt aangebracht, dat de de emitter vor-

8501769

mende laag in hoofdzaak uit gedoteerd en gehydrogeneerd halfgeleidermateriaal in microkristallijne vorm bestaat. Microkristallijn halfgeleidermateriaal betekent, dat in hoofdzaak-  
lijk amorfe halfgeleidermateriaal uiterst kleine kristallijne  
5 gebieden gevormd zijn. Dit wordt bereikt doordat in afhanke-  
lijkheid van de geometrie van een kamer, waarin de werkwijze  
volgens de uitvinding wordt toegepast, de druk in de kamer en  
het aan het plasma toegevoerde vermogen een vooraf bepaalde  
waarde wordt toegekend. Door deze voorkeurswerkwijze volgens  
10 de uitvinding is het mogelijk bij een temperatuur van 450°C  
met behulp van sinteren op normale bekende wijze contacten  
aan de bipolaire heterojunctie-transistor volgens de uitvin-  
ding aan te brengen, zodat de contactweerstand zo gering  
mogelijk gemaakt kunnen worden, hetgeen van belang is bij het  
15 toepassen van de transistor volgens de uitvinding bij grote  
stromen en hoge frequenties.

Nadere bijzonderheden en kenmerken van de uitvinding  
worden beschreven aan de hand van een tekening.

In de tekening tonen:

- 20 fig. 1 een schematische voorstelling van een bipolaire  
heterojunctie-npn-transistor volgens de uitvinding,  
fig. 2 een schematisch aanzicht in doorsnede van een  
toestel voor het uitvoeren van de werkwijze volgens de uit-  
vinding,  
25 fig. 3 een schematische voorstelling van overgang van  
bandafstand bij de emitter-basis-junctie,  
fig. 4 een grafiek van het gedrag voor kleine stroom-  
waarden van een npn-transistor volgens de uitvinding,  
fig. 5 een grafiek van het gedrag voor grote stroom-  
30 waarden van een npn-transistor volgens de uitvinding,  
fig. 6 een grafiek van de stroomversterkingsfactor  $\beta$ ,  
uitgezet tegen het Basisgummelgetal GG,  
fig. 7 een sterk vergroot bovenaanzicht van de bipo-  
laire heterojunctie-transistor van fig. 1, en  
35 fig. 8 een doorsnede over de lijn VIII-VIII van fig. 7.  
Een npn-transistor 1 volgens de uitvinding (fig. 7,8)  
wordt gevormd door een van een emittercontact 5 voorziene, de  
emitter vormende laag 2, die uit met fosfor gedoteerd en ge-

hydrogeneerd silicium in amorge of microkristallijne vorm be-  
staat, een met acceptoren gedoteerde, van een basiscontact 7  
voorzien, de de basis vormende laag 3 van monokristallijn  
silicium en een met donoren gedoteerde, van een collectorcon-  
5 tact 6 voorzien, de de collector vormende laag 3 van mono-  
kristallijn silicium. De dikte D (fig. 8) kan bijvoorbeeld  
slechts enkele tienden micrometer groot zijn. De stroomver-  
sterkingsfactor  $\beta$  is gedefinieerd als volgt:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_N}{I_P} ,$$

10 waarin  $I_N$  de absolute waarde van de electronenstroom vanaf  
emitter tot in de collector is,  $I_P$  de grootte van de gaten-  
stroom van basis tot in de emitter,  $I_C$  de grootte van de col-  
lectorstroom en  $I_B$  de grootte van de basisstroom voorstelt.  
Het tweede =-teken geldt slechts, indien de basisrecombinatie  
15 verwaarloosbaar is.

De de emitter vormende laag van de transistor volgens  
de uitvinding wordt aangebracht in een kamer 8, die op een  
temperatuur van bijvoorbeeld ongeveer 250°C wordt gehouden en  
die voorzien is van een drukmeter 9, van van kranen 12,13  
20 voorzien aan- en afvoerkanalen 10,11 en van een afneembaar  
deksel 14, zodat ten minste één van de de collector vormende  
laag en van de de basis vormende laag voorzien silicium-  
schijf 15, silaan ( $\text{SiH}_4$ ) en fosfine ( $\text{PH}_3$ , ongeveer 1% van de  
hoeveelheid  $\text{SiH}_4$ ) tot in de kamer 8 kunnen worden gebracht.  
25 Door middel van een bepaald ingesteld vermogen van een wis-  
selspanningsbron of eventueel van een gelijkspanningsbron 16  
wordt nu een plasma tussen de electroden 17,18 opgewekt, zo-  
dat de de emitter vormende laag op de de basis vormende laag  
wordt aangebracht bij een druk van 100-500 mTorr en een tem-  
30 peratuur van 250°C. Door de samenstelling van het gasmengsel  
kan de volgens de SIPOS-techniek noodzakelijke ontlating bij  
hoge temperatuur achterwege blijven. De electrode 18 is ge-  
aard; electrode 17 is op de spanningsbron aangesloten, die  
eveneens geaard is. Doordat een plasma wordt gebezigd, kan de  
35 temperatuur laag gehouden worden. De siliciumschijf is hetzij

