Octrooiraad

(12) A **Terinzagelegging** (11) **8401983**

Nederland (19) **NL**

(54) **Halfgeleiderinrichting met verhoogde doorslagspanning.**

(51) Int.Cl⁴.: H01L29/36, H01L29/08, H01L29/70, H01L29/76.

(71) Aanvrager: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

(74) Gem.: Ir. P.J.P.G. Simons c.s.
Internationaal Octrooibureau B.V.
Prof. Holstlaan 6
5656 AA Eindhoven.

(21) Aanvrage Nr. 8401983.

(22) Ingediend 22 juni 1984.

(32) - -

(33) - -

(31) - -

(62) - -

(43) Ter inzage gelegd 16 januari 1986.

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

"Halfgeleiderinrichting met verhoogde doorslagspanning"

De uitvinding heeft betrekking op een halfgeleiderinrichting met een halfgeleiderlichaam met een aan een praktisch vlak oppervlak van het lichaam grenzende eerste zone van een eerste geleidingstype, een aan dit oppervlak grenzende tweede zone van het tweede, tegengestelde geleidingstype die binnen het halfgeleiderlichaam door de eerste zone wordt begrensd en daarmee een aan het oppervlak eindigende pn-overgang vormt, en tenminste een naast de tweede zone gelegen,aan het oppervlak grenzende zwevende verdere zone van het tweede geleidingstype met praktisch homogene diepte die binnen het halfgeleiderlichaam aan de eerste zone grenst, waarbij de afstand van de verdere zone tot de tweede zone zodanig is dat bij het aanleggen van een voldoend hoge keerspanning over de pn-overgang de verdere zone geheel binnen de daardoor gevormde uitputtingszone is gelegen.

Onder een "zwevende" zone wordt zoals gebruikelijk verstaan een halfgeleiderzone die niet met een uitwendige stroom- of spanningsbron is verbonden.

Een halfgeleiderinrichting zoals hierboven beschreven is bekend uit het artikel van Kao en Wolley in Proceedings IEEE, Vol, 55 No. 8, Augustus 1967, blz. 1409-1414.

Het is bekend, dat de doorslagspanning van een planaire pn-overgang in de praktijk belangrijk lager ligt dan die welke op grond van de dotering van de genoemde eerste en tweede zones die de pn-overgang vormen, te verwachten zou zijn. Dit vindt zijn oorzaak in plaatselijke verhogingen van de veldsterkte tengevolge van oppervlakte-effecten en vooral ook tengevolge van de randkromming van de pn-overgang. Volgens het artikel van Kao en Wolley in Proc. IEEE worden deze effecten sterk verminderd door de aanwezigheid van één of meer zwevende verdere zones van het tweede geleidingstype, die in de bekende inrichting de tweede zone geheel omringen en gelegen zijn binnen het bereik van de uitputtingszone van de pn-overgang. Door deze verdere zones wordt de keerspanning over de pn-overgang verdeeld over een aanmerkelijk groter gebied, waardoor de veldsterkte overeenkomstig wordt verlaagd.

Bij de bekende inrichting worden de verdere zones gelijktijdig

met de tweede zone aangebracht, en hebben zij dus dezelfde diepte en dotering als deze. Voor ondiepe pn-overgangen, dat wil zeggen voor die gevallen waarin de tweede zone slechts een geringe dikte heeft, is dan niet alleen de randkromming van de actieve pn-overgang maar ook die van de pn-overgangen tussen de verdere zones en de eerste zone aanzienlijk. Daardoor kunnen bij de plaatsen van de grootste randkromming aan de buitenzijde van de pn-overgangen tussen de eerste zone en de verdere zone of zones toch hoge pieken in de veldsterkte optreden, waardoor de doorslagspanning wordt verlaagd. Verder is de doorslagspanning vrij kritisch afhankelijk van de dotering en de onderlinge afstand van de verdere zones.

De uitvinding beoogt onder meer, de dotering en de geometrie van de zwevende verdere zones minder kritisch te maken dan bij de bekende inrichting.

De uitvinding berust ondermeer op het inzicht, dat de doorslagspanning aanzienlijk minder afhankelijk wordt van de dotering en van de randkromming der verdere zones wanneer deze in de bedrijfstoestand althans voor een aanmerkelijk deel gedepleerd zijn.

Een halfgeleiderinrichting van de in de aanhef beschreven soort is volgens de uitvinding daardoor gekenmerkt, dat de totale dotering van de verdere zone tenminste 3×10^{11} atomen per cm^2 en ten hoogste 5×10^{12} atomen per cm^2 bedraagt.

