



⑩ A **Terinzagelegging** ⑪ **7920078**

Nederland

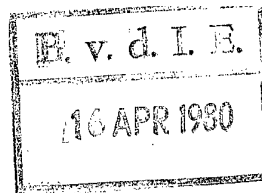
⑲ NL

- ⑤4 **Werkwijze voor het beheersen van structuurherstel in halfgeleiders.**
- ⑤1 Int.Cl³: H01L21/26.
- ⑦1 Aanvrager: Western Electric Company, Incorporated te New York.
- ⑦4 Gem.: Ir. H.M. Urbanus c.s.
Vereenigde Octroobureaux
Nieuwe Parklaan 107
2587 BP 's-Gravenhage.

- ②1 Aanvraag Nr. 7920078.
- ⑥6 Aanvraagnummer oorspronkelijke internationale aanvraag. PCT/US79/00834
- ②2 Ingediend 14 augustus 1979.
- ③2 Voorrang vanaf 21 augustus 1978.
- ③3 Land van voorrang: Ver. St. v. Am. (US).
- ③1 Nummer van de voorrangsaanvraag: 935665 .
- ⑥2 --

- ④3 Ter inzage gelegd 30 juni 1980.
- ⑧7 Publicatiedatum oorspronkelijke internationale aanvraag 20-03-80
- ⑧7 Publicatienummer oorspronkelijke internationale aanvraag. WO 80/00509

Deze octrooiaanvraag werd ingediend als internationale octrooiaanvraag onder de bepalingen van het Verdrag tot samenwerking inzake octrooien (PCT). De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van een Nederlandse vertaling van de oorspronkelijk in een andere taal ingediende beschrijving met conclusie(s) en tekening(en). De Nederlandse octrooiaanvraag wordt geacht te zijn ingediend op de indieningsdatum van de internationale octrooiaanvraag.



VO 0231

Titel : Werkwijze voor het beheersen van structuurherstel in
halfgeleiders.

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het beheersen van structuurherstel in een oppervlaktelaag van een halfgeleider-lichaam.

5 Het diffunderen van verontreinigingen in enkel-kristal halfgeleiders is diepgaand bestudeerd. Er bestaat een duidelijk inzicht omtrent hetgeen zich bij dergelijke diffusieprocessen afspeelt en belangrijke in de praktijk toegepaste processen zijn op deze inzichten gebaseerd.

10 Uit onlangs door talrijke onderzoekers uitgevoerde, uitgebreide proefnemingen is gebleken, dat korte stoten van laserbundelstraling of elektronenbundelstraling kunnen worden gebruikt voor het herstel van door straling in halfgeleiderkristallen veroorzaakte beschadigingen, die ontstaan tijdens het implanteren van verontreinigingen. In dit verband wordt bijvoorbeeld verwezen naar G. A. Kachurin en E. V. Nidaev, Sov. Phys. Semiconductors 11, 350 (1977); G. Foli, E. 15 Rimini, M. Bertolotti en G. Vitali, Proc. Thin Film Symposium, Atlanta, Georgia, October 1966. (Gepubliceerd door Electrochemical Society of America, J. E. Baglin en J. M. Poate, ed.); W. L. Brown et al, Proc. Conf. on Rapid Solidification Processing, Reston, VA, November 1977 (gepubliceerd door Defense Research Projects Agency and the National 20 Bureau of Standards). Uit talrijke van deze proefnemingen is gebleken, dat de begrenzing van het verontreinigde gebied tijdens het herstelproces een aanzienlijke verplaatsing ondergaat. De reden voor dit verschijnsel was niet bekend, aangezien een dergelijke verplaatsing niet kon worden toegeschreven aan de vaste-toestanddiffusie die gedurende 25 de korte behandelingsperioden, waarbij het hierom ging, plaats vindt. Uit daarna gemaakte veronderstellingen, die inmiddels zijn bevestigd, is gebleken, dat geschikte stralingsenergie de gebieden van de halfgeleider, waar deze straling op invalt, in feite worden gesmolten, waarbij deze gebieden daarna epitaxiaal aangroeien. De diffusie van 30 verontreinigingen tijdens de smeltfaze heeft aanzienlijk sneller plaats dan in de vaste-stoffaze het geval is, en deze diffusie is snel genoeg om verplaatsing van de begrenzing te verklaren.

Het is derhalve duidelijk, met behulp van een laserbundel of elektronenbundel herstellen van structuurbeschadigingen een voor de proces-

7920078

techniek nieuw middel betekent, dat niet alleen geschikt is om structuurbeschadigingen, ontstaan door ingeschoten ionen doeltreffend en in zeer korte tijdsintervallen te herstellen, maar tevens kan worden gebruikt om verontreinigingsgebieden in halfgeleiders op gewenste
 5 plaatsen te brengen. Daarbij is een techniek ontwikkeld om het herstelproces nauwkeurig te kunnen beheersen.

Volgens de uitvinding wordt het licht-emitterend vermogen van het oppervlak van het desbetreffende materiaal tijdens het herstelproces geschouwd. Nadat de voor het herstel dienende bundel is ingeschakeld,
 10 smelt het oppervlak en het reflecterend vermogen van dit oppervlak verandert. Dit vermogen verandert opnieuw wanneer het oppervlak weer de vaste vorm aanneemt, en wel enige tijd nadat de bundel is uitgeschakeld. Het tijdsverschil tussen deze veranderingen is een maat voor de levensduur van het gesmolten oppervlak. De mate van herstel kan nauw-
 15 keurig worden bepaald in afhankelijkheid van de tijdsduur, waarover het desbetreffende gebied in de gesmolten toestand verkeert. Door gebruikmaking van deze informatie kan een stuurwerking worden verkregen.

