

NORGE



**STYRET
FOR DET INDUSTRIELLE
RETTSVERN**

Utlegningskrift nr. 120590

Int. Cl. H 01 1 15/00 Kl. 21g-11/02
H 01 1 15/00 21g-39/04

Patentsøknad nr. 169.773 Inngitt 18.IX 1967

Løpedag -

Søknaden alment tilgjengelig fra 1.VII 1968

Søknaden utlagt og utlegningskrift utgitt 9.XI 1970

Prioritet begjært fra: 30.IX-66 Tyskland,
nr. S 1 06 286

Siemens Aktiengesellschaft,
Wittelsbacher platz 2, D 8000 München 1, Tyskland.

Oppfinnere: Günter Winstel, Ottobrunnerstr. 101,
München 83, Klaus Mettler, Hess-Str. 50-52,
München 13, Horst Pelka, Ramoldstr. 78,
München 83 og Karl-Heinz Zschauer,
St. Veitstr. 33, München 80, Tyskland.

Fullmektig: Siv.ing. Per Onsager.

Optoelektronisk halvlederanordning.

Oppfinnelsen angår en optoelektronisk halvlederanordning med en luminescensdyktig sender, en på senderens stråling fotofølsomt reagerende pn-overgang som mottager og en elektrisk isolerende lysleder som består av halvledermateriale med høy spesifikk motstand og forbinder sender og mottager optisk og elektronisk med hverandre, samtidig som senderen og lyslederen består av en III-V-forbindelse, særlig av galliumarsenid og mottageren av en halvleder, f.eks. silisium, som med hensyn til refleksjonsfaktoren er tilpasset senderen.

Som optoelektronisk halvlederanordning betegner man en anordning med et halvlederbygge-element som emitterer optisk stråling, f.eks. luminescensdiode, som sender A, et halvlederbygge-element som er følsomt for denne stråling, f.eks. en fotodiode, som mottager B, og en

120590

lysleder L mellom de to. Denne lysleder skal bevirke en mest mulig sterk optisk kobling og en mest mulig god elektrisk isolasjon samtidig med en stabil mekanisk kobling mellom sender og mottager i et temperaturområde mellom ca. -55 til $+125^{\circ}\text{C}$.

Den sterke elektriske kobling forutsetter foruten mest mulig intens lysemissjon fra senderen fremfor alt en god tilpasning av mottagerens spektralfølsomhet til denne stråling og mest mulig lave absorpsjons-, refleksjons- og totalrefleksjonstap på lysveien. Den optiske avkobling av sender og mottager lar seg oppnå med en mest mulig godt isolerende lysleder.

Den ønskede høye intensitet av senderlyset blir oppnådd med tilsvarende sterke strømmer i luminescensdioden A.

Kravet om spektral tilpasning (i sambandsteknikken vil man tale om frekvensavstemning) blir for tiden optimalt oppfylt ved anvendelse av galliumarsenid, GaAs, som sender- og silicium, Si, som mottagermateriale. Det er dog ikke utelukket at også andre materialkombinasjoner i fremtiden vil vise seg å være i det minste like gunstige.

Lystapene ved absorpsjon, refleksjon og totalrefleksjon såvel som den elektriske isolasjon mellom A og B blir i det vesentlige bestemt ved materialet i lyslederen L. Særlig de tap som skyldes totalrefleksjon ved grenseflatene mellom lysleder og halvlederbyggelementer, avhenger av lyslederens brytningsindeks n_L mot luft, resp. av lyslederens relative brytningsindeks mot halvledermaterialene. Senderen, f.eks. en GaAs-luminescensdiode, og mottageren, f.eks. en Si-diode, har høye brytningsindekser ($n_A = n_{\text{GaAs}} \approx 3,53$ og $n_B = n_{\text{Si}} \approx 3,5$), så spesielt totalrefleksjonstapene kan reduseres betraktelig ved anvendelse av sterktbrytende lysledere.

