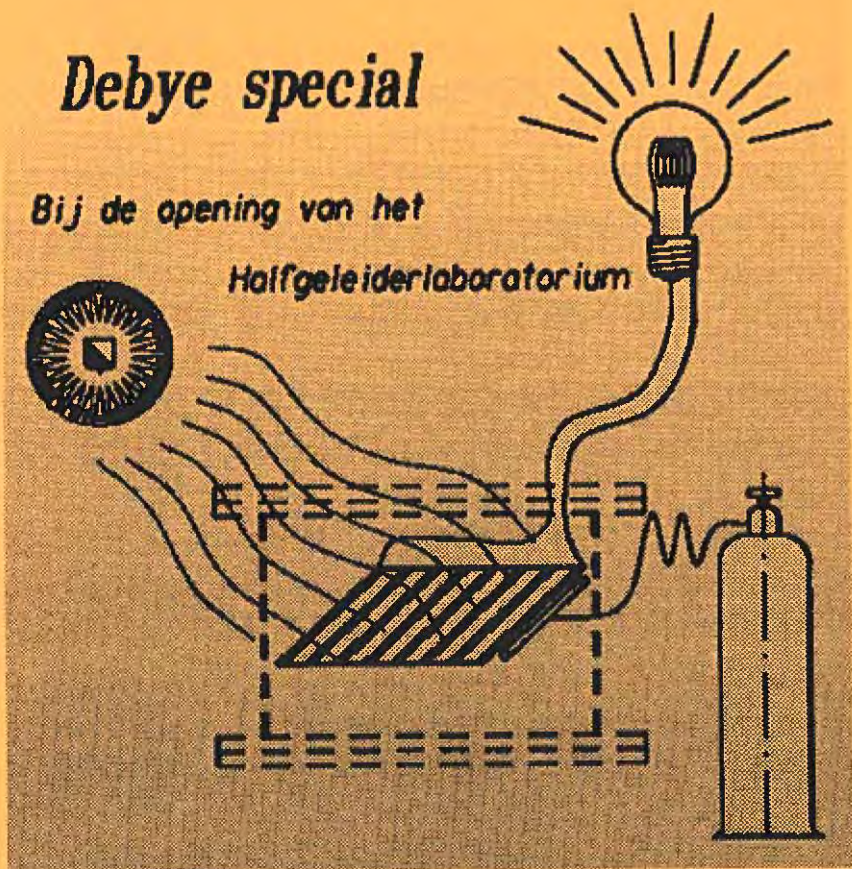


Faculteit Natuur- en Sterrenkunde

Debye special

Bij de opening van het

Halfgeleiderlaboratorium



Fylakra

personeelsblad rond de Utrechtse fysica

41-ste jaargang nr.3 • 29 mei 1997

FYLAKRA

nr 282

FYLAKRA wordt uitgegeven voor het personeel van de instituten, centra en werkgroepen van de faculteit Natuur- en Sterrenkunde van de Universiteit Utrecht

41^{ste} jaargang, nummer 3 - DEBYE-SPECIAL

29 mei 1997

Oplage: 850

de redactie van deze special:

hoofredactie en fotografie:

Gijs van Ginkel

coördinatie en omslagontwerp:

Gerard van der Mark

eindredactie en vormgeving:

Evert Landré

reproductie:

Joop de Haan en Frans
Choufoer van de drukkerij
Natuur- en Sterrenkunde,
Budapestlaan 4, Utrecht
tel. 030-2531751

redactie-adres: redactie Fylakra, Buys Ballotlaboratorium k. 701,
Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht
tel. 030-2535214, intern 5214, e-mail: e.landre@fys.ruu.nl

Kopij voor FYLAKRA kan worden ingeleverd bij de leden van de redactie of gedeponereerd worden in het postvakje van FYLAKRA op kamer BBL 152. Kopij bij voorkeur aanleveren op diskette in Word voor Windows 95 of WP 5.1. In twijfelgevallen raadplege men de eindredacteur (zie redactie-adres)

INHOUD

jaargang 41, nummer 3

<i>Gijs van Ginkel</i> GEACHTE LEZER(ES)	2
<i>Werner van der Weg</i> VAN TN VIA AGF NAAR GF	5
<i>John Bezemer</i> DE VERBOUWING	10
<i>John Bezemer</i> DE GROTE VERHUIZING	13
<i>Ruud Schropp</i> HET ONDERZOEK AAN ZONNECELLEN	18
<i>Gerard van der Mark</i> HET HALFGELEIDERLABORATORIUM	25
<i>Karine van der Werf</i> VEILIGHEID	29
<i>Hans Meiling</i> ASTER	32
<i>Edith Molenbroek</i> PILOT	35
<i>Edward Hamers</i> IRIS	38
<i>Jeike Wallinga</i> DE BENEDENVERDIEPING	41
<i>Frank Achten</i> KARAKTERISATIE	44
<i>Edith Molenbroek</i> TIM LANSINK	48

**OPENING ZONNECELLABORATORIUM
UNIVERSITEIT UTRECHT
29 MEI 1997**

Wij hebben het genoegen U uit te nodigen voor de opening van het nieuwe Halfgeleiderlaboratorium van de sectie Grenslaagfysica van het Debye Instituut.

In dit laboratorium bevinden zich diverse geavanceerde opstellingen voor de depositie van dunne lagen halfgeleidermateriaal en voor de vervaardiging van zonnecellen. Er is o.a. nieuwe apparatuur geïnstalleerd die de vervaardiging van grote zonnepanelen van amorf silicium mogelijk maakt.

De opening van het laboratorium zal verricht worden door Prof. dr. J.A. van Ginkel, rector magnificus van de Universiteit Utrecht.

Open huis voor Faculteitsmedewerkers

v.a. 15.30 uur

U bent van harte welkom.

GEACHTE LEZER(ES)

*door Gijs van Ginkel
hoofdredacteur van FYLAKRA
en managing director van het Debye Instituut*

In dit nummer van FYLAKRA, staat een deel van het fysisch onderzoek van het Debye Instituut in de schijnwerpers nl. het onderzoek aan halfgeleiders en zonnecellen. Deze "special" staat in het teken van het feestelijk in gebruik nemen van het nieuwe Halfgeleiderlaboratorium van het Debye Instituut, dat tot stand gekomen is met o.a. steun van NWO en van het Stimuleringsfonds Onderwijs en Onderzoek van de Utrechtse Universiteit.

In het nieuwe Halfgeleiderlaboratorium bevinden zich geavanceerde opstellingen voor de depositie van dunne lagen halfgeleidermateriaal en voor de vervaardiging van zonnecellen. De voorgeschiedenis en de gebruiksmogelijkheden van de verschillende opstellingen worden toegelicht in de bijdragen van medewerk(st)ers van de sectie Grenslaagfysica, die daar dagelijks mee werken.

Om u als lezer(es) duidelijkheid te geven over de context waarin het halfgeleider/zonnecelonderzoek plaatsvindt, is het zinvol om wat nader in te gaan op het onderzoeksprogramma van het Debye Instituut. Dat is in 1985 op initiatief van prof. George Blasse opgericht als een samenwerkingsverband van verschillende fysische en chemische vakgroepen. Doelen waren:

(a) bevordering van de onderzoekssamenwerking tussen fysici en chemici op het gebied van:

- oppervlakken en katalyse
- colloïden en electrochemie
- fysica en chemie van de vaste stof

(b) de vorming van een samenhangend onderzoekscluster, dat onderzoekscapaciteit en dienstverlening biedt aan niet-universitaire organisaties en aan het bedrijfsleven,

(c) het verzorgen van een hoogwaardige theoretische en praktische training van studenten.

Met deze doelen meldde het Debye Instituut zich in 1992 aan als adspriant-onderzoekschool bij de Erkenningscommissie Onderzoekscholen van de KNAW. De aanvraag werd gehonoreerd en gold voor vijf jaar. Inmiddels is het 1997 en de erkenningsaanvraag voor de volgende periode is ingediend.

In de jaren sinds 1985 is er wel wat veranderd. De vakgroepen zijn opgeheven, het instituut o.l.v. directeur prof. Werner van der Weg, voert een eigen financieel en personeelsbeheer, de onderzoeks-samenwerking is aanzienlijk versterkt en er is een goed lopend onderwijsprogramma voor de promovendi. Het onderzoek spitst zich nu toe op de fysica en de chemie van grensvlakken en nanomaterialen met als speciale onderzoeksvelden de katalyse, colloïden, dunne lagen en opto-electrische materialen. Het instituutsonderzoek is voornamelijk fundamenteel van aard, maar een deel is ook strategisch-fundamenteel, d.w.z. dat het direct gerelateerd is aan toepassingen op termijn. Het zonnecelonderzoek is daarvan een voorbeeld.

In 1996 promoveerden 32 promovendi in het Debye Instituut, dat onderdak biedt aan 105 à 115 promovendi, die uit verschillende geldstromen worden gefinancierd. In totaal werkten er in 1996 256 mensen in het instituut.

Het instituut telt acht chemische onderzoekssecties en vijf fysische te weten: Grenslaagfysica, Atoomfysica, Moleculaire Biofysica, Gecondenseerde Materie en de dateringssectie van dr. Klaas van de Borg (SAP).

Het instituut zoemt van enthousiasme en creativiteit, zoals u duidelijk zal worden uit de verhalen en beelden in deze FYLAKRA. Wij wensen u veel leesplezier.

VAN DE EINDREDACTEUR

foto-verantwoording - daar waar niet iets anders vermeld staat zijn de foto's gemaakt door de hoofdredacteur van FYLAKRA

VAN TN VIA AGF NAAR GF meer en meer meerkamersystemen

door Werner van der Weg

De activiteiten van Grenslaagfysica zijn in de laatste jaren dermate uitgebreid dat het nuttig is, niet in het minst ook voor ons zelf, om eens op een rijtje te zetten hoe dat gebeurd is en tot welke resultaten dat heeft geleid.

