

NEVAC BLAD

jaargang 53 / nummer 2 – juli 2015

**Quantum LEEP:
Spanning op de
nanoschaal!**

De actieve fase van een katalysator

Hot topics in ALD



**NEDERLANDSE
VACUÛMVERENIGING**

Fotoverslag NEVAC-dag

Surrounding You With Expertise & Support

Process
Equipment
Expertise

Unmatched
Service

Global
Supply
Chain

B2B /
E-Commerce

Precision
Manufacturing

Advanced
Deposition
Materials

- **Largest Inventory** of Quality Vacuum Products
- **Highly Professional Customer Service**
- **Renowned** Technical Expertise

Contact your local representative Edwin Bakker +31 6 15 836 983 or (+44) 1424 458100

Enabling Technology for a Better World | www.lesker.com

Kurt J. Lesker
Company

15-096

Colofon

Redactie

Claud Biemans, eindredacteur
Bas Dielissen
Hans van Eck, hoofdredacteur
Ad Ettema
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 2015

Maart
Juli
December

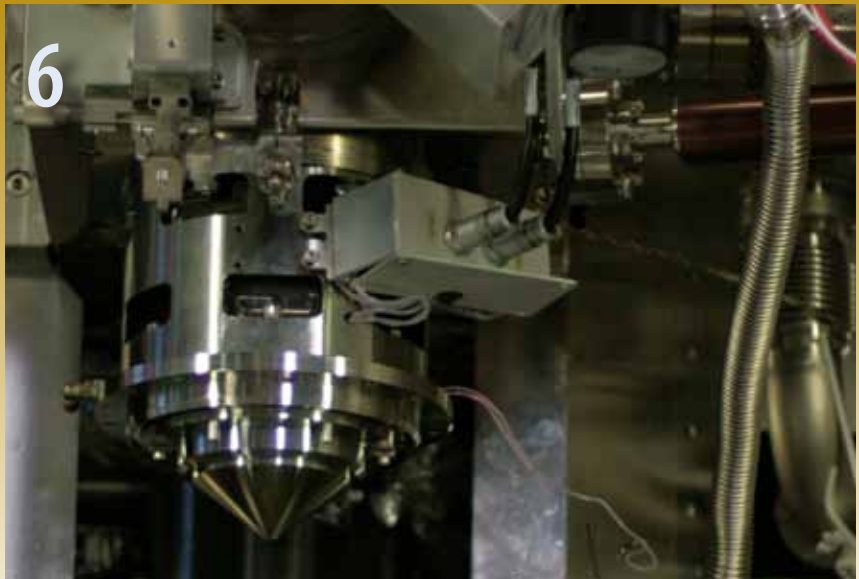
Kopij inzenden naar het redactiesecretariaat. Lidmaatschap opgeven bij de ledenadministratie. Abonnementen opgeven bij abonnementenadministratie.

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



Op de voorpagina staat een detail van de lage-energie-elektronenmicroscopie opstelling waarmee oppervlaktestructuren worden afgebeeld.

- 5 Van de redactie: Vacuüm moet je zien, voelen en doen *Fred Schenkel*
- 6 Quantum LEEP (Lage-energie-elektronenpotentiometrie): Spanning op de nanoschaal! *J. Kautz, J. Jobst en S.J. van der Molen*
- 10 NEVAC-dag 2015 *Claud Biemans*
- 15 Nieuws van de buitenland-excursiecommissie over de reis naar San José en Silicon Valley in de VS (Westkust)
- 17 Workshop ALD FUNDamentals: Hot topics in ALD *Claud Biemans*
- 21 Viewport: De joint venture van Scienta en Omicron tot Scienta Omicron
- 22 De actieve fase van een katalysator bestudeerd met de perfecte combinatie van experimenten onder hoge druk en vacuümtechnologie *Matthijs A. van Spronsen, Joost W.M Frenken, en Irene M.N. Groot*
- 26 Student of promovendus? Win 15 minutes of fame & 1000 euro!
- 27 Nieuw product: B-RAX 3300
- 28 Opleidingen onder auspiciën van de NEVAC
- 31 Agenda

De sluitingsdatum van kopij voor het derde nummer van het *NEVAC blad* 2015 is 1 november 2015.



VACUUM SOLUTIONS FROM A SINGLE SOURCE

Pfeiffer Vacuum stands for innovative and custom vacuum solutions worldwide, technological perfection, competent advice and reliable service. We are the only supplier of vacuum technology that provides a complete product portfolio:

- Pumps for vacuum generation up to 10^{-13} hPa
- Vacuum measurement and analysis equipment
- Leak detectors and leak testing systems
- System technology and contamination management solutions
- Chambers and components

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





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

IBAN: NL50 INGB 0001 8515 29 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

Vacuüm moet je zien, voelen en doen

Ik spreek uit eigen ervaring als ik zeg: “Vacuüm moet je zien, voelen en doen”. Als onderzoekstechnicus bij de Universiteit Leiden werken zestien collega's en ik samen met onderzoekers en studenten die dagelijks met vacuümopstellingen werken. Zeker als ze net nieuw zijn en weinig of geen ervaring met vacuümapparatuur hebben, komen ze vragen of je ze even wil helpen want het gaat niet goed. Een vacuümpomp aanzetten lukt altijd wel. Het zijn vaak de kleine dingen die niet goed gaan, zoals een o-ring een beetje insmeren met wat vacuümvet, of het recht aandraaien van een vacuümaansluiting. Een dozijn fouten die gemaakt kunnen worden, resulteren in een lek of een slechte eindruck. Dan loop je met ze mee en dan ga je ze bestoken met vragen zoals “Heb je dit gedaan?” en “Heb je hieraan gedacht?” Vaak is het antwoord dan “Nee” of “Oh, dat wist ik niet”. Op dat moment gaan we het systeem nalopen op eventuele fouten en komen de onderzoekers uiteindelijk minder vaak langs met problemen. Je kunt dit soort praktische zaken wel uit een boek leren maar je zult het ook “gewoon moeten doen”.

De firma Pfeiffer liet, op de NEVAC-dag, met een proefopstelling zien wat vacuüm kan en doet. Dit is een goede manier om vacuüm zichtbaar te maken. De commissie opleidingen biedt een breed scala van vacuüm-technische opleidingen onder auspiciën van de NEVAC. Er worden cursussen aangeboden voor elk niveau, van praktisch tot theoretisch. Kijk op pagina 28 of op www.nevac.nl welke cursussen worden aangeboden.

De Universiteit Leiden is in dit blad goed vertegenwoordigd. Jaap Kautz en Johannes Jobst, de NEVAC-prijswinnaars 2015, hebben een artikel geschreven over hoe je spanning op de nanoschaal kunt meten met een LEEM-machine en Mathijs van Spronsen beschrijft hoe hij in een reactor-STM de werking van een katalysator bestudeert.

Fred Schenkel



Spanning op de nanoschaal!

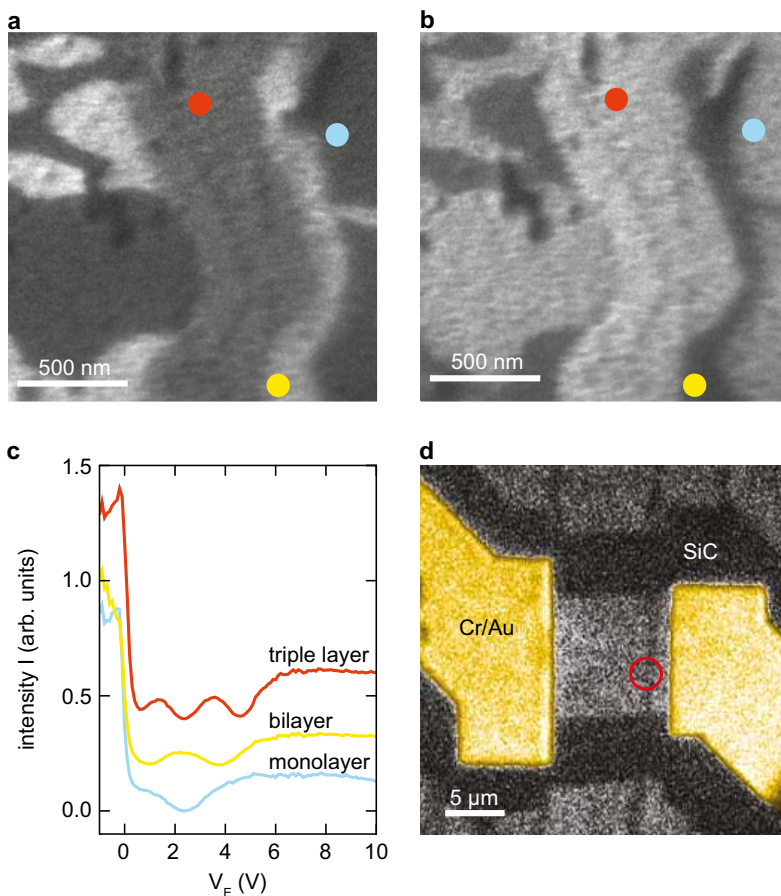
Voor een grondig begrip van nieuwe materialen zijn zowel structurele als elektronische karakterisering essentieel. Hier presenteren we een nieuwe techniek, die het mogelijk maakt deze twee te combineren. Met deze nieuwe methode, lage-energie-elektronenpotentiometrie (LEEP), kan de elektrische spanning zeer lokaal bepaald worden. Doordat de techniek geïntegreerd is in een lage-energie-elektronenmicroscop (LEEM), is het triviaal de elektrische metingen te combineren met de oppervlakte-analysetechnieken waar LEEM vermaard om is. We demonstreren de mogelijkheden van LEEP met onze eerste resultaten op grafeen.