De uitvinding zal in het onderstaande nader worden toegelicht onder verwijzing naar de tekening. In de tekening is :

20 fig. 1 een schema ter illustratie van het verontreinigings-herverdelingseffect, dat tijdens het herstelproces met toepassing van een laserbundel plaats vindt;

fig. 2 een schema ter illustratie van apparatuur die kan worden gebruikt voor het verkrijgen van het met verwijzing naar fig. 1 behan-
 25 delde effect;

fig. 3 een grafische voorstelling, waarin als functie van de tijd t zijn uitgezet het verloop van de intensiteit van een voor herstel-doeleinden dienende laserpuls I_0 , de intensiteit I_t (uitgedrukt in
 30 arbitrair gekozen eenheden) van de overgedragen laserenergie, en de absolute waarde van het reflecterend vermogen R van het oppervlak, waarop de puls invalt;

fig. 4 een grafische voorstelling, waarbij het verloop van de levensduur van een gesmolten zone is uitgezet als functie van het kwadraat van de per eenheid van oppervlak E ingezonden laserenergie;

35 fig. 5 een grafische voorstelling ter illustratie van de bij het begin van het proces geldende en de bij het einde van het proces geldende verontreinigingsverdelingen, geldend voor een herstelproces met

7920078

behulp van bijvoorbeeld een laserbundel; en

fig. 6 een grafische voorstelling, waarin de uiteindelijk verkregen diepte van een verontreinigde laag is uitgezet als functie van de gemeten levensduur van het gesmolten gebied.

- 5 Een kwalitatieve beschrijving van het proces zal worden gegeven met verwijzing naar fig. 1, waarin is weergegeven een substraatmateriaal 10, dat in een voorkeursuitvoeringsvorm een halfgeleider is, zoals silicium of gallium-arsenide, of enig ander materiaal, waarin verontreinigingen moeten worden geïmplantéerd. Het substraat is met
- 10 uitzondering van het weergegeven venster bedekt door een maskerlaag 11, die bijvoorbeeld uit SiO_2 bestaat. De voor hersteldoeleinden werkzame laserenergie, die door de schematisch weergegeven bundel 13 is aangeduid, valt op dit venster in. Door 12 is aangeduid de beginpositie van de begrenzing van de verontreiniging, nadat (bij deze
- 15 uitvoeringsvorm) ionen zijn geïmplantéerd (en in dit geval voordat het herstelproces is begonnen). Bij aanwezigheid van de invallende laserbundel zal het weergegeven gedeelte, waarvan de begrenzing is aangeduid door de lijn 14, in de gesmolten toestand komen. De verontreinigingen diffunderen in de vloeistof-faze en vormen een uiteindelijk gebied waarvan de begrenzing is aangeduid door 15. Volgens een
- 20 aspect van de onderhavige uitvinding kan het herstelproces zodanig worden aangepast en geregeld, dat ofwel de herverdeling tot een minimum is teruggebracht, ofwel de verplaatsing van de verontreinigingen wordt beheerst. Dit proces kan ook worden toegepast bij het schouwen van epitaxiale herangroei gedurende een door een laserbundel teweeg
- 25 gebracht herstelproces van niet-geïmplantéerd niet-kristallijn materiaal (hetzij amorf, hetzij poly-kristallijn), bijvoorbeeld in combinatie met de formatie van silicium-neergeslagen saffierssubstraten. Met de in fig. 2 schematisch weergegeven apparatuur kan worden vast-
- 30 gesteld, wanneer en hoelang het desbetreffende gebied in de gesmolten toestand verkeert en wel doordat een bundel, afkomstig van een laser 20 of een andere voor het gestelde doel geschikte bundel van stralingsenergie, wordt gericht op het oppervlak, dat is blootgesteld aan de bundel, afkomstig van de voor hersteldoeleinden dienende laser 21.
- 35 Een detector 22 voor het meten van de intensiteit van de lichtstraling die vanaf dat oppervlak wordt gereflecteerd, is zodanig opgesteld, dat de straling die door de gereflecteerde bundel wordt overgedragen,

7920078

wordt opgevangen. Ter verkrijging van het in het onderstaande nader aangeduide gegevens werd tevens gebruik gemaakt van een detector 23 voor het opvangen van de vanaf de laser 21 afkomstige energie die door de wafel is heen gedrongen ("doorgekomen" energie); voor het toe-
 5 passen van de onderhavige uitvinding is deze detector echter niet noodzakelijk. Zoals verder in fig. 2 is weergegeven is tussen de detector 22 en de laser 21 een temperketen 24 aangesloten, zodat een terugkoppellus is gevormd. Een dergelijke terugkoppeling vindt toe-
 10 passing in een voorkeursuitvoeringsvorm, waarbij de mate van het door de laserbundel veroorzaakte herstel, de regeling van de diepte van het verontreinigingsgebied, automatisch zijn gerelateerd aan de gemeten levensduur van het gesmolten gebied.

Het in het voorafgaande beschreven proces werd uitgevoerd onder de volgende omstandigheden:

15 De gebruikte proefstukken hebben een dikte van 0,25 mm en bestonden uit (111) silicium wafels, gesneden uit een 1000 ohmcm, p-type, dislocatie-vrij zwevend-gebied gietsel. Deze proefstukken werden aan beide zijden gepolijst teneinde de overgedragen voor hersteldoeleinden
 20 werkzame laserbundel te kunnen observeren. Met verschillende doseringen met waarden, gelegen in het gebied tussen 10^{14} - 10^{17} ionen/cm² werd bij 50 keV arsenicum geïmplaneerd in één oppervlak. Uit Rutherford strooistralingspectra bleek de aanwezigheid van een verontreinigingsprofiel met een piekwaarde bij een afstand van 320 Å vanaf het oppervlak met een 1/e halve breedte van 170 Å.