Slike optoelektriske halvlederanordninger er kjent i prinsippet (fr. f.eks. Biard m.fl.: Proc. IEEE, Bind 52, nr. 12, 1964, 1529 - 1536). Som lysleder L mellom en GaAs-luminescensdiode som sender A og en Si-fotodiode som mottager B nevnes bly- resp. selenholdige glass (Pb- resp. Si-glass, brytningsindeks $n_L \approx 1,8 - 1,9$, resp. $n_L \approx 2,4 - 2,6$). Disse lysledermaterialers relative brytningsindekser mot halvledermaterialene i sender resp. mottager avviker imidlertid sterkt (over 50%) fra 1, så lystapene, særlig som følge av totalrefleksjon, stadig er meget betydelige.

Den foreliggende oppfinnelses oppgave er å rydde denne ulempe av veien.

Ifølge oppfinnelsen blir denne oppgave løst ved at den av

semi-isolerende galliumarsenid bestående lysleder er slik dotert med krom at dens absorpsjonskoeffisient langs lysveien mellom sender og mottager er lik eller mindre enn 20 cm^{-1} .

Da den elektriske isolasjonsvirkning av lysledere av Pb-resp. Si-holdige glass avtar merkbart med stigende temperatur også innen området for vanlige driftstemperaturer, består en ytterligere oppgave for oppfinnelsen i å gi anvisning på en lite absorberende sterktbrytende lysleder som samtidig har høy spenningsfasthet.

Ifølge en videre oppfinnelsestanke blir det oppnådd ved at der som lysleder anvendes et semi-isolerende halvledermateriale - i tilfellet av GaAs som sender og Si som mottager særlig semi-isolerende GaAs.

Ved uttrykket "semi-isolerende" skal følgende forstås: Den laveste elektriske ledningsevne, m.a.o. den høyeste elektriske motstand har det absolutt reneste halvledermateriale, som idag riktignok av teknologiske og økonomiske grunner neppe lar seg oppnå. Denne tilstrebede reneste tilstand kommer man, når det gjelder den elektriske ledningsevne resp. den elektriske motstand, på ganske prisverdig måte meget nær ved i det minste delvis kompensasjon av forstyrrende ladninger som alltid forefinnes. Kompensasjonen er mulig ved målrettet innbygning av fremmedatomer, f.eks. fremmedatomer der virker som feller for frie ladningsbærere. Et slikt kompensert - ikke aller reneste - halvledermateriale, d.v.s. et halvledermateriale med høyest mulig elektrisk motstand, betegner man som semi-isolerende.

På grunnlag av materialvalget kan det altså spesielt oppnås at brytningsindeksene for sender A og lysleder L (f.eks. begge av GaAs) er tilnærmelsesvis like, så tilpasningen bare behøver å foretas mellom brytningsindeksene for lysleder og mottager.

Absorpsjonstapene opptrer hovedsakelig i lyslederen, og det særlig når lysleder og sender består av samme grunnmateriale. Det bør derfor påses at absorpsjonskoeffisienten for det anvendte lys forblir lav nok, f.eks. mindre enn 20 cm^{-1} , i det minste i lyslederen. Absorpsjonskoeffisienten lar seg innstille ved dotering av lyslederen L.

Et galliumarsenid, GaAs, som er semi-isolerende, altså har mest mulig høy spesifikk motstand og samtidig liten absorpsjon, er f.eks. et GaAs som er dotert med noen 10^{16} kromatomer pr. cm^3 (GaAs:Cr). Absorpsjonstapene blir lavere jo mer langbølget GaAs-luminescensdiodens emisjon er. Særlig godt egner seg en GaAs-luminescensdiode hvis lysutviklende pn-overgang er fremstillet ved innlegering av en sink-tinn-