Het begin

Ruim 15 jaar geleden, in het begin van de tachtiger jaren, was er de vakgroep Technische Natuurkunde. De wetenschappelijke stafleden waren op dat moment John Bezemer, Wim Turkenburg en de auteur van dit artikel, terwijl de technische staf werd gevormd door Theo Klink-hamer, Wim de Kruif en Bert Slomp. Ook Riny de Haas zwaaide toen reeds de scepter in ons secretariaat. De hobby van John was het vervaardigen van amorf silicium en de interesse van Wim (T.) was het onderzoek van oppervlakken en dunne lagen met behulp van ionenbundels. Voor beide lijnen van onderzoek waren bescheiden opstellingen aanwezig, resp op BBL 6 en in het Van de Graafflab. We besloten toen om beide gebieden van onderzoek uit te bouwen onder het motto dat het niet verstandig is om slechts op één paard te wedden. We voorzagen enerzijds dat zonnecellen van amorf silicium wel eens belangrijk zouden kunnen worden, anderzijds was het oppervlakte-onderzoek een prioriteitsgebied in de Nederlandse natuurkunde (FOM) in die jaren. Overigens is de scheiding tussen deze twee onderzoeksgebieden niet scherp in de praktijk. Het is meer dan eens gebleken dat de versnellertechnieken onmisbaar zijn in het onderzoek van lagen amorf silicium.

Ionenbundels, dunne lagen en oppervlakken

We waren, in die (voorbije) jaren van groei, zo gelukkig om een nieuwe stafmedewerker te mogen aanstellen. Dit werd Frans Habraken en hij, met zijn opleiding bij Natuurkunde en zijn promotie bij Scheikunde, gaf aan het programma van de Werkgroep Oppervlakken van de RijksUniversiteit (WORU) een sterke nieuwe impuls. In de WORU participeerden de vakgroepen Technische Natuurkunde,

Anorganische Chemie en Atoomfysica. De laatste groep had (en heeft) een sterke lijn in het fundamentele onderzoek van elektronische processen aan oppervlakken. De WORU-activiteiten hebben zich vooral geprofileerd in een serie onderzoeken rond katalytisch actieve oppervlakken en hebben aldus tot een hele reeks promoties geleid. Bovendien heeft deze gezamenlijke interesse in oppervlakken de fusie van de vakgroepen Technische Natuurkunde en Atoomfysica sterk bevorderd. Andere redenen daarvoor waren de fysieke nabijheid (BBL 5 en 6) en een gezamenlijk intensief gebruik van de werkplaats op de 6^{de} verdieping. Sinds die tijd gingen de vakgroepen als één vakgroep Atoom- en Grenslaagfysica (AGF) door het leven.

De opstelling aan de 3 MV versneller, met als hoofdtechniek Rutherford Backscattering Spectrometry, werd uitgebreid met steeds meer vacuumpotten en deze heet nu terecht OCTOPUS. Men kreeg al spoedig in de gaten dat er bij hogere ionenenergie ook interessante reacties voor het materiaalonderzoek op toepassing wachtten. Er verscheen dus een opstelling voor Elastic Recoil Detection aan een van de bundellijnen van de 6 MV tandemversneller. Wim Turkenburg had besloten zich geheel aan Wetenschap en Samenleving te wijden en verliet onze groep. Op de door hem achtergelaten vacature konden we Arjen Vredenberg verwelkomen.

Amorf silicium en zonnecellen

Wim Turkenburg bezocht in het begin van de 80-iger jaren, vanwege zijn intense belangstelling voor de wisselwerking tussen natuurkunde en maatschappij, een zonnecellenconferentie in Japan en kwam terug met de mededeling: "Misschien is het niet gek als we proberen hier in Utrecht een meerkamer-ultrahoogvacuum-depositiesysteem voor zonnecellen te maken. Japanse ontwikkelingen lijken die kant op te gaan". Dit bleek een kolfje naar de hand van John Bezemer te zijn en met financiën van het toen lopende IOP IC-technologie wist hij in enkele jaren een prachtig geavanceerd meerkamersysteem voor de depositie van amorf silicium op te bouwen. Dit kon natuurlijk alleen met intensief werk van onze technici (in vakgroep, hulpwerkplaats en "grote" werkplaats). In deze ASTER werden de eerste goede zonnecellen geproduceerd en dit leidde weer tot grote interesse van andere financierende instanties.



Werner van der Weg

Inmiddels was Ruud Schropp (aanvankelijk als KNAW-onderzoeker) op het toneel verschenen. Hij had industriële ervaring bij een bedrijf dat depositie-apparatuur voor zonnecellen in de VS vervaardigde.

Met sterke steun van NOVEM (die de gelden van het ministerie van EZ voor het Nederlandse zonnecelprogramma beheert) wist Ruud met technici en promovendi al snel Europese records voor zonnecellen-

dement te vestigen. Dit maakte weer mogelijk dat er een nieuwe depositiemachine kwam, de PASTA, die vooral werd gebruikt om z.g. tandemcellen te vervaardigen.

John ging zich vervolgens, samen met Wilfried van Sark, op het onderzoek naar geheel nieuwe depositiemechanismen voor amorfe lagen (met ASTER) concentreren.

Het is ook belangrijk om te kunnen zeggen dat niet alleen de toepassingen van dit materiaal werden en worden onderzocht, maar dat er ook altijd aandacht was voor fundamentele fysica in amorfe halfgeleiders. Deze auteur, met promovendi, heeft dit deel van het werk, o.a. in samenwerking met AMOLF, uitgevoerd. Dit hielp waarschijnlijk ook bij het richten van de belangstelling van Jaap Dijkhuis (vakgroep GCM) op dit type onderzoek. In dit gebied is dus een mooie (Debye!) samenwerking ontstaan in de laatste jaren.

Vandaag

Beide boven beschreven hoofdlijnen van ons onderzoek breidden zich recent alweer aanzienlijk uit. In de targethal van het Robert van de Graaff Laboratorium is nu een grote magnetische spectrograaf te zien, die samen met Dick Boerma vanuit Groningen is gekomen en waar Wim Arnold Bik met promovendi op en in zit. In de zonnecellenactiviteit kregen we aanzienlijke steun vanuit het NWO Prioriteitprogramma en er werd besloten om onderzoek aan grote zonnecellen ter hand te nemen. Hiervoor werd de PILOT machine, die Edith Molenbroek beheert, besteld. Het onderzoek aan amorf silicium heeft bovendien laten zien dat er zeer interessante toepassingen van dit materiaal op het gebied van dunne-film-transistoren zijn. Op dit gebied zal Hans Meiling als KNAW onderzoeker zijn krachten laten zien.

In de volgende bijdragen kunt u uitvoeriger lezen hoe we door al deze ontwikkelingen uit het Buys Ballot laboratorium knapten. De recente verhuizing van het BBL-deel van de groep naar het Ornstein-laboratorium zien we als heel belangrijk en positief. Deze is niet alleen goed vanwege de grote en mooie experimenteerruimte die we nu tot onze beschikking hebben, maar vooral ook omdat de dreiging van uit elkaar groeien van de twee onderzoekslijnen nu sterk

verkleind is.

Het is duidelijk dat we trots zijn op onze infrastructuur en we zijn er van overtuigd dat we door de aanwezige combinatie van zowel depositie- als analysetechnieken een duidelijke "impact" in het onderzoek kunnen (blijven) maken.

Ik wil hier heel graag de grote steun van de Faculteit Natuur- en Sterrenkunde, het College van Bestuur van onze universiteit, en in breder kader, die van NOVEM en NWO vermelden. Deze heeft het mogelijk gemaakt dat Grenslaagfysica haar aanvankelijke grenzen kon overschrijden. We zijn daar dankbaar voor.

DE VERBOUWING van het R.J. van de Graaff Laboratorium

door John Bezemer

Met de komst van het halfgeleiderlab in het Van de Graaff Laboratorium is er aardig wat verbouwd. Met name de verdieping, die in de voorbereidingshal gekomen is, heeft de indeling flink veranderd. Het voorste gedeelte van de hal is vide gebleven, bestemd voor laden, lossen en hijsen, o.a. naar de kelder. Een brede gang is op de begane grond vrij gelaten als toegang tot diverse voorbereidingsruimten en met aan het eind een ruime toegang tot de vergrote stofarme ruimte van SAP.



Op de nieuwe verdieping bevindt zich de depositieapparatuur voor amorf silicium. Deze ruimte is toegankelijk via een entree die gebouwd is op het lage dak aan de oostzijde van het gebouw.

Deze entree biedt ook toegang tot de ruimte waar de proces-gassen opgeslagen zijn. Entree en opslagruimte zijn uitgevoerd in een

eenvoudige maar functionele plaatstalen constructie. Diverse toegangen zijn uitgezaagd in de dikke betonnen muren.



Op bijgaande foto's ziet u hoe het bouwbedrijf Heijmerink de verdieping aangebracht heeft. Eén van de foto's toont het leggen van de eerste beton-kanaalplaat met een lengte van ca 7,60 meter en een breedte van 1,20 meter. De vloer is opgehangen aan de muren van de hal die 1 meter dik zijn. Op deze muren zijn stalen hoekbalken bevestigd met lijm-ankers. Dit zijn bouten die verlijmd zijn in voor-geboorde gaten in de muren. Op de vloer kunnen apparaten geplaatst worden met een gewicht van maximaal 3000 kg.



JOHN BEZEMER

DE GROTE VERHUIZING

door John Bezemer

De afgelopen jaren is er in de faculteit letterlijk heel wat in beweging geweest. Diverse groepen zijn van etage of zelfs van laboratorium veranderd. Zo is het ook vergaan met het deel van de Debye-groep Grenslaagfysica die aan amorf silicium (a-Si) werkt, voor insiders het "a-team".

Omdat het onderzoek aan dit halfgeleidermateriaal in Utrecht zeer in de belangstelling staat, voornamelijk door de toepassing van dit materiaal in zonnecellen, is het a-team flink gesteund door de tweede en derde geldstroom. Dit had tot gevolg dat er meer onderzoekers kwamen en er konden ook meer grote apparaten aangeschaft worden.

