

NEVAC **BLAD**

jaargang 52 / nummer 2 – september 2014

Siliceen, een
waardige
opvolger van het
wondermateriaal
grafeen?

ITER: werken
aan de grootste
vacuümvasen
op aarde

Verslag NEVAC-dag 2014



NEDERLANDSE
VACUÛMVERENIGING



Best in class leak detector, using helium and hydrogen

ASM 340

- Unique capability to detect leaks starting at 100 hPa
- Fastest time to test in its class
- Low maintenance due to rugged design
- User friendly and customizable interface

Are you looking for a perfect vacuum solution?
Please contact us:

Pfeiffer Vacuum Benelux B.V.
T +31 345 478 400 · F +31 345 531 076
office@pfeiffer-vacuum.nl

www.pfeiffer-vacuum.com



Everything
about leak
detection

Colofon

Redactie

Claud Biemans, eindredacteur
 Bas Dielissen
 Hans van Eck, hoofdredacteur
 Ad Ettema
 Erwin Kessels
 Fred Schenkel

Web-adres

www.nevac.nl

Redactiesecretariaat

NEVAC
 Delftechpark 26
 2628 XH Delft
 redactie@nevac.nl

Abonnementenadministratie

NEVAC
 Delftechpark 26
 2628 XH Delft

Abonnementen

Binnenland € 25,- per jaar
 Buitenland € 100,- per jaar

Advertentie-exploitatie

NEVAC
 Delftechpark 26
 2628 XH Delft

Grafische vormgeving

Claud Biemans
 www.frontlinie.nl

Verschijningstijdstippen 2014

April
 September
 December

Kopij inzenden naar het redactiesecretariaat. Lidmaatschap opgeven bij de ledenadministratie. Abonnementen opgeven bij abonnementenadministratie.

Vergoeding kopij

Artikelen in het Nederlands over vacuümtechniek en haar toepassingen in de wetenschap en industrie worden door de redactie zeer op prijs gesteld. Voor studenten en promovendi is een vergoeding van € 250,- per gepubliceerd artikel beschikbaar.

ISSN 0169-9431

Bij de omslag



Verslag van de NEVAC-dag die dit jaar georganiseerd werd op 4 juni in het Academieggebouw in Utrecht.

- 5 Van de redactie *Hans van Eck*
- 6 Siliceen, een waardige opvolger van het wondermateriaal grafeen? *A. Acun, B. Poelsema, H.J.W. Zandvliet en R. van Gastel*
- 11 Mededeling van de Commissie Opleidingen
- 13 European Workshop on Epitaxial Graphene *Raoul van Gastel*
- 14 NEVAC-dag 2014 *Claud Biemans*
- 20 ITER: werken aan de grootste vacuümvaten op aarde *Claud Biemans*
- 25 NEVAC-prijs 2015: Win 1000 euro!
- 27 Agenda
- 27 Bedrijfsprofiel Atlas Copco

De sluitingsdatum van kopij voor het derde nummer van het *NEVAC blad* 2014 is 15 oktober 2014.



WERKEN BIJ DE UNIVERSITEIT

SR. RESEARCH ENGINEER EN RESEARCH ENGINEER

DUNNEFILMTECHNOLOGIEËN EN XUV OPTIEK;
BEIDEN 1,0 FTE

Als **Senior Research Engineer** bent u verantwoordelijk voor de ontwikkeling en het onderhoud van het park van high tech depositie- en analyseapparatuur en voor het uitvoeren en coördineren van diverse experimenten op het gebied van het maken, karakteriseren en toepassen van complexe dunne-film systemen.

Als **Research Engineer** bent u op projectbasis én in het team van onderzoekers verantwoordelijk voor het uitvoeren van fysische experimenten, waaronder deposities en karakterisaties van dunne films. Daarnaast beheert u een cluster van geavanceerde apparatuur, past dit zo nodig aan en onderhoudt het.

Voor beide functies is een afgeronde opleiding op resp. HBO/MBO-niveau in de technische natuurkunde, materiaal-kunde, werktuigbouw of vergelijkbare richting vereist. Ook heeft u enige jaren relevante werkervaring, kunt u zowel zelfstandig als in teamverband werken en beschikt u over uitstekende communicatieve vaardigheden en een dito beheersing van de Engelse en de Nederlandse taal.

Voor meer informatie en sollicitatie
www.utwente.nl/vacatures.

UNIVERSITEIT TWENTE.

WWW.UTWENTE.NL/VACATURES



Verenigingsgegevens

Ereleden

L.G.J.M. Hassink, Stibbe 23,
2421 MR Nieuwkoop
G. Ikking, Artemisstraat 34,
2624 ZN Delft
† Prof.dr. J. Kistemaker
† Ir. J.H. Makkink
Th. Mulder, Ambachtsheerelaan 60,
3481 GM Harmelen
Dr.ir. E.P.Th.M. Suurmeijer, Elzenlaan 11,
9321 GL Peize
Prof.dr. J. v.d. Veen, Schubertlaan 8,
1411 HZ Naarden
Dr.ir. J. Verhoeven, Kon. Julianaweg 23,
3628 BN Kockengen

Bestuur

Dr. A.F. Otte, voorzitter
Dr. I. Swart, vice-voorzitter
J.W.M. van Kessel, secretaris
Dr. A.R.H.F. Ettema, penningmeester

Verenigingssecretariaat

Jan W.M. van Kessel
jwmvankessel@gmail.com of
secretaris@nevac.nl

Adres ledenadministratie

p/a Dr. A.R.H.F. Ettema
NEVAC, Delftechpark 26,
2628 XH Delft, The Netherlands
Telefoon: +31 15 2600406
Fax: +31 15 2600405
e-mail: penningmeester@nevac.nl

Inlichtingen over opleidingen en examens

Dr.ir. E.P.Th.M. Suurmeijer
Elzenlaan 11, 9321 GL Peize
Telefoon: 050-5032556
e-mail: eptm.suurmeijer@kpnplanet.nl

Penningmeester NEVAC

Postgiro 1851529, o.v.v.:
Penningmeester NEVAC,
t.a.v. Dr. A.R.H.F. Ettema,
Delftechpark 26,
2628 XH Delft

Contributies

Contributie € 20,- per jaar
Studenten/promovendi € 5,- per jaar
Bedrijfsleden € 150,- per jaar

Van de redactie

De NEVAC-dag was dit jaar wat later dan normaal en daardoor ontvangt u deze tweede uitgave van het *NEVAC blad* jaargang 52 ook wat later dan u gewend bent. Deze latere verschijningsdatum heeft wat mij betreft twee voordelen. Ten eerste had de redactie wat meer tijd om het blad te vullen met interessante artikelen, en ten tweede bent u hopelijk voldoende uitgerust in de zomervakantie om met een fris stel hersens deze artikelen tot u te nemen.

In deze uitgave vindt u een wetenschappelijk artikel van de hand van promovendus Adil Acun. Zijn artikel over siliceen, een laagje silicium van één atoomlaag dik, won net geen prijs bij de NEVAC-prijsvraag. Siliceen, is een materiaal dat

door alle aandacht voor grafeen (enkellaags koolstof) soms onderbelicht blijft. Al lijkt de praktische toepassing in de halfgeleiderindustrie nog wat ver weg, toch doen ze in de Physics of Interfaces and Nanomaterials groep van de Universiteit Twente onderzoek naar dit nieuwe wondermateriaal.

Verder in dit nummer een verhaal over kernfusie, één van de kandidaten in onze zoektocht naar schone, veilige en duurzame energie. Kernfusie is het proces waarbij lichte atoomkernen samensmelten tot zwaardere atomen. Daarbij komt veel energie vrij. Om de wetenschappelijke en technische haalbaarheid van kernfusie als energiebron aan te tonen, is men in 2013 begonnen met de bouw van de fusiereactor ITER in Zuid-Frankrijk. Een essentieel onderdeel in de bouw is het enorme vacuümvat waarin de kernfusie plaats gaat vinden. Carlo Sborchia, hoofd van de afdeling vacuümvasen van ITER, vertelt over de belangrijkste uitdagingen op het gebied van vacuümtechniek. Een voorbeeld van zo'n uitdaging is dat de onderdelen van het vat in verschillende landen gemaakt worden.

En verder vindt u een uitgebreid verslag van de NEVAC-dag in Utrecht. Vanwege de prachtige locatie in het Academieggebouw zijn de foto's deze keer extra mooi. Rest mij niets anders dan u veel leesplezier toe te wensen.

Hans van Eck
hoofdredacteur *NEVAC blad*



Siliceen, een waardige opvolger van het wondermateriaal grafeen?

Bij het lezen van het woordje grafeen zullen velen in stilte een diepe eer betuigen en met grote interesse het betreffende artikel of document bekijken. Grafeen heeft exotische eigenschappen en wordt zelfs gekwalificeerd als wondermateriaal. Denk hierbij aan bijzondere eigenschappen als het anomale quantum-Hall-effect, de Kleinparadox en de lineaire dispersierelatie [1-5]. De huidige halfgeleiderindustrie werkt echter op basis van silicium en het zou veel geld, tijd en moeite kosten om over te schakelen naar op koolstof gebaseerde materialen. De zoektocht naar een tweedimensionaal materiaal van silicium, genaamd siliceen, kan de oplossing bieden.

