

NORGE



**STYRET
FOR DET INDUSTRIELLE
RETTSVERN**

Utlegningskrift nr. 125419

Int. Cl. H 01 1 5/00 Kl. 21g-11/02

Patentsøknad nr. 2695/69 Inngitt 27.6.1969

Løpedag -

Søknaden alment tilgjengelig fra 30.12.1969

Søknaden utlagt og utlegningsskrift utgitt 4.9.1972

Prioritet begjært fra: 29.6.1968 Nederland,
nr. 6809255

N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken,
Kastanjelaan 1, Eindhoven, Nederland.

Oppfinnere: Gerard Adriaan Acket og Marinus Teunis Vlaardinger-
broek, begge: Emmasingel 29, Eindhoven, Nederland.

Fullmektig: Bryns Patentkontor A/S

Halvlederanordning for forsterkning av mikrobølger.

Oppfinnelsen angår en halvlederanordning for forsterkning av mikrobølger, omfattende et halvledersjikt som er epitaksialt anbrakt på et substrat og har minst to forbindelseskontakter, i hvilket sjikt en negativ differensialmotstand kan innstilles når en likespenning mellom forbindelseskontaktene er tilstrekkelig høy.

Slike anordninger er kjent og anvendt for frembringelse eller forsterkning av elektriske signaler med høy frekvens. De er basert på den kjensgjerning at i noen halvledermaterialer som f.eks. gallium-arsenid, gallium-tellurid, indiumfosfid og sinkselelenid, opptrer det en overføring av elektroner i ledningsbåndet fra en tilstand med lav energi og stor mobilitet

125419

til en tilstand med høyere energi og mindre mobilitet, når feltstyrken er tilstrekkelig stor (grenseverdien for gallium-arsenid er ca. 3,5 kV/cm). Som følge herav opptrer det en negativ differensialmotstand i et gitt spenningsområde. Denne negative differensialmotstand kan anvendes for forsterkning av elektriske signaler. Den nødvendige feltstyrke oppnås ved påtrykning av en tilstrekkelig høy likespenning mellom to forbindelseskontakter, nemlig en anodekontakt og en katodekontakt, som er anordnet på halvlederlegemet.

En kjent konstruksjon av en slik anordning er beskrevet "Proceedings I.E.E.E.", for mai 1967, side 718 til 719. Denne kjente anordning omfatter et sterkt dopet substrat av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype på hvilket er anbrakt et meget tynt aktivt epitaksialt sjikt av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype med større spesifikk motstand enn substratet, en donor konsentrasjon på $5 \cdot 10^{15}$ atomer/cm³ og en tykkelse på noen få μ . Forbindelseskontaktene i denne anordning er dannet av det meget lavohmige substrat på den ene side og et ohmsk elektrodesjikt som er anordnet på det epitaksiale sjikt på den annen side. Mellom disse forbindelseskontakter påtrykkes likespenningen som er nødvendig for å tilveiebringe en negativ differensialmotstand, idet det mellom kontaktene f.eks. ved hjelp av en koaksialkabel påtrykkes et vekselspenningsinngangssignal som tas ut som et forsterket reflektert signal via koaksialkabelen.

I slike strukturer kan den ovenfor nevnte overføring av elektroner under tiden gi tilløp til formering av av områder med stor feltstyrke i tillegg til dannelsen av en negativ differensialmotstand, og disse områder beveger seg i det aktive sjikt fra katodekontakten til anodekontakten med en hastighet som tilnærmet er lik drifthastigheten for elektronene. Som følge herav blir høyfrekvenssvingninger dannet mellom forbindelseskontaktene og disse er ved anordninger av den ovenfor beskrevne type og som oppfinnelsen angår, uønskede og bør unngås. Det kan beregnes at i slike kjente anordninger kan formeringen av slike områder i det epitaksiale sjikt unngås hvis produktet av konsentrasjonen n_0 av majoritetsladningsbærere i det epitaksiale sjikt og avstanden L mellom forbindelseskontaktene er mindre enn en bestemt grenseverdi. Hvis ingen ytre påvirkning er til stede for generering av ladningsbærerne, f.eks. stråling, tilsvarer verdien n_0 hovedsakelig dopings-

konsentrasjonen. For et epitaksialt sjikt av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype, - et halvledermateriale som ofte anvendes ved slike anordninger - ligger grenseverdien for $n_0 \cdot L$ i størrelsesorden 10^{12} cm^{-2} (n_0 i elektroner/ cm^3 og L i cm). Se forøvrig den ovenfor nevnte artikkel i "Proceeding I.E.E.E.". Som et resultat av dette er dopingene av det aktive epitaksiale sjikt og avstanden mellom katode og anode i den kjente anordning begrenset til meget snau grense.

Hensikten med oppfinnelsen er å tilveiebringe en anordning hvor begrensningene ved de ovenfor nevnte kjente anordninger er betydelig redusert.