Sinds een jaar of zeven is er steeds naar de noodzakelijke ruimte gezocht. Die kon op de zesde verdieping van het BBL niet meer gevonden worden. De groep kreeg enkele ruimten op de zevende en een tijdelijke ruimte op de vijfde. Ook deelde men op het laatst zitruimte met MFO op de begane grond! Zo was de situatie toen opnieuw ruimte gezocht werd voor een grote opstelling ten behoeve van het NWO Prioriteitenprogramma "Zonnecellen voor de 21-ste eeuw."

Hoewel huisvesting voor tweede en derde geldstroom onderzoek door de Universiteit geen vanzelfsprekende zaak is, heeft het College van Bestuur toch besloten de faculteit geld te verstrekken voor uitbreiding en herinrichting van de ruimte voor het onderzoek aan zonnecellen. Een globaal plan was al gemaakt. De voormalige voorbereidingshal in het Van de Graaff Laboratorium zou de plaats worden voor de bestaande en nieuwe depositie-apparatuur van Grenslaagfysica.

Toen het Facilitair Bedrijf van de Universiteit de verbouwing in detail ging uitwerken en begroten, bleek het beschikbare geld te weinig om de plannen te kunnen uitvoeren. Hierdoor waren de plannen in een impasse geraakt. De kwestie was, hoe hieruit te geraken. Vragen waren: "waarom is het te duur" en "is er een alternatief, nieuwbouw

of herschikking van de ruimten in het BBL."

Het zou te ver voeren om hier op deze vragen in te gaan. De directeur van de faculteit heeft gezorgd voor een oplossing, waarbij alle "luxe" geschrapt werd en waarbij het tekort verdeeld werd over de (toenmalige) vakgroep, de faculteit en de Universiteit. Het geheel werd dus sober. Geen draadglas ramen, c.q. helemaal geen ramen. Geen elektronische deurbeveiliging maar gewone sleutels. Het verlaagde plafond mocht blijven, omdat hierdoor de ventilatie verminderd kan worden.



Een belangrijk punt bij de voorbereidingen was de bouwvergunning met de daarbij benodigde voorwaarden voor milieu en veiligheid. De hoeveelheid afvalgassen die wij zouden kunnen lozen was geen probleem. Alleen voor de lozing van silaan en germaan is in de vergunning een maximum gesteld. Een complicatie vormde het feit, dat in het gebouw ook experimenten uitgevoerd worden waarbij radioactiviteit optreedt. Het leek onnodig en zinloos om de nieuwe bewoners van het lab als radiologisch medewerker aan te merken. Daarom is het gedeelte waar straling aanwezig kan zijn afgesloten voor buitenstaanders door een systeem van XS-cards.

Stralingsfunctionaris Theo Heij controleert of de straling in het halfgeleiderlab niet boven de natuurlijke achtergrond komt.

Het was inmiddels begin 1996 geworden, anderhalf jaar na de eerste plannen, toen de aanbesteding plaats kon vinden en er echt gebouwd kon gaan worden. Er waren heel wat voorzieningen nodig. Alles wat in het BBL standaard was, was niet beschikbaar in het RvdG. Ook de technische installatie voor luchtbehandeling was aan vernieuwing toe, en werd voor een deel op het "zonnecelproject" afgeschreven. Er werden drie aannemers ingeschakeld. Een voor de bouw, een voor de werktuigbouw (luchtbehandeling, servicestroken), en een voor de elektrische instalatie. Eigenlijk kwam daar nog een vierde bij, voor het procesgas systeem. Voor dit laatste deel hebben wij zelf i.p.v. het Facilitair Bedrijf de "directie mogen voeren," waardoor de kosten nog wat gedrukt konden worden. Daarnaast heeft het FBU een aantal onderdelen apart uitbesteed, zoals de hijsvoorziening en een goederenliftje voor substraten. De totale kosten bedroegen ruim 2 miljoen gulden. De kosten aan het gebouw waren het voordeligst, ca. 3,3 ton, en de werktuigbouw was het duurst met ca. 4,6 ton. Deze bedragen zijn natuurlijk zonder BTW, overheads en meerkosten.

De bedrijven die de verbouwing vakkundig verzorgd hebben zijn Van Dort, technische installatie, Verweij, elektrische installatie en Heijmerink, bouwwerkzaamheden. De installatie van de procesgas kasten en leidingen werd verzorgd door Indugas, met Cremers als onderaannemer voor het leidingwerk.

In maart van 1996 begon de eigenlijke verbouwing. Een en ander verliep redelijk voorspoedig, onder de strakke leiding van de heer Schepers van het FBU. In augustus was de bouw zover klaar dat het procesgas-systeem geïnstalleerd kon worden. Het gassysteem betrof kasten voor gasflessen en leidingen naar de opstellingen tot en met "het kraantje op de muur." Een gedeelte van de gaskabinetten was al aanwezig en behoefde slechts aangepast, een ander gedeelte werd nieuw aangeschaft.

Veel werd door de groep zelf uitgevoerd, zoals het aanbrengen van spoel- en afvoerleidingen, inclusief het lozingspunt van restgassen op het dak. Ook kwamen heel wat onvoorziene kosten bij de groep

terecht, bijvoorbeeld de kosten voor het aanbrengen van een bliksembeveiliging aan de gasafvoer.

Hoofdzakelijk in oktober en november vond de grote verhuizing plaats. Alle grote en kleine opstellingen werden losgekoppeld en grotendeels uit elkaar gehaald. De grote stukken werden door een erkende verhuizer overgebracht, maar het merendeel van de onderdelen werd door onze eigen technici, eventueel na een goede service of schoonmaakbeurt, overgebracht. Het was toen al aardig stil op de oude werkplek, want de meeste medewerkers hadden eerder dat jaar al hun nieuwe werkcamers in het Ornstein-lab betrokken om ruimte te maken voor MFO.



Bij de verhuizing gingen alle apparaten die direct met de depositie te maken hadden naar het Van de Graaff-lab. Frank Achten heeft de verplaatsing van de grote opstellingen voor elektrische en optische materiaalkarakterisering naar het Ornsteinlab georganiseerd en begeleid.

Alle depositieapparaten zijn bij de verhuizing bijeengebracht in de hal op de eerste verdieping. Hulpapparatuur, onder andere opdamperen en

meetapparatuur zoals microscopen, hebben een plaatsje gevonden op de begane grond. Daar is ook een "natte ruimte" voor het reinigen van de substraten. Heel speciaal is ook de laser, waarmee het "snijden" in dunne films bestudeerd wordt om op deze manier geïntegreerde circuits van bij voorbeeld in serie geschakelde zonnecellen te maken.

Tegelijkertijd is er voor gezorgd om wat eenheid te brengen in de opbouw en de gashandeling. Dit komt de veiligheid en het bedieningsgemak ten goede. Sommige apparaten zijn ooit grotendeels zelf ontworpen en opgebouwd, andere zijn min of meer compleet aangeschaft. Zaken die goed bevielen zijn op andere systemen overgebracht. Van PASTA is het systeem van gaskabinetten overgenomen, de kasten voor gasflessen met reduceer- en spoelsystemen.

Van de ASTER is het principe overgenomen om alle voorpompen van een opstelling in een gesloten kast naast de opstellingen te plaatsen. De pompkasten zijn door Gerard van der Mark ontworpen, en hij heeft ze van een vrolijk kleurtje laten voorzien, zodat ze een oogstrelend accent in de hal zijn geworden. Doordat de afzuiging van de hal aangesloten is op de pompkasten, wordt het teveel aan warmte direct verwijderd en is het benodigde koelvermogen voor de hal omlaag gebracht.

Inmiddels werkt een gedeelte van de apparatuur weer. Bij een ander deel wordt de laatste hand gelegd aan de opbouw.

Bovendien is in maart de PILOT, de nieuwste aanwinst van de groep, gearriveerd en geïnstalleerd. Met de komst van de PILOT is nu de gehele depositiehal gevuld. Al met al zijn de apparaten een half tot een heel jaar buiten bedrijf geweest. Het is dus van groot belang, dat wij weer volop kunnen experimenteren!

HET ONDERZOEK AAN ZONNECELLEN

door Ruud Schropp

Vanwege de stijgende energieconsumptie is het te verwachten dat de mensheid in 200 à 300 jaar door de op aarde aanwezige voorraad fossiele brandstoffen heen zal zijn. De voorraad steenkool is nog het grootst, maar men zou zich kunnen afvragen of het misschien beter is deze grondstof te gebruiken voor duurzame produkten in plaats van deze simpelweg te verbranden. Afgezien daarvan zijn de nadelige gevolgen van de verbranding van fossiele brandstoffen waarschijnlijk al eerder merkbaar, nl. in de vorm van zure regen en broeikas-effect.

De energie die de aarde van de zon ontvangt is enkele duizenden malen meer dan de wereldenergieconsumptie. Het is dus zeer voor de hand liggend deze duurzame energiebron te benutten. Eén van de manieren waarop zonne-energie kan worden omgezet in iets bruikbaar is door gebruik te maken van het fotovoltaïsch effect. Hiermee kan zonlicht rechtstreeks worden omgezet in elektriciteit. Het fotovoltaïsch effect vindt plaats in zonnecellen, waarin de meest belangrijke component een halfgeleidermateriaal is.

De meestgebruikte halfgeleiders zijn silicium, galliumarsenide, cadmiumtelluride en koperindiumdiselenide. Deze halfgeleiders hebben elk hun eigen voordelen, zoals bijvoorbeeld de grote aanwezige voorraad, het hoge conversierendement, de eenvoudige produktiewijze of de goedkope grondstoffen.

In het algemeen is het tot nu toe zo, dat de hoge produktiekosten van zonnecellen de wijdverbreide toepassing ervan nog verhinderen. Het is dus van belang de kosten van zonnecellen te verminderen. Dit kan op twee manieren. Ten eerste kan men proberen het rendement te verbeteren. De cellen geven dan meer opbrengst en verdienen zichzelf sneller terug. Ten tweede kan men fabricageprocessen ontwikkelen waarmee goedkoper geproduceerd kan worden.

De zonnecelgroep van het Debye Instituut werkt aan een variant van silicium. De 'klassieke' vorm van silicium heeft een kristalstructuur

en wordt bij hoge temperatuur bereid door eerst zuiver silicium te smelten. Onze variant is amorf silicium en kan door ontleding van een gas aangebracht worden op willekeurig dragermateriaal. Dit depositieproces (dat elders wordt uitgelegd) vindt plaats bij lage temperaturen (200 oC) en is daarom al goedkoop.