A. Acun, B. Poelsema, H.J.W. Zandvliet en R. van Gastel

*Physics of Interfaces and Nanomaterials, MESA+ Institute for Nanotechnology, University of Twente, P.O. Box 217, 7500 AE Enschede
a.acun@utwente.nl*

Structuren

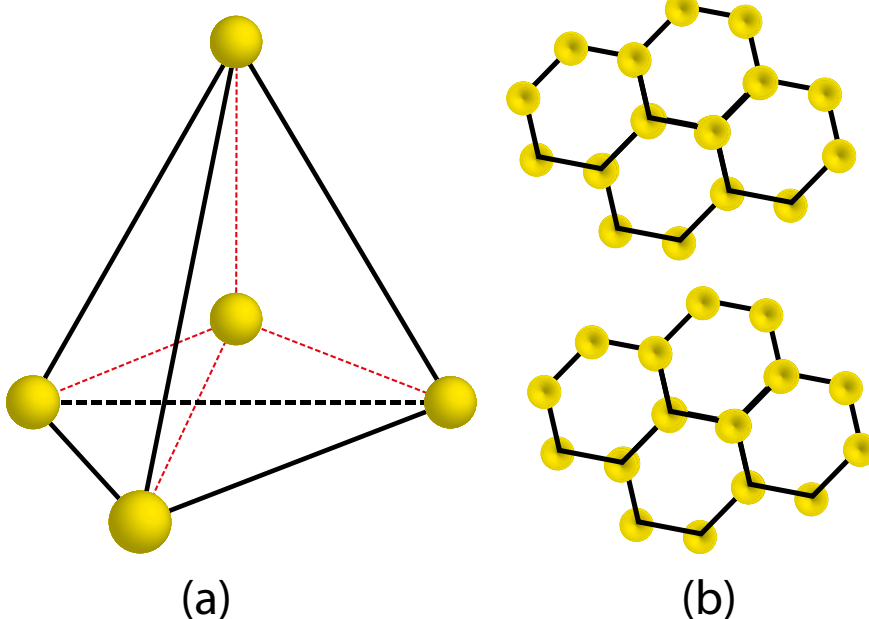
Koolstof komt in de natuur in twee vormen voor, namelijk als diamant en als grafiet. Diamant heeft een kippenpootstructuur, waarin een koolstofatoom zich in het middelpunt van een tetraëder bevindt en aan andere koolstofatomen

op de hoekpunten van de tetraëder is gebonden, zoals te zien in figuur 1a. In de vaste-stoffysica wordt deze structuur sp^3 -gehybridiseerd koolstof genoemd.

Grafiet bestaat uit een stapeling van kippengaaslamellen (figuur 1b). Dit wordt sp^2 -gehybridiseerd koolstof genoemd.

Grafeen is niets anders dan één enkele laag grafiet. Omdat grafiet een opeenstapeling van grafeenlagen is, binden de onderlinge lagen zich via de p_z -orbitalen die loodrecht op de lagen staan. Bij grafeen zijn de p_z -orbitalen echter ongebonden en kunnen de p_z -elektronen zich 'vrij' bewegen. En zo komt grafeen aan zijn spectaculaire eigenschappen. Laat het nu net zijn dat silicium en koolstof vergelijkbare elektronenconfiguraties hebben. Daarom rijst de vraag of er geen grafeenachtige siliciumstructuren bestaan. Met die vraag begon de geboorte van een mogelijk nieuw wondermateriaal, siliceen.

Siliceen is de sp^2 -achtig gehybridiseerde siliciumvariant van grafeen. In dit decennium zijn er theoretische modellen opgesteld die het bestaan en eigenschappen van siliceen hebben voorspeld. De belangrijkste conclusie op basis van deze modellen was dat siliceen – in tegenstelling tot grafeen – niet helemaal vlak is, maar deels geribbeld [6,7]. Dit betekent dat siliceen een mix is van sp^2 - en sp^3 -hybridisaties, waar we aan zullen refereren als sp^2 -achtig gehybridiseerd silicium. In 2012 werden de eerste expe-



Figuur 1 Een deel van de eenheidscel van diamant is gegeven in (a). Het bestaat uit een tetraëder waarbij alle atomen even ver van elkaar gepositioneerd staan. De sp^2 -gehybridiseerde variant van koolstof is grafiet. Het bestaat uit vlakke lagen kippengaasstructuur (b).



Figuur 2 De LEEM-opstelling. Elektronen worden gegenereerd door een elektronenkanon (1). De elektronen razen door een optische kolom en worden 120° afgebogen door een stralingsdeler (2) richting de hoofdkamer (4) waar het monster zich bevindt. De elektronenbundel wordt dan afgeremd tot lage energieën ($\sim 1\text{-}20$ eV). Na de interactie tussen laag-energetische elektronen en het monster bewegen terugverstrooide elektronen naar de stralingsdeler waar vervolgens weer een afbuiging van 120° plaatsvindt. De elektronen bewegen zich voort door een optische kolom om uiteindelijk bij de detector te komen (3). Cycli van sputteren en opwarmen werden uitgevoerd in de preparatiekamer (5). Met de diafragma's (6 en 7) kan men lokale LEED-patternen en een spot selecteren voor helderveld- of donkerveld-belichting.

rimenten uitgevoerd en stroomden aanwijzingen voor de fabricatie van siliceen binnen. En zeer recentelijk zijn er theorieën en modellen verschenen waarin nog meer spectaculaire eigenschappen zijn voorspeld voor multilagen siliceen. Door het aantal lagen siliceen te variëren zou men in principe eigenschappen kunnen aanpassen, maar er was/is nog geen experimenteel bewijs gevonden voor het bestaan van multilagen siliceen. De gevonden eigenschappen van siliceen zijn nagenoeg gelijk aan die van grafeen. Denk hierbij aan relativistische massaloze Dirac-fermionen, het anomale quantum-Hall-effect en supergeleiding [8-11]. Een groot verschil tussen grafeen en siliceen is te vinden in de bandkloof. Een elektrisch veld loodrecht op siliceen zorgt voor een opening in de bandkloof, wat een vereiste is voor de toepassingen in de halfgeleiderindustrie [12]. Hiermee belooft siliceen wellicht de potentie om het nieuwe wondermateriaal van de toekomst te worden.

Onderzoek aan siliceen

Eigenschappen van siliceen zijn inmiddels onderzocht met de *Scanning Tunneling Microscope* (STM), *Atomic Force Microscope* (AFM), *Low Energy Electron*

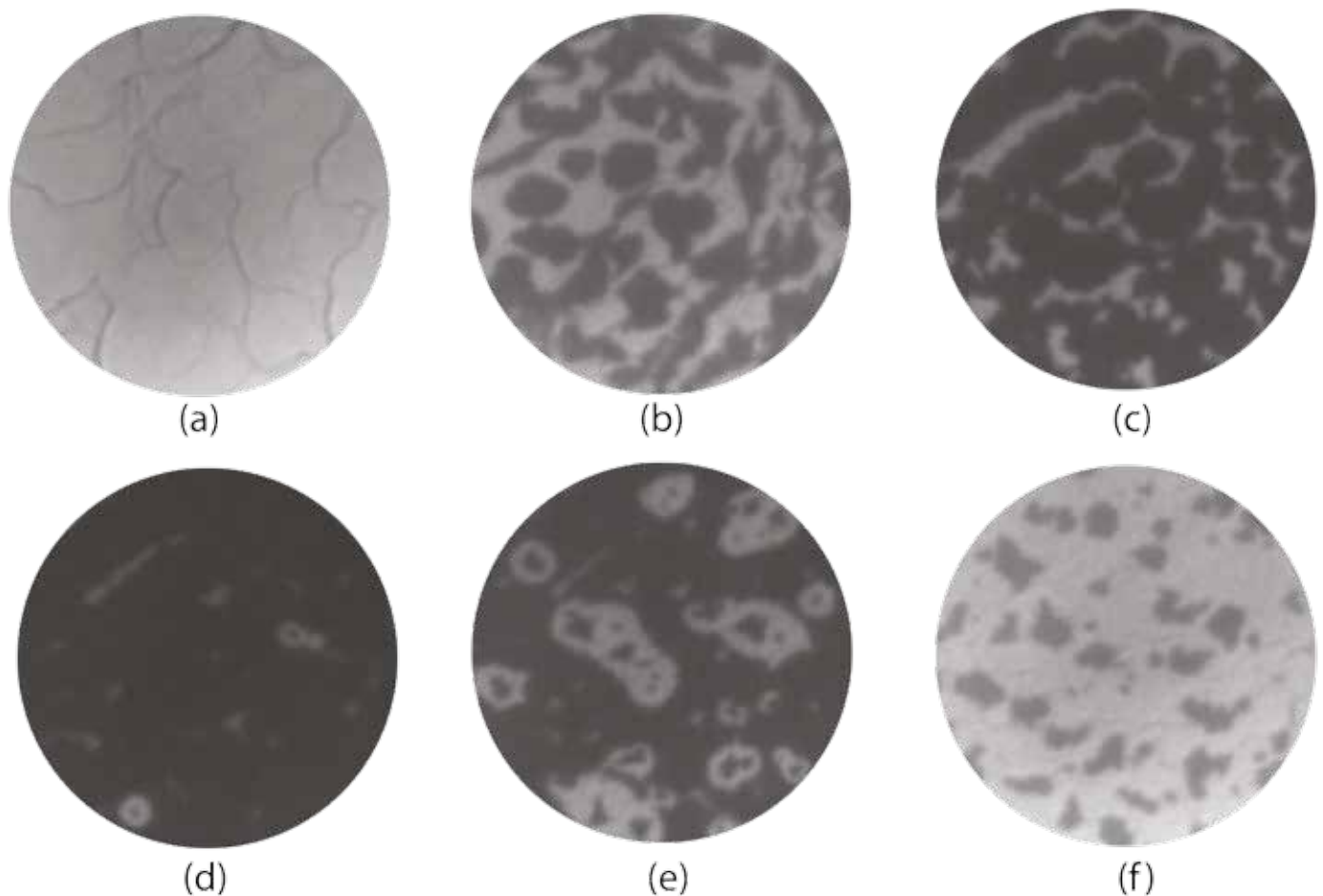
Diffraction (LEED) en *Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy* (ARPES). In het leeuwendeel van de experimenten is siliceen gegroeid op een zilver (111)-substraat (Ag(111)). Andere substraten waarover gepubliceerd is, zijn Ir(111) [13] en $\text{ZrB}_2(0001)$ [14]. De reden om Ag(111) als substraat te gebruiken is dat drie maal de roosterconstante van de kippengaasstructuur van silicium gelijk is aan vier maal de roosterconstante van zilver(111), daarom zijn deze roosters bijna volledig commensurabel. Een ander bijkomend voordeel is dat silicium en zilver niet de neiging hebben om een legering te vormen.

Wij hebben een *Low Energy Electron Microscope* (LEEM) gebruikt om de groei van siliceen op Ag(111) te onderzoeken, want in tegenstelling tot de bovengenoemde technieken kunnen data hiermee *live* in de reële ruimte vergaard worden. Zo hebben wij de mogelijkheid tot het visualiseren van veranderingen in oppervlaktetopografie door oppervlaktediffusie, sublimatie, groei, faseovergangen, adsorptie en chemische reacties. Daarnaast hebben we de mogelijkheid om diffractiepatronen te meten, zodat we ook in de reciproke ruimte verschillende processen kunnen volgen. Met diffractie

kunnen we de periodiciteit bepalen van het silicium dat we op het Ag(111) substraat groeien, of in eenvoudiger bewoordingen, de structuur van een dunne laag silicium op zilver bestuderen. Hiermee zijn we de eerste groep die de groei van siliceen op Ag(111) in situ heeft geobserveerd.