pille - fortrinsvis med sammensetning $\frac{\text{Zn}}{\text{Sn}} \approx 10^{-2} - 10^{-1}$ - og hvis spektrale emisjonsmaksimum ligger ved ca. λ 0,98 μm . Absorpsjonskoeffisienten for det semi-isolerende GaAs:Cr-lysledermateriale utgjør for dette lys bare omtrent $\alpha \approx 5 \text{ cm}^{-1}$ (jfr. [1]). For lyset fra en ellers vanlig diffundert GaAs-luminescensdiode (α omtrent 0,9 μm) vil absorpsjonskoeffisienten være omtrent $\alpha \approx 50 \text{ cm}^{-1}$ (jfr. [2]) og dermed omtrent en faktor 10 større.

Det Cr-doterte GaAs har ikke bare liten absorpsjon ved ca. 1 μm , men har dessuten meget høy spesifikk motstand (ca. $10^8 \Omega \text{ cm}$) og egner seg derfor særlig som materiale for en spenningsfast lysleder.

Da den optoelektriske halvlederanordnings sender A og lysleder L i dette tilfelle består av samme grunnmateriale, nemlig GaAs, kan en mekanisk stabil forbindelse mellom de to fremstilles på enkel måte, f.eks. ved epitaktisk oppbygning. Mottageren B kan kittes for dannelsen av en mekanisk stabil forbindelse med lyslederen L.

Den ovennevnte fordel av den meget lave absorpsjon i lyslederen L er av betydning også fordi det anvendte kitt mellom lysleder L og mottager B muligvis kan føre til lystap. Disse tap, som isåfall blir uunngåelige, blir imidlertid utlignet av de meget lave tap på veien til dette kittlag.

Som kitt mellom lysleder L og mottager B kan der uten for store absorpsjonstap anvendes opp til ca. 1 μm tykke skikt av lavt-smeltende glass, som til og med kan tillates å ha en elektrisk ledningsevne. Et slikt kittglass K kan spesielt inneholde arsensulfid As_4S_4 eller arsenselenid As_2Se_3 , hvorved brytningsindeksen blir høynet og refleksjonstapene dermed minsket. Ved skikttykkelser på mindre enn $\frac{\lambda}{2}$, altså mindre enn ca. 0,5 μm , kan også organiske lim anvendes uten ulempe.

Det skal dessuten nevnes at en minskning av absorpsjonstapene også lar seg oppnå ved innbygning av andre III-V-forbindelser i luminescensdioden og/eller lyslederens materiale, nemlig ved båndavstandsminskende komponenter i luminescensdioden (ved GaAs f.eks. minst én av forbindelsene InSb, InAs, GaSb, InP) og/eller ved båndavstandsökende komponenter i lyslederen (ved GaAs f.eks. minst én av forbindelsene AlP, AlAs, GaP, AlSb).

I det følgende skal der under henvisning til fig. 1 - 3 bli gjort rede for hvilken fordel der oppnås spesielt med hensyn til totalrefleksjonstapene ved tilpasning av brytningsindeksen.

På fig. 1 er forløpet av strålingen i en optoelektrisk

halvlederanordning skjematisk skissert. For oversiktens skyld er der antatt en punktformet pn-overgang i luminescensdioden A. p og n betyr p- og n-sone i luminescensdioden, TR totalrefleksjonen og l og 2 grenseflatene henholdsvis mellom A og L og mellom L og B.

Lysstrålene følger brytningsloven

$$\sin \theta = n \cdot \sin \varphi, \quad n = \text{relativ brytningsindeks}$$

$$\sin \varphi_G = \frac{1}{n}; \quad \varphi_G = \text{grensevinkel for totalrefleksjon } (n > 1)$$

Lyskoblingen η - d.v.s. kvotienten av den intensitet J_B som registreres i B, og den intensitet J_A som emitteres av pn-overgangen i A - er gitt (absorpsjonstap er ikke tatt med) ved

$$\eta \sim \eta_1 \cdot \eta_2$$

η_1 fås med god tilnærmelse som produkt av transmisjonen T_1 ved grenseflaten 1 med en faktor F_{TR} som tar hensyn til det forhold at grenseflaten 1 på grunn av totalrefleksjon bare passerer av lysstråler fra lyskjeglen med åpningsvinkel $2\varphi_G$.