De stralingsdichtheid van de zon is bij wolkenloze hemel ongeveer 1000 W per vierkante meter. In het Nederlandse klimaat komt de ingestraalde energie overeen met het resultaat van drie van zulke zonne-uren per dag. Op plaatsen dichtbij de evenaar, zoals de Sahara, is dat veel meer en in bijvoorbeeld Finland heel wat minder. Een voorzichtige schatting is 5 uur zon per dag gemiddeld over het aardoppervlak. De op aarde ontvangen energie van de zon is dus in totaal $2,5$ maal 10^{16} kWh per dag (nl. 500 miljoen vierkante kilometer x 5 uur x 1000 W per vierkante meter x 1 miljoen vierkante meter per kilometer). Het totale primaire energieverbruik wereldwijd is $2,7 \times 10^{11}$ kWh per dag.

Dit zijn enorm grote getallen maar het is eenvoudig te zien dat de ontvangen energie ongeveer een factor 10.000 groter is dan het verbruik. In principe is dus de direct ingestraalde energie ruim voldoende om het verbruik te dekken.

De thans bekende voorraden aan fossiele brandstoffen (olie, kolen en gas) opgeslagen in de aardlagen vertegenwoordigen een energiewaarde van $3,5 \times 10^{16}$ kWh. Dus in twee weken tijd ontvangen we evenveel energie van de zon als er in totaal voorradig is aan fossiele brandstoffen!

Een ander rekensommetje leert dat deze brandstoffen bij het huidige verbruik slechts 350 jaar meegaan ($3,5 \times 10^{16}$ gedeeld door $2,7 \times 10^{11}$ is 129630 dagen, is dus 355 jaar). Omdat we met zijn allen al een tijdje bezig zijn en de wereldbevolking nog flink zal toenemen, zou de voorraad over 150 à 200 jaar uitgeput raken. Er zullen dus in ieder geval andere energiebronnen moeten worden aangeboord.

Bovendien is er, als het silicium amorf is, veel minder silicium nodig om toch veel licht te absorberen: een dunne film van 1 micrometer amorf silicium absorbeert al 90 % van het bruikbare zonlicht.

Het proces is ook uitermate geschikt voor de fabricage van vele zonnecellen tegelijk, die in een keer als één grote elektronische schakeling worden neergelegd op bv. een stuk glas.

Het dunne-film karakter van deze technologie maakt interessante toepassingen mogelijk, zoals bijvoorbeeld zonnecellen op buigbare dragers zoals plastic, waardoor zonnecellen oprolbaar zijn of gecombineerd kunnen worden met gekromde oppervlakken (*zie foto*).

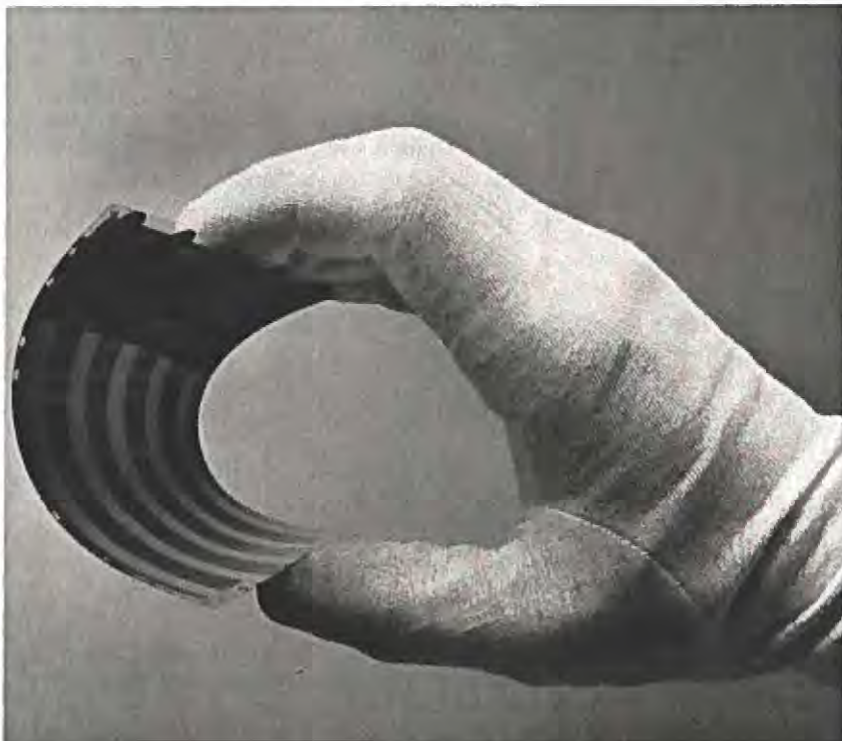


foto 1 - lichtgewicht flexibele zonnecel gemaakt vlak voor de verhuizing toen de PASTA nog uitzicht had over de Utrechtse Heuvelrug vanaf 6 BBL

Voorts kunnen zulke cellen gedeeltelijk transparant worden gemaakt, hetgeen interessant is voor bijvoorbeeld de glazen facades van kantoorgebouwen.

Het ziet ernaar uit dat elektriciteit van amorf silicium zonnecellen als eerste kan concurreren met elektriciteit uit het net. Er moet echter nog wel het een en ander onderzocht worden.

De zonnecelclub werkt samen met de industrie om te zich ervan te verzekeren dat de ontwikkelde methoden ter verbetering van het rendement en de betrouwbaarheid van zonnecellen ook geschikt zijn voor grootschalige industriële productie.

In Europees verband wordt samengewerkt met NAPS FRANCE, een dochterbedrijf van de Scandinavische oliemaatschappij NESTE. Nog deze maand wordt een nieuw contract afgesloten, teneinde een project uit te voeren waarin tandemcellen zullen worden ontwikkeld in de productie-apparatuur over een oppervlak van 900 cm². De tandemcellen zullen bestaan uit een amorf silicium cel en een amorf silicium-germanium cel.

De in Utrecht aanwezige PILOT, waarmee lagen kunnen worden aangebracht over 30 cm x 40 cm, zal bij deze ontwikkeling worden ingeschakeld.

Ook de Nederlandse industrie heeft interesse in amorf silicium zonneceltechnologie. Met het chemieconcern AKZO NOBEL is een overeenkomst in de maak, waarin een continu productieproces zal worden ontwikkeld, waarmee op aantrekkelijke wijze flexibele dunne film zonnecellen vervaardigd kunnen worden.

Een aspect is dat het materiaal veel elektronische defecten heeft. Hierdoor is het rendement lager dan van andere typen cellen. Dit kan echter in principe goed worden ondervangen door een ander aspect van de dunne-film-technologie te gebruiken: diverse verschillende samengestelde zonnecellen kunnen in één stap op elkaar worden gestapeld. De spectrale gevoeligheid van de opeengestapelde zonnecellen kan voor elke cel verschillend worden ingesteld, eenvoudig door tijdens de gasontlading anders dan silicium-houdende gassen bij te mengen. De gestapelde cel (zg. tandemcel) kan daarom een breder deel van het zonnenspectrum in elektrische stroom omzetten, terwijl ook per foton (lichtquant) minder energie als warmte verloren gaat.

Het rendement van een tandemcel is daardoor groter. Het wereldrecord is (eind 1996) behaald bij het Amerikaanse bedrijf Unisolar met een drievoudige cel die een rendement had van 14,6 %.



foto 2 - Ruud Schropp met flexibele cel

Een ander aspect in het onderzoek is dat amorf silicium, zelfs na de formatie ervan, een elektronische defectdichtheid heeft die afhangt van de voorgeschiedenis, met name van hoeveel irradiatie het materiaal heeft 'gezien' en bij welke temperatuur dat is gebeurd. In de praktijk betekent dit dat amorf silicium zonnecellen zo'n 20 % van hun rendement verliezen in de eerste uren na ingebruikname. Daarna treedt een nieuwe evenwichtstoestand op waarbij de cellen een stabiel rendement bereiken. Het amorf silicium noemt men daarom een metastabiele halfgeleider. Als dit effect kan worden vermeden zou dit een welkome verhoging van het rendement betekenen. Hoewel de metastabiliteit van amorf silicium al 20 jaar geleden werd ontdekt, is het nog niet duidelijk welke fundamentele processen op atomaire schaal hieraan ten grondslag liggen. Het ingebouwde waterstof speelt hierbij ontegenzeggelijk een belangrijke rol. Het fundamentele onderzoek beweegt zich daarom vooral in de richting van een beter

begrip van de bindingsstructuur en de beweeglijkheid van waterstof in het netwerk. In het zonnecelonderzoek proberen wij een relatie te leggen tussen de eigenschappen van op verschillende wijze aangebrachte dunne films en de prestaties van complete zonnecellen waarin deze dunne films zijn ingebouwd.

Ook doen we onderzoek aan het vermijden van metastabiele effecten in zonnecellen, ook weer door zonnecellen te stapelen en door gebruikmaking van optische verstrooiing in celstructuren ("light trapping").



foto 3 - Karine van der Werf bij de PASTA met een "vers" laagje amorf silicium

In het lab staat onder andere het depositieapparaat PASTA, Processing of Amorphous Semiconductors for Thin-film Applications. Het apparaat heeft vier verschillende depositiekamers, zodat de verschillende laagjes met een zeer nauwkeurig bekende samenstelling kunnen worden aangebracht. Als dragermateriaal gebruiken we glas, staal of plastic. Het overbrengen van de houder met het sample gebeurt in vacuüm, zodat ook de grensvlakken (interfaces) tussen de diverse laagjes goed onder controle zijn. Eén van de depositiekamers

gebruikt geen hoogfrequente glimontlading voor de decompositie van het gas, maar een sterk verhit filament, een "hete draad". De draad is zo heet (1800-2000 °C) dat alle gassen eraan ontleden tot hun atomaire bouwstenen. Het interessante van de techniek is dat de eigenschappen van de ontstane films over een veel groter gebied gevarieerd kunnen worden. Mogelijk geven de nieuwe materialen de richting aan voor de vorming van ideale, stabiele amorf silicium netwerken.