25 Voor het genereren van de voor hersteldoeleinden dienende bundel met een golflengte van 1,06 µm werd gebruik gemaakt van een Q-gescha- kelde Nd-glas-oscillator met bijbehorend versterkstelsel. In de oscil- lator werd gebruik gemaakt van modus-besturing ter verkrijging van een enkelvoudige, transversaal-modus met een Gaussiaans-profiel en
 30 een diameter (FWHM) van 1,2 mm aan de oscillatoruitgang en 3,3 mm ter plaatse van de proefstukken. De bundel werd gegenereerd in de vorm van pulsen, waarbij de duur van de pulsen 50 nsec (FWHM) bedroeg. Uitzon- deringen die in het onderstaande nog zullen worden aangegeven, daar- gelaten, werd het herstelproces uitgevoerd door een enkele puls aan
 35 het substraat toe te voeren. Door variatie van de versterking van de optische versterker was het mogelijk om de voor herstel werkzame in de invallende puls omvatte energie continu in te stellen over een ge-

7920078

bied van $0,65 \text{ J/cm}^2$ tot 16 J/cm^2 , terwijl een dergelijke continue instelling ook mogelijk was ten aanzien van de topwaarde-intensiteit en wel over een gebied van 12 MW/cm^2 tot 300 MW/cm^2 . Zowel de invallende als de doorgelaten $1,06 \text{ }\mu\text{m}$ pulsen werden geregistreerd met behulp van
 5 snelle fotodioden en oscillografen met responsietijden van 1 msec. Achter het proefstuk bevond zich een kleine opening (diameter 1 mm) teneinde met zekerheid te bereiken, dat uitsluitend het centrale gedeelte van de overgedragen bundel werd gemeten.

Voor het gedurende het herstelproces meten van het optisch reflecterend vermogen van het geïmplanteerde oppervlak werd gebruik gemaakt van een continu werkzame $0,63 \text{ }\mu\text{m}$ HeNe-laser. Deze bundel werd gefocusseerd tot een diameter van ongeveer $0,3 \text{ mm}$ en werd gericht op het zich op het kristaloppervlak bevindende centrum van de voor herstel
 10 dienende bundel. De invalshoek van de $0,63 \text{ }\mu\text{m}$ bundel was $57,5$ graden ten opzichte van de van het oppervlak uitgaande normaal. Een polarisator en kwart-golflengteplaatje werden gebruikt om het reflecterend vermogen te meten voor zowel de loodrechte alswel de parallel-polarisaties R_1 en R_{11} . Voor het detecteren van de door de gereflecteerde bundel gegeven straling werd gebruik gemaakt van een avalanche silicium
 15 fotodiode met een stijgtijd van ongeveer 5 nsec . Een nauwkeurige tempering werd hierbij verzekerd door het inschakelen van de registratie van de invallende en overgedragen $1,06 \text{ }\mu\text{m}$ pulsen en het $0,63 \text{ }\mu\text{m}$ reflectiesignaal in synchronisme te doen plaats vinden.

De mate van het herstel in de proefstukken werd bepaald door
 25 Rutherford-strooiingstraling en kanaalanalyse onder gebruikmaking van $1,9 \text{ MeV}$ alpha-deeltjes. Voor een ingezonden laserenergie groter dan $1,8 \pm 0,3 \text{ J/cm}^2$ in het 10^{16} ionen/ cm^2 proefstuk, had het gekanaliseerde spectrum van het herstellende proefstuk een minimale opbrengst van ongeveer 3% voor zowel het Si-spectrum alswel het As-spectrum. Deze waarde is vergelijkbaar met die van een niet-geïmplanteerd, enkel-kristal van Si. Verder is gebleken, dat gecompliceerde en uitgebreide beschadigingen, zoals veroorzaakt door ionenimplantatie, zijn hersteld en dat het As volledig is geïncorporeerd in substitutionele ladderconfiguraties. Nadat met de bundel met de hoogste energie het herstelproces was uitge-
 30 voerd, bleek, dat de concentratie van As atomen was afgenomen tot $1/e$ van de maximale waarde bij een diepte van $2000 \text{ \AA}$.

Fig. 3 is illustratief voor de reflectiemetingen. Deze golfvormen

7920078

hebben een aantal onderscheidenlijke eigenschappen die een "signatuur" betekenen die karakteristiek is voor een onder toepassing van laser-energie uitgevoerd herstelproces. Op het tijdstip t_0 wordt een laserbundelpuls I_0 gegenereerd, van welke puls voor de desbetreffende gebruikte laserbron (andere bronnen zijn ook bruikbaar) de stijg- en daaltijd zijn weergegeven. Een gedeelte van de laserenergie dringt in het proefstuk door, hetgeen is geïllustreerd door de puls I_t die representatief is voor de ingezonden energie. Op het tijdstip t_1 ontstond een scherpe overgang wanneer de ingezonden $1,06 \mu\text{m}$ energie I_t abrupt werd verminderd, waarbij gelijktijdig het reflecterend vermogen van de $0,63 \mu\text{m}$ monitorbundel toenam vanaf een beginwaarde R^a tot een nieuwe waarde R^b . Het reflecterend vermogen bleef constant op deze verhoogde waarde tot een tijdstip t_2 (enigszins later dan de beëindiging van de voor hersteldoeleinden werkzame puls I_0), waarbij dit reflecterend vermogen op het tijdstip t_3 afnam tot een nieuwe waarde R^c representatief voor een stabiele toestand. Voor het 10^{16} ionen/ cm^2 proefstuk werden de grootheden R_{11}^a , R_{11}^b en R_{11}^c gemeten, waarbij de waarden 0,17, 0,47 en 0,13 werden gevonden; voor de gemeten grootheden R_1^a , R_1^b en R_1^c werden waarden gevonden van 0,63, 0,82 en 0,57. Deze waarden komen binnen een marge van $\pm 10\%$ overeen met de berekende waarden voor deze grootheden voor amorf silicium, gemetalliseerd vloeibaar silicium en kristallijn silicium. De gemeten waarden ondergingen geen verandering bij toename van de pulsenergie en varieerden slechts in geringe mate bij verschillende implantatiedoseringen. Bij voor herstel dienende energieën met een waarde lager dan $1,6 \text{ J/cm}^2$ voor het 10^{16} ionen/ cm^2 proefstuk ($2,2 \text{ J/cm}^2$ voor 10^{15} ionen/ cm^2 proefstuk) werd geen noemenswaardige verandering in het reflecterend vermogen waargenomen. Wanneer de pulsenergie tot boven deze waarden werd verhoogd, werd de duur van het vlakke gedeelte (tussen de tijden t_1 en t_2) verlengd tot een maximum met een grootte van 800 nsec. Zulks is geïllustreerd in fig. 4, waarbij de duur van het vlakke gedeelte van de voor het reflecterend vermogen kenmerkende golfvorm is uitgezet tegen het kwadraat van de ingezonden pulsenergie per eenheid van oppervlak E . Bij hogere pulsenergieën ontstonden ernstige oppervlaktebeschadigingen.