Onder "totale dotering" van een zone wordt verstaan het totale aantal doteringsatomen per eenheid van oppervlak over de gehele dikte van de zone.

De totale dotering van de verdere zone of zones is volgens de uitvinding belangrijk lager dan die in bekende halfgeleiderinrichtingen, waar zij in het algemeen ongeveer 10^{14} atomen per cm^2 of meer bedraagt. Door deze lage dotering is in de bedrijfstoestand, waarin over de pn-overgang een keerspanning staat, de verdere zone reeds bij spanningen aanzienlijk beneden de doorslagspanning voor een aanmerkelijk deel gedepleerd. Volgens het zogenaamde "RESURF" principe (zie J.A.Appels et al., Philips Journal of Research Vol.35 No.1, 1980 p.1-13) wordt als gevolg hiervan met name op de punten met de grootste randkromming de veldsterkte verlaagd, zodat hogere spanningen toelaatbaar zijn, en daardoor zowel de dotering als de afstand tussen de tweede en de verdere zone en tussen de verdere zones onderling minder kritisch zijn.

Volgens een voorkeursuitvoering bedraagt de totale dotering van de verder zone (of van de verdere zones) ten minste 8×10^{11} en ten hoogste

$2,5x10^{12}$ atomen per cm^2. Bij normale bedrijfsspanningen zijn hierbij de verdere zones voor meer dan de helft gedepleerd. Bij een totale dotering van ongeveer $8x10^{11}$ atomen per cm^2 zijn de verdere zones vóór het optreden van doorslag althans plaatselijk over hun gehele dikte gedepleerd zodat bij toenemende spanning de uitputtingszone zich voornamelijk in de eerste zone uitbreidt. Deze eerste zone heeft in het algemeen een lagere doteringsconcentratie in atomen per cm^3 dan de verdere zone, zodat de veldsterkte relatief laag blijft.

De verdere zones kunnen de tweede zone omringen. Bij gebruik van meerdere verdere zones kan elke volgende verdere zone de voorafgaande geheel omringen. Wanneer echter slechts plaatselijk een zeer hoge keerspanning over de pn-overgang kan optreden, kunnen de zwevende verdere zones desgewenst alleen op deze plaatsen worden aangebracht. Een zeer belangrijk geval is dat, waarbij de pn-overgang bedekt is met een isolerende laag waarop, bijvoorbeeld in een geïntegreerde schakeling, een geleiderspoor ligt dat de pn-overgang kruist en waarvan in de bedrijfstoestand de potentiaal ten opzichte van die van de tweede zone hetzelfde teken heeft als de potentiaal van de eerste zone. Een dergelijk geleiderspoor is in het algemeen nadelig omdat het ter plaatse van zijn kruising met de pn-overgang de veldsterkte verhoogt. In de inrichting volgens de uitvinding echter bevordert het de depletie van de zwevende verdere zones, die daardoor beter in staat zijn, de maximale veldsterkte laag te houden.

Behalve de genoemde zwevende verdere zones kunnen andere, aanvullende veldverlagende- en passiveringsmiddelen aanwezig zijn, zoals bijvoorbeeld veldplaten en dergelijke.

De uitvinding zal verder worden beschreven aan de hand van enkele uitvoeringsvoorbeelden en de tekening, waarin

Figuur 1 schematisch gedeeltelijk in dwarsdoorsnede en gedeeltelijk in perspectief een inrichting volgens de uitvinding voorstelt,

Figuur 2 schematisch in dwarsdoorsnede een deel van een bekende inrichting toont,

Figuur 3 en 4 schematisch in dwarsdoorsnede delen van verschillende inrichtingen volgens de uitvinding tonen, en

Figuur 5 schematisch in dwarsdoorsnede een andere inrichting volgens de uitvinding toont.

De figuren zijn schematisch en niet op schaal getekend, waarbij in het bijzonder de afmetingen in de dikterichting zijn overdreven. Overeenkomstige delen zijn als regel met dezelfde referentiecijfers aangeduid.

Halfgeleidergebieden met hetzelfde geleidingstype zijn in de dwarsdoorsneden in dezelfde richting gearceerd.