For transmisjonen gjelder (FRESNEL's formler)

$$T_{||} = \frac{4 n^2 \cos \theta \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{(\cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta})^2 \cdot (\cos \theta \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta} + \sin^2 \theta)^2}$$

$$T_{\perp} = \frac{4 \cos \theta \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{(\cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta})^2}$$

$$T = 1/2(T_{||} + T_{\perp})$$

Ved hjelp av brytningsindeksen kan $T_{||}$, $T_{\perp}$ og T også uttrykkes i avhengighet av innfallsvinkelen φ . På fig. 2 er transmisjonen T_{ra} oppført for tilfellet $n = 3,53$ (det svarer til en grenseflate mellom GaAs og luft). Man ser at T først forvinkler større enn β = BREWSTER-vinkelen avtar merkbart, d.v.s. at transmisjonen med god tilnærmelse kan betraktes som uavhengig av vinkelen og settes lik T ($\varphi \approx \beta \approx 0^\circ$). Feilen ved denne tilnærmelse er gitt ved forholdet mellom den skraverte flate (fig. 2) og hele rektangelet med høyde T ($\varphi \approx \beta \approx 0^\circ$) og blir med $n \rightarrow 1$ stadig mindre fordi man da får $\beta \rightarrow 90^\circ$. Dermed blir

$$T \approx T(\varphi \approx \beta \approx 0^\circ) = 1/2[T_{||}(\varphi \approx \beta \approx 0^\circ) + T_{\perp}(\varphi \approx \beta \approx 0^\circ)] = \frac{4n}{(n+1)^2} \sim \frac{n}{(n+1)^2} = \frac{\frac{1}{n}}{(\frac{1}{n}+1)^2}$$

Faktoren F_{TR} er gitt ved kvotienten av $2\varphi_G$ -rumvinkelen (ved totalrefleksjon begrenset utnyttbar lysbunt) og den samlede kuleoverflate. Under anvendelse av formelen for totalrefleksjonen får man

120590

$$F_{TR} = \frac{n_1 - \sqrt{n_1^2 - 1}}{2n_1} \sim \frac{n_1 - \sqrt{n_1^2 - 1}}{n_1} ; n_1 = \frac{n_A}{n_L}$$

Da der ved grenseflaten 2 på grunn av $n_L \lesssim n_B$ ikke opptrer noen totalrefleksjon, og da $n_A = n_{\text{GaAs}} \approx n_{\text{Si}} = n_B$ (d.v.s.

$n_2 = \frac{n_L}{n_B} \approx \frac{1}{n_1}$), får man for lyskoblingen uttrykket

$$\eta(n_1) = \frac{n_1 - \sqrt{n_1^2 - 1}}{n_1} \cdot \frac{n_1}{(n_1 + 1)^2} \cdot \frac{n_2}{(n_2 + 1)^2} \approx n_1 \frac{n_1 - \sqrt{n_1^2 - 1}}{(n_1 + 1)^4}$$

Fig. 3 viser forløpet av η som funksjon av n_1 . Man ser tydelig at lyskoblingen η for en optoelektronisk anordning i henhold til oppfinnelsen ($n_1 < 1,2$) blir vesentlig høyere enn ved anvendelse av lysledere av Pb-glass ($n_L \approx 1,8$, d.v.s. $n_1 \approx 1,4$) eller av Se-glass ($n_L \approx 2,5$, d.v.s. $n_1 \approx 1,95$) eller av luft ($n_1 \approx 3,5$).