Verder is geconstateerd, dat het begin van een verandering in reflecterend vermogen op het tijdstip t_1 (fig. 3) verschoof in de rich-

7920078

ting van de voorflank van de ingezonden, voor hersteldoeleinden werk-
 zame puls wanneer de pulsenergie werd vergroot. Verder is gebleken,
 dat de vanaf het begin van de puls totaan het tijdstip t_1 , waarop
 een verandering van reflecterend vermogen plaats vond, geïntegreerde
 5 energie van de ingezonden laserpuls voor een gegeven proefstuk vrijwel
 constant bleef voor het gemeten gebied van totale pulsenergieën,
 waarbij voor deze geïntegreerde energiewaarden de proefstukken van
 respectievelijk 10^{16} en 10^{15} ionen/cm², werden gevonden de waarden
 $0,9 \pm 0,1$ J/cm² en $1,3 \pm 0,05$ J/cm². De corresponderende intensitei-
 10 ten bij t_1 waren 34 MW/cm² en 49 MW/cm², welke waarden over het ge-
 meten gebied van ingezonden pulsen eveneens vrijwel constant bleven.

Zoals in het voorafgaande werd uiteengezet zijn de het reflec-
 terend vermogen kenmerkende waarden R_{11}^b en R_1^b consistent met de ge-
 meten waarden voor de complexe brekingsindex van vloeibaar silicium.
 15 Indien het vloeibaar Si een dikte zou hebben kleiner dan $200 \text{ \AA}$, zouden
 de bij $0,63 \text{ }\mu\text{m}$ waargenomen waarden, kenmerkend voor het reflecterend
 vermogen, meetbaar verschillen van die welke zouden zijn te voorspel-
 len voor een vloeistoflaag met oneindige dikte. Bij $1,06 \text{ }\mu\text{m}$ was
 de golflengte ($\lambda / 4n$) geldend voor de via het vloeibaar Si over-
 20 gedragen energie, $120 \text{ \AA}$, hetgeen een verklaring geeft voor de abrupte
 vermindering van de transmissie die voor de herstelprocesbundel op
 het tijdstip t_1 , wanneer de oppervlakte smelt, geldend is. De om-
 standigheid, dat het reflecterend vermogen tussen de tijdstippen t_1 en
 t_2 een constante waarde heeft, betekent een sterk bewijs, waardoor is
 25 aangetoond, dat het oppervlak gedurende dit tijdsinterval in de vloeistof-
 toestand blijft. Na het tijdstip t_1 wordt de absorptie van de her-
 stelprocesbundel volledig bepaald door de optische eigenschappen van
 de vloeistof en de bundelenergie wordt verdeeld over een dunne laag
 aan het oppervlak.

30 Gedurende de aanwezigheid van de 50 nsec , $1,06 \text{ }\mu\text{m}$ puls kan warm-
 te in de vaste stof over slechts een afstand van ongeveer $2 \text{ }\mu\text{m}$ diffun-
 deren en de warmtecapaciteit van dit volume van hitte-vaste stof is
 niet voldoende om alle toegevoerde energie op te slaan. Het grootste
 gedeelte van in de invallende bundel vervatte energie, dat aan het
 35 oppervlak is verdeeld na het tijdstip t_1 , wordt opgeslagen als latente
 fusiewarmte. Bij een hoeveelheid verdeelde energie van $1,2 \text{ J/cm}^2$ (over-
 eenkomende met een reflectiegolfvorm met de langst waargenomen vlakke

top) heeft de vloeistoflaag een dikte van ongeveer 1 μm . Deze afstand is groter dan de afstand, waarover As atomen doordringen. Indien wordt aangenomen, dat het As door diffusie in de vloeistof wordt verplaatst, zal de penetratiediepte bij benadering zijn gegeven door $\sqrt{1D_L \bar{\tau}}$,
 5 waarin $\bar{\tau}$ het tijdsverschil tussen de tijdstippen t_2 en t_1 voorstelt, waarbij de diffusiecoëfficiënt van As vloeibaar silicium wordt geschat op een waarde $1 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Het As zal daarna over een afstand van ongeveer 1300 Å diffunderen. Aangezien in de beginverdeling een
 10 piek aanwezig was bij 320 Å, zal ten aanzien van de uiteindelijke verdeling kunnen worden verwacht, dat deze zou zijn gegeven door 1/e van de maximale experimenteel vastgestelde waarde van 2000 Å.