Dette oppnås ifølge oppfinnelsen ved at tykkelsen av det epitaksiale sjikt maksimalt er lik den minste lengde av ladningsområdet som kan dannes i sjiktets halvledermateriale hvis tykkelsen av dette sjikt var ubegrenset, altså minst lik,

$$\sqrt{\frac{E_c \cdot L \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{en_0}}$$

hvor E_c er den kritiske feltstyrke i volt/m, over hvilken formering av områder i halvledermaterialet i sjiktet kan opptre, L er den minste avstand i m mellom forbindelseskontaktene, ϵ_r er sjiktets dielektrisitetskonstant, e er elektronladningen i Coulomb, n_0 er konsentrasjonen av majoritetsladningsbærerne pr. m^3 av sjiktet, og ϵ_0 er dielektrisitetskonstanten av vakuum i F/m/ og at det epitaksiale sjikt slutter seg til et avgrensningsområde (1;21,23) med en spesifikk motstand som er større enn den spesifikke motstand av det epitaksiale sjikt, idet forbindelseskontaktene (3,4) er anordnet i avstand fra hverandre i sjiktets (2,22) retning (fig. 1,3,4).

Fortrinnsvis er avgrensningsområdet dannet av i det minste en del av substratet.

Anordningen ifølge oppfinnelsen har bl.a. den viktige fordel at produktet av konsentrasjonen n_0 av majoritetsladningsbærere i det epitaksiale sjikt og avstanden L mellom forbindelseskontaktene kan gjøres betydelig større enn ved den ovenfor nevnte kjente anordninger uten at formeringen av områder med stor feltstyrke opptrer. Dette kan forklares på følgende måte: Hvis det mellom katodekontakten og anodekontakten dannes en lokal avvikelse fra elektrontettheten og dermed et romladningsområde, f.eks. som følge av at et inngangssignal påtrykkes mellom anode og katode, vil romladningsområdet bevege seg fra katoden til anoden og vokse som følge av den negative differensialmotstand som frembringes av spenningsforskjellen mellom katode og anode i det epitaksiale halvleder-sjikt. Voksing av romladningsområdet må begrenses fordi i det tilfelle at det vokser for sterkt vil de ovenfor nevnte områder dannes. I en kjent

anordning hvor det epitaksiale sjikt er anordnet på et sterkt dopet substrat, vil de elektriske feltlinjer som går ut fra denne romladning praktisk talt alle strekke seg hovedsakelig parallelt med feltet mellom anode og katode og øke veksten av romladningen. I den kjente anordning er derfor avstanden L mellom anode og katode begrenset til noen få μ og dopingskonsentrasjon n_0 i sjiktet må heller ikke være for stor.

I en anordning ifølge oppfinnelsen vil imidlertid en forholdsvis stor del at feltlinjene som går ut fra romladningen strekke seg via det høyohmige avgrensingsområde, slik at feltstyrkekomponenten i retning av sjiktet (den longitudinale feltstyrke) som bestemmer veksten av romladningsområdet, minskes betraktelig og derfor kan en betydelig større avstand L mellom forbindelseskontaktene anvendes og/eller en betydelig høyere dopingskonsentrasjon n_0 i det aktive epitaksiale sjikt anvendes. Som resultat herav kan bl.a. fremstillingen av anordningen ifølge oppfinnelsen forenkles betydelig.

Det betydelige opptak av elektriske feltlinjer i avgrensingsområdet, og som bevirker en minskning av den longitudinale feltstyrke i sjiktet, kan økes betydelig ved at feltlinjene bringes til å strekke seg mest mulig vinkelrett på grenseflaten mellom det aktive sjikt og avgrensingsområdet ved effektiv anvendelse dielektrisitetskonstantene for det aktive sjikt og for avgrensingsområdet. Det er derfor fordelaktig med et avgrensingsområde som har en dielektrisitetskonstant som minst er lik eller fortrinnsvis er minst to ganger større enn for det aktive epitaksiale sjikt, slik at feltlinjene avbøyes i rett vinkel på avgrensningsoverflaten mellom det epitaksiale sjikt og avgrensingsområdet. Det epitaksiale sjikt kan f.eks. bestå av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype mens avgrensingsområdet inneholder barium-titanat, strontium-titanat eller titandioksyd.

Hvis tykkelsen av det aktive epitaksiale sjikt blir stort i forhold til dimensjonene av romladningsområdet i retning av sjiktet, vil en forholdsvis stor del feltlinjene strekke seg innenfor sjiktet i retning fra katoden til anoden. For å kontrollere formeringen av områdene så meget som mulig, er det derfor ønskelig at tykkelsen av det aktive epitaksiale sjikt er betydelig mindre og fortrinnsvis høyst halvparten av lengden av et romladningsområde regnet fra katoden til anoden, og så kan dannes hvis sjikttykkelsen er ubegrenset. Denne lengde er avhengig av forskjellige faktorer. Det er påvist ("Bell System Technical Journal", bind 46 for desember 1967, nummer 10, side 2257) at lengden er hovedsakelig lik

$$V \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{en_0}},$$

hver V er spenningsfallet i volt over området, ϵ_r er dielektrisitetskonstanten for sjiktet, n_0 er konsentrasjonen av majoritetsladningsbærere i sjiktet pr. m^3 , e er elektronladningen i Coulomb, og ϵ_0 er dielektrisitetskonstanten for vakuum i $\frac{F}{m}$.