NB - foto's nr 1 en 3 in dit artikel zijn gemaakt door een neef van de auteur, Riesjard Schropp

HET HALFGELEIDER LABORATORIUM opbouw en indeling

door Gerard van der Mark

In de fase waarin gesproken wordt over de opbouw van het halfgeleiderlaboratorium is met de gebruikers intensief gesproken over de eisen waaraan hun betreffende opstelling moet voldoen om zo effectief mogelijk te kunnen werken. Wie nu naar het resultaat kijkt zal tot de conclusie komen, dat er sprake is van een logische indeling en opbouw. Toch zijn er heel wat hoofdbrekers opgelost voordat de realisatie gestalte kreeg.

Op een rij zettend, wat er in het lab. aanwezig moest zijn, bracht ons een hele lijst met eisen. Deze eisen kunnen we globaal opsplitsen in twee groepen. De eerste groep zullen we de "algemene voorzieningen" noemen. Terwijl de tweede groep zich toespitst op de opstelingsgebonden eisen.

De algemene voorzieningen

Deze algemene voorzieningen kunnen we in de volgende delen opsplitsen.

- 1 - Gassen
- 2 - Gasleidingnet
- 3 - Afvoersysteem
- 4 - Ventilatiesysteem
- 5 - Gasdetektie en alarm

Deze algemene voorzieningen staan los van stroom en water, welke in de bouw van het lab. zijn opgenomen.

De gassen

In het halfgeleiderlab. wordt gewerk met "gevaarlijke gassen". Het gevaar bestaat uit giftigheid, brandbaarheid en ontplofbaarheid. Dit heeft tot gevolg dat er een aparte gasflessenruimte is gekomen. Deze gasruimte is geplaatst op het bestaande dak van het Robert van de Graaff gebouw. Was het in het verleden zo dat de gasflessen kort

naast de opstelling stonden, nu is dat verleden tijd, en staan alle gassen in eigen gaskasten in de speciale gasflessenruimte.

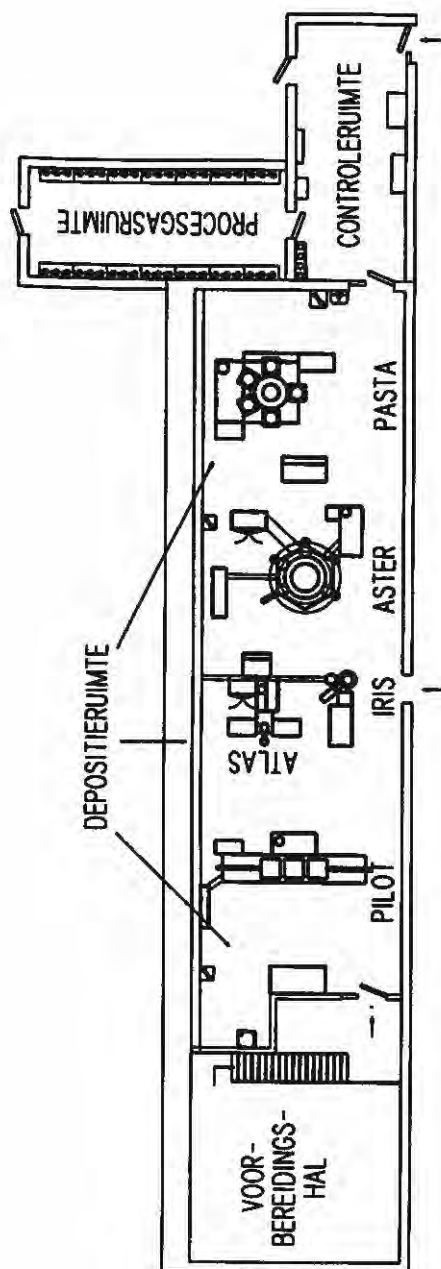


Gerard van der Mark

Het gasleidingnet

Er is een speciaal gasleidingnet aangelegd van de gasflessen naar de opstelling. Dit net bestaat uit \pm 1000 meter buis met een buitendiameter van $\frac{1}{4}$ inch en een wanddikte van 0.91 mm. Aan de oppervak-
te-ruwheid van de binnenkant van de buis zijn hoge eisen gesteld. De buis is elektrochemisch gepolijst met een ruwheid gelijk of kleiner

vervolg tekst op biz 28



OPBOUW HALFGELEIDERLABORATORIUM

dan Ra 0.2 um. Het net is gedeeltelijk in eigen beheer aangelegd. Alle leidingen vanaf de gaskasten in de gasruimte tot aan het punt op de wand waar betreffende opstelling staat, is door een extern bedrijf aangelegd. Vanaf de wand via de Massflowcontrolekast naar de opstellingen is door ons in samenwerking met de IGF aangelegd.

Het afvoersysteem

De afgewerkte gassen welke uit de reactiekamers komen, moet ook weer weggewerkt kunnen worden, daarvoor is een met stikstof geïnjecteerd afvoersysteem ontworpen. Aan de voorvakuumpompen van de reactiekamers zit een stikstofleiding welke gedoceert stikstof in de afgewerkte gassen blaast. Hierdoor worden de gassen al sterk verdund. Verder wordt aan het begin van de leiding een continu stikstofflow 24 uur per dag ingeblazen. Er zit op deze leiding een contactmanometer. Deze heeft als functie dat op het moment van dichtslibben/verstoppingen, er een alarmsignaal gegeven kan worden.

Ventilatiesysteem

Er is een krachtig ventilatiesysteem aangelegd, waardoor eventueel ontsnapte gassen snel afgezogen kunnen worden. Dit ventilatiesysteem is aangesloten op de pompkasten van alle opstellingen. Daardoor heeft het systeem een dubbel functie. Luchtverversing van de ruimte, snelle afvoer van gassen bij een eventueel gasontsnapping en een adequate afvoer van de warmte van de achttien voerpompen welke continu staan te draaien.

Gasdetektie en alarm

In het artikel over veiligheid wordt uitgebreid ingegaan op de gasdetektie en alarm. U kunt dit elders in het blad lezen.

De opstellingsgebonde eisen zal ik in dit artikel niet behandelen, omdat alle opstellingen uitgebreid aan de orde komen in deze special.

In de plattegrond (*op bladzijde 27*) van het lab zijn de plaatsen van de opstellingen almede de situatie van de meeste algemene voorzieningen aangegeven.

VEILIGHEID

door Karine van der Werf

Zoals reeds elders in dit nummer van FYLAKRA vermeld staat worden voor het vervaardigen van amorf silicium verschillende, in de halfgeleiderindustrie gangbare, gassen gebruikt. Deze gassen zijn giftig en/of brandbaar. Daarom is er, in overleg met de dienst milieu en veiligheid van de universiteit, veel aandacht besteed aan de veiligheid in en om het halfgeleiderlaboratorium.

Zo zijn alle gascilinders, inclusief hun reduceer- en spoelsysteem, ondergebracht in verschillende gaskasten. Iedere kast bevat een gasdetector die het in die kast gebruikte gas kan detecteren. Deze gaskasten staan in een aparte ruimte die, via de gaskasten, continu wordt afgezogen.

De depositiesystemen staan in één grote ruimte. Er loopt een heel netwerk van gasleidingen en kraantjes van de ruimte waar de gaskasten staan naar deze z.g.n. depositiehal. Op diverse plaatsen in deze hal zijn ook gasdetectoren aangebracht die de kwaliteit van de lucht continu monitoren. De hal wordt via de pompkasten van iedere opstelling geventileerd.

Het procesgas wordt via de diverse reactoren afgeblazen op één centrale afvoer die op een veilige afstand van de aanzuiging van de ventilatie van het Robert van de Graaff lab aan de buitenlucht komt. Om te voorkomen dat lucht (en dus zuurstof) de afvoer in kan diffunderen en om de procesgassen te verdunnen, wordt de afvoer dag en nacht met een forse hoeveelheid stikstof gespoeld.

De aanwezige gasdetectoren kunnen zeer lage concentraties meten, ongeveer 3% van de MAC waarde van het meest giftige gas. De MAC-waarde is de z.g.n. Maximaal Aanvaardbare Concentratie, dit is de concentratie waaraan iedereen 8 uur per dag, 5 dagen per week blootgesteld mag zijn, zonder dat dit gevolgen heeft voor de gezondheid. Alle gasdetectoren kunnen uitgelezen worden in een aparte ruimte tussen de depositiehal en de ruimte waar de gaskasten

opgesteld staan.



Karine van der Werf

Als één of meer gasdetectoren een concentratie detecteren die hoger is dan het ingestelde alarmniveau dan worden de in de hal aanwezige personen middels een geluidssignaal gewaarschuwd en wordt de gastoevoer naar alle systemen automatisch gestopt. Ook als de ventilatie in een van de ruimtes niet meer functioneert, wordt de gastoevoer naar de systemen automatisch gestopt. De afvoer wordt middels een manometer gecontroleerd op verstoppingen. In het halfgeleiderlab zijn persluchtmaskers aanwezig, die, voor preventieve doeleinden, bij het verwisselen van gascilinders en het verversen van pompolie, gebruikt worden.