Opstelling

Voor de opstelling is een Elmitec LEEM III-microscop (figuur 2) gebruikt met een achtergronddruk van 1×10^{-10} mbar. Om het systeem in het ultrahogvacuumbereik te behouden, is er gebruikgemaakt van twee turbomoleculaire pompen en een ionenpomp. Deze pompen bevinden zich aan een verdeelstuk dat leidt naar een scrollpomp. Drie titaan-sublimatiepompen bevinden zich elk respectievelijk in de optische kolom, de preparatiekamer en de hoofdkamer. Het monster, een Ag(111)-substraat (gemaakt door het *Surface Preparation Laboratory*) wordt gereinigd door cycli van sputteren en opwarmen tot 530°C . De depositie van silicium is uitgevoerd door een siliciumpreparaat op te warmen tot net onder het smeltpunt (circa $1200\text{-}1250^\circ\text{C}$). Na 1022 s was de bedekking van siliceen 0,96 monolaag, waaruit een depositiesnelheid



Figuur 3 Een schoon zilveroppervlak bij een gezichtsveld van $6,7 \mu\text{m}$ waarop nog geen silicium is gededoneerd (a). Beelden (b) tot en met (f) zijn genomen met een gezichtsveld van $1,3 \mu\text{m}$, 578 s (b), 818 s (c), 966 s (d), 1110 s (e) en 1394 s (f) na de start van de siliciumdepositie. Figuur 3d laat de toestand zien vlak na het begin van de faseovergang, waarbij het oppervlak nog niet volledig gesloten is. Siliceen wordt opgegeten door een siliciumobject (e) tot er geen siliceen meer over is (f).

van $1,65 \times 10^{-2}$ Si-atomen per nm^2 per s wordt afgeleid. Hierbij is aangenomen dat er slechts een enkele laag siliceen op het oppervlak aanwezig was. Alle LEEM-beelden zijn opgenomen in de helderveld-modus met een elektronenergie van 18,3 eV. In alle LEEM-beelden is silicium donker en zilver licht afgebeeld. Daarnaast werden er μLEED -metingen uitgevoerd door middel van het plaatsen van een $1,4 \mu\text{m}$ diafragma om lokaal diffractiepatronen op te nemen. Ook zijn diffractiepatronen opgenomen met verschillende elektronenergieën om deze vervolgens te accumuleren tot één geïntegreerd diffractiepatroon. Hiernaar zullen we verwijzen als een 'cumulatief μLEED diffractiepatroon'. Een nadeel hiervan is dat analyse op basis van spotintensiteit zinloos wordt. Dat maakt echter voor dit experiment niet uit.

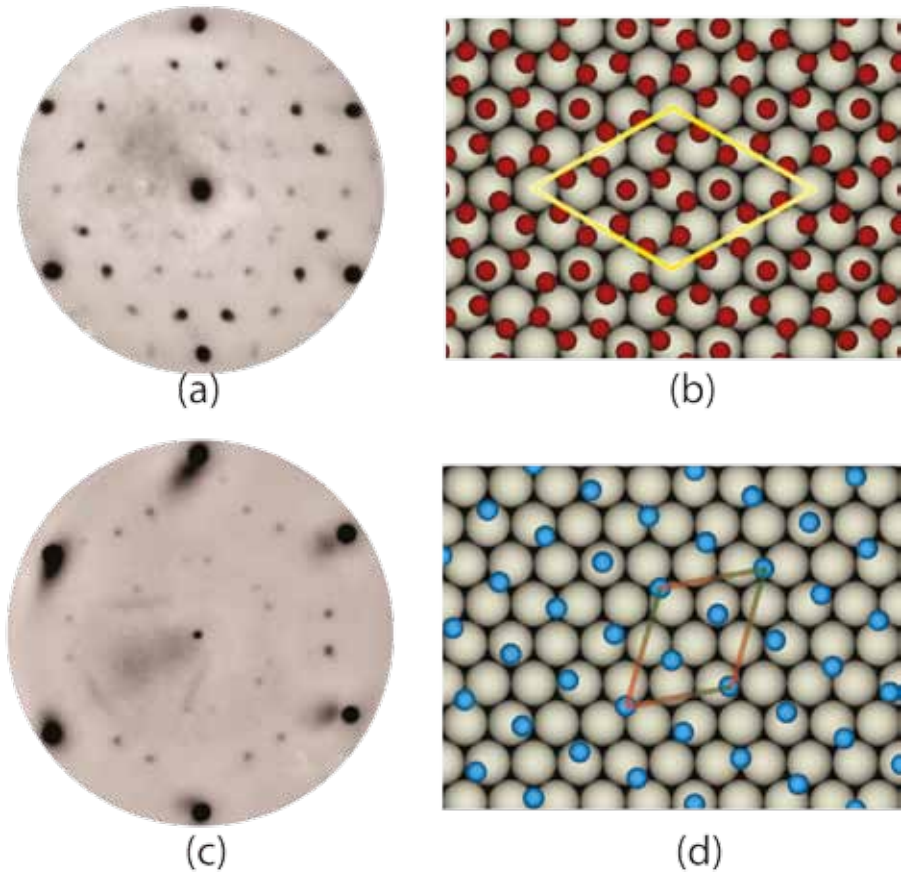
Silicium op het zilveroppervlak

Figuur 3a laat het zilvermonster voor depositie zien. Het monster ziet er schoon uit met relatief grote terrassen, waarop de groei van siliceen kan worden gerealiseerd. De depositie van silicium op Ag(111) wordt gekenmerkt door een verhoging van de diffuse verstrooiing voordat de vorming van siliciumeilanden plaatsvindt. Siliciumatomen vormen eilanden, maar deze hebben ook weer een grote kans om uiteen te vallen tot afzonderlijke atomen. De levensduur van de bindingen hangt onder andere af van de dichtheid van siliciumatomen op het oppervlak. Wanneer de roostergasdichtheid voldoende oververzadigd raakt, vindt de nucleatie van siliciumeilanden plaats. Door toevoeging van silicium blijven de eilanden groeien (figuren 3b-d) totdat de eerste laag (bijna) volledig gesloten raakt

en de groei op de tweede laag zou kunnen beginnen. Figuren 3d-e laten echter zien dat de sluiting van de eerste laag wordt belemmerd en het lijkt of zilver weer tevoorschijn komt. In figuur 3e zien we te midden van de zilvervlakken een siliciumobject. De oppervlakte van de zilvervlakken groeit met de tijd ten koste van silicium aan de rand van de zilvervlakken. De siliciumatomen die aan de rand van de zilvervlakken lagen, worden opgeslokt door de grote siliciumobjecten in het midden van de zilvervlakken. Dit gaat zolang door tot er niets meer van de initiële structuur overblijft, zoals in figuur 3f is te zien. Er vindt duidelijk een faseovergang plaats, waarbij een initiële structuur overgaat in een nieuwe structuur. Logischerwijs is dan de vraag wat de aard van deze structuren is. Hiervoor zijn diffractiepatronen opgenomen en geanalyseerd.

We beginnen met figuur 4a, waarvoor een cumulatief μ LEED-patroon is opgenomen van de initiële structuur bij een temperatuur van 280 °C. De gevonden supersymmetrie is $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ en deze werd al toegekend aan siliceen ('sp²-achtig' gehybridiseerd silicium) door eerdere experimenten uitgevoerd door andere groepen. Op basis van deze supersymmetrie is een model gemaakt voor siliceen, zoals weergegeven in figuur 4b. Hier zien we dat niet alle siliciumatomen exact tussen twee of drie zilveratomen zijn geplaatst, wat een aanwijzing is voor een zwakke koppeling tussen siliceen en Ag(111).

Alvorens naar de diffractiepatronen van de omgezette structuur te kijken, bestuderen we eerst de bedekkingen van silicium op Ag(111) uit de voorgaande LEEM-beelden. De maximale en uiteindelijke bedekking van silicium bedragen, respectievelijk, 0,96 (figuur 3d) en 0,13 (figuur 3f). Een simpele deling van beide getallen levert 7,4 op, wat dus een ruwe inschatting is voor de hoogte van de omgezette structuren. Hiermee wordt al een hint gegeven over een driedimensionale structuur. Voor het karakteriseren van de omgezette structuur is wederom gebruikgemaakt van diffractie-experimenten. Deze keer was er echter niet de mogelijkheid om cumulatieve LEED-patronen op te nemen, maar is er slechts één enkel μ LEED-patroon opgenomen bij een elektronenergie van 31,0 eV. Het diffractiepatroon, weergegeven in figuur 4c, toont een superstructuursymmetrie $(\frac{1}{2}\sqrt{21} \times \frac{1}{2}\sqrt{21})R10,9^\circ$, waarvan het reële ruimtemodel te zien is in figuur 4d. Aangenomen dat de $(\frac{1}{2}\sqrt{21} \times \frac{1}{2}\sqrt{21})R10,9^\circ$ superstructuur drie atomen in een eenheidscel (figuur 4d) bevat, is het oppervlak van de eenheidscel precies 1,75 maal dat van het Ag(111)-oppervlak. De verhouding tussen a_{Si}^2 en a_{Ag}^2 is gelijk aan 1,763, waarbij a_{Si} (5,431 Å) en a_{Ag} (4,090 Å) de roosterparameters zijn van bulk-silicium (sp³-gehybridiseerd silicium) en zilver. Dat de ratio's 1,75 en 1,763 zo dicht bij elkaar liggen, is een sterke indicatie voor