En viktig foretrukket utførelse av en anordning ifølge oppfinnelsen er derfor karakterisert ved at tykkelse av det epitaksiale sjikt maksimalt er lik:

$$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{E_c L \epsilon_0 \epsilon_r}{en_0}},$$

hvor E_c er den kritiske feltstyrke i volt/m, over hvilken formering av områder i halvledermaterialet i sjiktet kan opptre, L er den minste avstand i m mellom forbindelseskontaktene, ϵ_r er sjiktets dielektrisitetskonstant, e er elektronladningen i Coulomb, n_0 er konsentrasjonen av majoritetsladningsbærere pr. m^3 av sjiktet, og ϵ_0 er dielektrisitetskonstanten av vakuum k F/m. Dette gir den øvre grense for forholdet mellom sjiktstykkelsen og kontaktavstanden under hvilken dannelsen av ladningsområder er hindre i betydelig grad.

Ifølge en ytterligere meget viktig foretrukket utførelsesform består det epitaksiale sjikt av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype som er grodd epitaksialt på substratet i det halvledende gallium-arsenid med en spesifikk motstand på minst

125419

1000 Ohm.cm. Det halvledende gallium-arsenid som har meget stor spesifikk motstand og er egnet for anvendelse som substrat, kan oppnås meget enkelt som et kompensert materiale. Den spesifikke motstand av det epitaksiale sjikt er fortrinnsvis valgt mellom 0,1 Ohm.cm og 10 Ohm.cm som lett kan oppnås på reproducerbar måte ved kjent epitaksial groing.

Det skal bemerkes at en anordning er kjent fra "Engineering", bind 200 for 20. august 1965, side 244, som inneholder et substrat av gallium-arsenid med et epitaksialt sjikt av gallium-arsenid med en tykkelse på 15μ på hvilket det er anbrakt to forbindelseskontakter. Denne anordning er en Gunn effekt-oscillator i hvilken formeringen av ladningsområdene skjer med stor feltstyrke i det epitaksiale sjikt, slik at høyfrekvenssvingninger frembringes mellom forbindelseskontaktene. Slike anordninger hvor formering av ladningsområder opptrer faller imidlertid ikke inn under denne oppfinnelses ramme. Oppfinnelsen angår bare anordninger i hvilke den negative differensialmotstand i det epitaksiale sjikt anvendes uten formering av ladningsområder og følgelig uten at uønskede svingninger opptrer og hvor det følgelig under drift alltid arbeides innenfor det negative motstandsområde.

I forbindelse med den ovenfor beskrevne betingelse med hensyn til sjiktets tykkelse, velges dette fortrinnsvis høyst 5μ og fortrinnsvis lik 1μ , slik at det kan anvendes normal spenning, kontaktavstand og doping og formeringen av ladningsområder unngås ved anvendelse av en sjikttykkelse som lett kan realiseres teknologisk.

Avgrensningsområdet kan istedet for å være dannet av en del av substratet eller hele substratet, under enkelte forhold med fordel være dannet av et halvledersjikt som er anbrakt på det epitaksiale sjikt på den side som vender fra substratet. Den samme virkning av minsket longitudinal feltstyrkekomponent i sjiktet kan også da oppnås. Denne virkning kan forsterkes ytterligere ved å anvende et første avgrensningsområde som danner en del av substratet og et andre avgrensningsområde som er anordnet på den side av det epitaksiale sjikt som vender fra substratet.

Ifølge en ytterligere foretrukket utførelsesform velges den minste avstand mellom forbindelseskontaktene lik minst 100μ . I anordningen ifølge oppfinnelsen kan dette uten videre oppnås i motsetning til ved kjente anordninger, fordi forbindelses-

kontaktene ved en innbyrdes avstand av denne størrelsesorden kan fremstilles på meget lett reproducerbar måte. Denne forholdsvis store kontaktavstand tillater bl.a. anbringelse av en styreelektrode mellom forbindelseskontaktene, f.eks. analog med portelektroden i en MOS-transistor, ved at et metallsjikt anbringes på et isolasjons-sjikt som igjen er anordnet på det epitaksiale sjikt. Hittil har dette ikke vært mulig en anordning av denne type som oppfinnelsen angår, på grunn av den lille kontaktavstand.

Ved en utførelsesform hvor innføringen av inngangssignalet og uttaket av utgangssignalet gjøres mest mulig effektiv på enkel måte, er en inngangskontakt anordnet mellom katoden og anoden for tilførsel av et vekselsignal som skal forsterkes, mellom inngangskontakten og den første forbindelseskontakt. En slik utførelse hvor en særskilt inngangskontakt er tilstede, oppnås maksimal inngangskopling uavhengig av avstanden mellom forbindelseskontaktene. I virkeligheten kan det beregnes at inngangskoplingen som er så fordelaktig som mulig opptrer hvis L_1 er tilnærmet lik $n \cdot \frac{v}{f}$ hvor L_1 er avstanden mellom inngangskontakten og den første forbindelseskontakt, v er driftshastigheten i cm/sek. av majoritetsladningsbærerne i det epitaksiale sjikt, f er frekvensen for vekselspenningen som skal forsterkes, og n er et helt tall. Helt uavhengig av det som skal påtrykkes inngangskoplingen, kan avstanden L mellom katode og anode velges slik at den er så fordelaktig som mulig for de elektriske egenskaper og tykkelsen av det epitaksiale sjikt. I en utførelse hvor bare to forbindelseskontakter er anordnet med innbyrdes avstand $L \approx n \cdot \frac{v}{f}$ for maksimal forsterkning. Se for øvrig "Transactions I.E.E.E.", bind ED 13, for januar 1966, side 4 - 21, særlig side 16, fig. 9. I denne forbindelse er en ytterligere foretrukket utførelse enda mere fordelaktig hvor det i tillegg til en inngangskontakt også er anordnet en utgangskontakt mellom forbindelseskontaktene. I dette tilfelle kan også en maksimal utgangskopling oppnås uavhengig av andre faktorer som gjelder for koplingen, og ifølge beregninger bør avstanden mellom utgangskontakten og den andre forbindelseskontakt være hovedsakelig lik $(m + \frac{1}{2}) \cdot \frac{v}{f}$.