3501769

verticaal (met een getrokken lijn getekend, 15), hetzij horizontaal (met een stippellijn getekend, 15') opgesteld. De de basis en de collector vormende lagen zijn door middel van op zich bekende methoden aangebracht. Voor het verkrijgen van  
5 goede contacten werd  $Ti(0,5 \mu m)-Al(1 \mu m)$  opgedampt op de amorfe siliciumlaag en op de de basis vormende laag. Voor het verbeteren van goede contacten wordt een ontlating toegepast bij  $290^{\circ}C$  gedurende 25 minuten. De ontlating bij hoge temperatuur, zoals bij de SIPOS-techniek, kan achterwege blijven,  
10 daar de de emitter vormende laag bij de vorming uit het plasma reeds gehydrogeneerd is.

Voor het verkrijgen van een de emitter vormende laag in microkristallijne vorm, dus hoofdzakelijk amorfe silicium met uiterst kleine kristallijne gebieden daarin opgenomen, wordt  
15 de werkwijze toegepast bij een temperatuur van ongeveer  $300^{\circ}C$  en een druk van 50 mTorr in de kamer 8, waarbij de spanningsbron een kleiner ingesteld vermogen aan het plasma afgeeft. De drukwaarde en vermogenswaarde in de kamer moeten worden bepaald in afhankelijkheid van de geometrie daarvan.

20 De overgang van een bandafstand 19 in de met fosfor gedoteerde N-laag naar een bandafstand 20 in de licht gedoteerde P-laag staat afgebeeld in figuur 3, waarbij bovendien het doteringsprofiel getekend is. De bandafstand 19 is bijvoorbeeld 1,6 eV groot en de bandafstand 20 bijvoorbeeld 1,1 eV.  
25 De getrokken lijn geeft het doteringsprofiel bij de np-junctie (emitter-basis) bij de transistor volgens de uitvinding weer. De gestippelde lijnen 21,22 geven het doteringsprofiel weer volgens de bekende technieken, zoals de diffusietechniek en SIPOS-techniek, voor het aanbrengen van de de emitter vormende laag, waarbij vanwege de hoge temperatuur donormateriaal (fosfor) tot in de basis vormende laag kan diffunderen. De stippellijn 20 geeft bijvoorbeeld een doteringsprofiel bij een gedurende korte tijd gesinterde SIPOS-techniek weer; stippellijn 22 geeft bijvoorbeeld een doteringsprofiel  
35 bij een transistor volgens de diffusietechniek weer. Vanwege de precies bepaalde emitter-basis-junctie bij de transistor volgens de uitvinding kan de dikte van de de basis vormende laag dunner gekozen worden dan bij de tot nu toe gebruikte

8501769

transistoren, bijvoorbeeld kleiner dan  $0,5 \mu\text{m}$ , wat een verhoging van de collectorstroom  $I_C$  bewerkstelligt en derhalve een grotere  $\beta$ . Bij een bepaalde waarde van  $\beta$  wordt zodoende ook een kleinere waarde van de basisweerstand verkregen.

5 De lijnen 24,25,26,27,28,29,30,31 geven de collectorstroom  $I_C$  (in  $\mu\text{A}$  fig.4, in  $\text{mA}$  fig.5), weer van de transistor volgens de uitvinding bij constante basisstroom  $I_B$  van resp.  $10 \mu\text{A}$ ,  $20 \mu\text{A}$ ,  $30 \mu\text{A}$ ,  $200 \mu\text{A}$ ,  $400 \mu\text{A}$ ,  $600 \mu\text{A}$ ,  $800 \mu\text{A}$ ,  $1 \text{mA}$  in relatie tot de collector-emitter-spanning  $V_{CE}$  in Volt, die  
10 langs de horizontale assen staat weergegeven.

In figuur 6 staat vertikaal de stroomversterkingsfactor  $\beta$  uitgezet tegen het Basisgummelgetal. Het Basisgummelgetal is gedefiniëerd als het quotiënt van de dichtheid per oppervlak en de diffusiecoëfficiënt van minderheidsladingsdrager  
15 in de de basis vormende laag. De electrodenstroom  $I$  en derhalve de  $\beta$ -factor zijn omgekeerd evenredig met het Basisgummelgetal. De getrokken lijn (figuur 6) geeft dit verband weer voor bipolaire homo-junctie-transistoren. In figuur 6 is een meetpunt aan de transistor volgens de uitvinding aangegeven.  
20 Daar deze hetero-junctie-transistor een hoog basisgummelgetal vertoont en bij dat Basisgummelgetal een ongeveer 50 maal zo grote  $\beta$ -factor vertoont, zal de hetero-junctie-transistor volgens de uitvinding voor lagere Basisgummelgetalwaarden ook een veel grotere stroomversterkingsfactor  $\beta$  vertonen dan de  
25 gebruikelijke bipolaire homo-junctie-transistoren.