De duur van het "vlakke-top"-gedeelte van de voor het reflecterend vermogen kenmerkende signatuur, correspondeert met de tijd die is vereist om de aan het kristaloppervlak aanwezige vloeistoflaag
 15 volledig vast te laten worden. Zoals is geïllustreerd in fig. 4 varieert deze tijd met het kwadraat van de hoeveelheid invallende energie. De tijd $\bar{\tau}$ is de tijd die voor de geabsorbeerde hoeveelheid energie per eenheid van oppervlak E_a is vereist om in de vaste stof te diffunderen, zodanig, dat deze energie wordt opgeslagen in de een
 20 zekere warmtecapaciteit hebbende verwarmde vaste-stof (d.i. bij $T < T_M$). Geschat wordt dat geldt :

$$\bar{\tau} = \frac{E_a^2}{(T_M - T_0)^2 C^2 D}, \quad (1)$$

waarin T_M de smelttemperatuur (1685 graden K), T_0 300 graden K, C de soortelijke warmte ($2,1 \text{ J/cm}^3 \text{ graden K}$), en D het thermisch diffusievermogen in de vaste-stof gemiddeld over het geldende temperatuurprofiel ($0,2 \text{ cm}^2/\text{sec}$). Uitgaande van de veronderstelling, dat E_a
 25 evenredig is met E, kan uit vergelijking (1) de waargenomen afhankelijkheid van $\bar{\tau}$ van E worden voorspeld. Rekening houdende met het reflecterend vermogen van het vloeistofoppervlak bij $1,06 \mu\text{m}$, geldt,
 30 dat E_a gelijk is aan $0,23 E$. Onder gebruikmaking van vergelijking (1) kan dan de helling van de in fig. 2 weergegeven lijnen worden geschat op een waarde $3 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^4 \text{ sJ}^{-2}$. Voor een proefstuk van respectievelijk $10^{16}/\text{cm}^2$ en $10^{15}/\text{cm}^2$ zijn de gemeten hellingen van respectievelijk $1,8 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^4 \text{ sJ}^{-2}$ en $1,2 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^4 \text{ sJ}^{-2}$ redelijk in overeenstemming

met de geschatte waarde.

Behalve bij silicium dat werd geïmplanteerd met arseen, zijn soortgelijke, voor het reflecterend vermogen kenmerkende signaturen waargenomen voor silicium (Si), GaAs (Te), GaP (Te en N), InP (Te) als-
 5 ook bij kristallijn silicium en germanium.

Alhoewel deze proefnemingen werden uitgevoerd voor een massa van enkel-kristal silicium en een amorse laag werd gevormd in het silicium als gevolg van implantatie van ionen van de geleidbaarheid-bepalende verontreinigingen, zal de laag ook kunnen worden gevormd door implan-
 10 tatie van "inerte" ionen, zoals helium of argon. Anderzijds zou de laag kunnen worden opgedampt of op een andere wijze worden neergeslagen op een uit een enkel-kristal gevormd substraat, hetzij van hetzelfde materiaal, hetzij van een materiaal met een aangepaste ladder-structuur, zodat een heterostructuur, zoals Si wordt gevormd op saf-
 15 fier (Al_2O_3). Bij toepassing van halfgeleider procestechnieken is het algemeen gebruikelijk om verontreinigingen te implanteren in een epitaxiaal gevormde laag.

De verontreinigingsprofielen voor en na het herstelproces, zoals toegepast bij een experiment, zijn weergegeven in fig. 5. De veront-
 20 reinigingen zijn over een aanzienlijke afstand binnen het kristal hergedistribueerd.

Ook bij dit experiment leek de door straling veroorzaakte beschadigingen het geïmplanteerde gebied doeltreffend te zijn hersteld, terwijl daarbij verontreinigingen werden herverdeeld. Volgens een al-
 25 ternatieve methode zou de herverdeling gedurende een afzonderlijke stap worden gemaakt ofwel als een fout-corrigerende of herstellende procedure worden uitgevoerd. Bovendien is het met dit proces mogelijk om verontreinigingen in metalen, amorse materialen, poly-kristallijne materialen her te verdelen zonder dat het nodig is door straling ver-
 30 oorzaakte beschadigingen te herstellen.

De correlatie tussen de diepte, waarover het gebied van verontreinigingen is herverdeeld en de levensduur van het gesmolten gebied, kan langs empirische weg worden vastgesteld of kan worden berekend onder gebruikmaking van vloeistof-faze-diffusieconstanten. Een en ander
 35 wordt mogelijk gemaakt door gebruik te maken van de resultaten van experimenten, zoals in het voorafgaande zijn beschreven. De berekeningen kunnen volgens hetgeen in het voorafgaande is beschreven, wor-

den gemaakt, alhoewel de vloeistof-faze diffusieconstanten niet even goed kunnen worden bepaald als de vaste-stof diffusieconstanten.

Een typerende correlatiekromme, gebaseerd op de in het voorafgaande beschreven gegevens, is weergegeven in fig. 6. De grootste
 5 diepte, waarover herverdeling plaats vindt ontstaat wanneer de levensduur ($t_2 - t_1$) van de gesmolten zone het grootst is, hetgeen er derhalve op wijst, dat gereflecteerde straling in de zone doordringt tot beneden de beginlocatie van verontreinigingen. De herverdeling is gering wanneer de diepte van de gesmolten laag bij benadering gelijk
 10 is aan de diepte van de verontreinigingen, zoals het geval is wanneer de levensduur van de gesmolten zone relatief kort is. De snelheid, waarmee materiaal in de vaste-stof toestand overgaat is naar wordt aangenomen, een eenvoudige functie, zodat de fout op eenvoudige wijze kan worden bepaald. Wanneer $t_2 - t_1$ groot is in vergelijking met de
 15 drempelwaardetijd voor het smelten en/of de verontreinigingen zich in eerste aanleg in de nabijheid van het oppervlak bevinden, zal de herverdeling vrijwel proportioneel plaats vinden.