J. Kautz^{†*}, J. Jobst[†] en S.J. van der Molen

Universiteit Leiden, Huygens-Kamerlingh Onnes Laboratorium, Postbus 9504, 2300 RA Leiden

*Correspondentieadres: kautz@physics.leidenuniv.nl

† Deze auteurs hebben in gelijke mate bijgedragen.



Figuur 1 (a,b) LEEM-afbeeldingen bij een elektronlandingsenergie van a, 2,7 eV en b, 3,5 eV geven een ander contrast tussen gebieden met een verschillend aantal grafeenlaagjes. (c) LEEM I/V -curves voor de posities aangegeven in (a,b). Het aantal minima correspondeert met het aantal lagen grafeen. Voor de overzichtelijkheid zijn de curves geplott met een offset. (d) Ingekleurde foto-elektronenmicroscopie-afbeelding (PEEM) van het sample. Via de goudelektrodes kan een spanning worden aangelegd over het grafeen (grijs). De rode cirkel geeft weer waar de afbeeldingen a en b gemaakt zijn.

Grafeen is een materiaal dat bestaat uit een enkele laag koolstofatomen in een zeshoekige kippengaasachtige structuur. Omdat het bijzondere fysische eigenschappen bezit, creëerde de experimentele ontdekking ervan [1] een heel nieuw onderzoeksveld. Al snel realiseerde men zich dat de gebruikte fabricagetechniek, het laagje voor laagje verwijderen van koolstofatomen van een grafietkristal met behulp van plakband, ook voor andere materialen gebruikt kon worden. Sindsdien zijn er vele van dit soort tweedimensionale materialen gemaakt met een grote variëteit aan eigenschappen. Atomaire lagen van boornitride zijn bijvoorbeeld isolerend, terwijl molybdeen-disulfide halfgeleidende lagen vormt en grafeen zich als een soort metaal gedraagt. Door op een slimme manier verschillende lagen van deze materialen op elkaar te stapelen, wordt geprobeerd nieuwe materialen te ontwerpen met gunstige fysische eigenschappen voor specifieke toepassingen [2].

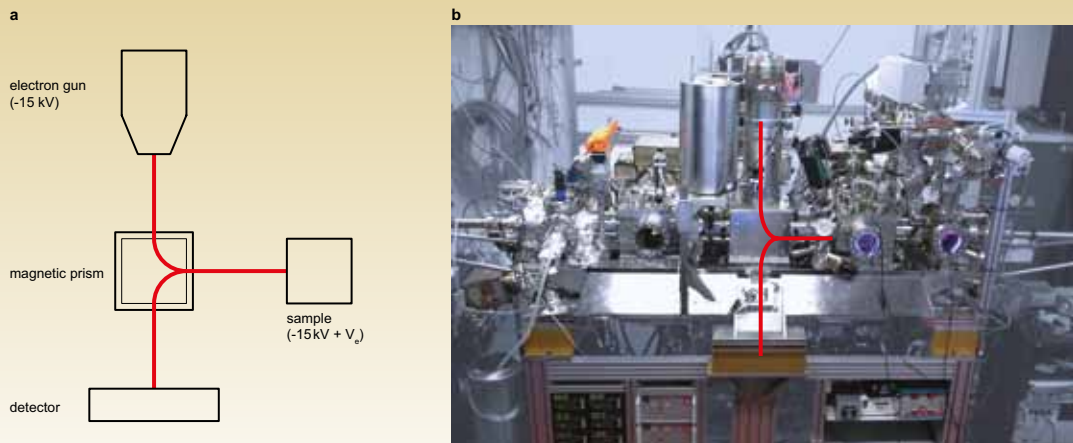
Om dit proces succesvol te laten verlopen is een goede structurele en elektrische karakterisering van deze gestapelde lagen onontbeerlijk. De structurele analyse ge-

Lage-Energie-ElektronenMicroscopie (LEEM)

In LEEM worden oppervlaktestructuren afgebeeld door middel van een coherente bundel laagenergetische elektronen. De elektronen worden door een elektronenkanon op het sample geschoten en de gereflecteerde elektronen worden geprojecteerd op een rasterdetector waarmee een afbeelding wordt gegenereerd. De elektronen verlaten het elektronenkanon met een energie van 15 keV en worden door een elektrisch veld vlak voor het sample afgeremd zodat ze landen met een landingsenergie (V_e) van 0-100 eV. Door de spanning op het sample te variëren, kunnen we de sterkte van het elektrische veld en daarmee de landingsenergie van de elektronen controleren [3-5].

Deze laagenergetische elektronen bereiken een diepte van slechts enkele atomen onder het oppervlak voordat ze gereflecteerd worden. Dit maakt LEEM een extreem gevoelige techniek voor oppervlakken en daarmee ideaal voor het bestuderen van quasi-2D-materialen.

De grote oppervlaktegevoeligheid zorgt er echter ook voor dat de microscoop erg gevoelig is voor vervuilingen. Eén enkele atomaire laag aan vervuilingen kan al genoeg zijn om een afbeelding te verstoren. Om deze reden worden alle experimenten uitgevoerd in een ultrahog vacuum (UHV) omgeving met een achtergronddruk van $\sim 10^{-10}$ mbar (zie afbeelding). Om deze lage druk te bereiken is de opstelling uitgerust met twee membraanpompen, 4 rotatiepompen, zes turbopompen, tien ionengetterpompen en twee titaniumsublimatiepompen. De rotatie- en membraanpompen staan opgesteld in een andere ruimte dan de microscoop, zodat de trillingen van de pompen de metingen niet kunnen verstoren.



(a) Schematische weergave van de LEEM-opstelling. De rode lijn geeft het pad van de elektronen weer. Elektronen uit het elektronenkanon worden door het sample gereflecteerd en vervolgens geprojecteerd op de detector, waar een afbeelding gevormd wordt. Een magnetisch prisma scheidt de inkomende en de gereflecteerde bundel. **(b)** Foto van de opstelling met daarin het pad van de elektronen aangegeven in rood.