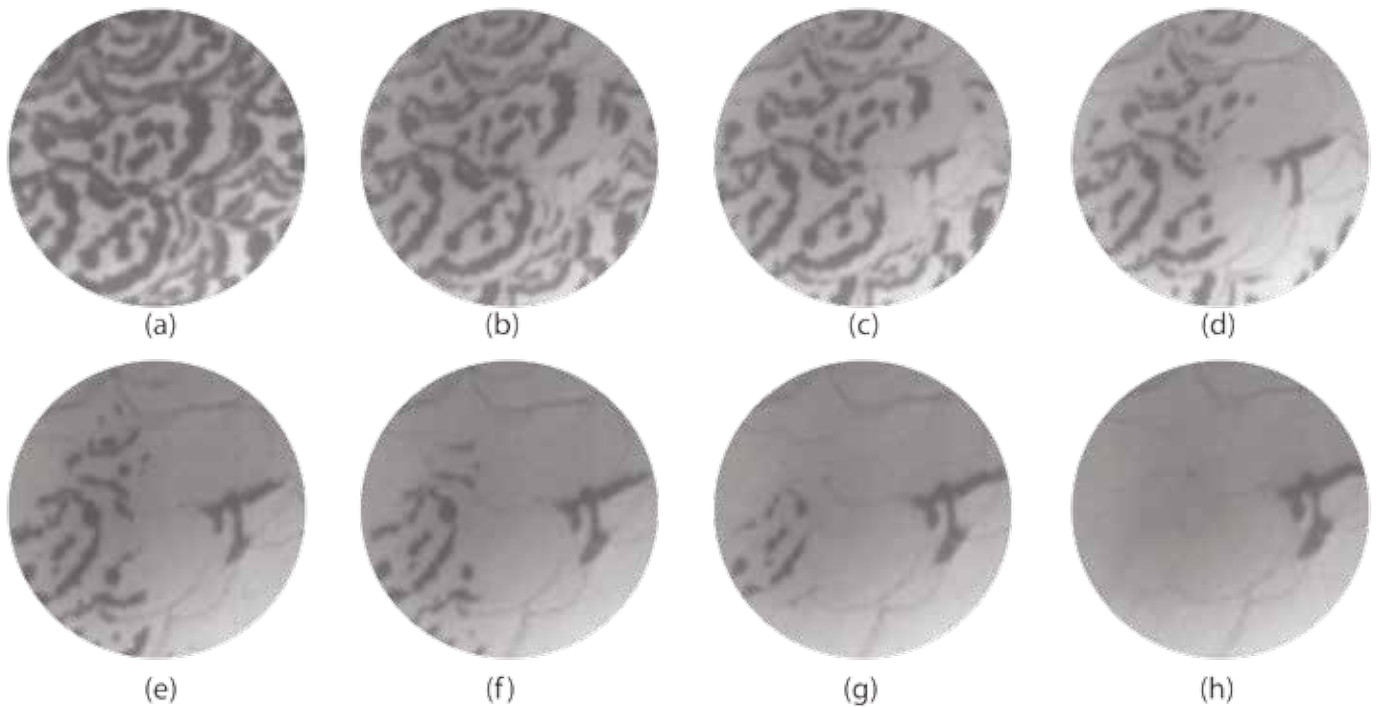
Figuur 4 Cumulatief μ LEED-patroon van de initiële structuur toont een $(2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3})R30^\circ$ supersymmetrie (a), dat het reële ruimtemodel van siliceen indiceert (b). Het diffractiepatroon van de omgezette structuur vertoont een $(\frac{1}{2}\sqrt{21} \times \frac{1}{2}\sqrt{21})R10,9^\circ$ symmetrie (c) en wordt toegekend aan sp³-gehybridiseerd silicium (d).

de aanwezigheid van sp³-gehybridiseerd silicium op het oppervlak. Verder geeft figuur 4d aan dat de siliciumatomen in de omgezette structuur zich liever in symmetrische patronen bevinden, waardoor er een sterkere koppeling met het substraat wordt gemaakt. Dit in tegenstelling tot siliceen, waarbij atomen min of meer een willekeurige plaats innemen.

De faseovergang van sp²-achtig gehybridiseerd silicium naar sp³-gehybridiseerd silicium kan worden geïnduceerd door excessief silicium te deponeren op het oppervlak. Dit blijkt echter niet de enige manier te zijn om een faseovergang te induceren. In een ander experiment deponerden we silicium tot er een middelmatige bedekking was bereikt bij een temperatuur van 268 °C. De depositie van silicium werd stopgezet en de temperatuur langzaam verhoogd tot 356 °C, waarna de temperatuur nagenoeg con-

stant bleef. Figuur 5a geeft de bedekking van siliceen op Ag(111) weer en al na tientallen seconden ontstaat er weer een siliciumobject te midden van een zich uitdijend zilvervlak (figuren 5b-d). Ook hier zien we siliceeilanden geconsumeerd worden door een siliciumobject tot er niets meer van overblijft (figuren 5b-h). Uit μ LEED-metingen (conform figuur 4c) blijkt het stofzuigende object ook een $(\frac{1}{2}\sqrt{21} \times \frac{1}{2}\sqrt{21})R10,9^\circ$ superstructuur te hebben. De superstructuur duidt, zoals reeds beargumenteerd, op sp³-gehybridiseerd silicium. En hiermee is wederom aangetoond dat silicium liever sp³-gehybridiseerd is dan 'sp²-achtig'. In tegenstelling tot grafeen: voor C is de sp³-versie van het diamantrooster energetisch niet stabiel.

Samenvattend hebben we de faseovergang van siliceen tot bulk-silicium op twee manieren gerealiseerd, namelijk



Figuur 5 Een faseovergang door temperatuurverhoging wordt al waargenomen na 36 s (b). Het grote siliciumobject zuigt omringende siliciumatomen afkomstig uit silicee-eilanden op tot er geen silicee meer overblijft. De beelden zijn opgenomen met een gezichtsveld van 2,6 μm , 36 s (b), 44 s (c), 58 s (d), 70 s (e), 80 s (f), 90 s (g) en 114 s (h) na het bereiken van een temperatuur van 356 °C.

door het deponeren van meer dan één monolaag silicee en door het verhogen van de temperatuur. Hiermee is aangetoond dat de sp^3 -hybridisatie van silicium energetisch aantrekkelijker is dan de sp^2 -achtig gehybridiseerde vorm (silicee). Het lijkt derhalve onmogelijk macroscopische domeinen van silicee te produceren. Hoewel het verleidelijk is om analogieën tussen grafeen en silicee te maken, is de instabiliteit van silicee een groot nadeel van silicee ten opzichte van grafeen. Grafeen kan dubbellen (of zelfs multilagen) produceren, waar silicee verandert in sp^3 -gehybridiseerd silicium. Ook kan silicee een Ag(111)-oppervlak niet volledig bedekken.

Hoewel het gepresenteerde onderzoek binnen de vaste-stoffysica en chemie spannende resultaten heeft opgeleverd, lijkt de toepassing van silicee in de halfgeleiderindustrie nog heel ver weg. Gelukkig is onderzoek naar het nieuwe wondermateriaal nog zeer jong en kunnen er wellicht in de toekomst nieuwe fundamentele en toepassingen worden gevonden via bijvoorbeeld een slimme beheersing van de kinetische processe-

Referenties

De resultaten en conclusies zijn ook te vinden in ons artikel:

A. Acun, B. Poelsema, H.J.W. Zandvliet, and R. van Gastel, *Appl. Phys. Lett.* **103** (2013) 263119.

- 1 H.W. Kroto, J.R. Heath, S.C. O'Brien, R.F. Curl, en R.E. Smalley, *Nature* **318** (1985) 162-163.
- 2 K.S. Novoselov, A.K. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.V. Dubonos, I.V. Grigorieva, en R.E. Smalley, *Science* **306** (2004) 666-669.
- 3 C.L. Kane en E.J. Mele, *Phys. Rev. Lett.* **95** (2005) 146802.
- 4 Y. Zhang, Y.-W. Tan, H.L. Stormer, en P. Kim, *Nature* **438**, (2005) 201-204.
- 5 M.I. Katsnelson, K.S. Novoselov, en A.K. Geim, *Nat. Phys.* **2** (2006) 620-625.
- 6 S. Cahangirov, M. Topsakal, E. Aktürk, H. Şahin, en S. Ciraci, *Phys. Rev. Lett.* **102** (2009) 236804.
- 7 D. Jose, en A. Datta, *J. Phys. Chem. C.* **116**, (2012) 24639-24648.
- 8 Z.-X. Guo en A. Oshiyama, e-print *arXiv:1309.6412* [cond-mat.mes-hall].
- 9 F. Liu, C.-C. Liu, K. Wu, F. Yang, en Y. Yao, *Phys. Rev. Lett.* **111** (2013) 066804.
- 10 P. de Padova, P. Vogt, A. Resta, J. Avila, I. Razado-Colambo, C. Quaresima, C. Ottaviani, B. Olivieri, T. Bruhn, T. Hirahara, T. Shirai, S. Hasegawa, M.C. Asensio, en G. Le Lay, *Appl. Phys. Lett.* **102** (2013) 163106.

- 11 Y.-P. Wang en H.-P. Cheng, *Phys. Rev. B* **87** (2013) 245430.
- 12 N.D. Drummond, V. Zolyomi, en V.I. Fal'ko, *Phys. Rev. B.* **85** (2012) 075423.
- 13 L. Meng, Y. Wang, L. Zhang, S. Du, R. Wu, L. Li, Y. Zhang, G. Li, H. Zhou, W.A. Hofer, en H.J. Gao, *Nano Lett.* **13**, (2013) 685-690.
- 14 A. Fleurence, R. Friedlein, T. Ozaki, H. Kawai, Y. Wang, en Y. Yamada-Takamura, *Phys. Rev. Lett.* **108** (2012) 245501.

Mededeling van de Commissie Opleidingen

Maak kennis met het *Supplement bij het Basisboek Vacuümtechniek*. Negentig pagina's preprints van de belangrijkste wijzigingen en aanvullingen, op te nemen in een toekomstige derde editie van dit boek.

Overzicht inhoud:

Compressie, Zijkanaalverdichter, Rootspomp, Klauwpomp, Schroefpomp, MDP/zijkanaalpomp, Getterionenpomp, Bourdonmanometer (elektronische uitvoering), Capsuleveermanometer, Mechanische membraanmanometer, Kwarts kristal frictiemanometer, Ionenbronnen, Spectrumanalyse, Lekdetectiemethoden, Atmosfeermethode versus 'Bombing', Snuffelsystemen, Ontgassing van oppervlakken, Verontreinigingen aan oppervlakken.

Een uitgave van de Commissie Opleidingen der Nederlandse Vacuümvereniging.

Ringbanduitvoering, A4 formaat in zwart/wit met full colour omslag in de kleur van het BBVT. Prijs € 20 (België € 24) inclusief verzendkosten.

U kunt het *Supplement* bestellen, door € 20 (België € 27) over te maken naar: IBAN: NL39 INGB 000 3362114, BIC: INGBNL2A

t.n.v. Nevac Commissie Opleidingen, Peize.

o.v.v. 'Supplement BBVT' én het verzendadres.