I forbindelse med den sistnevnte utførelse skal bemerkes at en halvlederanordning er kjent fra I.E.E.E. Transactions Electron Devices", ED for 14. september 1967, side 612-615 som gjelder et halvlederlegeme av meget høyohmig

125419

gallium-arsenid av n-ledningsevnetype som er forsynt med to forbindelseskontakter for å tilveiebringe en negativ differensialmotstand og med en inngangskontakt og en utgangskontakt. Denne kjente anordning er i likhet med den sistnevnte foretrukne utførelsesform ifølge oppfinnelsen av vandrebolgetype med forsterkning i det negative motstandsområde uten formering av ladningsområdet. I motsetning til oppfinnelsen består imidlertid halvlederlegemet av homogent gallium-arsenid med meget stor spesifikk motstand ($\gg 100 \text{ Ohm cm}$) som er meget vanskelig å fremstille på reproduserbar måte. Det skyldes naturligvis at den kjente anordning likesom de allerede beskrevne anordninger er begrenset til et produkt av $n_0 L$ i størrelsesorden av 10^{12} cm^{-2} i motsetning til oppfinnelsesgjengenstanden, slik at i dette tilfelle er den maksimalt tillatte avstand mellom kontaktene som er avhengige av dopingskonsentrasjonen, svært liten.

Ved anordningen ifølge oppfinnelsen er det derimot mulig å gjøre avstanden mellom kontaktene og særlig avstanden mellom inngangskontakten og utgangskontakten forholdsvis stor fortrinnsvis minst 2μ , slik at hvis ønskelig kan styreelektroden anbringes mellom disse kontakter, f.eks. på samme måte som portelektroden i en MOS-transistor, ved å anbringe et metallsjikt på et oksydsjikt som er anordnet på det epitaksiale sjikt.

Noen utførelseseksempler på oppfinnelsen skal forklares nærmere under henvisning til tegningene.

Fig. 1 viser skjematisk i perspektiv en halvlederanordning ifølge oppfinnelsen.

Fig. 2 viser et diagram for forholdet mellom på den ene side feltstyrken E og på den annen side strømtettheten J i retning av feltet delt på den spesifikke ledningsevne σ_0 ved liten feltstyrke, for et halvlederlegeme av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype.

Fig. 3 viser skjematisk og i perspektiv en annen utførelse av en anordning ifølge oppfinnelsen.

Fig. 4 viser skjematisk og i perspektiv en tredje utførelse av en anordning ifølge oppfinnelsen.

For tydelighets skyld er anordningen på fig. 1, 2, 3 og 4 vist i sterkt overdrevet målestokk. Dette gjelder særlig i tykkelsesretningen. Tilsvarende komponenter har samme henvisningstall på figurene.

Halvlederanordningen på fig. 1 omfatter et substrat 1 av gallium-arsenid med en spesifikk motstand på 10^4 Ohm.cm, en tykkelse på 75μ , en lengde på 200μ og en bredde på 100μ og på dette legeme er anordnet et epitaksialt sjikt 2 av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype med en spesifikk motstand på 1 Ohm.cm og en tykkelse på 1μ . To forbindelseskontakter, nemlig en katodekontakt 3 og en anodekontakt 4 er dannet av legerte parallelle tinnstrimler på oversiden av sjiktet 2.

Sjiktet 2 slutter seg til et avgrensningsområde som her dannes av hele substratet 1. I enkelte tilfeller kan substratet alternativt bestå av et sterkt dopet substrat 5 på hvilket det er anordnet et avgrensningsområde som består av et sjikt 6 av gallium-arsenid med en spesifikk motstand på 10^4 Ohm.cm og med en tykkelse på f.eks. 10μ som slutter seg til sjiktet 2, og på fig. 1 er de to substratområder 5 og 6 antydnet delt med en strekprikket linje 7.

Den innbyrdes avstand L mellom kontaktene 3 og 4 er 120μ . I sjiktet 2 kan en negativ differensialmotstand innstilles når en likespenning som er tilstrekkelig høy påtrykkes mellom kontaktene 3 og 4. Dette er vist på fig. 2 hvor det for gallium-arsenid av n-ledningsevnetype er vist forholdet mellom feltstyrken E i materialet og strømtettheten J som opptrer i retning av feltstyrken som følge av denne. Denne strømtetthet J er videre lineært avhengig av ledningsevnen σ_0 for materialet ved liten feltstyrke, slik at på fig. 2 er tegnet opp verdien av $\frac{J}{\sigma_0}$. Både $\frac{J}{\sigma_0}$ og E på fig. 2 har dimensjonene kV pr. cm. Det fremgår av kurven at under en kritisk feltstyrke E_c på ca. $3,6$ kV/cm, opptrer et område med en negativ differensialmotstand. I den beskrevne anordning er den kritiske spenningsforskjell mellom anode og katode derfor lik $0,012 \times 3500 = 42$ volt.