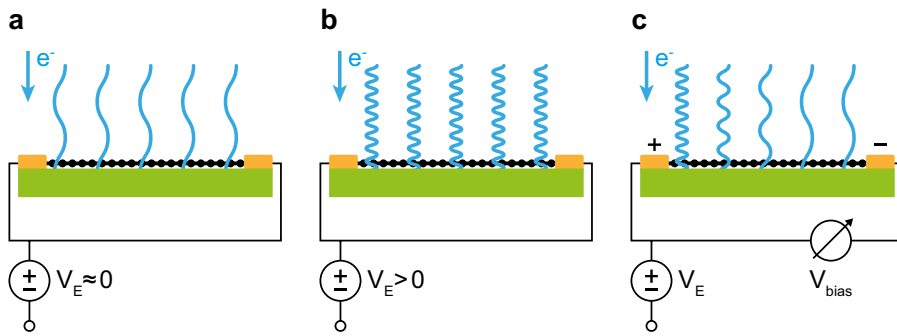
beurt voornamelijk met een elektronenmicroscoop of met een rastersondemicroscoop (*scanning probe*-microscoop, SPM). Voor de geleidingsmetingen worden meestal elektrodes op het sample gemonteerd om de stroom en de spanning te kunnen meten. Er kleven echter verschillende nadelen aan deze procedure. Ten eerste gebeuren beide metingen in verschillende opstellingen, hetgeen de kans op tussentijdse vervuiling of verandering van deze gevoelige oppervlaktestructuren groot maakt. Ten tweede geeft de gebruikelijke geleidingsmeting slechts informatie over de gemiddelde geleiding. Lokale variaties in geleiding door

bijvoorbeeld laagdikteveranderingen of vervuilingen blijven hierbij onzichtbaar. In dit artikel beschrijven we een nieuwe manier voor de elektrische karakterisering van tweedimensionale structuren. Deze methode is gebaseerd op lage-energie-elektronenmicroscopie (LEEM). In plaats van de gemiddelde geleiding wordt met deze nieuwe techniek de geleiding op iedere positie op het sample gemeten. Dankzij de integratie in een elektronenmicroscoop, kunnen de structurele en elektronische metingen gelijktijdig *in vacuo* plaatsvinden. Dit voorkomt vervuilingen en maakt het mogelijk om lokale variaties in geleiding te koppelen aan

plaatselijke structurele veranderingen. We demonstreren onze methode op een sample met een aantal gestapelde lagen grafeen op een siliciumcarbide drager.

LEEM op grafeen

Onze methode is gebaseerd op LEEM (zie kader), een microscopietechniek waarmee een oppervlak kan worden afgebeeld met behulp van laag-energetische elektronen [3-5]. Voordat we de potentiometrie behandelen, demonstreren we eerst de gebruikelijke wijze van LEEM op grafeen. Figuren 1 a en b tonen twee LEEM-afbeeldingen van hetzelfde gebied op een siliciumcarbide substraat



Figuur 2 (a,b,c) Door de spanning op het sample te variëren, kunnen we de landingsenergie van de elektronen regelen: hoe hoger de potentiaal van het sample, des te hoger de landingsenergie. De landingsenergie is hier weergegeven als de golflengte van de elektronen: hoe hoger de landingsenergie, hoe korter de golflengte. (a) Bij een landingsenergie $V_E \approx 0$ halen de elektronen maar net het sample. (b) Voor hogere waarden van V_E neemt de landingsenergie toe. (c) Wanneer we een spanning over het sample-oppervlak zetten, wordt de landingsenergie positieafhankelijk.

met daarop een variërend aantal lagen grafeen. Het enige verschil tussen de twee metingen is de landingsenergie van elektronen. Dit verschil leidt tot een duidelijk onderscheid in contrast (zie kader *grafeenlagen tellen met LEEM*).

De intensiteit (I) van de gereflecteerde elektronen blijkt sterk af te hangen van deze landingsenergie. Het mooie is dat we deze landingsenergie kunnen regelen met behulp van de samplepotentiaal V_E (zie figuren 2 a,b). Hoe hoger deze potentiaal, hoe hoger de landingsenergie. Door nu voor verschillende landingsenergieën te meten, kunnen we heel precies de energieafhankelijkheid van de reflecti-

viteit bepalen voor elk type grafeen. Het resultaat is een zogenaamde *IV-curve*. De vorm van deze *IV-curve* hangt sterk af van het bestudeerde oppervlak [6]. Figuur 1c toont *IV-curve*s voor een monolaag, een dubbellaag en een tripellaag grafeen. Het verschil in deze *IV-curve*s verklaart de contrastinversie tussen figuren 1 a en b.

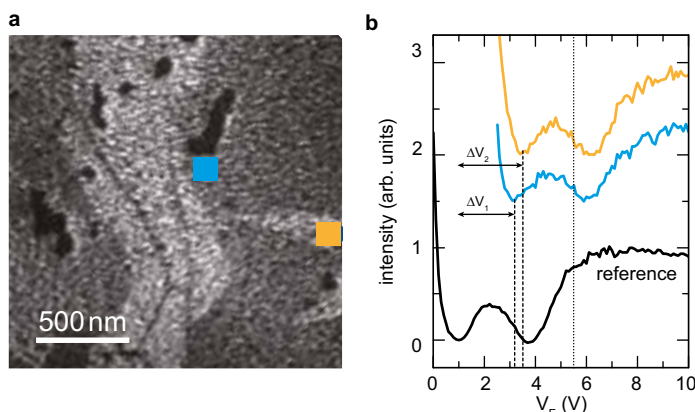
Potentiometrie met LEEM

Tot nu toe hebben we naar LEEM-afbeeldingen gekeken die genomen werden terwijl er geen stroom door het sample liep. De potentiaal had dus op iedere plek op het sample dezelfde waarde en daar-

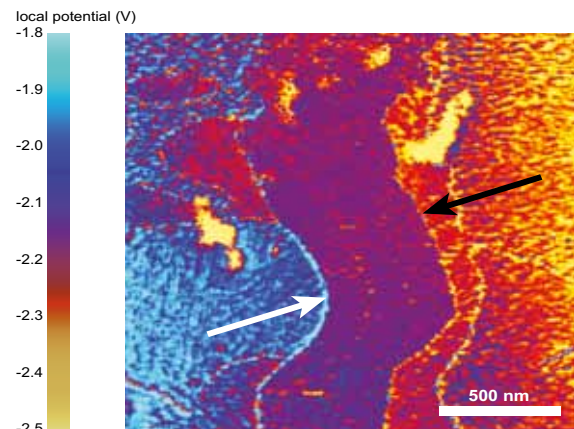
door was de landingsenergie over het hele sample gelijk. Dit heeft als gevolg dat een dubbellaag aan de linkerkant van het sample in figuren 1 a en b er hetzelfde uitziet als een dubbellaag aan de rechterkant van het sample.

Die situatie verandert wanneer we een spanningsverschil aanbrengen tussen de linker- en de rechterkant van het sample, zodat er een stroom door het sample loopt. We doen dit met behulp van de lithografisch gefabriceerde goudelctrodes, afgebeeld in figuur 1d. Door de aangelegde spanning is het voltage niet langer overal gelijk. De landingsenergie van de elektronen, die afhankelijk is van de lokale spanning op het sample, wordt daarmee ook positieafhankelijk [7] (zie figuur 2c). Figuur 3a laat een LEEM-afbeelding zien van hetzelfde gebied als in figuren 1a,b, maar nu met 3 V spanningsverschil tussen de linker- en de rechterkant van het sample. Waar de dubbellaagse gebieden zonder aangelegde biasspanning overal dezelfde intensiteit hadden, is er met aangelegde biasspanning een duidelijk verschil zichtbaar tussen dubbellaagse gebieden links en rechts.

Dit intensiteitsverschil kan begrepen worden door naar de *IV-curve*s te kijken van dubbellaagse gebieden op verschillende po-



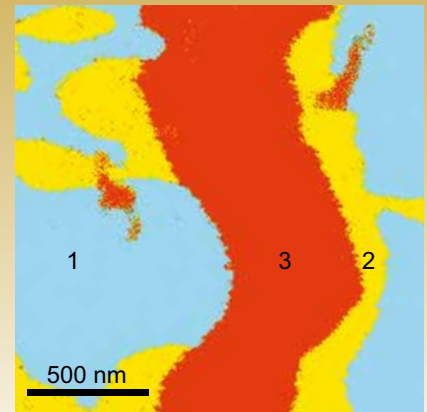
Figuur 3 (a) LEEM-afbeelding van hetzelfde gebied als in figuren 1a,b, maar nu met een aangelegde spanning van $V_{bias} = -3$ V tussen de elektrodes. De reflectiviteit van de gebieden met dubbellaags grafeen is nu positieafhankelijk. (b) *IV-curve*s van de dubbellaagse gebieden gemarkeerd in a samen met een referentiecurve bepaald bij $V_{bias} = 0$ V. De verschuiving van de *IV-curve*s (ΔV) is een directe maat voor het lokale voltage. Voor de overzichtelijkheid zijn de curves geplot met een offset.



Figuur 4 Afbeelding van de lokale potentiaal bij een totale aangelegde spanning van $V_{bias} = -3$ V tussen de (niet-zichtbare) elektrodes. De lokale spanning is bepaald door voor iedere pixel in figuur 3a de verschuiving van de *IV-curve*s te meten. De spanning neemt geleidelijk af van links naar rechts. Bij de overgangen tussen de verschillende laagdiktes (zie pijlen) is een extra spanningsval zichtbaar.