Na ontvangst van uw betaling wordt het *Supplement* naar u opgestuurd.



«Easy close» all-metal angle valve

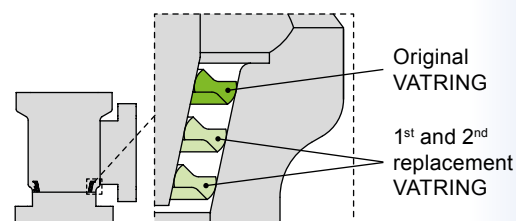
For vacuum processes with extreme UHV requirements

Series 54.1, DN 16–63 ($\frac{5}{8}$ "–2 $\frac{1}{2}$ "



www.vatvalve.com

- Easy operation, no torque wrench required
- High conductance
- Maintenance-free



UHV system engineers are often challenged with particulates in the vacuum envelope and the damage that they can cause to all-metal valve seats. To reduce the problem, FLEX VATRINGS use new sealing surfaces on lower levels.

Replacement in the field is easy with no polishing or machining required. This extends the life of the valve by up to three times.

Advanced Vacuum Services

Oerlikon Leybold Vacuum as a leading manufacturer of vacuum components and systems solutions offers a full line of products for almost every application. Beside high-quality products we provide comprehensive services worldwide in agreement with internationally consistent quality standards. Regardless whether you use our products directly or for integration into your systems - a competent Leybold Vacuum service centre is always close by.

We are at your service. Fast, competent and customer oriented.

0.08.2014

©BICOM_11271.0.02



Our advanced vacuum services - comprehensive and convincing:

- ✓ Worldwide Global service network
- ✓ 24/7 Hotline
- ✓ Field Service
- ✓ Installation and training
- ✓ Carefree „Customer Care“ package based on the specific customer requirements
- ✓ Maintenance and repair; on-site or in our service centres
- ✓ Maintenance contracts
- ✓ Backup pool for rent or exchange
- ✓ Original Spare Parts
- ✓ Brand Independent service
- ✓ Decontamination
- ✓ Calibration of measurement systems according to Dakks standards

Oerlikon Leybold Vacuum Nederland B.V.
Floridadreef 102
NL-3565 AM Utrecht
T +31 30 24 26 330
F +31 30 24 26 331
sales.vacuum.ut@oerlikon.com
www.oerlikon.com/leyboldvacuum

oerlikon
leybold vacuum



European Workshop on Epitaxial Graphene

De groei van kristallen onder ultrahoog-vacuümcondities is al vele jaren een vast onderwerp waar binnen de NEVAC aandacht aan wordt besteed. Het onderwerp is interessant, zowel vanuit het oogpunt van de daarvoor benodigde vacuümcondities en -apparatuur, alsook vanwege de fysische eigenschappen van de materialen die op deze manier gemaakt kunnen worden. Waar vroeger nog veel frontlinie-onderzoek werd gedaan aan bulkmaterialen, is de nadruk in de loop van de tijd steeds meer verschoven naar dunne lagen. De eigenschappen van materialen die een of enkele atoamlagen dik zijn, of die dikte benaderen, zijn vanuit fundamenteel fysisch, alsmede technologisch perspectief interessant. In de afgelopen jaren heeft deze ontwikkeling geleid tot een explosie aan onderzoeksactiviteiten aan zuiver tweedimensionale materialen als grafeen. Hierdoor zijn de verwachtingen met betrekking tot potentiële toepassingen zeer hooggespannen. Dit jaar werd daarom voor de tweede maal de European Workshop on Epitaxial Graphene georganiseerd, EWEG in het kort. De bijeenkomst werd van 15 tot en met

19 juni gehouden in het pittoreske Kroatische plaatsje Primosten en werd bijgewoond door negentig deelnemers, met gastsprekers van over de gehele wereld.

Nieuw bij deze editie was de uitbreiding van de scope van de conferentie naar andere tweedimensionale materialen als bijvoorbeeld siliceen. De NEVAC heeft deze bijeenkomst gesponsord door het instellen van een posterprijs voor een jonge wetenschapper die zich heeft onderscheiden door middel van de groei of karakterisering van tweedimensionale materialen. De posterprijs is op woensdag 18 juni tijdens het conferentiediner uitgereikt aan Iva Srut Rakic van het Instituut za fiziku uit Zagreb voor haar bijdrage aan het ontwikkelen van *straintronics*. Het centrale idee achter het door haar gepresenteerde werk is dat de elektronische structuur van grafeen gemanipuleerd kan worden door de interactie met atomaire stapranden op het onderliggende substraat. Om dat te bewerkstelligen is het grafeen niet zoals gebruikelijk gegroeid op een atomair vlak substraat, maar in plaats daarvan op een gestapt

Primosten, Kroatië, waar EWEG georganiseerd was.

Ir(332) oppervlak. In haar werk heeft Iva laten zien dat het onderliggende substraat facetten vormt en de wisselwerking daarmee leidt tot een anisotropie in de Fermi-snelheid van de elektronen in grafeen, alsmede tot een lichte n-dotering van het materiaal. Hiermee ligt de weg open om de geleidingseigenschappen van grafeen op metaalsubstraten te beïnvloeden door middel van het aanpassen van de stapdichtheid op het onderliggende substraat. Een eervolle tweede plaats viel te vermelden voor Adil Acun van de Universiteit Twente, die met zijn lage-energie-elektronenmicroscopiemetingen aantoonde dat siliceen, de tweedimensionale silicium-tegenhanger van grafeen, thermodynamisch niet stabiel is en uiteindelijk problematisch te fabriceren zal zijn voor eventuele toepassingen (zie ook zijn artikel in dit nummer). Alles bij elkaar was de bijeenkomst zeer geslaagd, motiverend en van een wetenschappelijk hoog niveau.

Raoul van Gestel

NEVAC-dag 2014

Academiegebouw Utrecht, 4 juni

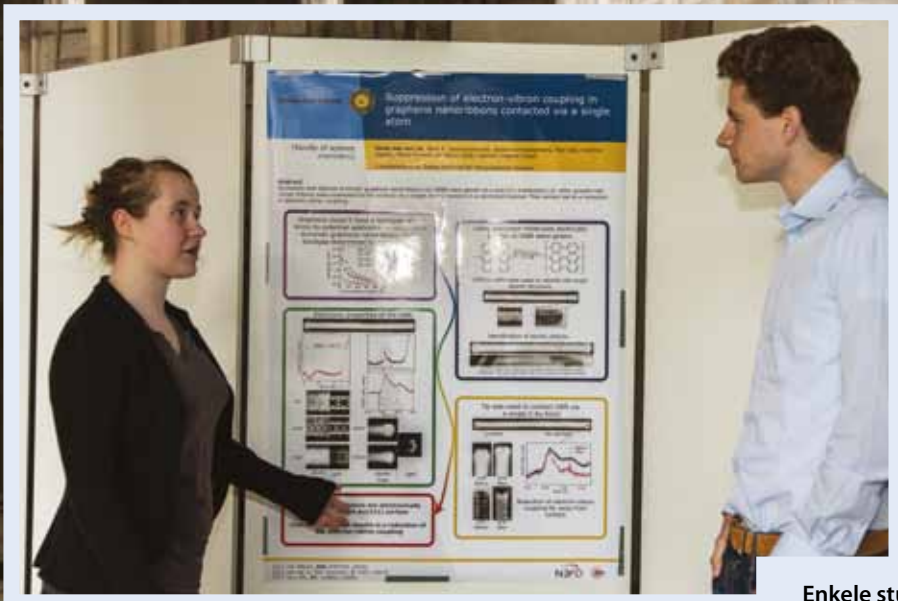
Verslag: Claud Biemans

Foto's: Z en W fotografie, Marjan Versluijs-Helder





De organisatie was in handen van prof.dr. Frank de Groot (links) en dr. Ingmar Swart (rechts). Zij stelden een zeer gevarieerd programma samen met boeiende sprekers uit binnen- en buitenland.



Enkele studenten presenteerden posters over hun werk.



Sara Bals.

Prof.dr. Sara Bals presenteerde haar werk in de onderzoeksgroep Electron Microscopy for Materials Science (EMAT) aan de Universiteit van Antwerpen, een grote afdeling waar 30 promovendi, 20 postdocs en vele technici werken. Zij hebben de beschikking over 6 transmissie-elektronenmicroscopen (TEM) en 2 rasterelektronenmicroscopen (SEM), plus een dual-beam (scannende TEM). Haar specialisme is driedimensionale beeldvorming van nanomaterialen. Met behulp van – gemiddeld vijf – tweedimensionale elektronentomografie-opnamen worden 3D-beelden gereconstrueerd. Volgens Bals is dit werk vergelijkbaar met het oplossen van Japanse puzzels; er is veel geduld bij nodig.

Dr. Rafael Abela vertelde over de komende mogelijkheden van SwissFEL, de röntgen-vrije-elektronenlaser die op dit moment gebouwd wordt bij het Paul Scherrer Institute in Villigen, Zwitserland. SwissFEL maakt hele korte pulsen van röntgenfotonen, die met een frequentie van 100 Hz herhaald kunnen worden. Hiermee kunnen ook zachte materialen, zoals eiwitstructuren, bestudeerd worden, zonder dat ze kapot gaan. Het is nog niet zo eenvoudig om dit apparaat te bouwen. Zo zit er meer dan honderd meter tussen de plaats waar de röntgenstralen worden opgewekt en de eerste spiegels, om schade te beperken. Abela verwacht dat dat SwissFEL midden 2017 in gebruik genomen wordt.

De derde ochtendlezing werd gegeven door Ronald van Leeuwen, de winnaar van de NEVAC-prijs, die hij ontving van Hans van Eck, hoofdredacteur van het NEVAC-blad. Het winnende artikel staat in het vorige nummer.

Tijdens de ledenvergadering nam het bestuur afscheid van vicevoorzitter Erwin Kessels, die vele jaren zeer actief is geweest voor de vereniging. Ingmar Swart is benoemd tot nieuwe vicevoorzitter.



Rafael Abela.



Erwin Kessels.




Ingmar Swart (vicevoorzitter), Ad Ettema (penningmeester) en Sander Otte (voorzitter).



In de pauzes trokken de bedrijfs-
presentaties veel aandacht.



Ronald van Leeuwen (rechts) krijgt de NEVAC-prijs
van hoofdredacteur Hans van Eck.