Ter illustratie van de risico's die iedereen elders loopt zonder het zich te realiseren, het volgende. De MAC waarde van CO (koolmonoxide)

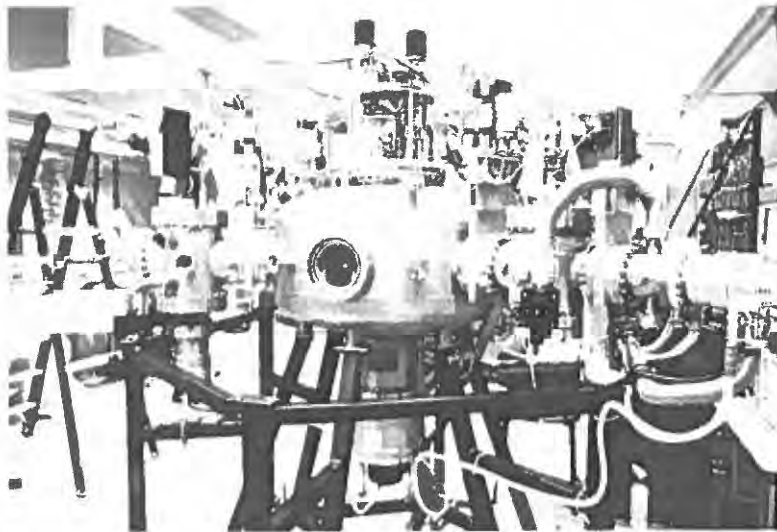
is 25 ppm (parts per million). De APK stelt de eis dat de concentratie CO in de uitlaatgassen van een auto niet hoger mag zijn dan 4%, dat is 40.000 ppm, dus 1600 maal de MAC waarde. In de file staan is dus veel gevaarlijker dan in het Robert van de Graaff lab vertoeven! En wat de gascilinders betreft waar iets mee kan gebeuren: heeft u zich wel eens gerealiseerd wat er in al die tankwagens zit die naast u in diezelfde file staan?

Tot slot nog dit: de brandweer is enkele maanden geleden langs geweest om het hele fysicacomplex te bekijken en was zeer onder de indruk van de genomen veiligheidsmaatregelen in het halfgeleiderlab!

A S T E R
Amorphous Semiconductor Thin film
Experimental Reactor

door Hans Meiling

ASTER is een ultra hoog vacuüm meerkamer systeem geschikt voor de depositie van amorf en microkristalijn silicium en aanverwante legeringen. Zoals al eerder toegelicht is, wordt amorf silicium (ook wel afgekort tot *a-Si:H*) veelvuldig toegepast in zonnecellen en in transistoren.



ASTER

Met name de transistoren vinden een wijdverbreid toepassingsgebied in de aansturing van vlakke-plaat beeldschermen, in de uitlezing van tekst en figuren door serieschakeling met zonnecellen, etc. Het materiaal wordt gevormd vanuit een glimontlading, wat ongeveer als volgt werkt: tussen twee parallelle elektrodes wordt een silicium-

houdend gas gebracht. Door het aanleggen van een elektrische spanning aan de electrode wordt het gas geleidend gemaakt als in een TL-buis en gaat het ontleden. De gebruikte frekwentie is standaard 13.56 MHz; als extraatje gebruiken wij echter ook hogere frekwenties, tussen 20 en 120 MHz. Hierdoor kan een duidelijk hogere groei-snelheid van amorf silicium behaald worden. We zullen in dit stukje niet zozeer ingaan op de mooie fysica die met behulp van dit geavanceerde systeem bedreven kan worden, maar we zullen meer stilstaan bij de wat meer nostalgische aspecten.

Het ASTER systeem is ontworpen door John Bezemer, in samenwerking met Leybold Hereaus en met de (toenmalige) subcentrale werkplaats. De bouw van ASTER is gestart in 1986. In de beginfase zijn het vooral Theo Klinkhamer, Kees Stap, Bert Slomp en Frank van Alst geweest die het hele gevaarte hebben opgebouwd. Dit heeft al met al zo'n twee jaar geduurd; de eerste lagen van amorf silicium zijn in 1988 gedeponneerd. Vervolgens is Hans Meiling met deze dunnelagen-machine wat meer wetenschappelijk aan de slag gegaan en heeft vele proces optimalisaties uitgevoerd alsook de eerste zonnecellen met een hoog energie-omzettingsrendement (10%) gemaakt. Hij was de eerste ASTER-OIO en er zouden er nog diverse volgen (Marc von der Linden, Edward Hamers)

ASTER is altijd een echte onderzoeksmachine gebleven, iets waar het in eerste instantie ook voor ontworpen was. De goede kwaliteit van het vacuüm en het feit dat iedere ander type laag in een aparte proceskamer gemaakt wordt, hebben er voor gezorgd dat er zeer zuivere a-Si:H lagen gemaakt kunnen worden en dat er devices met zeer goed gedefinieerde grensvlakken gemaakt kunnen worden.

ASTER is heel herkenbaar in het nieuwe laboratorium: de proceskamers zijn als de bloembladeren van een aster gerangschikt om de centrale transportkamer heen. Een georganiseerde wirwar van kabels en gasleidingen gaat naar het systeem toe om ASTER van de o-zonodige electriciteit, water en gassen te voorzien. Het resultaat mag er zijn; op dit moment kunnen de volgende typen lagen afgezet worden: amorf silicium, microkristallijn silicium, amorf silicium gedoteerd met borium of fosfor, (borium-gedoteerd) amorf silicium carbide en amorf silicium nitride. Daarbij blijft het niet, je kunt ook nog eens al

die lagen op elkaar stapelen en er de leukste devices of multilaags-structuren van maken!



Hans Meiling

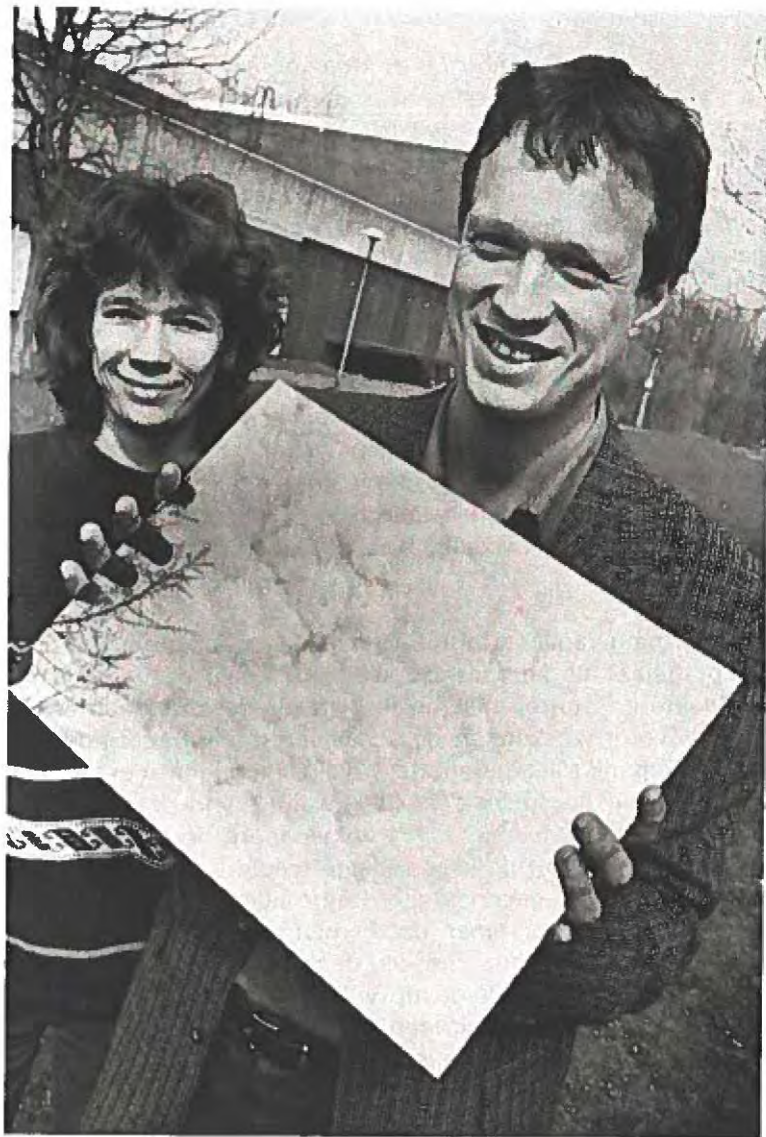
Het ASTER team is/was: John Bezemer, Edward Hamers, Bert Slomp, Gerard van der Mark, Hans Meiling en natuurlijk "G & G" (Gerard van Voorst en Gerard Hörchner), met niet te vergeten de ex-medewerkers Wilfried van Sark, Kees Stap, Frank van Alst, Frits Bijvoet en Gerrit Dirkse.

P I L O T

door Edith Molenbroek

De PILOT, Photovoltaic Integrated Large area devices based On Thin films, is de nieuwste aanwinst van de zonnecel-afdeling in het Debije Instituut. Met dit depositie-apparaat kunnen amorf silicium zonnecellen op glasplaten van 30x40 cm gemaakt worden. Met de huidige stand van techniek voor zogeheten 'single junction' amorf silicium zonnecellen, zou een volledige zonnecelmodule van dit formaat zo'n 7-8 W kunnen opwekken als de volle zon, met een intensiteit van 100 mW/cm², er op schijnt. Uitgaande van rendementen op laboratoriumschaal, zou dit tot meer dan 9 W opgeschroefd kunnen worden, en met geavanceerde concepten van op elkaar gestapelde cellen tot meer dan 11 W. Met dit nieuwe apparaat kan nu uitgezocht worden hoe verbeteringen in zonnecellen die op kleine oppervlakken (<100 cm²) bereikt zijn in ons lab, ook op grote oppervlakken gehaald kunnen worden.

Deze overgang van laboratoriumschaal naar pilot-productie schaal is niet zo triviaal als het misschien klinkt. Zoals de verhouding van oppervlakte en omtrek niet gelijk blijft als de straal van een cirkel vergroot wordt, zo kunnen bij schaalvergroting van amorf silicium depositie ook niet alle parameters gelijk gehouden worden, die van invloed zijn op de snelheid en de kwaliteit van de depositie. Een concreet voorbeeld hiervan is het volgende: bij het doorstromen van het gas (silaan, SiH₄) door een kleine reactor, wordt een bepaalde fractie van het gas geconsumeerd en omgezet in depositie aan de wand. Om nu te voorkomen dat bij een groot oppervlak al het gas geconsumeerd is aan het eind van de reactor, moet de gasflow verhoogd worden. Echter, de gasflow die nodig is om de fractie geconsumeerd gas constant te houden zal tot gevolg hebben dat de flowsnelheid van het gas in de reactor toeneemt, wat gevolgen kan hebben voor de dikte-uniformiteit van de lagen. Het is niet mogelijk om beide parameters hetzelfde te houden als in een klein systeem, en er zal opnieuw geoptimaliseerd moeten worden. Vooral het streven naar homogene lagen is een sterk beperkende factor in een groot systeem.