Grafeenlagen tellen met LEEM

De *IV*-curves (elektronenreflectiviteit uitgezet tegen landingsenergie) van multilagen grafeen zijn extra interessant, omdat deze gebruikt kunnen worden om onderscheid te maken tussen verschillende diktes grafeen. In figuren 2 a,b is een sterk, energieafhankelijk contrast zichtbaar tussen de verschillende laagdiktes. Om dit contrast te begrijpen, kijken we naar de *IV*-curves in figuur 2c. Bij lage energieën hebben de *IV*-curves een of meerdere minima. Deze minima worden veroorzaakt doordat elektronen geabsorbeerd kunnen worden wanneer de elektronenergie overeenkomt met de energie van een zogenaamde tussenlaagse toestand in het grafeen [8]. Het aantal tussenlaagse toestanden komt in dit experiment overeen met het aantal lagen grafeen. Het aantal minima correspondeert dus met het aantal grafeenlagen. Op deze manier kan het aantal lagen grafeen op iedere positie op het sample bepaald worden (zie de afbeelding).



Door op iedere positie het aantal minima in de *IV*-curves te tellen kan de laagdikte (1, 2 of 3) in kaart gebracht worden.

sities op het sample. Figuur 3b laat *IV*-curves zien van de met blauw en oranje aangegeven gebieden in figuur 3a. Ter referentie is de *IV*-curve van een dubbel-laag zonder aangelegd 'horizontaal' spanningsverschil ook weergegeven. De vorm van de drie curves is grotendeels gelijk, maar de *IV*-curves voor de situatie met aangelegde spanning zijn verschoven ten opzichte van de *IV*-curve zonder spanning. De grootte van deze verschuiving, aangegeven met ΔV , is exact het voltage op de positie waar de *IV*-curve bepaald is. Op deze wijze kunnen we enkel door het maken van afbeeldingen, de lokale potentiaal bepalen.

Lokale voltages in kaart brengen

Doordat we op iedere plek op ons sample afzonderlijk een *IV*-curve kunnen bepalen, kunnen we daaruit voor iedere positie het lokale voltage (ΔV) bepalen. De gevonden waarden voor ΔV zijn weergegeven in figuur 4. Deze figuur vormt daarmee een directe afbeelding van de lokale potentialen op het sample: een echte *potentiaal*kaart.

Het aangebrachte potentiaalverschil tussen de linker- en rechterkant van het sample is duidelijk zichtbaar. Van links naar rechts neemt de spanning zoals verwacht geleidelijk af. Echter, bij de overgang tussen enkellaags en drielaags

grafeen (witte pijl) is een grote sprong in potentiaal zichtbaar. Ook bij de overgang van drielaags grafeen naar dubbellaags grafeen (zwarte pijl) zien we een sprong in voltage. Blijkbaar zorgt de overgang tussen verschillende laagdiktes voor een verhoogde elektrische weerstand. Deze observatie was enkel mogelijk doordat we met één instrument zowel de structurele en elektronische eigenschappen tegelijkertijd in beeld kunnen brengen.

Conclusie

We hebben een nieuwe potentiometrie-techniek ontwikkeld die gebaseerd is op LEEM. Deze techniek maakt het mogelijk lokale potentiaalverschillen te meten met een laterale resolutie van enkele tientallen nanometers. De data-acquisitie is erg snel (minder dan een minuut), doordat het gehele beeldveld tegelijkertijd kan worden gemeten. Omdat de metingen contactloos verlopen is er geen risico op het verstoren van de meetresultaten door elektrodes of sondes, die in alternatieve potentiometrie-technieken gebruikt worden. Doordat LEEP geïntegreerd is in LEEM, biedt het de mogelijkheid structurele en elektronische karakterisering simultaan uit te voeren en de resultaten aan elkaar te koppelen. We hebben LEEP aangetoond op multilagen grafeen en verwachten dat deze techniek nieuwe

inzichten zal kunnen verschaffen in het spannende onderzoek naar gelaagde systemen.

Referenties

1. Novoselov, K.S. *et al.* Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science* **306**, 666-9 (2004).
2. Geim, A.K. & Grigorieva, I.V. Van der Waals heterostructures. *Nature* **499**, 419-25 (2013).
3. Tromp, R.M. *et al.* A new aberration-corrected, energy-filtered LEEM/PEEM instrument. I. Principles and design. *Ultramicroscopy* **110**, 852-61 (2010).
4. Tromp, R.M., Hannon, J.B., Wan, W., Berghaus, A. & Schaff, O. A new aberration-corrected, energy-filtered LEEM/PEEM instrument II. Operation and results. *Ultramicroscopy* **127**, 25-39 (2013).
5. Bauer, E. *Surface Microscopy with Low Energy Electrons*. (Springer New York, 2014). doi:10.1007/978-1-4939-0935-3
6. Flege, J.I. & Krasovskii, E.E. Intensity-voltage low-energy electron microscopy for functional materials characterization. *Phys. Status Solidi - Rapid Res. Lett.* **8**, 463-477 (2014).
7. Anderson, M., Nakakura, C.Y., Saiz, K.F. & Kellogg, G.L. Imaging Oxide-Covered Doped Silicon Structures Using Low-Energy Electron Microscopy. *MRS Proc.* **1026**, 1026-C15-03 (2007).
8. Srivastava, N. *et al.* Low-energy electron reflectivity of graphene on copper and other substrates. *Phys. Rev. B* **87**, 245414 (2013).

NEVAC-dag 2015

Het Kasteel, Groningen, 17 april



Verslag: Claud Biemans

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

Studenten, onderzoekers, technici en bedrijfsleden van de NEVAC ontmoetten elkaar dit jaar in Het Kasteel, een fraai congrescentrum in Groningen. Het programma, samengesteld door Meike Stöhr (Zernike Institute for Advanced Materials, RUG) gaf de hele dag aanleiding tot het onderling uitwisselen van gedachten en visitekaartjes.

Veel bedrijfsleden van de NEVAC waren extra vroeg naar Groningen afgereisd om een uitnodigende stand in te richten in enkele kleinere zaaltjes van Het Kasteel. Veel deelnemers wilden niets van het programma missen, zodat velen met een kop koffie al een praatje maakten bij de stands, voordat het plenaire programma begon.

Beatriz Noheda, net als Stöhr werkzaam bij het Zernike Instituut in Groningen, opende de dag met een lezing over haar onderzoek naar het manipuleren van de eigenschappen van nieuwe fasen die optreden door spanningen bij de scheiding tussen verschillende domeinen in dunne films. In een 2 nm dikke film van TbMnO_3 op SrTiO_3 is er een zodanige mismatch tussen de roosters van de twee verbindingen dat er een enorme

interne spanning in het rooster optreedt. Daardoor gaan kleinere Mn atomen op domeingrenzen de plaats innemen van grotere Tb atomen. De spanning neemt af en de domeingrenzen krijgen zo een afwijkende chemische samenstelling, een nieuwe fase binnen de dunne film. Hierdoor verandert onder andere de geleiding van het materiaal. Met behulp van dunne-film-epitaxie kan de dichtheid van de domeingrenzen beïnvloed worden en kan het materiaal voor wel meer dan een kwart bestaan uit domeingrenzen. Daarmee komen futuristische nanodevices binnen bereik.

Christian Bobisch, natuurkundige van de universiteit van Duisburg-Essen, vertelde over het onderzoek naar soortelijke weerstand op de atomaire schaal. Verstrooiing van elektronen bij stapran-

den, domeingrenzen en defecten op een oppervlak heeft effect op de soortelijke weerstand op macroscopische schaal. Hij bestudeert dit fenomeen met drie of vier rastertunnelmicroscopen (STMs). Met twee STMs wordt een potentiaal over het oppervlak aangebracht en met andere STMs kan dan tegelijkertijd de topografie van en de elektrochemische potentiaal over een oppervlak in beeld gebracht worden met een resolutie in de orde van nanometers. De elektrochemische potentiaal blijkt stapsgewijs te veranderen met de hoogteverschillen in de dunne laag. Jaap Kautz, promovendus in de groep Quantum Matter & Optics van Sense Jan van der Molen (Universiteit Leiden), ontving uit handen van juryvoorzitter Hans van Eck de NEVAC-prijs 2015 voor zijn verhaal, geschreven met postdoc Johannes Jobst, over lage-energie-elektronenpotentiometrie op de nanoschaal. Het winnende artikel staat in dit nummer op pagina 6.