Figuur 1 geeft schematisch, gedeeltelijk in dwarsdoorsnede en gedeeltelijk in perspectief, de struktuur van een halfgeleiderinrichting volgens de uitvinding weer. De inrichting bevat een halfgeleiderlichaam, dat in dit voorbeeld van silicium is doch ook uit een ander halfgeleidermateriaal kan bestaan. Een eerste zone 1 van een eerste geleidingstype, bijvoorbeeld een n-type zone, met een doteringsconcentratie van bijvoorbeeld 10^{15} atomen per cm^3, grenst aan een praktisch oppervlak 4 van het lichaam. Een eveneens aan dit oppervlak 4 grenzende tweede zone 2 van het tweede, tegengestelde geleidingstype (in dit voorbeeld dus een p-type zone) wordt binnen het halfgeleiderlichaam begrensd door de eerste zone 1 van het n-geleidingsype, en vormt daarmee een aan het oppervlak 4 eindigende planaire pn-overgang 5. De (gemiddelde) doteringsconcentratie van zone 2 bedraagt bijvoorbeeld 10^{17} atomen per cm^3.

Teneinde de doorslagspanning van de pn-overgang 5 te verhogen bevat de inrichting verder tenminste één, naast de tweede zone 2 gelegen, aan het oppervlak 4 grenzende, zwevende verdere zone 3 van het tweede, hier dus p-, geleidingstype met een praktisch homogene dikte. In dit voorbeeld zijn twee verdere zones 3 aangebracht, zie Figuur 1-4, die beide binnen het halfgeleiderlichaam aan de eerste zone 1 grenzen en daarmee pn-overgangen 6 vormen. Daarbij is de afstand van de verdere zones 3 tot de tweede zone 2 zodanig, dat bij het aanleggen van een voldoend hoge keerspanning over de pn-overgang 5 de verdere zones 3 binnen de gevormde uitputtingszone liggen. Zie de détail-doorsneden van Figuur 2,3 en 4 waarin de grenzen van de uitputtingszone gestippeld zijn aangeduid. In dit voorbeeld hebben de verdere zones 3 een breedte van ongeveer 6 /um. De afstand van de tweede zone 2 tot de eerste zwevende verdere zone 3 bedraagt 6 /um, en de afstand tussen de beide zones 3 bedraagt in dit voorbeeld eveneens 6 /um.

De tot hier toe beschreven halfgeleiderinrichting is wat zijn algemene struktuur betreft bekend uit het eerder genoemde artikel van Kao en Wolley in Proceedings IEEE 1967 p.1409-1414. Figuur 2 toont een détail-doorsnede van de situatie zoals indit artikel beschreven, waarbij de verdere zones 3 tegelijk met de zone 2 worden gevormd en dus dezelfde dotering en dikte hebben. De dotering van de zones 3 is dan zodanig dat de uitputtingszone zich slechts voor een gering deel in de zones 3 uitstrekt, en op de plaatsen met de grootste randkromming (in Figuur 2 met R aangeduid) is

de totale uitputtinsgzone zo smal dat de veldsterkte daar ter plaatse relatief hoog is. Daardoor kan, vooral in het geval dat de zones 2 en 3 vrij ondiep zijn en de bedoelde randkromming dus hoog is, voortijdig doorslag optreden bij het punt R van de buitenrand van de zones 3.

De figuren 3 en 4 geven de situatie weer zoals deze is bij toepassing van de uitvinding. Volgens de uitvinding bedraagt de totale dotering van de verdere zones 3 tenminste $3x10^{11}$ en ten hoogste $5x10^{12}$ atomen per cm^2. In Figuur 3 is de situatie weergegeven waarbij deze dotering ongeveer $1,5x10^{12}$ atomen per cm^2 bedraagt. Men ziet dat in dit geval bij een keerspanning benden de doorslagspanning de uitputtingszone (ongearceerd) zich over een belangrijk deel van de verdere zones 3 uitstrekt. Dit vermindert aanzienlijk de veldsterkte op de plaatsen van de grootste randkromming en verhoogt derhalve de doorslagspanning.

In Figuur 4 is de situatie getekend waarbij de totale dotering van de zones 3 ongeveer $8x10^{11}$ atomen per cm^2 bedraagt. In dit geval is bij een keerspanning beneden de doorslagspanning een belangrijk deel van de zones 3 over de gehele dikte van deze zones gedepleerd. Als gevolg hiervan breidt bij verdere verhoging van de keerspanning de uitputtingszone zich praktisch alleen in het relatief laag gedoteerde gebied 1 uit, waardoor de veldsterkte ter plaatse van de punten met de hoogste randkromming nog verder wordt verlaagd.