De minste dimensjoner av ladningsområdet i retning fra katode til anode er som allerede beskrevet gitt med tilstrekkelig tilnærmelse ved formelen

$$\sqrt{\frac{E_c \cdot L \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{e n_0}}$$

For sjiktet 2 av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype som her anvendes er den spesifikke motstand 1 Ohm.cm og man får da

125419

$$E_c = 3.5 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$L = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\epsilon_o = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$$

$$\epsilon_r = 13.5$$

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$n_o = 10^{21} \text{ m}^{-3}$$

Herav fremgår at den minste lengde av ladningsområdet er $5,6 \mu$. Sjiktet 2 i dette eksempel har derfor en tykkelse som er mindre enn halvparten av den minste lengde av ladningsområdet, slik at formering av ladningsområdet hindres i høy grad. Som følge derav kan det anvendes en forholdsvis stor katode-anodeavstand på 120μ uten fare for at det skal dannes formering av ladningsområder. Det ovenfor nevnte produkt av $n_o L$ er i dette tilfelle $1,2 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, hvilket er en størrelsesorden høyere enn det som kan tillates ved kjente anordninger av denne type.

Anordningen virker på følgende måte:

En likespenning V_E på 54 volt påtrykkes mellom forbindelseskontaktene 3 og 4 i serie med en selvinduksjon. Som følge derav opptrer en feltstyrke på $4,5 \text{ kV/cm}$ i sjiktet 2 mellom kontaktene, slik at anordningens arbeidspunkt (se fig. 2) vil ligge i et punkt A og derfor dannes en negativ differensialmotstand mellom kontaktene. Gjennom en koaksialkabel med en kjerne 8 og en skjerm 9 påtrykkes en inngangsvekselspenning mellom kontaktene 3 og 4 gjennom en koplingskondensator, hvilket inngangssignal har en frekvens på $0,8 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ og en amplitude som er tilstrekkelig stor slik at den resulterende feltstyrke alltid ligger innenfor området av den negative differensialmotstand. På fig. 2 er feltstyrkevariasjonen tydelig vist mellom verdiene A_1 og A_2 rundt arbeidspunktet A. Skjermen 9 og katoden 3 er jordet slik det fremgår av fig. 1.

Som følge av den negative differensialmotstand vil inngangssignalet forsterkes i sjiktet 2 og ledet bort via koaksialkabelen 8, 9 som et reflektert signal i forsterket form. Da videre med den påtrykte likespenning driftshastigheten V for elektronene fra katoden til anoden er ca. 10^7 cm/sek. , mens avstanden L fra

125419

katoden til anoden er 0,012 cm, vil frekvensen av inngangssignalet som nevnt ovenfor være praktisk talt lik $\frac{V}{L}$ slik at maksimal forsterkning oppnås.

Anordningen på fig. 1 kan fremstilles på følgende måte: Man går ut fra en plate av gallium-arsenid med en spesifikk motstand på 10^4 Ohm.cm. Den ene overflate av platen poleres og etses slik at den får minst mulig krystaldefekter. Et sjikt 2 av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype er anbrakt epitaksialt fra en dampfase på overflaten av platen. Dette er utført ved ca. 750°C ved reaksjon mellom gallium og arsen, idet galliumet oppnås ved dekomponering av gallium-monoklorid og arsenet ved reduksjon av arsen-triklorid med hydrogen. Samtidig med groingen av gallium-arsenid anbringes en donor f.eks. silicium, tellur, tinn eller selen i et slikt kvantum at det epitaksiale sjikt 2 har en jevn donorkonsentrasjon på ca. 10^{15} atomer/cm³ med en tilsvarende spesifikk motstand på ca. 10 Ohm.cm. Groingen fortsetter inntil sjiktet har en tykkelse på 1 μ .

Tinnstrimlene 3 og 4 har en bredde på 25 μ og er anbrakt på overflaten av sjiktet 2 og er legert i en hydrogen-atmosfære ved en temperatur på 650°C . På denne måte er det anbrakt ohmske kontakter på sjiktet 2.

Tilslutningsledninger er så festet på tinnkontaktene 3 og 4 og deretter blir hele anordningen anbrakt i en egnet kappe.

På fig. 3 består anordningen av et substrat 1 og et epitaksialt sjikt 2 av samme materiale som på fig. 1 og det samme gjelder tykkelsen og doping. Til forskjell fra anordningen på fig. 1 er det anbrakt en inngangskontakt 11 og en utgangskontakt 12 også i form av tinnlegeringsstriper med en bredde på 15 μ , mellom katodekontakten 3 og anodekontakten 4 som vist på fig. 3. Avstanden L_1 mellom kontaktene 3 og 11 er 100 μ , avstanden a mellom kontaktene 11 og 12 er 250 μ og avstanden L_2 mellom kontaktene 12 og 4 er 150 μ .

Under drift blir anordningen på fig. 3 f.eks. påtrykt en likespenning på 240 volt mellom katodekontakten 3 og anodekontakten 4 som har en innbyrdes avstand på 530 μ og dette gir likesom ved eksemplet på fig. 1 en feltstyrke på ca. 4,5 kV/cm i sjiktet 2 slik at arbeidspunktet blir liggende i området for den negative differensialmotstand.