Rond de twintig leden bleven zitten voor de algemene ledenvergadering van de



Meike Stöhr.



Beatriz Noheda.

NEVAC, waarin Rob Klöpping meldde dat er veertig belangstellenden zijn voor de NEVAC-reis naar San José in oktober. Andere aanwezigen bezochten alvast de bedrijvenmarkt en de posterpresentaties van studenten. Maar liefst elf studenten uit het hele land presenteerden een poster en bleven tijdens de goed verzorgde lunch scherp om ieders aandacht te trekken voor hun werk, waardoor de doorgang regelmatig geblokkeerd werd door de geanimeerde discussies.

Alle technische en wetenschappelijke sessies waren dit jaar plenair georganiseerd. Mark Golden (Universiteit van Amsterdam) opende het middagprogramma. Hij bestudeert met zijn groep topologische isolatoren met behulp van hoekopgeloste foto-elektronspectroscopie (ARPES). Een ideale topologische isolator geleidt door de bulk geen elektronen, maar langs het oppervlak van de topologische isolator lopen dissipatievrije spinstromen: up en down tegelijkertijd in tegenovergestelde richting. $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ kristallen gedragen zich als een topologische isolator, maar in vacuüm blijkt dat de oppervlaktetoestanden niet behouden zijn, maar dissiperen, veroorzaakt door adsorptie op het oppervlak van restgas-atomen uit het vacuüm. Na belichting van het oppervlak met extreem ultraviolet licht waarmee een 500 micrometer grote letter P geschreven werd, bleek dat dit effect, tijdelijk verdween. Op het oppervlak bleef vijf uur lang een P zichtbaar.

Thomas Jung (Paul Scherrer Institute, Basel, Zwitserland) gebruikt ARPES



Christian Bobisch.



Hans van Eck (links) overhandigt de NEVAC-prijs 2015 aan Jaap Kautz.



Algemene ledenvergadering van de NEVAC.



Discussies bij de posters van studenten.

en röntgen-fotoabsorptiespectroscopie voor het bestuderen van elektronische en spintoestanden van in vacuüm geadsorbeerde zelfgeassembleerde moleculaire structuren op een metallisch oppervlak. Biomoleculen als porfirines kunnen op deze manier een soort spinschaakbordstructuur vormen en mogelijk gebruikt worden voor dynamische computergeheugens. De groep van Jung heeft de beschikking over een draagbare UHV rastersondemicroscop, zodat ze die kunnen gebruiken bij verschillende synchrotrons die – altijd beperkte – bundeltijd beschikbaar hebben.

Pieter Heidema (Pfeiffer Vacuum Benelux) vertelde over de ervaringen van zijn bedrijf, dat dit jaar 125 jaar bestaat, met lekdetectie van vacuüminstallaties en het tegengaan van verontreinigingen in vacuüm. De turbopomp, die voorkomt dat er olieverontreinigingen ontstaan, is in

1958 door Pfeiffer uitgevonden. Tegenwoordig werkt het bedrijf vaak voor de farmaceutische industrie, waar het voorkomen van verontreinigingen tijdens de productie van medicijnen van groot belang is. Pfeiffer trekt dit jaar door het land met vermakelijke vacuümproefjes, die Pieter Heidema ook had meegenomen voor de stand van Pfeiffer.

Dirk Pootjes (DeMaCo Vacuum Technology) vertelde over zijn afdeling die dubbelwandige isolerende vacuümbuizen produceert voor het transporteren van koud vloeibaar stikstof (N_2), argon, methaan, waterstof (H_2) of helium. De buizen worden zodanig gemaakt dat het vacuüm vijf tot tien jaar gegarandeerd is zonder onderhoud of afpompen.

Met de laatste presentatie door Bene Poelsema (Universiteit Twente) ging de focus opnieuw naar oppervlakken en dunne lagen. Met behulp van lage-

energie-elektronenmicroscopie (LEEM) onderzoekt Poelsema quantum-effecten van Fermi-elektronen op de lengte van nanodraden van bijvoorbeeld goud op germanium en het aantal atoomlagen van dunne films. Zo bleek dat lood dat op een koper(111) oppervlak gedeponeerd wordt bij voorkeur eerst een oneven aantal atoomlagen vormt door een gunstige verhouding van de afstand tussen de lagen en hun Fermi-golflengte.

Nog een student uit de groep van Sense Jan van der Molen (Universiteit Leiden) mocht een prijs in ontvangst nemen: de jury vond de poster van Daniël Geelen de beste. Met al die winnaars uit Leiden belooft de NEVAC-dag in 2016, die in die stad georganiseerd wordt, tenminste net zo aantrekkelijk te worden als deze waardevolle dag in Groningen.



Mark Golden.



Thomas Jung.



Interesse voor nieuwe techniek.



Dirk Pootjes.



Bene Poelsema.



Pieter Heidema.





Instruments for Advanced Science

Quadrupoles for UHV Science

The 3F/PIC Series of triple filter mass spectrometers for precision analysis in UHV Science Applications.

- ▶ PIC for fast event UHV gas studies
- ▶ EPIC for radicals analysis and time resolved measurements
- ▶ IDP for electron/photon/laser stimulated desorption studies and mass analysis of low energy ions



New Affordable Compact SIMS Instrument

for depth profile & interface analysis.

- ▶ Small footprint
- ▶ Positive SIMS and SNMS
- ▶ Depth Profiling
- ▶ 3D characterisation and imaging
- ▶ Isotopic analysis
- ▶ Analysis on the nanometre scale



Residual Gas Analysis & Vacuum Diagnostics

The fast and precise RC-RGA Series with multimode program function for:

- ▶ Residual Gas Analysis
- ▶ Leak Detection
- ▶ Vacuum Diagnostics
- ▶ MBE
- ▶ Vacuum Fingerprinting
- ▶ Ion Implantation
- ▶ Vacuum Heat Treatment
- ▶ Bake-out Studies



www.benelux-process.com



Nieuws van de buitenland-excursiecommissie over de reis naar San José en Silicon Valley in de VS (Westkust)

17-24 oktober 2015

De echte voorbereidingen voor de reis naar de VS gaan de komende maanden concreet van start. De begroting wordt binnenkort door het NEVAC-bestuur besproken en dan zullen we alles in gang zetten.

Het programma is al voor een groot deel vastgelegd. Naast de gezellige activiteiten zoals op zondag als we onze jetlag hebben verslapen, een tour door San Francisco. Later in de week op donderdag of vrijdag het door de NEVAC aangeboden gezamenlijk diner en de welkomstborrel 's zaterdags na inchecken in het hotel. Dan zijn er natuurlijk de echte werkbezoeken. We gaan vanzelfsprekend minstens een volle dag naar de industriebeurs van de AVS. Verder een dag naar het Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) van de Universiteit van Stanford. Dan een dag naar Berkeley voor het ALS-lab van het Lawrence Berkeley National Laboratory (LBL) om te helpen bij hun plannen voor een nieuw te bouwen Light Source, ze hebben nog wat onopgeloste vacuümproblemen. Tenslotte zijn er nog twee dagen over om enkele bedrijven te

bezoeken en dat gaan we nu ook spoedig afspreken. Kortom een vol programma voor wakkere, uitgeruste NEVAC-ers. Zodra de begroting is goedgekeurd kunnen we de kosten per deelnemer bepalen. Er moet rekening worden gehouden met hogere kosten dan we van de Singapore-, China- en Korea-excursies gewend zijn. Vooral de vluchten zijn duur in verband met belastingen, maar ook verblijf en vervoer per bus zijn aanzienlijke kostenposten. Vanzelfsprekend kan iedereen die zich al heeft opgegeven – we zijn met ruim 40 deelnemers – zich nog bedenken zodra de eigen bijdrage bekend is. We streven ernaar om nog vóór de zomer alle aangemelde deelnemers een mail te sturen met de details over onze reis. Tot die tijd staat de inschrijving via de NEVAC-website nog open voor nieuwe gegadigden.

Over een eventuele tweede week hebben we nog niet in detail nagedacht. We overwegen om die week aan iedereen zelf over te laten. De VS is een modern land en ieder van ons spreekt de taal. De toeristische attracties zijn genoegzaam bekend. Dat is heel anders dan vorige keren in Singapore, China en Korea. Het zal niet meevallen om echt verrassende excursies te vinden. Bovendien zijn we wel geconfronteerd met vrij hoge kosten van overnachtingen en busreizen voor grote groepen. Daardoor zal zo'n tweede week mogelijk weinig animo vinden. Op eigen houtje de West Coast verkennen heeft ook zo zijn charmes.