Ruud Schropp en Edith Molenbroek met een sample uit het PILOT-systeem

(foto: Ivar Pel Fotografie, Utrecht)

Overigens wordt niet alleen naar zonnecellen met een hoger rendement gestreefd: de snelheid waarmee ze gemaakt worden is eveneens erg belangrijk voor de uiteindelijke kosten per Watt. Daarom is het verhogen van de depositiesnelheid ook een belangrijk aandachtspunt in het onderzoek. Een illustratie hiervan is het volgende: het Amerikaanse bedrijf Solarex, een producent van amorf silicium zonnecelmodules, heeft voor een nieuwe fabriek die één dezer dagen gaat produceren voor een recept gekozen dat niet het hoogste rendement oplevert maar wel sneller is, zodat de uiteindelijke kosten per Watt lager uitkomen.



PILOT

Aan het PILOT-project werken momenteel twee medewerkers full time: een technicus (Tim Lansink) die het apparaat bedient en onderhoudt en een postdoc (Edith Molenbroek) die het onderzoek aan de lagen en cellen verricht.

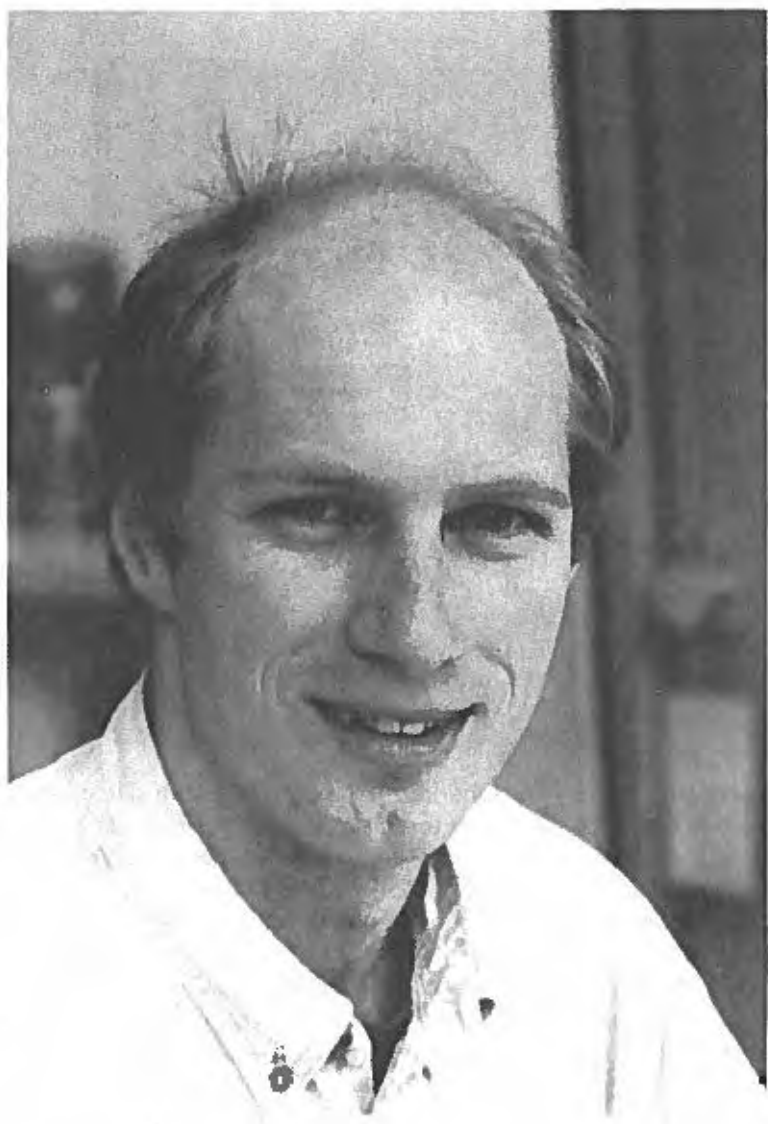
IRIS

door Edward Hamers

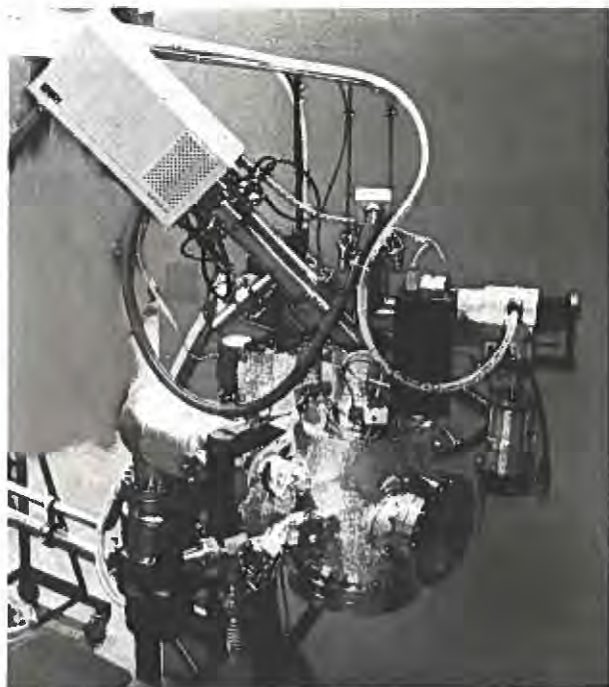
Het onderzoek dat gedaan wordt aan de ASTER heeft als een van de belangrijke doelen om inzicht te verkrijgen in het depositie proces van de amorf silicium lagen. De lagen worden in de ASTER gegroeid door middel van plasma geassisteerde chemische damp depositie en zij worden buiten het systeem gekarakteriseerd. Het onderzoek met de IRIS richt zich voornamelijk op de relatie tussen wat er in het plasma gebeurt en de gedeponeerde lagen. De vraag is: wat in het productie proces (lees: plasma) bepaalt de eigenschappen van de lagen ?

Wat is nu eigenlijk een plasma ? Het plasma, ook wel een gasontlading genoemd, wordt gemaakt door een hoge spanning over een gas aan te brengen. Om amorf silicium te deponeren met het plasma gebruiken we het gas silaan. Het gas stroomt tussen twee metalen platen waar een hoog frequente (10-100 MHz) wisselspanning over wordt aangelegd met een amplitude in de orde van 100 V. Om het plasma aan te krijgen gebruiken we een huis tuin en keuken "knijp"-gasaansteker. De vrije electronen die we op deze manier maken, versnellen in het aangelegde elektrische veld en botsen daar met de aanwezige gasmoleculen. In dat botsingsproces ontstaat een ion en een extra electron in het gas. Omdat bij elke botsing een extra electron vrij komt, ontstaat er een lawine effect dat resulteert in een evenwichtssituatie met vele ionen en evenveel electronen. Echter niet elk electron heeft voldoende energie om een ion te maken. Het maken van radicalen, neutrale brokstukken van een kapotgeslagen molecuul, kost minder energie en komt daarom vaker voor. Deze radicalen zijn erg reactief en blijven met een vrij grote kans aan de wand plakken: het depositie proces. De ionen versnellen door de aanwezige elektrische velden van het plasma naar het substraat en dragen daar dan eveneens bij aan het depositie proces. Het plasma is dus een methode om chemisch actieve deeltjes te maken die aan het oppervlak van het substraat blijven plakken en op die manier een laagje afzetten.

de tekst gaat verder op blz 40



EDWARD HAMERS



De naam IRIS staat voor Ionen en Radicalen In Silaan. De opstelling is identiek aan elk van de reactoren van de ASTER met één verschil: op de plaats waar in de ASTER het substraat voor depositie is geplaatst, zit in de IRIS een heel klein gaatje. De deeltjes die normaal aan het oppervlak terecht komen en daar zorgen voor de groei van de laag, vliegen door dit gaatje. Het achterliggende meetinstrument meet van de binnenkomende neutralen, radicalen en ionen de massa. Van de snelle ionen, die snelheden hebben van vele kilometers per seconde, wordt ook de snelheid gemeten. De plasma's waarmee in de ASTER lagen gemaakt worden, karakteriseren we op deze manier in de IRIS. Dit geeft ons een beter inzicht in de processen die belangrijk zijn voor het produceren van goede lagen van amorf silicium.

HET R.J. VAN DE GRAAFF LABORATORIUM de benedenverdieping

door Jeike Wallinga

Op de beneden verdieping van het Van de Graaff Laboratorium, onder de depositiehal, vindt u de kamers 14 B tot en met F, die allemaal bereikt kunnen worden via "Gang en Vide" 14A. De opstellingen zijn divers, maar hebben toch allemaal te maken met het onderzoek aan dunne lagen en zonnecellen bij Grenslaagfysica.

In de eerste kamer, 14B, staat een kunstzon, die gebruikt wordt om zonnecellen door te meten. In 14C kunnen die zonnecellen van metalen en van transparant geleidende contacten worden voorzien met behulp van verschillende opdampers en een sputter-apparaat. Ook zijn er ovens, waarin de samples verhit kunnen worden.

Voor verdere observaties zijn er in 14D een aantal lichtmicroscopen en een diktemeter aanwezig.

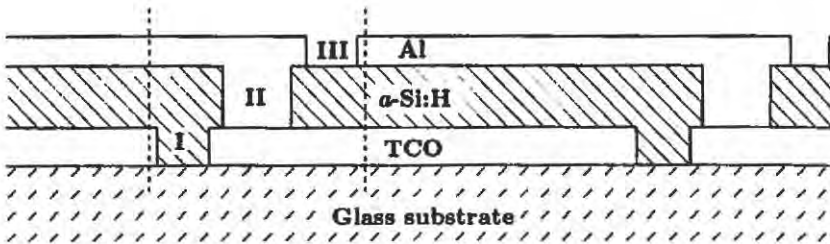
Ook de chemische kant komt aan bod. In de chemische kamer, 14E, kunnen substraten schoon worden gemaakt voor depositie, maar er kunnen ook grote plakken glas keurig in kleinere stukken worden gesneden. Verder zien complete organische zonnecellen hier "het licht".