Fig. 4 viser en utførelsesform av den optoelektroniske halvlederanordning ifølge oppfinnelsen. Her betyr:

A: Luminescensdiode (f.eks. av GaAs, fortrinsvis (Zn, Sn)-legert GaAs-luminescensdiode), kontaktert med

E_1 og E_2 : elektroder i luminescensdioden

P_A resp. n_A : henholdsvis p- og n-sone i luminescensdioden A

L: høyttbrytende lysleder av semi-isolerende halvledermateriale med liten absorpsjon (f.eks. av GaAs:Cr)

B: fotodiode (f.eks. av Si), kontaktert med

E_3 og E_4 : elektroder for fotodioden

P_B resp. n_B : henholdsvis p- og n-sone i fotodioden B

K: eventuelt forekommende kittskikt (f.eks. av lavt smeltende glass).

Litteratur:

[1]

C.E. JONES, A.R. HILTON:

J. Electrochem. Soc., bind 113 (mai 1966) 504-505

[2]

W.N. CARR:

IEEE Trans. on El.Dev. ED nr. 10 (oktober 1965)

531 - 535.

P a t e n t k r a v :

1. Optoelektronisk halvlederanordning med en luminescensdyktig sender, en på senderens stråling fotofølsomt reagerende pn-overgang som mottager og en elektrisk isolerende lysleder som består av halvledermateriale med høy spesifikk motstand og forbinder sender og mottager optisk og elektronisk med hverandre, samtidig som senderen og lyslederen består av en III-V-forbindelse, særlig av galliumarsenid og mottageren av en halvleder, f.eks. silisium, som med hensyn til refleksjonsfaktoren er tilpasset senderen, k a r a k t e r i s e r t ved at den av semi-isolerende galliumarsenid bestående lysleder er slik dotert med krom at dens absorpsjonskoeffisient langs lysveien mellom sender og mottager er lik eller mindre enn 20 cm^{-1} .
2. Anordning som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t ved at den av semi-isolerende galliumarsenid bestående lysleder som forbinder senderen, som består av en galliumarsenid-luminescensdiode med en pn-overgang tilveiebragt ved innlegering av sink og tinn, med mottageren, som dannes av en silisiumfotodiode, har en tilsetning av 10^{16} til 10^{17} kromatomer pr. cm^3 .
3. Anordning som angitt i krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t ved at lyslederen er epitaktisk sammenvokset med luminescensdioden som danner senderen, og mottageren er forbundet med lyslederen via et tynt skikt av et kitteglass inneholdende arsensulfid eller arsenselenid.
4. Anordning som angitt i et av kravene 1 - 3, k a r a k t e r i s e r t ved at der i lyslederen og/eller i luminescensdioden som danner senderen, i tillegg er innbygget minst en $A_{III}B_V$ -forbindelse som øker den effektive båndavstand og minsker absorpsjonstapene.

Anførte publikasjoner:

Britisk patent nr. 1.005.989

U.S. patent nr. 3.043.958

120590

Fig.1

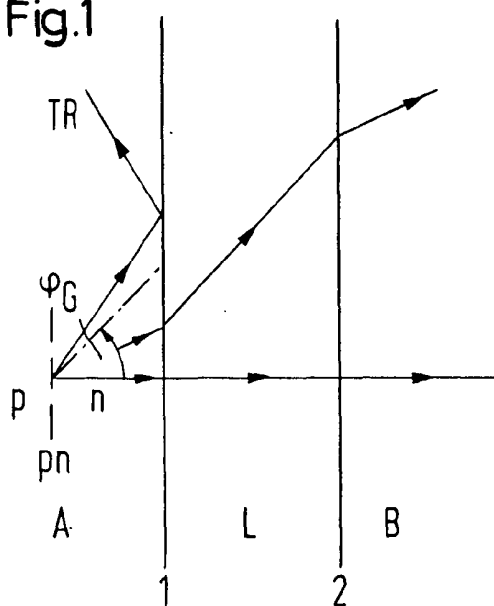
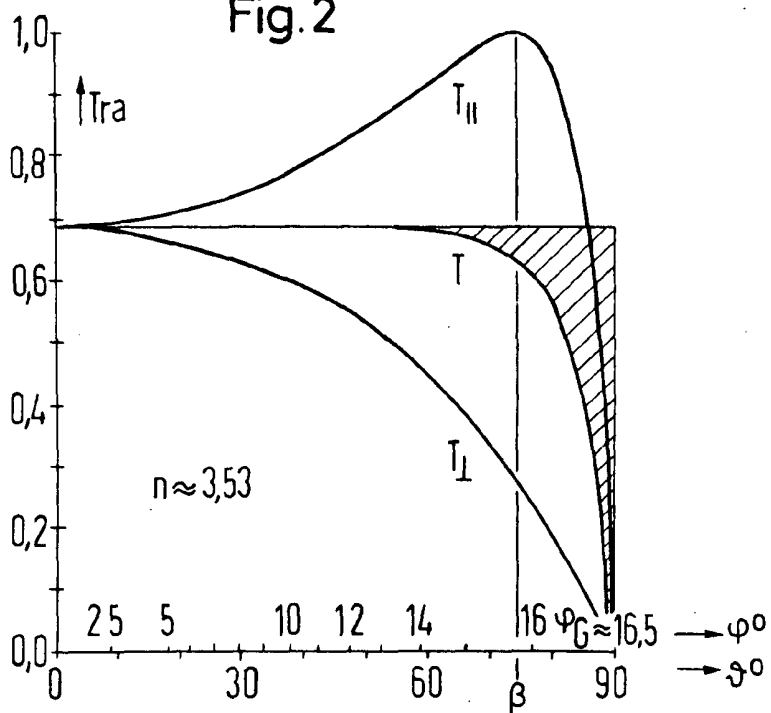


Fig.2



120590

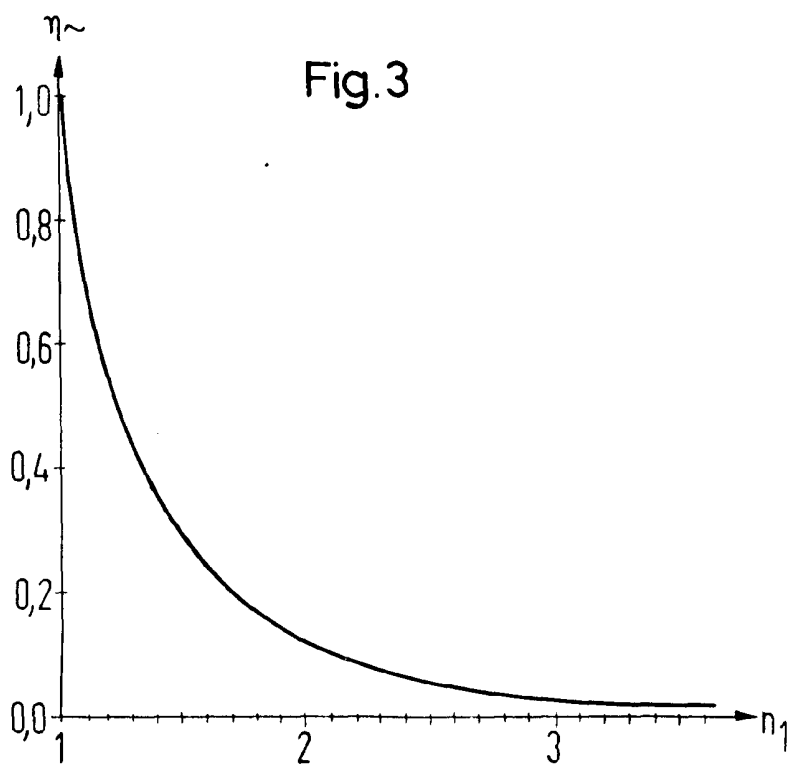


Fig.4