We kijken uit naar een leerzame buitenlandse reis met een mooie gemêleerde groep interessante vacuümmeesters.

Vast een prettige zomer gewenst door de buitenland-excursiecommissie.

**Rob Klöpping,
Martin Smit,
Norbert Koster
Erwin Kessels**

High Vacuum High Performance

©BICOM 131 \$5.02 1.05.2015

Vacuum Solutions for Laboratory and Industrial Use

Applications from analytics and physics laboratories require reliable vacuum components with outstanding product features. Oerlikon Leybold Vacuum components and system solutions have shown their benefits in major research centers worldwide.

We are able to design a complete vacuum system perfectly matching your individual application. Within just a few minutes - thanks to our smart state-of-the-art simulation software. Absolutely precise and highly flexible.

It has never been easier and faster to design a new vacuum system!

www.oerlikon.com/leyboldvacuum/turbovac



Oerlikon
Leybold Vacuum Nederland BV
Floridadreef 102
NL-3565 AM Utrecht

T +31 (30) 242 63 30
F +31 (30) 242 63 31
sales.vacuum.ut@oerlikon.com

Choice of components
for your new vacuum system:



SCROLLVAC
Scroll pumps



**Gauges,
Instruments**



TURBOVAC i/iX
Turbomolecular
pumps

oerlikon
leybold vacuum



Breng 101 onderzoekers, promovendi en specialisten uit de industrie met praktische kennis van atoomlaagdepositie (ALD) bij elkaar en stimuleer de discussie over de belangrijkste vragen waar iedereen mee worstelt. Dan gaan deze specialisten met nog meer vragen naar huis en hebben ze inspiratie opgedaan voor het schrijven van nieuwe onderzoeksvorstellen en weten ze wie er in staat is om in samenwerking antwoorden te vinden voor het verleggen van de huidige ALD-grenzen. Dat is in het kort het idee achter de workshop Nanomanufacturing: ALD FUNdamentals, die op 8 en 9 juni georganiseerd werd door de groep van Erwin Kessels aan de Technische Universiteit Eindhoven.

Claud Biemans

Kessels is samen met Stephen Potts (Queen Mary University, VK) werkgroepvoorzitter van een onderdeel van de COST Actie Hooking together European research in atomic layer deposition (HERALD [1]). De workshop werd ondersteund door de NEVAC en was onderdeel van de onderzoeksprogramma's gefinancierd door COST en STW.

Er kwamen vijf onderwerpen aan bod: ALD bij lage temperaturen, de mogelijkheden van plasma's voor ALD van nitriden, ALD van metalen, ALD van oxiden en sulfiden van meerdere metallische elementen, en de verschillen tussen *temporal* ALD, waarbij de afzonderlijke stappen elkaar opvolgen in de tijd, versus *spatial* ALD, waarbij de deelprocessen van elkaar gescheiden zijn in de ruimte. De laatste methode wordt toegepast voor het opschalen van ALD.

De opzet was als volgt. Ieder onderwerp werd ingeleid door een spreker die de actuele stand van kennis belichtte, gevolgd door iemand met een praktisch voorbeeld uit de recente wetenschapspraktijk. Voorafgaande aan de workshop was aan de overige deelnemers gevraagd of ze een korte presentatie wilden geven over problemen die verband hebben met de vijf onderwerpen, waar ze zelf in hun werk tegenaan lopen. Omdat alle aanwezigen tijdens de presentaties ook meteen vragen konden stellen, ontstond er in korte tijd een beeld van de hot topics van ieder ALD-onderwerp.

Lage temperaturen

Een derde van de deelnemers was afkomstig van bedrijven die werken met ALD of daar interesse in hebben. Het eerste onderwerp, ALD bij lage temperaturen,

was voor hen zeer van belang. ALD is een precisietechniek voor het deponeren van zeer dunne lagen zonder verontreinigen, waarbij de dikte van de laag overal hetzelfde is, ook bij niet vlakke dragermaterialen. Voor veel industriële toepassingen op grote schaal is het gewenst dat het proces plaatsvindt bij temperaturen onder de 150 °C en dan ook nog het liefst bij atmosferische druk. De reactiviteit van de dampen die nu in de universitaire laboratoria gebruikt worden kan bij lagere temperaturen flink afnemen en dan groeit de laag veel minder snel dan gewenst, of helemaal niet meer. De dampen kunnen ook condenseren, waardoor brokjes vaste stof op het oppervlak belanden en de laag poreus kan worden. Ook is het bij lagere temperaturen lastiger om dampen als water weer uit de reactor te verwijderen en kunnen stukken



FOTO CLAUD BIEMANS

Vincent Vandalon bij de opstelling voor somfrequentiemetingen, die kunnen uitwijzen hoeveel van welke chemische groepen op een oppervlak aanwezig zijn. Geen koud kunstje om dat voor elkaar te krijgen.

van liganden en co-reagentia in de laag achterblijven.

Er werden tijdens de workshop ideeën gevraagd en geopperd voor het gebruik van andere co-reagentia. En er kwam genoeg stof bovendien om met verenigde krachten te werken aan meer kennis over de chemische reacties en oppervlaktestructuren die een rol spelen bij ALD. Er wordt al veel onderzoek op dit gebied gedaan, maar een van de gesignaleerde problemen is dat er in de literatuur heel uiteenlopende doseringen van precursoren en co-reagentia worden gerapporteerd voor dezelfde deelreacties van een ALD-proces. Daarom is het noodzakelijk veel uitgebreider te rapporteren over hoe een experiment tot stand is gekomen. De hele inrichting van een experiment kan invloed hebben op de effectieve dosering van de dampen. Ook tijdens de sessie

over ALD van metalen kwam naar voren dat de reactorwand een behoorlijke invloed kan hebben op de kwaliteit van de dunne laag. De kunst is te achterhalen wat de relevante parameters zijn die bepalen wat de invloed is van de opstelling.

Plasma's

ALD met behulp van plasma's kan wellicht uitkomst bieden voor het werken bij lagere temperaturen. Het juiste plasma zorgt voor de verlaging van de energiebarrières van deelreacties, waardoor die bij lagere temperaturen kunnen plaatsvinden en de groeisnelheid van de gedeponeerde lagen niet afneemt. Een plasma bestaat uit gasdeeltjes maar ook uit radicalen, ionen en elektronen. De radicalen in een plasma zijn het belangrijkste voor de ALD-chemie, maar ionen kunnen een grote invloed hebben. Plasma-ALD

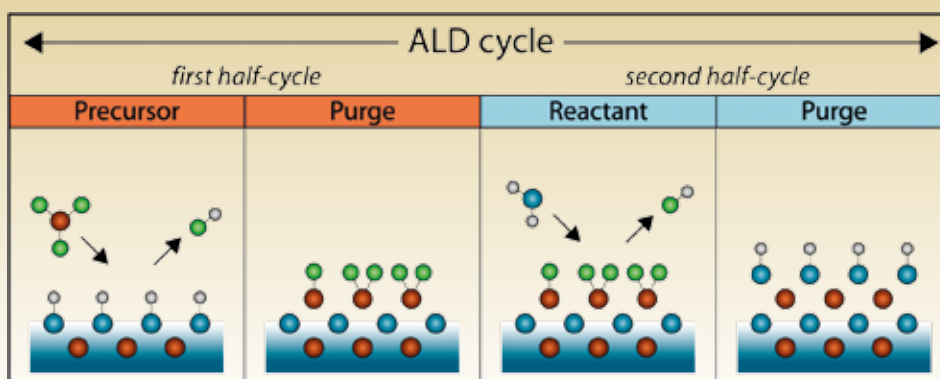
wordt in laboratoria veel toegepast voor het deponeren van nitriden, omdat het zonder gebruik te maken van plasma's extreem moeilijk is om goede laagjes van nitriden te groeien. Maar het is vaak onbekend wat zich er precies afspeelt aan het oppervlak en wat de reactiemechanismen zijn. Er kunnen bij lagere temperaturen ook makkelijker verontreinigingen achterblijven in de gedeponeerde laag, daarom wordt er onderzoek gedaan aan ALD bestaande uit een precursorstap, gevolgd door meerdere stappen met co-reagentia om verontreinigingen te verwijderen.