125419

En inngangsvekselspenning U_1 påtrykkes mellom kontaktene 3 og 11 via en koplingskondensator. Den resulterende romladningsbølge vandrer i sjiktet 2 i retning fra katoden til anoden og forsterkes som følge av den negative differensialmotstand, slik at mellom kontaktene 12 og 4 opptrer det et forsterket utgangssignal U_2 med samme frekvens. Frekvensen av signalene U_1 og U_2 er 10^9 Hz. Da driftshastigheten v for elektronene i sjiktet 2 ved den påtrykte feltstyrke er 10^7 cm/sek. får man for frekvensen f av signalene U_1 og U_2 :

$$f = \frac{v}{L_1} = \frac{3}{2} \frac{v}{L_2}$$

slik at inngangskoplingen og utgangskoplingen blir så fordelaktig som mulig.

Anordningen på fig. 3 kan fremstilles på samme måte som beskrevet under henvisning til fig. 1 idet det må påses at tinnkontaktene 11 og 12 ikke legeres for dypt inn i sjiktet 2.

Fig. 4 viser en tredje utførelsesform av en anordning ifølge oppfinnelsen. Denne omfatter et substrat 21 av gallium-arsenid med en spesifikk motstand på ca. 10^4 Ohm.cm på hvilket det er anbrakt et epitaksialt sjikt 22 av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype med en spesifikk motstand på 1 Ohm.cm og en tykkelse på 1 μ . På dette sjikt er anbrakt en katodekontakt 3 og en anodekontakt 4 i form av legerte tinnstrimler.

Et sjikt 23 bestående av epoksyharpiks inneholdende ca. 40 volumprosent bariumtitanat er anbrakt på sjiktet 22 og kontaktene 3 og 4. Bariumtitanat har en dielektrisitetskonstant som er meget større enn for gallium-arsenid, slik at den relative dielektrisitetskonstant for sjiktet 23 er meget stor, og minst fem ganger større enn for sjiktet 22. I denne anordning er sjiktet 22 begrenset av det første begrensningsområde som består av substratet 21 og av et andre begrensningsområde som består av sjiktet 23. Følgelig vil virkningen av reduksjonen av feltstyrkekomponenten i romladningen i retningen av sjiktet bli betydelig forsterket sammenlignet f.eks. med anordningen på fig. 1. For å oppnå homogen feltfordeling i sjiktet 22 er det ønskelig som vist på fig. 4 at bariumtitanatsjiktet 23 strekker seg minst frem til kontaktene 3 og 4. Avstanden L mellom katodekontakten 3 og anodekontakten 4 er 120 μ som i utførelsen på fig. 1, fordi også lengden og bredden

av sjiktet 22 er det samme som for sjiktet 2 på fig. 1. Anordningen er forbundet og drives på samme måte som beskrevet under henvisning til fig. 1.

Anordningen som er vist på fig. 4 kan fremstilles på følgende måte: Man går ut fra en plate 21 av gallium-arsenid $200 \times 200 \mu$ med en spesifikk motstand på 10^4 Ohm.cm på hvilken det epitaksialt er anbrakt et sjikt 22 av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype med en tykkelse på 1μ og en spesifikk motstand på 1 Ohm.cm . Sjiktet 22 etses delvis bort ved anvendelse av fotomotstandsmetoden som er vanlig ved halvlederteknikk i forbindelse med et etsemiddel som består av en oppløsning av tre volumdeler konsentrert svovelsyre, en volumdel 30% hydrogenperoksyd og en volumdel vann ved en temperatur på 60°C . Sjiktet 22 har en lengde på 200μ og en bredde på 100μ .

Tinnstrimlene 3 og 4 anbringes så på sjiktet 22 og på substratet 21 og legeres i hydrogenatmosfære ved 650°C i noen minutter.

En suspensjon bestående av epoksyharpiks oppløst i etylacetat med 40 volumprosent bariumtitanatpulver anbringes så over hele sjiktet 22 og delvis over substratet. Etter fordampningen av oppløsningsmidlet og herdning av epoksyharpiksen dannes det et sjikt 23 med en tykkelse på 2 til 3μ . Strukturen er vist på fig. 4, hvor kontaktene 3 og 4 rager delvis ut fra sjiktet 23 og kan forsynes med tilslutningsledninger. Det hele anbringes så i en egnet kappe.

Det er klart at oppfinnelsen ikke er begrenset til utførelseseksemplene og at mange variasjoner er mulige for fagmannen innenfor oppfinnelsens ramme. F.eks. kan substratet bestå av et annet materiale enn gallium-arsenid eller av en lavohmig del med et høyohmig sjikt. Videre kan substratet danne en pn-overgang med det aktive epitaksiale sjikt. Isteden for gallium-arsenid av n-ledningsevnetype kan det aktive epitaksiale sjikt bestå av kadmiumtellurid, indiumfosfid, kadmiumtellurid, sinkselelenid eller et annet egnet materiale som har en strøm-spenningskarakteristikk tilsvarende den som er vist på fig. 2. Videre kan anordningens dimensjoner og kontaktenes geometri varieres innen vide grenser f.eks. ved anvendelse av konsentriske isteden for strimmelformede kontakter og styreelektroden kan anbringes på forskjellige steder på det aktive epitaksiale sjikt.

P a t e n t k r a v .