Het zal duidelijk zijn, dat een bipolaire hetero-junctie-transistor volgens de uitvinding ook vervaardigd kan worden met behulp van de op zichzelf bekende techniek van fotodissociatie van  $\text{SiH}_4$  waarbij de temperatuur van het zich in  
30 een kamer bevindend gas onder  $450^\circ\text{C}$  of  $250^\circ\text{C}$  kan blijven.

Bij koeling tot ongeveer  $300^\circ\text{C}$  van een van een basis voorzien substraat waarop een de emitter vormende laag met behulp van chemische dampneerslag (CVD) wordt aangebracht, is het eveneens mogelijk de bipolaire hetero-junctie-transistor  
35 volgens de uitvinding te vervaardigen.

Ook is het mogelijk een emitter vormende laag van microkristallijn silicium te verkrijgen door amorf silicium te verwarmen van  $600^\circ$  tot  $750^\circ\text{C}$ .

8501769

Voor een deskundige is het duidelijk, dat een bipolaire heterojunctie-transistor volgens de uitvinding uiterst geschikt is om te worden toegepast in uiteenlopende soorten IC's en zelfs geschikt is voor submicron-technieken.

\* \* \*



CONCLUSIES

1. Bipolaire heterojunctie-transistor (1) omvattende respectievelijk emitter, basis en collector vormende lagen (2,3,4), met het kenmerk, dat de de emitter vormende laag (2) in hoofdzaak uit gedoteerd en gehydrogeneerd halfgeleidermateriaal tenminste gedeeltelijk in amorfe vorm bestaat.

2. Bipolaire heterojunctie-transistor (1) volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de de emitter vormende laag (2) in hoofdzaak uit met fosfor gedoteerd en gehydrogeneerd silicium tenminste gedeeltelijk in amorfe vorm bestaat.

10 3. Bipolaire heterojunctie-transistor (1) volgens de conclusies 1 of 2, met het kenmerk, dat de de basis vormende laag (3) met een dikte van minder dan ongeveer 0,5  $\mu\text{m}$  is aangebracht.

4. Werkwijze voor het vervaardigen van een bipolaire  
15 heterojunctie-transistor (1) volgens de conclusies 1,2 of 3, met het kenmerk, dat de de emitter vormende laag (2) bij een temperatuur van ten hoogste 250°C, door middel van een plasma, dat ionen of radicalen van halfgeleidermateriaal, van doteringsmateriaal en van waterstof omvat, zodanig op de de basis vormende laag (3) wordt aangebracht, dat de de emitter vormende laag (4) in hoofdzaak uit gedoteerd en gehydrogeneerd halfgeleidermateriaal in amorfe vorm bestaat.

5. Werkwijze voor het vervaardigen van een bipolaire heterojunctie-transistor (1) volgens de conclusies 1,2 of 3,  
25 met het kenmerk, dat de de emitter vormende laag (2) bij een temperatuur van ten hoogste 450°C, door middel van een plasma, dat ionen of radicalen van halfgeleidermateriaal, van doteringsmateriaal en van waterstof omvat, zodanig op de de basis vormende laag (3) wordt aangebracht, dat de de emitter  
30 vormende laag (4) in hoofdzaak uit gedoteerd en gehydrogeneerd halfgeleidermateriaal in microkristallijne vorm bestaat.

6. Werkwijze volgens conclusie 4 of 5, met het kenmerk, dat het plasma in hoofdzaak wordt gevormd uit silaan ( $\text{SiH}_4$ )

8501769

en fosfine (PH<sub>3</sub>).

7. Werkwijze voor het vervaardigen van een bipolaire heterojunctie-transistor (1) volgens de conclusies 1,2 of 3, met het kenmerk, dat de de emitter vormende laag met behulp  
5 van chemische dampneerslag (CVD) wordt gevormd, waarbij de basis en collector vormende lagen (3,4) op een temperatuur van ten hoogste 450°C ten opzichte van de hetere damp worden gekoeld.

8. Werkwijze voor het vervaardigen van een bipolaire  
10 heterojunctie-transistor volgens conclusie 1, waarbij de de emitter vormende laag uit gedoteerd en gehydrogeneerd halfgeleidermateriaal gedeeltelijk in microkristallijne vorm bestaat, met het kenmerk, dat de de emitter vormende laag in amorfe vorm van ongeveer 600°C tot ongeveer 750°C wordt opge-  
15 warmd.

\* \* \*

8501769