Bij de inrichtingen volgens de figuren 1,2,3 en 4 wordt de tweede zone 2 geheel omringd door de verdere zones 3. Wanneer langs de pn-overgang 5 slechts plaatselijk een verhoogde veldsterkte optreedt is het niet nodig dat de zones 3 zich langs de gehele lengte van de pn-overgang 5 uitstrekken. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van het volgende uitvoeringsvoorbeeld.

Figuur 5 toont gedeeltelijk in dwarsdoorsnede en gedeeltelijk in perspectief een deel van een geïntegreerde schakeling waarbij de eerste zone 1 een n-type eiland is waarin zich een of meer halfgeleiderschakelelementen (hier niet getekend) bevinden. Het eiland wordt gevormd door een deel van een epitaxiale laag welke gelegen is op een p-type substraat 7. De tweede zone 2 is een p-type isolatiegebied, dat aansluit op het substraat 7 en het eiland 1 zijdelings begrenst. Het gebied 2 bevat een aan het oppervlak 4 grenzende, lager gedoteerde uitstulping 2A.

Het oppervlak 4, dus ook de pn-overgang 5 waar deze het oppervlak snijdt, is bedekt met een elektrisch isolerende laag 8, bijvoorbeeld een 1 µm dikke laag van siliciumoxyde. De pn-overgang 5 (in Figuur 5 aan het

oppervlak 4 gestippeld aangegeven) wordt gekruist door een op de isolerende laag 8 gelegen geleiderspoor 9 waarvan in de bedrijfstoestand de potentiaal V_9 ten opzichte van die (V_2) van de tweede zone 2 hetzelfde teken heeft als de potentiaal V_1 van de eerste zone 1 (zie Figuur 5). Het geleiderspoor 9 kan een voedingslijn of een verbinding tussen twee halfgeleiderschakelelementen zijn; de potentialen V_1, V_2 en V_9 zijn ter illustratie zuiver schematisch in Figuur 5 aangeduid en kunnen op diverse manieren tot stand komen. Van belang is in dit verband alleen dat V_1 en V_9 ten opzichte van V_2 hetzelfde teken hebben, op een bepaald moment in de bedrijfstoestand.

In deze situatie wordt op de plaats waar de geleider 9 (meestal een metaalspoor) de pn-overgang 5 kruist het elektrisch veld bij de gesperde pn-overgang 5 extra verhoogd, waardoor voortijdig doorslag kan optreden. Om dit tegen te gaan wordt op dergelijke plaatsen vaak, zoals ook in Figuur 5 aangegeven, de isolatiediffusie 2 van een hoogohmige uitstulping 2A voorzien die in de bedrijfstoestand voor een belangrijk deel gedepleerd is waardoor de oppervlakteveldsterkte wordt verlaagd, een en ander volgens het eerder genoemde "RESURF"-principe. Wanneer deze uitstulping 2A te ver uitsteekt (waardoor tengevolge van de spanningsval over het geleiderspoor 9 de rand van de uitstulping onder een geleiderdeel met te hoge spanning ligt), of wanneer de dotering van de uitstulping iets te hoog is, wordt het veld op het punt met de grootste randkromming zo sterk dat daar tóch voortijdig doorslag optreedt. Om dit te voorkomen kunnen nu naast de zone 2 één of meer zwevende verder zones 3 worden aangebracht, die zich in principe alleen op de kwetsbare plaats, in dit geval dus in de buurt van de kruising met het geleiderspoor, behoeven te bevinden, zie Figuur 5. De zones 3 hebben volgens de uitvinding een totale dotering van tenminste 3×10^{11} en ten hoogste 5×10^{12} atomen per cm^2. Aangezien de depletie in dit geval van twee zijden plaats vindt, namelijk vanaf de onderzijde van de zones 3 door de in de keerrichting staande pn-overgangen 6 en vanaf de bovenzijde door het geleiderspoor 9, kan de dotering van de zones 3 hier iets hoger zijn dan in afwezigheid van de geleider 9 het geval zou zijn.

De beschreven strukturen kunnen door toepassing van gebruikelijke technieken worden vervaardigd. Daarbij kan de tweede zone 2 door diffusie, door ionenimplantatie of op andere wijze worden gevormd. De "zwevende" verdere zones 3 worden bij voorkeur door ionenimplantatie gevormd, gezien hun relatief lage dotering en ook vanwege het feit dat door ionen-

implantatie zowel de totale dotering in atomen per cm^2 als de diepte van de zwevende zones goed regelbaar en reproduceerbaar zijn. In het voorbeeld van Figuur 5 worden de zwevende zones 3 bij voorkeur tegelijk met de uitstulping 2A geïmplanteerd.