Als laatste op het rijtje: kamer 14F. Boven de deur hangt een groot bord met daarop de tekst: laser aan. Dat maakt nieuwsgierig... terecht! In de kamer staat een zware granieten tafel met daarop een Nd:YAG laser. Met behulp van een verdubbelingskristal komt er uit de laser niet alleen 1064 nm licht (infra-rood), maar ook groen licht van 532 nm. Bovendien zorgt een Q-switch ervoor dat dit licht in pulsjes van ongeveer 100 ns zit, die elkaar in sneltreinvaart opvolgen (zo'n 6000 pulsen per seconde). Met een spiegel wordt de laserbundel naar beneden gericht. Daar ligt het doelwit op een beweegbare tafel. Dat is bijvoorbeeld een kersvers gedeponeerde zonnecel. Door nu de tafel met een snelheid van 5 cm per seconde te verplaatsen, of beter gezegd: de computer dat te laten doen, komt het volgende



Jeike Wallinga

pulsje uit de laser net naast het vorige pulsje terecht. Als de energie per puls goed gekozen wordt, verwijdert elke puls wat materiaal en schrijven we uiteindelijk een lijn van puntjes.



Zijaanzicht van een monolitisch seriegeschakelde zonnecel

Zoals te zien is in de tekening kan het aluminium de aan achterkant van de linker amorf silicium zonnecel op deze manier met het TCO aan de voorkant van de middelste cel worden verbonden. De cellen staan nu dus op één substraat in serie, dat heet ook wel monolitisch seriegeschakeld. We verwachten dat we binnenkort niet alleen het amorf silicium (II) maar ook het transparante voorcontact (tin oxide, I) en het metalen achtercontact (III) met de laser kunnen schrijven. Een serieschakeling zoals deze leidt tot heel wat kleinere verliezen in de contacten dan één grote zonnecel, maar het is wel belangrijk dat het oppervlak dat verloren gaat - in de tekening het gebied tussen de stippellijnen - klein is. Daarom focuseren we de laserbundel op 20 μm , zodat we hele smalle lijnen schrijven. De tafel heeft een resolutie van 1 μm , dus de afstand tussen de lijnen kan ook klein gehouden worden. De breedte van de afzonderlijke zonnecellen is ongeveer 1 cm.

Tot slot van dit verhaal over de benedenverdieping nog aandacht voor een klein detail in de hoek van de laserkamer. Daar zit namelijk een liftje waar de grote substraten uit de PILOT precies inpassen, zodat ze ongeschonden de laserschrijf-opstelling bereiken.

KARAKTERISATIE

door Frank Achten

Je zou een *sample* kunnen vergelijken met een sollicitant. Een *sample* is gegroeid volgens een bepaald "recept", en dient vervolgens uitgebreid getest te worden op succes. Een eerste visuele inspectie, nadat het *sample* het depositiesysteem heeft verlaten, geeft slechts een indruk over het uiterlijk, voor het bepalen van de innerlijke kwaliteiten is meer nodig. Deze "tweede ronde" bestaat uit het optisch en elektrisch karakteriseren van het *sample*. De hulp van meetapparatuur is hierbij noodzakelijk. Na de tweede ronde volgt vaak nog een derde ronde waarin het *sample* wordt getest op uithoudingsvermogen via langdurige lichtdegradatie. Als het *sample* blijft voldoen aan de verwachtingen krijgt het de vakature, in de vorm van een vermelding in een publikatie. Daarnaast geeft het ook een nuttige "feedback" naar het volgende recept.

De meetapparatuur voor optische en elektrische karakterisatie bevindt zich voornamelijk in het Ornstein Laboratorium. Het gaat om een 15-tal meetopstellingen die deels gekocht zijn, en deels zelf ontwikkeld.

De belangrijkste parameters van zonnecellen worden bepaald door ze te belichten met een zo goed mogelijk gedefinieerde lichtbundel, en vervolgens de I-V curve te meten. De lichtbundel is zo optimaal mogelijk "gematched" met het z.g. "Air Mass Global 1.5 spectrum" (AM1.5). Uit de I-V karakteristieken wordt het rendement van de zonnecel bepaald. De meetopstelling die dit mogelijk maakt wordt de *zonsimulator* genoemd. Voor met name tandem-zonnecellen is de *spectrale respons opstelling* van belang. Door de cel te "biassen" met blauw of rood licht kan van de "bottom-cell" of "top-cell" de spectrale respons apart worden gemeten. Via integratie over het AM1.5 spectrum, bij verschillende voltages, kan een idee verkregen worden over de individuele I-V curves.

vervolg tekst op blz 46



FRANK ACHTEN

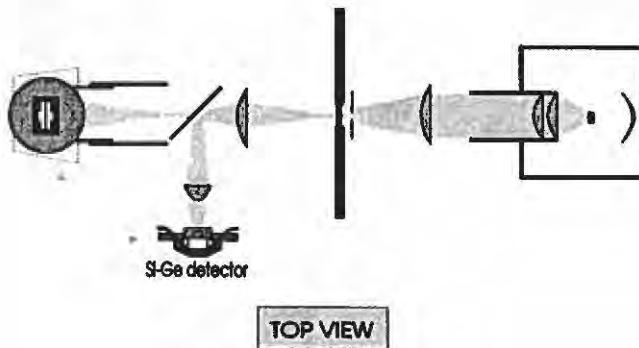
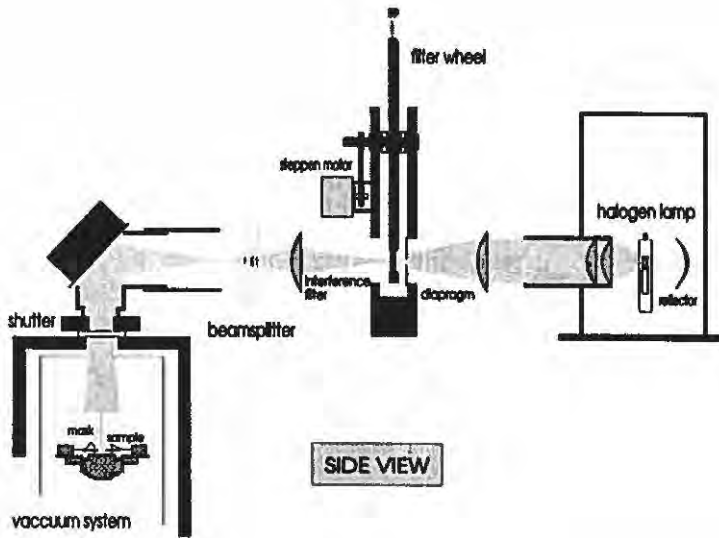
Een belangrijke parameter van amorf-silicium is de absorptie-coëfficiënt (α). Voor het bepalen van α zijn diverse technieken aanwezig.

De *optische opstelling* geeft de α in het zichtbare gebied. De transmissie en reflectie van het sample worden gemeten, berekend wordt α , rekening houdende met meervoudige reflecties in het sample. Hieruit wordt vervolgens de activerings energie bepaald. Voor snellere metingen is ook nog een commercieel apparaat beschikbaar; de *spectrofotometer*.

In het nabije infrarood is de absorptie van amorf-silicium gering, en zijn andere technieken noodzakelijk. Bij de *CPM techniek* - Constant Photocurrent Method - wordt de door licht gegenereerde stroom constant gehouden, terwijl de golflengte van het licht verandert. Het sample bevindt zich in een "steady-state", en de gemeten lichtflux is een (relatieve) maat voor het door absorptie gegenereerde aantal electronen. Een contactloze methode is de *PDS techniek* - Photothermal Deflection Spectroscopy. In tegenstelling tot CPM wordt hier de (relatieve) absorptie gemeten die resulteert in warmte. Het sample wordt ondergedompeld in een vloeistof, en spectraal belicht. De ontwikkelde warmte wordt doorgegeven aan de vloeistof, waardoor een laserbundel wordt afgebogen. De mate van afbuiging van de laserbundel (deflectie) is een maat voor de absorptie van het sample.

Bij de *TSC techniek* wordt het sample op lage temperatuur gebracht (hoog vacuum, 20 Kelvin) en vervolgens verwarmd, waarbij de geleiding wordt gemeten. Hieruit wordt de "density of states" van het materiaal bepaald. Structurele informatie over amorf-silicium (bindingshoeken) kan verkregen worden door metingen met de *Raman opstelling*. In tegenstelling tot de Raman opstelling is de *infrarood opstelling* wel een commercieel apparaat. Infrarood spectra geven informatie over waterstofconcentraties in het materiaal. Een ander commercieel apparaat is de *CV opstelling*, waarbij capaciteiten en inducties van films kunnen worden gemeten, evenals de karakteristieke parameters van TFT's - Thin Film Transistors.

De gewenste karakterisatie-technieken veranderen (en verouderen) net zo snel als de "recepten" voor de samples.



Tot slot is bij wijze van voorbeeld een van de karakterisatie-opstellingen schematisch weergegeven; de eerder genoemde CPM opstelling.

TIM LANSINK
achter de stuurknuppel van PILOT

door Edith Molenbroek

Sinds half april van dit jaar is in de sectie Grenslaagfysica Tim Lansink werkzaam. Als technicus heeft hij de PILOT, het depositie-apparaat voor grote oppervlakken, onder zijn hoede. Tim is al goed bekend met de Utrechtse universiteit, want enkele jaren geleden heeft hij hier zijn propedeuse Sterrenkunde gehaald.



Tim Lansink

Hij besloot zijn Utrechtse studie echter in te ruilen voor die van Technische Natuurkunde aan de Hogeschool in Rijswijk, waar hij in 1994 begon. Gedurende deze studie is hij voor een stage weer bij deze universiteit werkzaam geweest nl. bij SRON.

Wij hopen natuurlijk dat zijn verblijf bij Grenslaagfysica het langst en het leukst van al zijn ervaringen bij deze faculteit zal zijn! Geliefde vrijetijdsactiviteiten van Tim zijn volleybal, fietsen en spelletjes doen.

Faculteit Natuur- en Sterrenkunde

Princetonplein 5
3784 CC Utrecht



Universiteit Utrecht