Indien behoefte bestaat aan een automatische regeling kan gebruik worden gemaakt van een terugkoppelconfiguratie soortgelijk aan
 20 die, welke is behandeld in verband met fig. 1. Voor een nauwkeurige, automatische regeling kan het gewenst zijn om gebruik te maken van meer dan een enkele laserpuls. Zulks maakt een eenvoudige instelling mogelijk, indien de diepte van proefstuk tot proefstuk moet worden gevarieerd. De temperketen 24 is werkzaam als integrator over de
 25 tijd gedurende welke het blootgestelde gebied is gesmolten, en beëindigt de pulsen wanneer het voorgeschreven tijdsinterval is voltooid. Als een alternatief kan het laservermogen worden ingesteld. Een dergelijke "integratie" is noodzakelijk, aangezien in bepaalde situaties, die onderstaand nog nader zullen behandeld, het gesmolten
 30 gebied na elke puls en voorafgaande aan de toevoer van de volgende puls, opnieuw in de vaste-toestand geraakt. De detector 22 is ontworpen om op een rechtstreekse wijze te bereiken, dat het temper-signaal alleen dan naar de temperketen 24 wordt overgedragen, wanneer het oppervlak van het blootgestelde gebied reflecterend is.

35 De volgende voorbeelden zijn illustratief voor enige methoden, waarbij gebruik kan worden gemaakt van de belichtingsregeling, zoals beschikbaar gesteld door de uitvinding. Bij al deze voorbeelden wordt

gesteund op de meting van de getotaliseerde levensduur van de gesmolten toestand, zoals deze aan het oppervlak van het te herstellen proefstuk aanwezig is.

Voorbeeld 1.

5 Bij dit voorbeeld wordt de drempelwaarde, waarbij het oppervlak smelt, eerst bepaald door het oppervlak bloot te stellen aan laserpulsen met toenemende energie-inhoud en wel totdat verandering in het reflecterend vermogen van het oppervlak wordt waargenomen, als aanduiding van het begin van het smeltproces. De details van de procedure
10 zijn in het voorafgaande gegeven. De belichting met laserstraling wordt hierna voortgezet bij het drempelniveau of enigszins daarboven, totdat de gewenste geïntegreerde belichtingsperiode is verstreken, met andere woorden, totdat het gewenste herstel en/of het gewenste verontreinigingsprofiel is/zijn bereikt. In afhankelijkheid van de
15 laserpuls lengte kunnen ook wel één enkele puls of meerdere pulsen voldoende zijn om een fijnregeling van de belichtingstijd te verkrijgen. Deze procedure is in het bijzonder bruikbaar wanneer een smalle marge bestaat tussen de grens waarbij het vermogen onvoldoende is om herstel te verkrijgen en de grens waarbij het vermogen ernstige be-
20 schadigingen zou veroorzaken. De grootte van deze marge en ook de positie daarvan uitgedrukt in vermogensniveau, kunnen van proefstuk tot proefstuk aanzienlijk variëren, waarbij afhankelijkheid bestaat ten aanzien van diepte en omvang van de beschadiging, de oppervlakte-eigenschappen en de lasereigenschappen. Het is voornamelijk wegens
25 deze reden, dat het nuttig is elk proefstuk te schouwen in plaats van de procedure, waarbij alle proefstukken met een soortgelijke proceshistorie aan een voorafbepaalde laserpuls bloot te stellen.

Voorbeeld 2

30 Bij dit voorbeeld wordt de duur van een enkele laserpuls die bij een alternatieve benadering kan worden beschouwd als een continue laserbundel, geregeld in afhankelijkheid van variaties in het reflecterend vermogen van het oppervlak. De belangrijke meting in dit geval is gegeven door het begin van het smeltproces, en ook hierbij wordt aangenomen, dat dit van proefstuk tot proefstuk verandert. De grootte
35 van het vermogen dat nodig is om het smeltproces te doen aanvangen, is gegeven door een complexe meting van het vermogen, dat door het proefstuk in kwestie wordt geabsorbeerd, welk vermogen op zijn beurt

weer een functie is van verschillende variabelen, zoals de omvang van de beschadiging, de concentratie van de verontreinigingen, de diepte van deze beide grootheden, en de oppervlakte-eigenschappen van het proefstuk. Een en ander wekt derhalve de indruk, dat naar mate het tijdsverloop tussen het moment waarop de straling met laserenergie begint en het begin van het smeltproces langer is, voor het verkrijgen van het beoogde herstel een langere bestraling nodig is. Het is derhalve nuttig om het begin van het smeltproces te meten en de beëindiging van toevoer van laserenergie te regelen in afhankelijkheid van de vertraging die tussen de bekrachtiging van de laser en die meting bestaat. Op dit moment is slechts bekend hoe de vertraging en de benodigde belichtingstijd met elkaar zijn te relateren door toepassing van empirische processen die op zichzelf bekend zijn.

Bij het voorbeeld 1 werd erop gezinspeeld, dat het gebruik van meerdere korte pulsen in plaats van één of een gering aantal pulsen, een extra mogelijkheid zou bieden om de geïntegreerde belichtingsperiode te besturen. Ogenschijnlijk zou in principe de pulsherhalingsfrequentie geen factor van betekenis zijn, aangezien bij de beschreven procedure de geïntegreerde levensduur van de smelt aan het oppervlak van het proefstuk wordt gemeten, waarbij het er niet toe zou doen of het oppervlak continu danwel intermitterend zou worden gesmolten. In de praktijk is echter gebleken, dat de oppervlakte-eigenschappen veranderen na het smelten en weer vast worden, zodat het vermogen, dat voor het tot smelten brengen na een daarvoor plaats gevonden hebbende stolling, kan verschillen van het vermogen, dat in eerste aanleg voor dit smelten werd vereist. Indien gedurende de eerste puls de beschadiging in sterke mate wordt hersteld, hetgeen is te verwachten, indien de smeltfaze is ingetreden, kan het in feite mogelijk zijn, dat het proefstuk uit daarop volgende pulsen niet voldoende energie absorbeert om dit smeltproces weer te doen plaats vinden. Derhalve wordt gedacht aan de bij het voorbeeld 2 geschetste procedure, waarbij de duur van een enkele puls wordt geregeld, ofwel gebruik wordt gemaakt van pulsen met herhalingsfrequenties, waarbij het niet mogelijk is, dat aan het oppervlak van het desbetreffende proefstuk stolling ontstaat. Pulsherhalingsfrequenties met een grootteorde van 10^6 Hz zullen normaliter voldoende zijn wanneer wat processen betreft, toegepast op conventionele halfgeleidermaterialen.