De toegepaste doteringen en dikten van de diverse halfgeleidergebieden alsmede hun geometrie kunnen binnen het kader van de uitvinding door de vakman binnen ruime grenzen gevarieerd worden. De struktuur volgens de uitvinding kan verder in de meest uiteenlopende discrete of geïntegreerde halfgeleiderinrichtingen worden toegepast. In de gegeven uitvoeringsvoorbeelden kunnen de geleidingstypen (alle tegelijk) door hun tegengestelde worden vervangen onder gelijktijdige omkering van de aangelegde spanningen. Verder kunnen uiteraard ook andere halfgeleidermaterialen dan silicium worden toegepast.

De halfgeleiderinrichting volgens de uitvinding kan tenslotte zoals eerder gezegd ook verdere aanvullende veldverlagende- en passiveringsmiddelen omvatten. Zo kunnen bijvoorbeeld in de inrichting van Figuur 5 buiten en behalve de zwevende zones 3 nog veldplaten worden toegepast om op kwetsbare plaatsen het elektrische veld te verlagen. Verder kan in Figuur 3 en 4 de zone 2 van deplerende uitstulpingen worden voorzien analoog aan de uitstulping 2A in Figuur 5. De uitvinding kan niet alleen in bipolaire inrichtingen, doch bijvoorbeeld ook ter verhoging van de drain-doorslagspanning in veldeffekttransistors worden toegepast.

Conclusies:

1. Halfgeleiderinrichting met een halfgeleiderlichaam met een aan een praktisch vlak oppervlak van het lichaam grenzende eerste zone van een eerste geleidingstype, een aan dit oppervlak grenzende tweede zone van het tweede, tegengestelde geleidingstype die binnen het halfgeleiderlichaam door de eerste zone wordt begrensd en daarmee een aan het oppervlak eindigende pn-overgang vormt, en ten minste een naast de tweede zone gelegen, aan het oppervlak grenzende zwevende verdere zone van het tweede geleidingstype met praktisch homogene diepte die binnen het halfgeleiderlichaam aan de eerste zone grenst, waarbij de afstand van de verdere zone tot de tweede zone zodanig is dat bij het aanleggen van een voldoend hoge keerspanning over de pn-overgang de verdere zone geheel binnen de daardoor gevormde uitputtingszone is gelegen, met het kenmerk, dat de totale dotering van de verdere zone tenminste $3x10^{11}$ atomen per cm^2 en ten hoogste $5x10^{12}$ atomen per cm^2 bedraagt.

2. Halfgeleiderinrichting volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de totale dotering van de verdere zone ten minste $8x10^{11}$ en ten hoogste $2,5x10^{12}$ atomen per cm^2 bedraagt.

3. Halfgeleiderinrichting volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat de pn-overgang bedekt is met een elektrisch isolerende laag en gekruist wordt door een op die isolerende laag gelegen geleiderspoor waarvan in de bedrijfstoestand de potentiaal ten opzichte van die van de tweede zone hetzelfde teken heeft als de potentiaal van de eerste zone.

4. Halfgeleiderinrichting volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de verdere zone binnen het halfgeleiderlichaam de tweede zone omringt.

5. Halfgeleiderinrichting volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat meerdere verdere zones aanwezig zijn waarbij elke volgende verdere zone op grotere afstand tot de tweede zone is gelegen dan de voorafgaande verdere zone.

6. Halfgeleiderinrichting volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat elke volgende verdere zone de voorafgaande verdere zone omringt.