A photograph of Sense-Jan van der Molen, a man in a blue shirt and dark trousers, standing on a stage and speaking. He is gesturing with his hands. Behind him is a large banner for NEVAC (Nederlandse Vacuümvereniging) with the website www.nevac.nl. The setting appears to be a formal event in a large hall with a chandelier and flags visible in the background.

Sense-Jan van der Molen.

A photograph of Peter van der Straten, a man with glasses wearing a dark blazer over a light-colored shirt, speaking at a podium. He is gesturing with his hands. Behind him is a banner for NEVAC (Nederlandse Vacuümvereniging) with the website www.nevac.nl.

Peter van der Straten.

Tijdens de lunchpauze in de aan de fraaie binnentuin grenzende open galerij van het Academieggebouw, was er alle gelegenheid om een tiental stands van bedrijven te bezoeken. Het was alleen jammer dat 4 juni een van de weinige koele dagen was van deze mooie zomer.

Het programma aan het begin van de middag bestond uit twee sessies, de eerste met nadruk op wetenschap. Prof.dr. Peter van der Straten (Universiteit Utrecht) vertelde over zijn onderzoek aan Bose-Einsteincondensaten en hoe hij met zijn groep hierin hydrodynamische excitaties bestudeert. Het tweede verhaal was van dr.ir. Sense-Jan van der Molen (Universiteit Leiden) over het meten van elektrische potentialen op het oppervlak van grafeen met behulp van elektron-quantum-interferentie-potentiometrie (EQIP).

Prof.dr. Joost Frenken (ARCNL) trok bij de tweede sessie, met nadruk op technologie, een overvolle zaal. Misschien omdat er bij zijn nieuwe instituut (zie <http://www.arcnl.nl>) veel vacatures zijn voor promovendi, postdocs en ondersteunend personeel. ARCNL is een samenwerkingsverband tussen ASML (die de helft van het instituut financiert) en verschillende universitaire groepen. Het richt zich op fundamenteel onderzoek gerelateerd aan nieuwe lithografische methoden met extreem ultraviolet licht (13,5 nm). Dat wordt opgewekt met behulp van kleine tin-druppeltjes in een heet plasma. De druppeltjes genereren een heel spectrum, het bruikbare ultraviolette licht vormt daarvan maar een paar procent. Er moeten bijvoorbeeld nieuwe lenzen

ontwikkeld worden, die dit licht niet reflecteren. Er zijn ook open vragen over het gedrag van het plasma en over de vloeistofdynamica van de tin-druppeltjes. ARCNL is voorlopig gehuisvest bij AMOLF in Amsterdam. Frenken verwacht dat in oktober een eigen kantoor geopend wordt.

Het tweede verhaal in de technologie-sessie werd gegeven door Urs Wiesemann (Bruker ASC, voorheen ACCEL, Bergisch Gladbach, Duitsland). Dit bedrijf maakt een scala van wetenschappelijke meetapparatuur. Wiesemann vertelde speciaal over STXM – scannende transmissie-röntgenmicroscopie – waarmee bijvoorbeeld organische dunne films en polymeren bestudeerd kunnen worden. Het bijzondere is dat hiervoor geen synchrotron als lichtbron gebruikt wordt, maar bijvoorbeeld laser-plasma bronnen, die in een laboratorium geplaatst kunnen worden. De intensiteit van het licht is natuurlijk minder dan bij een synchrotron, maar als dat geen probleem vormt voor een experiment vervalt het bezwaar dat er lang van tevoren schaarse bundeltijd aangevraagd moet worden.

Dr.ir. Inge Loes ten Kate (Universiteit Utrecht) vertelde in de laatste plenaire sessie over haar onderzoek naar organische stoffen in zonnestelsels. In galactische nevels zijn bijvoorbeeld spectra gevonden van suikers, aromatische koolwaterstoffen en aminozuren. Ten Kate onderzoekt hoe deze organische moleculen kunnen ontstaan, onder andere met behulp van een zonn simulator waarin buitenaardse omstandigheden kunnen worden nagebootst.

Joost Frenken.



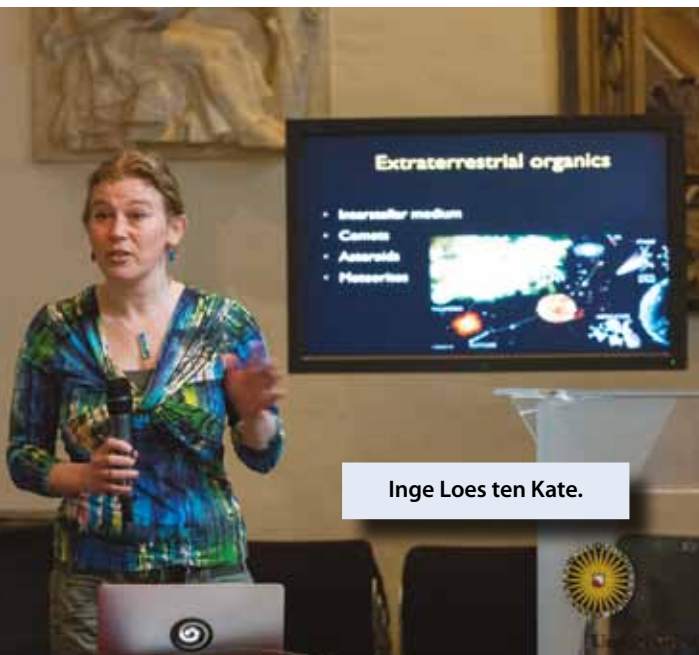
Urs Wiesemann.



Alexander Ako Khajetoorians (universiteit van Hamburg, Duitsland) besloot de NEVAC-dag met de vraag hoe klein een magneet kan zijn. Met behulp van spin-gepolariseerde raster-tunnelspectroscopie (SP-STS) en inelastische rastertunnelspectroscopie (ISTS) is het nu mogelijk om enkele spins op atomaire schaal te bepalen en magnetische toestanden te manipuleren. Dat onderzoek is bijvoorbeeld van belang voor het ontwerpen van nieuwe manieren voor magnetische opslag van informatie

en het bouwen van nanomagneten met speciale eigenschappen. Hij liet mooie voorbeelden zien van het werken met “spin-lego”. Zo kun je bijvoorbeeld een ketting van vijf ijzeratomen maken, waarin magnetische informatie uren bewaard kan blijven. Met een borrel kwam er aan deze dag met vacuüm als rode draad een einde. Volgend jaar wordt de NEVAC-dag door Meike Stöhr georganiseerd in Groningen. De datum wordt nog bekend gemaakt.

Alexander Ako Khajetoorians.



Inge Loes ten Kate.



ITER: werken aan de grootste vacuümvasen op aarde

Al heel lang verwachten we dat het nog tientallen jaren duurt voordat we energie kunnen opwekken met behulp van kernfusie. In mei dit jaar is opnieuw bekend gemaakt, dat we nog iets langer moeten wachten op de inwerkingstelling van de ITER-fusiereactor in het Zuid-Franse St-Paul-lez-Durance. Het eerste plasma in de tokamak wordt nu op zijn vroegst verwacht in 2022 of 2023 en pas in 2027 zal de reactor op vol vermogen draaien en dan 500 MW aan elektriciteit genereren. Maar toch, als je rondloopt op de plaats waar ITER gebouwd wordt, dan voelt het of de fusiereactor al bijna tastbaar is. De eerste gebouwen zijn inmiddels klaar, waaronder de grote hal waarin straks de cryostaat, het grootste vacuümvat ter wereld, in elkaar wordt gezet. In een gesprek met Carlo Sborchia, hoofd van de afdeling vacuümvasen van ITER, wordt duidelijk wat op dit moment de belangrijkste problemen zijn op het gebied van vacuümtechniek.

Claud Biemans

ITER is een megaproject van China, India, Korea, Japan, Rusland, de VS en de Europese Unie. Afsproken is dat elk land dat deelneemt 9 % van de kosten voor zijn rekening neemt en de EU 45 %. In ruil daarvoor wordt de aanbesteding van het werk gelijk verdeeld over de deel-

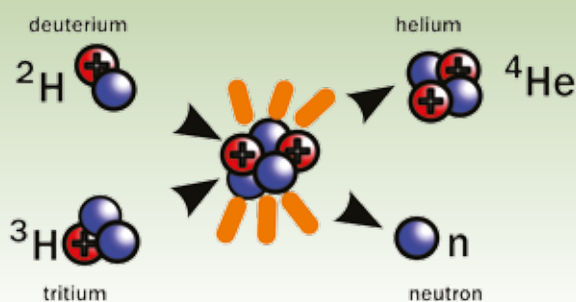
nemende landen. Daardoor gebeurt het dat bepaalde onderdelen in gedeelten door verschillende landen worden geproduceerd.

ITER is niet alleen technisch, maar ook organisatorisch zeer complex. Door het grote aantal deelnemende landen, die

ongeveer de helft van de wereldbevolking vertegenwoordigen, is het project ook zeer gevoelig voor politieke omstandigheden en bezuinigende regeringen, zoals de VS. En door ieder uitstel wordt het project natuurlijk alleen maar duurder. Misschien zijn de technische uitdagingen nog wel het meest overzichtelijk...

$$E = mc^2$$

Bij kernfusie smelten twee lichte atomen samen zodat een zwaarder atoom ontstaat. Daarbij wordt een klein gedeelte van de massa omgezet in heel veel energie. Het meest bekende voorbeeld van kernfusie is de zon. In ITER gaan deuteriumatomen (waterstof met een extra neutron) samensmelten met tritiumatomen (waterstof met twee extra neutronen). In deze fusiereactie ontstaat helium en er komt een neutron vrij. Kernfusie vindt alleen plaats bij zeer hoge temperaturen. Er is een ingewikkeld apparaat nodig waarin een zeer heet plasma gemaakt kan worden, dat met behulp van magneetvelden wordt opgesloten, zodat het de wanden niet raakt. Het kost dus eerst veel energie om een fusiereactie mogelijk te maken. ITER is zo ontworpen dat er tien keer meer energie uitkomt dan erin gaat. Dit is de eerste stap op weg naar meerdere en grotere kernfusiecentrales.



Strengere kwaliteitseisen

Carlo Sborchia is sinds november 2012 hoofd van de afdeling vacuümvasen van ITER. Hij is bereid om na een lange werkdag in mei mij nog speciaal op te zoeken om te vertellen over het werk waar zijn team dag in dag uit mee bezig is.