7920078

Het kan nuttig zijn om gebruik te maken van een reeks van pulsen ter verkrijging van een lange levensduur van de gesmolten toestand, wanneer het bijvoorbeeld is beoogd om naast het herstellen van beschadigingen in verontreinigingen te herdistribueren.

5 Voorbeeld 3.

Dit voorbeeld heeft betrekking op een herverdeling van verontreinigingen gedurende een belichting door laserstraling. In eerste aanleg wordt het desbetreffende proefstuk geïmplanteerd met boron, een p-type verontreiniging, en arseen, een n-type verontreiniging. 10 Voorafgaande aan de implantatie is tenminste één oppervlaktelaag van het substraat betrekkelijk licht gedoteerd met n-type verontreiniging. Wanneer een dergelijke structuur wordt bloot gesteld aan laserenergie onder toepassing van de in het voorafgaande beschreven technieken, ter verkrijging van een gesmolten toestand met een levensduur 15 van 10^{-6} sec verplaatst het boron zich dieper in de licht-gedoteerde n-laag dan het geval is voor het zich langzamer bewegende arseen, waardoor een n-p-n-transistorstructuur wordt gevormd met een basisbreedte van ongeveer 0,5 μm en een emitterdiepte van ongeveer 1 μm .

De gedetailleerde beschrijving van de onderhavige uitvinding is 20 gegeven met verwijzing naar een herstelproces met toepassing van laserstraling. Voor de beschreven doeleinden is elektronenbundelstraling vrijwel in alle opzichten equivalent met de laserstraling. In dit verband wordt verwezen naar het Amerikaanse octrooischrift 4.082.958. Alhoewel in dit octrooischrift is voorgesteld in het te herstellen 25 gebied het smelten van materiaal te vermijden, is met de onderhavige uitvinding aangetoond, dat het smelten van het materiaal een gewenst doel kan zijn. Het vermogen van de elektronenbundel kan op een doelgerichte wijze worden ingesteld teneinde het smeltgebied te bereiken, waar de besturingsprincipes van de onderhavige uitvinding nuttig zijn.

CONCLUSIES :

1. Werkwijze voor het beheersen van het herstellen van een oppervlakte-
laag (14) van een halfgeleiderlichaam (10), waarbij deze laag wordt
bloot gesteld aan een bundel van stralingsenergie (21) en wel gedu-
rende een tijdsinterval, dat voldoende is om een gedeelte van deze
5 laag te smelten met het kenmerk, dat het reflecterend vermogen van
het oppervlak van genoemde laag wordt geschouwd (20, 22); en genoemd
tijdsinterval wordt geregeld (24) in afhankelijkheid van een verande-
ring in het reflecterend vermogen die indicatief is voor de toestands-
verandering van genoemde laag, waarbij deze vanuit de vaste-toestand in
10 de gesmolten-toestand overgaat.
 2. Werkwijze volgens conclusie 1 met het kenmerk, dat de bundel
wordt gepulseerd bij verschillende energieniveaus; en de pulsen worden
bestuurd in afhankelijkheid van veranderingen in het reflecterend
vermogen van het oppervlak.
 - 15 3. Werkwijze volgens conclusie 1 met het kenmerk, dat de bundel
wordt gepulseerd bij een constant vermogensniveau; en het aantal pul-
sen, dat aan de laag wordt toegevoerd, wordt geregeld in afhankelijk-
heid van veranderingen in het reflecterend vermogen van het oppervlak.
 - 20 4. Werkwijze volgens conclusie 1 met het kenmerk, dat de laag wordt
blootgesteld aan een enkele bundelpuls; en de duur van de puls wordt
geregeld in afhankelijkheid van veranderingen in het reflecterend
vermogen van het oppervlak.
-