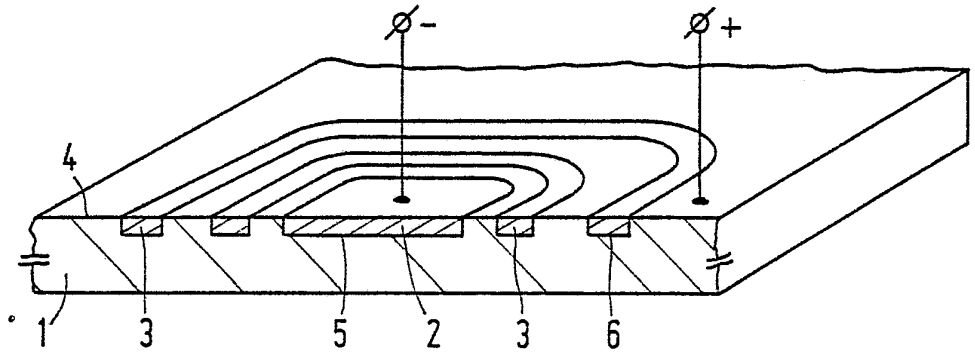


FIG.1

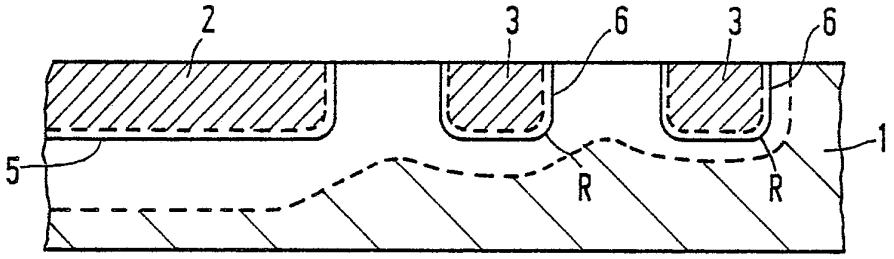


FIG.2

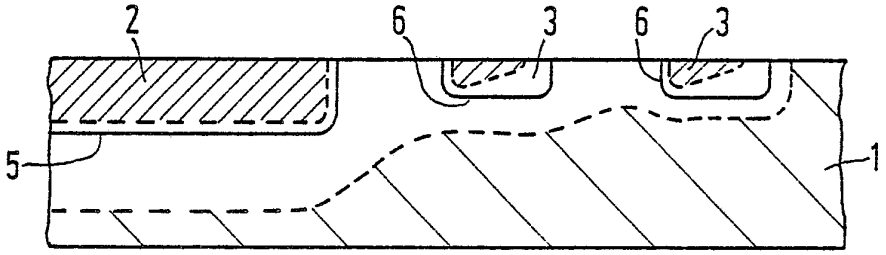


FIG.3

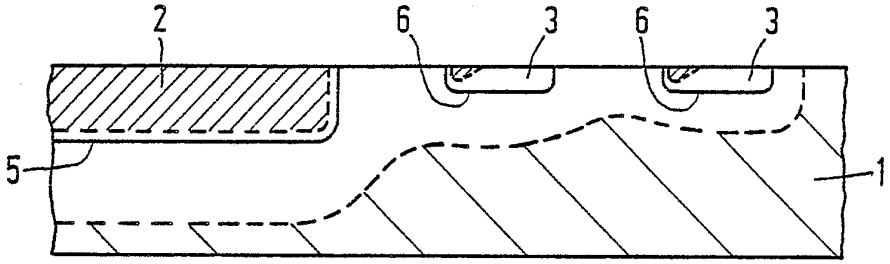


FIG.4

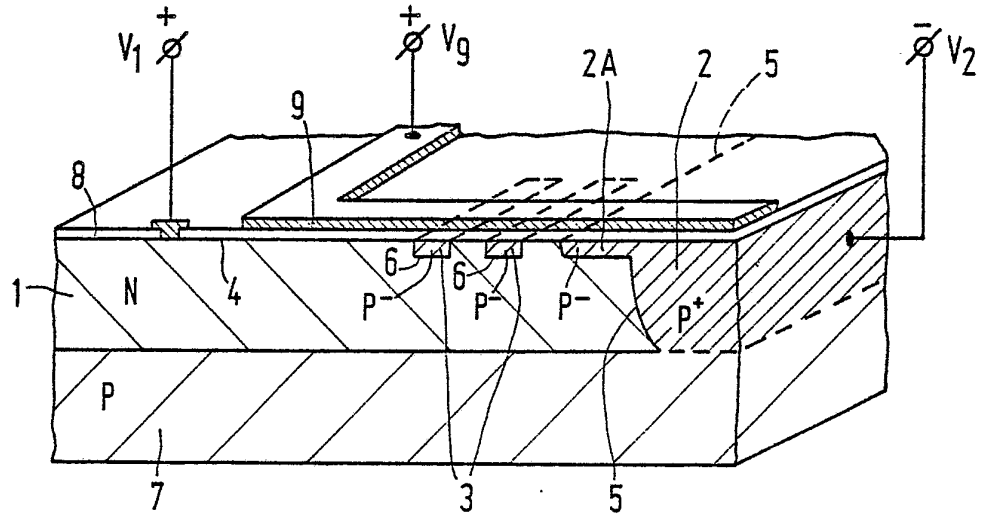


FIG.5