Hij is verantwoordelijk voor enkele belangrijke onderdelen van ITER, waaronder het vacuümvat van de tokamak en de cryostaat. Het vacuümvat bestaat uit negen sectoren, waarvan er twee in Korea en zeven door een Italiaans consortium worden geproduceerd. Korea levert ook de zeventien middelste en negen onderste toegangspoorten. De achttien bovenste poorten worden in Rusland gemaakt. Het plasma in de tokamak wordt gecontroleerd met behulp van supergeleidende magneten die om het vacuümvat geplaatst worden. Het geheel wordt sterk gekoeld en is daarom geplaatst in een

cryostaat die door India wordt gemaakt. Zodra de fusiereactor eenmaal in bedrijf is, zijn deze onderdelen niet meer toegankelijk, dus worden er zeer strenge kwaliteitseisen gesteld.

Andere werkwijze

Elke sector van het vacuümvat bestaat uit vier segmenten die aan elkaar gelast worden. Sborchia vertelt dat Korea (Hyundai Heavy Industries) hiervoor een andere werkwijze gekozen heeft dan de Italianen (het consortium van Ansaldo Nucleare, Mangiarotti en Walter Tosto). “Het verschil is dat de Koreanen kiezen voor TIG-lassen (Tungsten Inert Gas), terwijl de Europeanen kiezen voor elektronstraallassen, omdat ze daarmee de vervorming van het materiaal proberen te beperken. Een ander verschil is dat de Koreanen een hele grote mal gebruiken om de segmenten voor het lassen mee te fixeren. Zij denken dat de geometrie van de sector met behulp van deze stevige mal binnen de zeer kleine toleranties blijft. Na het verwijderen van de mal hoeft de vorm van de complete sector dan niet verder bewerkt te worden. De Europeanen geven de voorkeur aan een lichte mal en na het aflassen wordt de hele sector nog nabewerkt om de geometrie binnen de tolerantie te krijgen. Het is mogelijk dat hierdoor toch een verschil in geometrie ontstaat tussen de Koreaanse en Europese sectoren. Dat zou problemen kunnen opleveren op het moment dat de negen sectoren aan elkaar vast worden gemaakt. Het kan ook problemen opleveren op het grensvlak met de blanket en de divertor, die precies op maat gemaakt moeten worden, zodat ze op de sectoren van de tokamak passen. Als er een verschil is in toleranties tussen de verschillende sectoren, dan moeten stukken van de blanket en de divertor net anders bewerkt worden. De ingenieurs kunnen daar natuurlijk wel weer een

Het lassen van een stuk van het vacuümvat in Korea.



Carlo Sborchia.

mouw aan passen, maar dat kost allicht meer tijd en geld.”

Prototype

Sborchia: “ITER is de eerste industriële fusiemachine, het is geen laboratoriumspeeltje meer. Maar het is natuurlijk de allereerste machine van zijn soort. Bij het produceren van de eerste sectoren van de tokamak loop je natuurlijk tegen on-

verwachte problemen aan. Ondanks dat de bedrijven die de aanbesteding hebben binnengesleept proefmodellen moesten laten zien voor deze onderdelen, kon het voorbereidende werk natuurlijk niet op volle schaal plaatsvinden. Je moet de eerste Koreaanse en Europese sectoren zien als een prototype waarmee de bedrijven leren hoe ze de volgende sectoren kunnen maken.”



Het ITER-vacuümvat

Het vacuümvat is donutvormig met in totaal 44 toegangspoorten voor pompen, meet- en regelapparatuur. De interne diameter wordt 6 meter, de buitendiameter 19 meter, de hoogte 11 meter, en het volume 1.400 m³. Inclusief alle onderdelen gaat de tokamak meer dan 5000 ton wegen.

Voordat de fusiereactie kan starten moet de tokamak met behulp van mechanische en cryogene pompen gedurende een of twee dagen leeggepompt worden, zodat er geen moleculen overblijven die het plasma kunnen verstoren. Voordat het plasma gemaakt wordt is er een dichtheid van ongeveer een microbar in het vacuümvat. Het plasma krijgt uiteindelijk een temperatuur van 150 miljoen °C. De binnenkant van het vacuümvat wordt door 440 *blanket*-modules (gemaakt van beryllium, koper en staal) beschermd tegen de hoge temperatuur en de snelle neutronen die samen met helium ontstaan bij de fusiereactie tussen deuterium en tritium.

Onderin de tokamak bevindt zich de *divertor*, gemaakt van wolfram, die onder andere zorgt voor de afvoer van warmte. Als de tokamak in bedrijf is, zorgen cryogene pompen voor het verwijderen van afvalstoffen, zoals helium. Daarvoor zijn de koude oppervlakken van deze pompen gecoat met houtskool, gemaakt van fijngemalen basten van Indonesische kokosnoten.



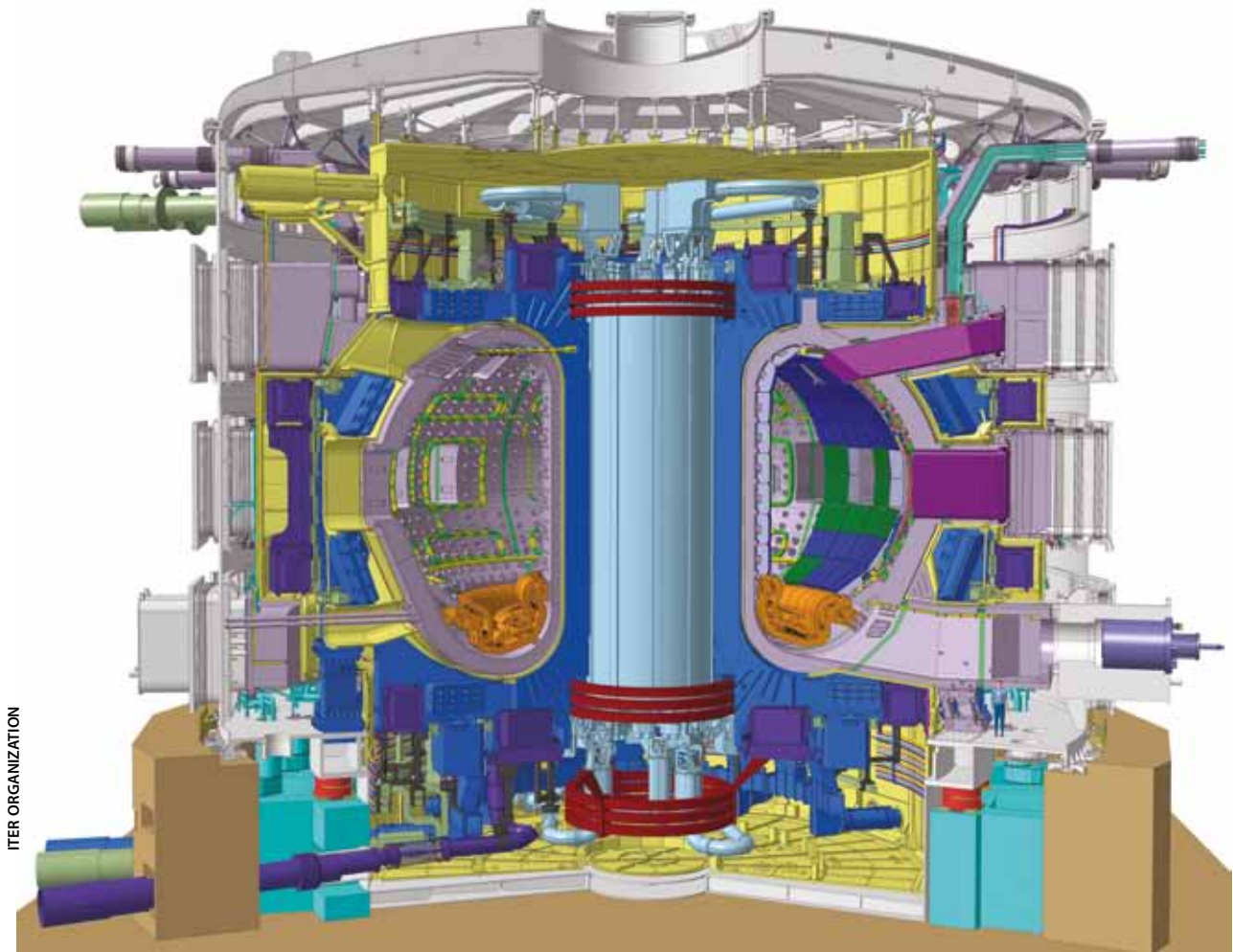
Een model voor een cryogene pomp voor ITER, getest in het Karlsruhe Instituut voor Technologie, Duitsland. Foto: Forschungszentrum Karlsruhe (FZK).

Een complicerende factor bij het maken van onderdelen van de tokamak is dat het plasma het radioactieve tritium gaat bevatten, ook al zal dat nooit meer zijn dan een gram. De wanden van het vacuümvat worden door opname en neerslag van tritium, en door reacties met neutronen ook radioactief. Sborchia: “Deze onderdelen moeten daarom ook nog eens voldoen aan de Franse nucleaire veiligheidsregels. En dat is niet makkelijk omdat de Franse nucleaire autoriteit wel zeer bekend is met de standaardonderdelen van kernreactoren, met reactorvaten die onder hoge druk werken, maar hier hebben we het over een allereerste vacuümvat van dit type. En dat wordt ook nog eens belast met elektromagnetische velden, iets wat geen rol speelt bij kernreactoren.”

De plaatsvervangend algemeen directeur van ITER Korea, Hyeon Gon Lee, die ik spreek tijdens het bezoek aan ITER, geeft aan dat het voldoen aan de nucleaire eisen tot nu toe de grootste uitdaging was. De onderdelen moeten daarbij op een 100 % niet-destructieve manier getest kunnen worden. Sommige onderdelen komen op een plaats in de reactor waar het heel moeilijk gaat worden om daar op een later tijdstip fouten op te sporen. Dus wordt er geëist dat de lassen tussen de segmenten helemaal perfect zijn. De cryostaat hoeft niet aan de nucleaire veiligheidseisen te voldoen omdat die niet in direct contact staat met de radioactieve stoffen. Maar hier spelen dezelfde problemen bij de nauwkeurigheid van het laswerk en mogelijke vervormingen van het materiaal, omdat de onderdelen enorm zwaar zijn.