De eerste dag werd afgesloten met rondleidingen door de verschillende laboratoria van de Plasma & Materials Processing-groep in Eindhoven. Vincent Vandalon liet zijn opstelling zien waarmee hij somfrequentiemetingen doet die kunnen

Atoomlaagdepositie (ALD)

ALD werkt als volgt. Je begint met een oppervlak, waaraan alleen reactieve groepen zitten, in dit voorbeeld nemen we OH. Dan laat je gasvormige moleculen binnen (*precursor*), vaak bestaand uit een metaalatom (hier Al) omringd door andere chemische groepen. We nemen hier CH_3 maar het kunnen ook grotere groepen (liganden) zijn. De precursor bindt zich aan het oppervlak door een reactie waarbij een van de CH_3 groepen van de precursor reageert met de OH oppervlaktegroep. Het reactieproduct, CH_4 , wordt afgevoerd samen met het restant aan precursormoleculen die niet gereageerd hebben. Dit

gebeurt met behulp van een inert gas als argon (de zuiveringsstap). Tijdens de volgende stap wordt een *co-reagent* toegevoerd (in dit geval H_2O), dat reageert met de overgebleven CH_3 groepen op het oppervlak. De CH_3 groepen worden vervangen door opnieuw reactieve OH groepen, wederom onder vorming van CH_4 . Er is nu een laag Al_2O_3 gedeponerd en desgewenst kan het proces opnieuw uitgevoerd worden totdat de gewenste laagdikte bereikt is. Dit is wat er gebeurt bij een temperatuur boven $150\text{ }^\circ\text{C}$. Bij lagere temperaturen ontstaan er ook andere aluminiumverbindingen, zoals $\text{Al}(\text{OH})_3$.



Een ALD-cyclus in beeld.

uitwijzen hoeveel van welke chemische groepen op een oppervlak aanwezig zijn. Dat is handig om het verloop een ALD-proces precies te kunnen volgen. Bij de opstelling werd duidelijk dat er maanden werk zit achter één enkel grafiekje dat Vincent deze middag liet zien. Het is geen koud kunstje om de meetopstelling met de ultrasnelle laser zo in te richten en uit te lijnen dat het meetsignaal in beeld komt. Meerdere promovendi die bij de workshop aanwezig waren gaven te kennen dat ze veel meer uitwisseling van dit soort praktische kennis zouden willen. Het voor elkaar krijgen van je metingen is geen onderwerp waar je in een publicatie over uitweidt. Velen maakten gebruik van de gelegenheid om het daar tijdens de workshop wel over te hebben.

ALD van metalen en verschillende oxiden

Het deponeren van metalen met behulp van ALD kent zo zijn eigen problemen:

er ontstaat meestal geen uniforme dunne film, maar eerst hoopt het metaal zich op in eilanden, die na verloop van tijd tegen elkaar aangroeien. Daardoor ontstaat een film van clusters van allerlei afmetingen. Experimenten met een driestapsproces voor platina: platina-precursor - O_2 plasma - H_2 plasma, levert een veel kleinere spreiding in de afmetingen van de clusters. Door verontreinigingen van CO op het oppervlak (het is nog de vraag waar die koolstof vandaan komt), kan het groeiproces tot stilstand komen. Dit kan weer opgelost worden door een vierde stap in het proces toe te voegen: opnieuw O_2 toevoegen levert een geheel schoon platina oppervlak. Ook dit onderwerp bracht weer een levendige gedachtenuitwisseling op gang, onder andere over de invloed van het beginmateriaal waar het metaal op gedeponerd wordt tot en met het al dan niet werken in ultrahogvacuüm.

Voor het maken van gedoteerde oxiden

met behulp van ALD staat de kennis over de fundamenteën nog behoorlijk in de kinderschoenen. Het maken van dit soort materialen, bijvoorbeeld voor toepassing als transparante (half)geleider, gaat vaak nog op de manier van trial and error. De groeisnelheid van het materiaal kan na het bijmengen van het doteergas opeens hoger zijn dan verwacht, maar het kan ook gebeuren dat de laagdikte na een aantal cycli minder wordt. Zijn verontreinigingen wellicht bruikbaar als doting, zoals H verontreinigingen in een ZnO laag, die de soortelijke weerstand kunnen beïnvloeden?

Diffusiesnelheid

Het laatste onderwerp van de workshop was *spatial* ALD. Aan de opschaling daarvan wordt op dit moment hard gewerkt, bijvoorbeeld door TNO en door de Nederlandse bedrijven SolayTec en Levitech. In het universitaire lab vinden alle ALD-stappen na elkaar plaats, maar



FOTO HENNIE KEERIS (FOTOBURO BRABANT)

De zaal denkt actief mee over de mogelijkheden van het gelijktijdig toedienen van een mix van reagentia bij *spatial* ALD, naar aanleiding van de presentatie door Fred Roozeboom (TUE, links).

als het proces veel sneller moet gaan, kunnen de verschillende stappen beter ruimtelijk van elkaar gescheiden worden. Dat brengt met zich mee dat de snelheid voornamelijk bepaald wordt door de diffusiesnelheid van gassen in de buurt van het oppervlak. Daarom moet de partiele druk van de verschillende gassen behoorlijk worden opgevoerd. Daardoor is de verdampingseenheid van de machine van TNO een van de duurste onderdelen van de experimentele opstelling. Driedimensionale structuren op het oppervlak hebben nu waarschijnlijk wel invloed op het ALD-proces, omdat de diffusie naar lager gelegen delen meer tijd kost. Een ultrasnelle ALD-machine die zinkoxide lagen deponereert voor de productie van zonnecellen maakt lagen die een hogere soortelijke weerstand hebben dan lagen gemaakt met normale ALD. Een oorzaak kan zijn dat er door de snelheid van de depositie niet genoeg tijd is voor de zuurstofatomen om los te komen van het

oppervlak. Bij normale ALD is daarvoor wel relatief veel tijd. Een aantal tips uit de zaal was om naar de OH groepen die in de laag terechtkomen te kijken, of naar de kristalgrootte in de laag. Wellicht kan die groter gemaakt worden, waardoor de weerstand omlaag gaat. Iemand anders suggereerde de machine iets langzamer te laten lopen, maar dat is natuurlijk het laatste wat een producent zou willen...

Zo eindigde de workshop na twee dagen met veel tips, maar nog veel meer nieuwe vragen. En met enthousiaste deelnemers, die genoten van elkaars actieve bijdragen.

Referentie

1 <https://www.tyndall.ie/herald>

Oproep aan bedrijfsleden

Het NEVAC blad heeft drie nieuwe rubrieken:

- Vacuümtechniek
- Nieuw product
- Viewport

Uw bijdrage voor deze rubrieken kunt u sturen naar:

redactie@nevac.nl

De joint venture van Scienta en Omicron tot Scienta Omicron



Een multitechniek UHV-systeem met dunne-filmdepositie en diverse analyseinstrumenten voor quantum-informatiematerialen.

Scienta

In de jaren vijftig en zestig van de twintigste eeuw verrichtte Kai Siegbahn experimenten aan elektronen die vrijkomen wanneer een materiaal aan röntgenstralen wordt blootgesteld. Bij een vaste energie van de röntgenstraling was de energie van de uittredende elektronen kenmerkend voor de atomaire samenstelling van het materiaal. In 1981 ontving Kai Siegbahn de Nobelprijs voor de natuurkunde voor deze nieuwe methode, electronenspectroscopie voor chemische analyse (ESCA). Een aantal wetenschappers uit de groep van Siegbahn legde zich volledig toe op het bouwen en verder perfectioneren van elektronenanalysatoren. Deze verdere ontwikkeling legde de basis voor de start van Scienta in 1983. Sindsdien heeft Scienta diverse malen de methode technologisch weten te verbeteren, waardoor nieuwe electronenspectroscopische experimenten mogelijk werden die leidden tot nieuwe wetenschappelijke inzichten.

Omicron

Tot 1984 konden diffractiepatronen gemaakt met lage-energie-elektronendiffractie (LEED) alleen bestudeerd worden door te kijken op een scherm dat alleen te zien was door een viewport langs de sample-manipulator. Deze sample-manipulator nam veel zicht op het patroon weg. De uitvinding door Omicron van een *rearview* LEED werd daarom goed ontvangen in de

scientaomicron

wereld van oppervlaktechemie en -fysica. Binnen een periode van tien jaar waren alle *frontview* LEED-instrumenten vervangen door *rearview* LEED-instrumenten. Door dit succes kreeg Omicron de mogelijkheid een UHV STM te ontwikkelen kort na de ontdekking van STM. Niet zo lang geleden ontwikkelde Omicron als eerste fabrikant een compleet UHV-multikamer-systeem met analyses, MBE, ALD en UHV-sputtertechnieken, gebouwd voor quantum-informatiematerialen. Als ontwikkelaar van de eerste *rearview* LEED, de eerste commercieel verkrijgbare STM en complexe UHV-systemen is Omicron definitief een gevestigde ontwikkelaar, bouwer en leverancier voor UHV-instrumentatie.