1. Halvlederanordning for forsterkning av mikrobølger, omfattende et halvledersjikt som er epitaksialt anbrakt på et substrat og har minst to forbindelseskontakter, i hvilket sjikt en negativ differensialmotstand kan innstilles når en likespenning mellom forbindelseskontaktene er tilstrekkelig høy, k a r a k t e r i s e r t v e d at tykkelsen av det epitaksiale sjikt maksimalt er lik den minste lengde av ladningsområdet som kan dannes i sjiktets halvledermateriale hvis tykkelsen av dette sjikt var ubegrenset, altså minst lik

$$\sqrt{\frac{E_c \cdot L \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{e n_0}}$$

hvor E_c er den kritiske feltstyrke i volt/m, over hvilken formering av områder i halvledermaterialet i sjiktet kan opptre, L er den minste avstand i m mellom forbindelseskonstantene, ϵ_r er sjiktets dielektrisitetskonstant, e er elektronladningen i Coulomb, n_0 er konsentrasjonen av majoritetsladningsbærerne pr. m^3 av sjiktet, og ϵ_0 er dielektrisitetskonstanten av vakuum i F/m/ og at det epitaksiale sjikt slutter seg til et avgrensningsområde (1; 21, 23) med en spesifikk motstand som er større enn den spesifikke motstand av det epitaksiale sjikt, idet forbindelseskontaktene (3, 4) er anordnet i avstand fra hverandre i sjiktets (2, 22) retning (fig. 1, 3, 4).

2. Halvlederanordning ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at avgrensningsområdet er dannet av i det minste en del av substratet.

3. Halvlederanordning ifølge krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at tykkelsen av det epitaksiale sjikt maksimalt er lik

$$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{E_c \cdot L \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{e n_0}}$$

hvor E_c , L, ϵ_r , n_0 og ϵ_0 har samme mening som i krav 1.

4. Halvlederanordning ifølge et eller flere av de foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at avgrensningsområdet har en dielektrisitetskonstant som minst er lik dielektrisitetskonstanten for det epitaksiale sjikt.

5. Halvlederanordning ifølge et eller flere av de foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at det epitaksiale sjikt består av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype som er grodd epit-

aksialt på et substrat av gallium-arsenid med en spesifikk motstand på minst 1000 Ohm.cm.

6. Halvlederanordning ifølge et eller flere av de foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at det epitaksiale sjikt består av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype med en spesifikk motstand på mellom 0,01 Ohm.cm. og 10 Ohm.cm.

7. Halvlederanordning ifølge et eller flere av de foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at det epitaksiale sjikt har en tykkelse på høyst 5 μ .

8. Halvlederanordning ifølge krav 7, k a r a k t e r i s e r t v e d at det epitaksiale sjikt har en tykkelse på høyst 1 μ .

9. Halvlederanordning ifølge et eller flere av kravene 1-4, k a r a k t e r i s e r t v e d at dielektrisitetetskonstanten for avgrensningsområdet er minst to ganger større enn for sjiktets dielektrisitetetskonstant.

10. Halvlederanordning ifølge krav 9, k a r a k t e r i s e r t v e d at sjiktet består av gallium-arsenid av n-ledningsevnetype, og at avgrensningsområdet inneholder bariumtitanat, strontiumtitanat eller titandioksyd.

11. Halvlederanordning ifølge et eller flere av de foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at avgrensningsområdet dannes av et sjikt som er anbrakt på det epitaksiale sjikt på den side av dette som vender fra substratet.

12. Halvlederanordning ifølge et eller flere av de foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at den minste avstand mellom forbindelseskontaktene er 100 μ .

13. Halvlederanordning ifølge et eller flere av de foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at det mellom forbindelseskontakten er anordnet en inngangskontakt og/eller en utgangskontakt.

14. Halvlederanordning ifølge krav 13, k a r a k t e r i s e r t v e d at avstanden mellom en inngangskontakt og en utgangskontakt er minst 200 μ .

Anførte publikasjoner:

RCA Review, 1967 side 585-594

125419

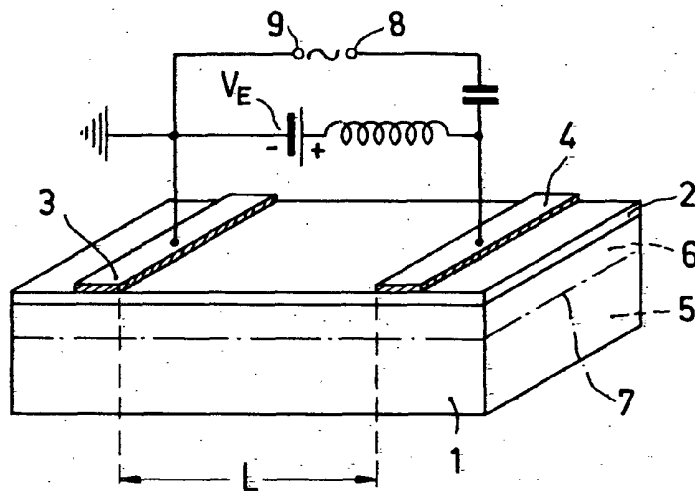


fig.1

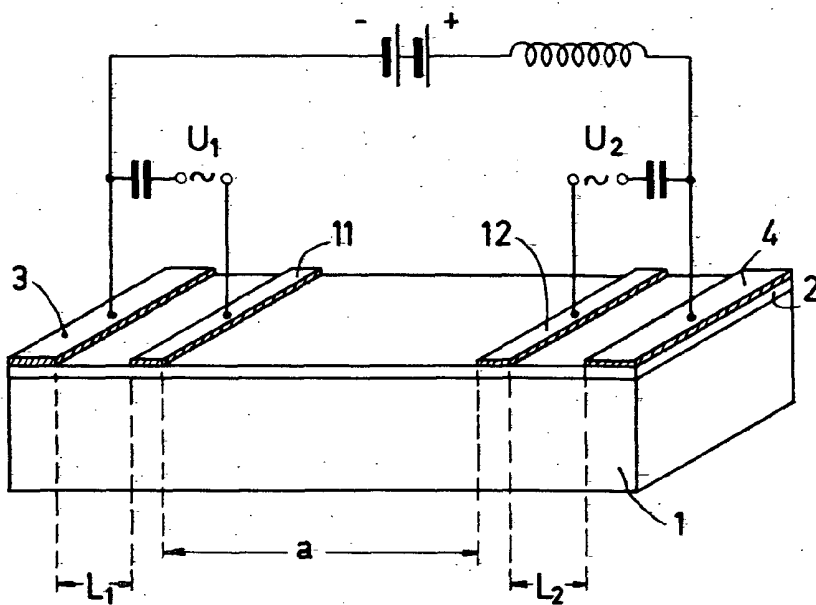


fig.3

125419

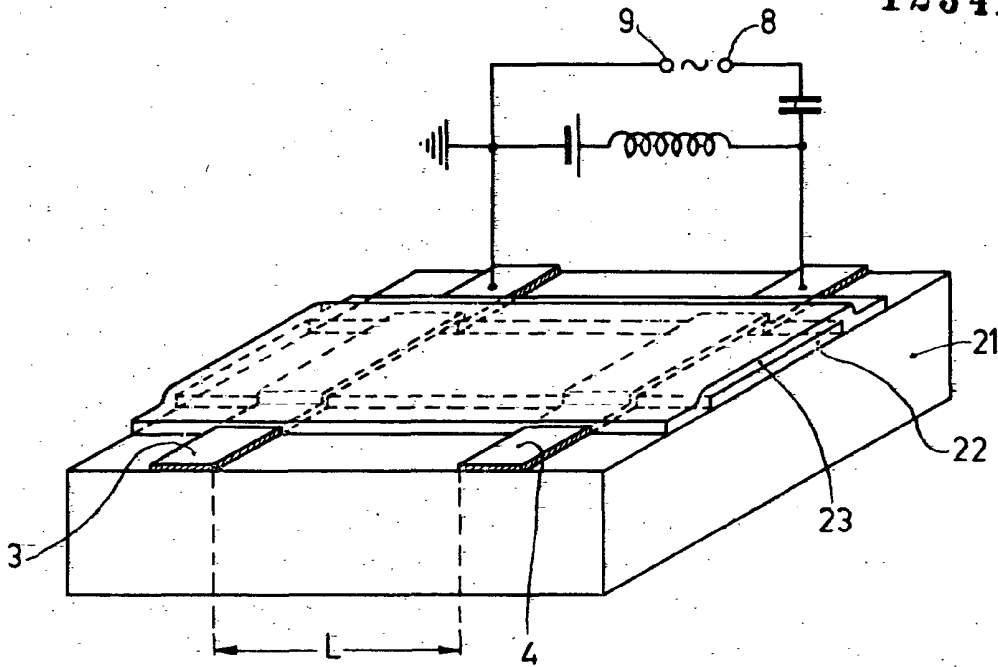


fig.4

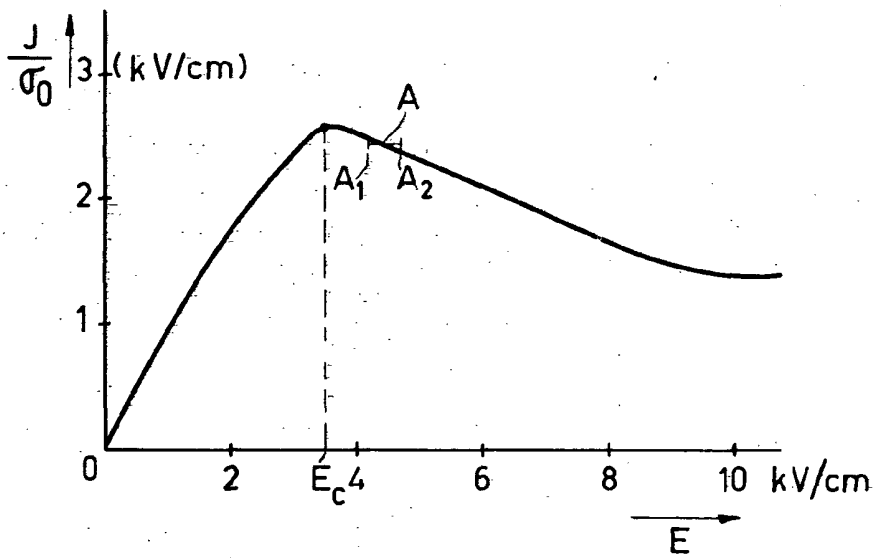


fig.2