Lange lijsten

Alle veiligheidseisen brengen ook een enorme berg administratief werk met zich mee. Alle ontwerp- en productiedocumenten moeten uiteindelijk door de centrale ITER-organisatie goedgekeurd worden, en bovendien door een extra controlerende instantie, de Agreed Notified Body. Sborchia: “Het gaat om



Een opengewerkt model van de tokamak van ITER.

Cryostaat

De cryostaat krijgt een diameter van ongeveer 30 meter, een hoogte van ongeveer 25 meter en een volume van 8.500 m³. Het massieve vacuümvat van de cryostaat, nodig om de tokamak te koelen, wordt in vier segmenten geproduceerd door Larsen & Toubro in India. In een speciaal ontworpen loods bij ITER in Frankrijk worden 54 kleinere delen aan elkaar gemaakt. Dat proces gaat nog zeven jaar duren. Daarna wordt het vat in zijn geheel naar zijn definitieve positie verplaatst. Naar verwachting arriveren de eerste onderdelen van de cryostaat eind 2015 bij ITER in Frankrijk.

De cryostaat heeft vele openingen, sommige met een diameter van wel vier meter, waardoor de buizen gaan van koel- en verwarmingssystemen, voedingen voor de magneten, diagnostische systemen, en waardoor onderdelen van de blanket en de divertor kunnen worden verplaatst. Grote balgsystemen tussen de tokamak en de cryostaat zorgen ervoor dat de constructies kunnen krimpen en uitzetten als de temperatuur verandert.

Om neutronen tegen te houden is de cryostaat omgeven door een laag beton, die aan de bovenkant twee meter dik is.



De buitenkant van de cryostaat.



CLAUD BIEMANS

Werk aan de fundering van de tokamak en cryostaat in mei 2014.

honderden documenten, met lange lijsten van alle gegevens van alle onderaannemers, leveranciers, bewerkers, enzovoort. En dit voor elke productiestap, alle materialen, het snijden en vormen van

de platen, het lassen.”
Mijn afdeling bestaat uit 40 mensen, 25 in dienst van de ITER-organisatie en vijftien ingehuurde krachten. Bij elke Domestic Agency (DA) van de deelnemende

landen werken een aantal mensen voor ons. Het idee is dat de ITER-organisatie beslist over de totale constructie, maar de DA's gaan over de aanbesteding van opdrachten en contracten. Dat levert soms moeilijkheden op als wij speciale wensen hebben, want de leveranciers rapporteren aan de DA en niet aan ons. Dus als er een technisch probleem is, praten wij met de DA en niet direct met de leverancier. Maar de DA's zijn niet technisch verantwoordelijk. ITER is technisch verantwoordelijk, maar heeft weer geen zeggenschap over de contracten. Maar ik heb goede ervaringen. Ik werk er elke dag aan om goede relaties met de DA's te onderhouden. Onze samenwerking verloopt goed en samen proberen we zoveel te bereiken als mogelijk is. Wij wisselen zoveel mogelijk informatie en know-how uit en zo proberen we alle problemen op te lossen.”



Vacuüm Specials B.V.

Vacuüm Specials B.V. heeft zich gespecialiseerd in het implementeren, construeren en vervaardigen van componenten, deelsystemen en realisatie van projecten op turnkey-basis met betrekking tot vacuümtechnische en cryogene toepassingen.

De specialist voor vacuüm- and cryogene toepassingen

Vacuümtechniek:

- Vacuüm leidingwerk
- Bouwdelen
- Pompgroepen
- Vacuümkamers
- UHV-systemen
- Ruimte simulatie systemen
- Centraal vacuüm systemen
- Helium lektest systemen
- Turn-key projecten



Cryotechniek:

- LN₂ transportleidingen
- Cryostatens
- Heliumhevels
- Helium transportleidingen
- Helium recyclingsystemen
- Gasmix systemen
- Cryo condensatie
- Turn-key projecten



Rosmolenlaan 3, 3447 GL Woerden - Postbus 314, 3440 AH Woerden - Telefoon: +31 (0)348 436 080 Fax: +31 (0)348 436 089

E-mail: vs@vacuumspecials.nl

Bezoek onze vernieuwde website vacuumspecials.nl

Win 1000 euro!

FOTO MARJAN VERSLUJJS-HELDER



Presenteer jij, net als Ronald van Leeuwen dit jaar in Utrecht, je werk tijdens de NEVAC-dag 2015 in Groningen? En win jij dus 1000 euro, de NEVAC-prijs voor het beste wetenschappelijke of technische artikel?

Deel je onderzoek en je kennis op het gebied van vacuümtechniek in een helder geschreven technisch of wetenschappelijk artikel van 2000 woorden. De lezers van het *NEVAC blad* hebben een technische, fysische of chemische achtergrond en aan jou de taak om voor dit brede publiek een begrijpelijk verhaal te schrijven.

Stuur het uiterlijk 15 januari 2015 naar:

redactie@nevac.nl

Ken je iemand die het *NEVAC blad* niet leest en wel een toepasselijk artikel kan schrijven, wijs die persoon dan op de mogelijkheid om deel te nemen. Bijdragen in het Engels van in Nederland werkende niet-Nederlandstaligen zijn welkom.

Uitgebreide richtlijnen voor auteurs staan op:

www.nevac.nl

DISCOVER VALUE IN VACUUM TECHNOLOGY

Agilent IDP-15 Dry Scroll Pump

- Designed specifically for low noise (<50 dBA) and vibration
- Hermetic pump with motor and bearings completely isolated from the vacuum path
- Provides rapid pump-down
- Single-sided scroll design allows simple, fifteen minute service



Agilent TwisTorr 304 FS

- Proven best performance on the market, with new TwisTorr stages optimized for H₂ Compression Ratio
- Agilent Floating Suspension, the breakthrough bearing technology that reduces acoustical noise and vibration



Toll-Free: 00 800 234 234 00
email: vpt-customer@agilent.com

The Measure of Confidence



Make Agilent
Your Vacuum-Choice
Discover our Special Offers
www.vacuum-choice.com

© Agilent Technologies, Inc. 2014



Agilent Technologies



Word nu NEVAC-lid

en ontvang drie maal per jaar het
NEVAC blad

Andere voordelen

Contact met vakgenoten

Vakexcursies

Symposia

Voor bedrijfsleden: vermelding op de
NEVAC-website

Kosten per jaar

Gewone leden € 20,-

Studenten en promovendi € 5,-

Bedrijfsleden € 150,-

U kunt zich aanmelden als lid met het
formulier op

www.nevac.nl

Become a member of NEVAC

register at

www.nevac.nl

SEPTEMBER | 2014

Agenda

13-14 oktober 2014
4th ITG International Vacuum
Electronics Workshop 2014,
Karlsruhe, Duitsland

13-16 oktober 2014
ICTF16, Dubrovnik, Kroatië

4 -5 november 2014
ARCNL Workshop: Low-energy
electrons: imaging, lithography
and soft matter (LEELIS),
Science Park, Amsterdam

9 -14 november 2014
AVS 61st International Sympo-
sium and Exhibition, Baltimore,
Maryland, VS

10 april 2015
Fysica 2015, TU Eindhoven

22-26 augustus 2016
IVC20, Busan, Korea

Atlas Copco

Atlas Copco is een industriële groep, wereldwijd marktleider op het gebied van compressoren, expanders, luchtbehandeling-, gasscheiding-, constructie-, en mijnbouwapparatuur, industrieel gereedschap en montagesystemen. Met innovatieve producten en diensten bieden wij duurzame oplossingen, waarmee onze klanten hun productiviteit kunnen verhogen.

Atlas Copco is opgericht in 1873. Ons hoofdkantoor is gevestigd in Stockholm, Zweden. Bij ons bedrijf werken ruim 42.000 medewerkers verspreid over meer dan 170 landen.

Atlas Copco loopt voorop als het gaat om kwaliteit, betrouwbaarheid en innovatie. Bij de ontwikkeling en fabricage van onze producten passen wij de laatste technieken en de beste materialen toe. Kwaliteit en energie-efficiëntie zijn leidend bij het ontwerpen van nieuwe producten.

In de afgelopen jaren heeft Atlas Copco moderne, hoogwaardige vacuümplossingen ontwikkeld. Onze vacuümspecialisten onderzoeken steeds nieuwe toepassingsgebieden en bewerkstelligen een continue verbetering van productprestaties. Met de overname van Edwards zijn wij in staat om onze klanten, waar ook ter wereld, nog beter van dienst te zijn met een breder assortiment aan compressoren, vacuümproducten en servicediensten. Atlas Copco hecht evenals Edwards veel belang aan de kernwaarden: Innovatie, uitmuntende service en klantgerichtheid.

Voor informatie over al onze vacuümplossingen kunt u contact opnemen met: Atlas Copco Compressors Nederland Merwedeweg 7, 3336 LG Zwijndrecht 078-6230230, www.atlascopco.nl vacuum@nl.atlascopco.com



Thin Film Evaporation and more!

Systems:



Hardware:



PLC's:



Vactec

SEPTEMBER | 2014

Vactec B.V.
Nijverheidsweg 34
NL-3274 KJ, HEINENOORD

Tel. +31 (0) 186 600019
www.vactec.nl
info@vactec.nl

NEVAC BLAD 52 | 2

27

NanoTech

Forging Links with Nanoscience - For Decades



*Triton[®]DR -
Dry Dilution
Refrigerator*



*SpectromagPT Cryofree
optical split pair magnet system*



Combined SPM, PVD, ALD & Sputtering System



*R&D 100 winner
LT NANOPROBE*



Ultimate iXPS & μARUPS with NanoESCA

PLD CVD **SPM** Plasma
Cryofree[®] **ULT** PVD
GIS Nanotools Deposition iXPS
Superconducting Magnets ALD **ESCA**
3D-Magnet LEED EFM IoN Beam
Nanotechnology
FIB HE³ SAM Nanoprobng EBSD
UPS XPS Thin Film Dilution Cryostat
Graphene High Field & Custom Magnets
AES Process Techniques PEEM Etch
Combined Environments
AFM MFM Nanomechanics μK
Optical Cryostat SEM
MBE STM EDS nc-AFM
Vector Rotating Magnets
Flow Crvostat

OXFORD
INSTRUMENTS

The Business of Science[®]

For further information:
omicron.nanoscience@oxinst.com
www.oxford-instruments.com

Your contact in NL:
Dr. Ad Ettema
Tel.: +31 (0) 15 2600 406
Mail: ad.ettema@oxinst.com