7920078

FIG. 1

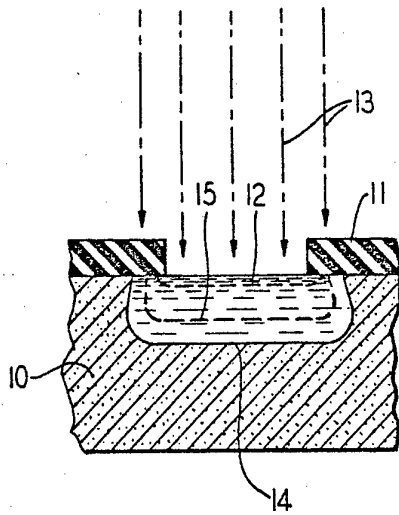


FIG. 2

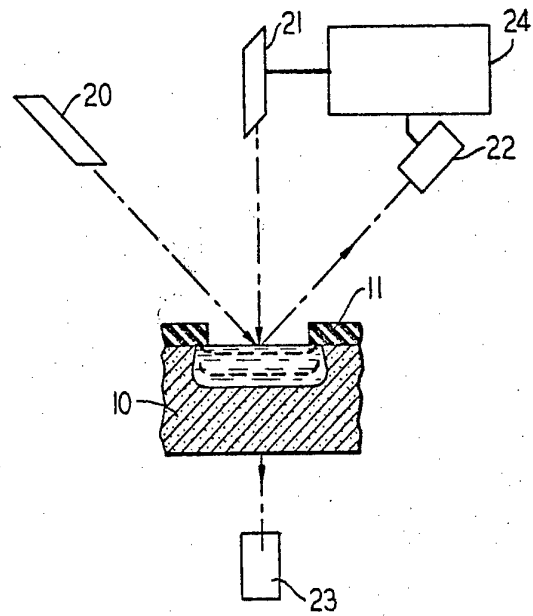
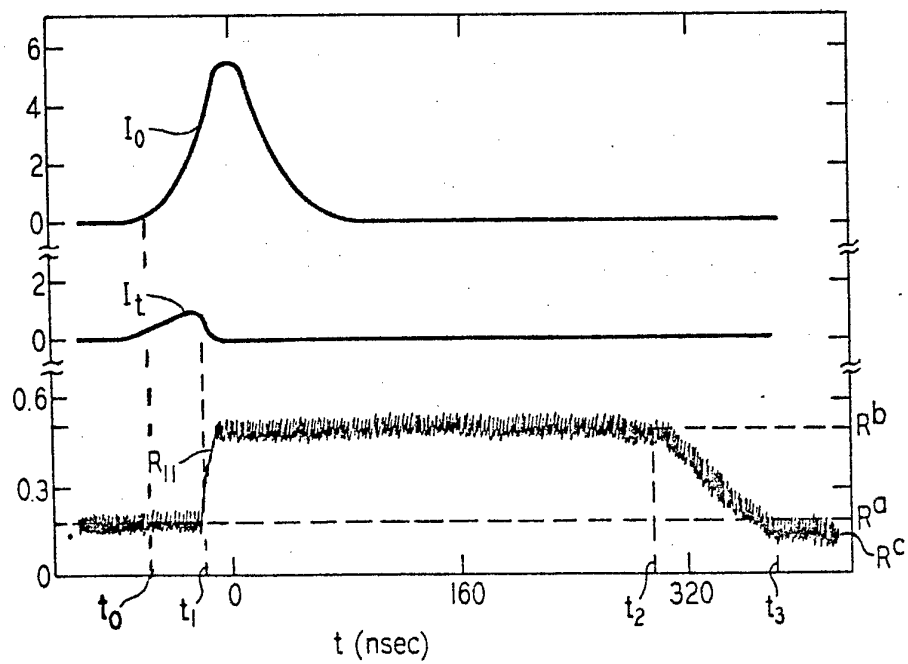


FIG. 3



7920078

FIG. 4

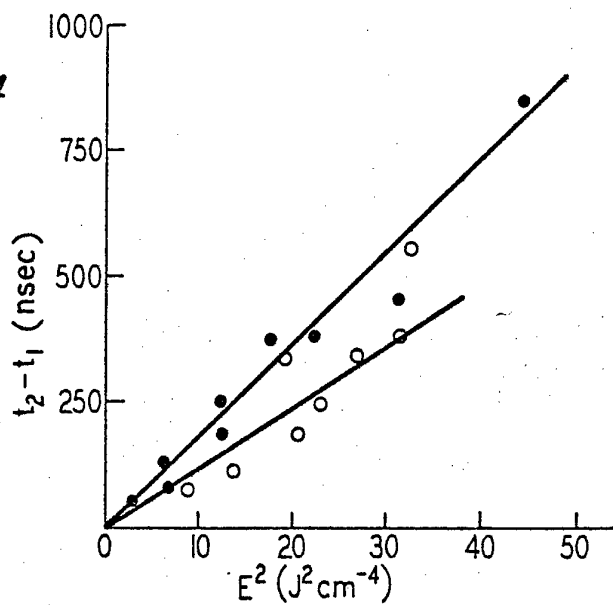


FIG. 5

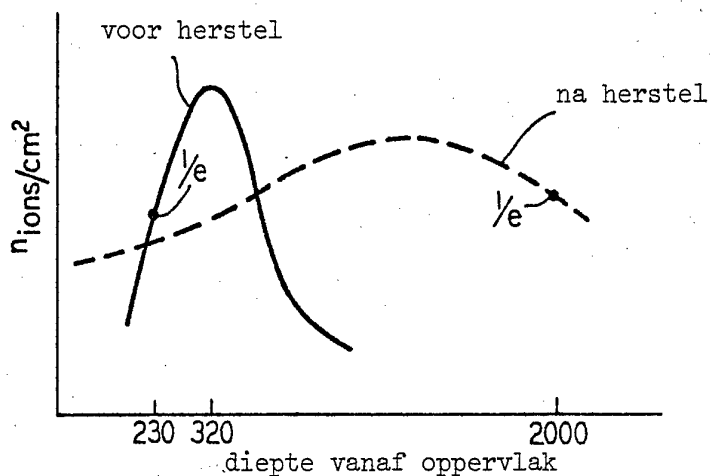
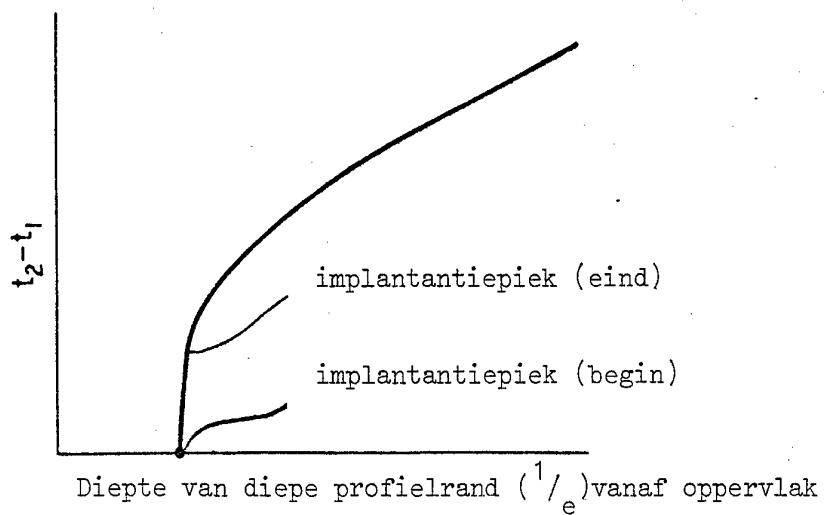


FIG. 6



7920078