Scienta Omicron

Op woensdagavond 27 mei dit jaar zijn Scienta en Omicron samengesmolten tot Scienta Omicron. Beide ondernemingen hebben hun wortels in het ontwikkelen van baanbrekende instrumentatie in UHV. De krachtenbundeling van electronenspectroscopie, rastertunnelmicroscopie en UHV-systeembouw leidt tot een grote en innovatieve speler op het gebied van UHV-instrumentatie.

www.scientaomicron.com

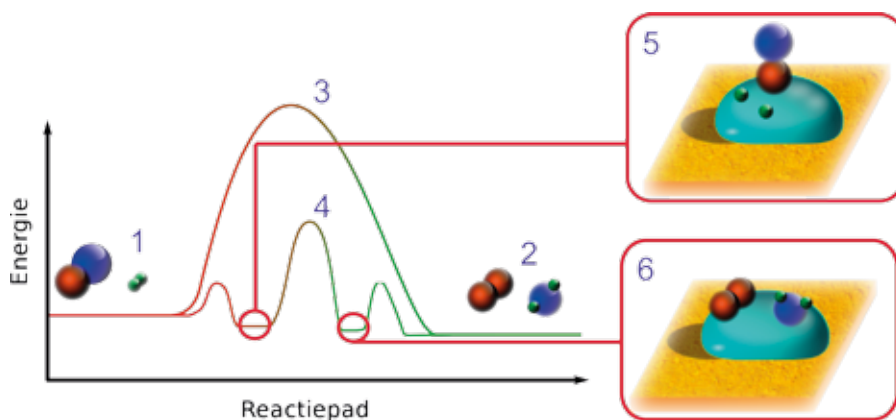
De actieve fase van een katalysator bestudeerd met de perfecte combinatie van experimenten onder hoge druk en vacuümtechnologie

Katalyse is één van de belangrijkste technologische en wetenschappelijke toepassingen waarop de huidige samenleving is gebaseerd. De wereldbevolking wordt namelijk gevoed met behulp van kunstmest waarvoor de ammoniak wordt gemaakt door stikstofgas en waterstofgas in contact met een katalysator onder hoge druk te verhitten. De productie van kunststoffen is een ander belangrijk voorbeeld van katalyse. Daarnaast is katalyse van fundamenteel belang voor de productie van schone brandstoffen en voor de emissieregulering van schadelijke uitlaatgassen.

In dit artikel wordt beschreven wat katalyse is en hoe bepaald wordt wat de actieve fase van een katalysator is. We beargumenteren dat het voor het verkrijgen van gedetailleerd inzicht in de werkingsmechanismen noodzakelijk is om experimenten uit te voeren onder katalytische omstandigheden. Hiermee worden de omstandigheden bedoeld waaronder de scheikunde daadwerkelijk plaatsvindt, met name hoge druk en temperatuur. Het hier beschreven werk focust zich op de actieve fase van een platina modelkatalysator in een zuurstofrijke omgeving. Dit is bestudeerd met de ReactorSTM, de ideale combinatie van experimenten onder hoge druk en vacuümtechnologie.

Matthijs A. van Spronsen, Joost W.M Frenken, en Irene M.N. Groot

*Huygens-Kamerlingh Onnes Laboratory, Leiden University P.O. Box 9504, 2300 RA Leiden
spronsen@physics.leidenuniv.nl*



Figuur 1 Schematische weergave van de werking van een katalysator. Twee uitgangsmoleculen (1) kunnen reageren en twee producten (2) vormen. Deze reactie zal een bepaalde energiebarrière hebben (3), die de snelheid van de reactie bepaalt. De katalysator verlaagt de reactiebarrière door een alternatieve route aan te bieden (4). Tussentoeastanden (5 en 6) van de reactie laten zien dat de moleculen gebonden zijn aan de katalysator, een metaaldeeltje (lichtblauw) op een oxidedragers (geel).

In bijna alle gevallen moeten moleculen een energetische barrière overwinnen voordat ze kunnen reageren en een product vormen, bijvoorbeeld wanneer het giftige CO met O₂ het onschadelijke CO₂ vormt. Deze energiebarrière ontstaat omdat de moleculen tijdens de reactie ongunstige overgangstoestanden moeten innemen, zoals gebeurt bij de splitsing van O₂ in losse O atomen die daarna pas met CO kunnen reageren tot CO₂.

Een katalysator stabiliseert deze ongunstige overgangstoestanden en verlaagt daardoor de reactiebarrières. Hiermee wordt de reactiviteit enorm veel groter. Dit proces is schematisch weergegeven in figuur 1.

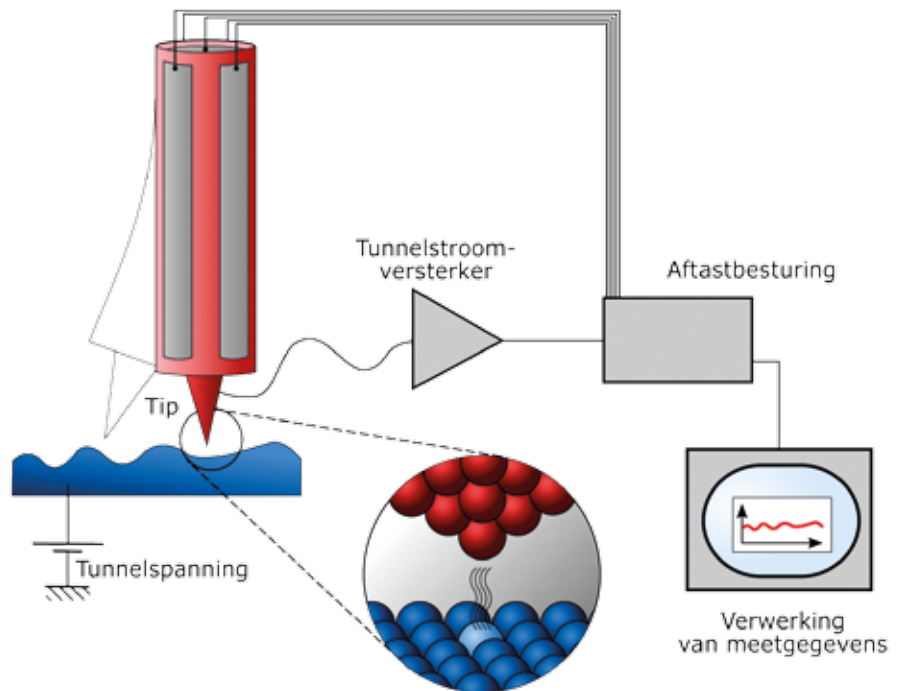
Om dit proces goed te kunnen begrijpen is het van belang dat we weten wat de actieve fase is van de katalysator. In het geval van heterogene katalyse, waarbij katalysator en reactanten zich in verschillende toestandsfasen bevinden, bestaat de katalysator meestal uit een vaste stof en de reactanten uit gasmoleculen. Alle actie vindt dan plaats op het grensvlak tussen vaste stof en gas.

Thermodynamica – de reden achter het experiment onder hoge druk

De thermodynamica is de tak van wetenschap die onder andere voorschrijft welke structuur een katalysator aanneemt en hoe het grensvlak eruitziet. Deze theorie voorspelt dat de structuur met de laagst mogelijke vrije energie altijd wordt opgezocht. Hoe hoger de druk van de gasfase is, hoe 'oncomfortabel' de moleculen zich hierin voelen. Een aantal van die deeltjes zal adsorberen op het oppervlak van de katalysator. Als de concentratie hiervan voldoende hoog wordt, dan is het mogelijk dat er een nieuwe structuur bestaat die een lagere vrije energie heeft. Een voorbeeld hiervan is de oxidatie van metalen. De structuur van het oxide staat toe dat er meer zuurstofatomen opgeslagen kunnen worden dan op het oppervlak van het pure metaal.

Nu is het mogelijk de thermodynamica dusdanig te beïnvloeden dat onder vacuüm dezelfde structuren zouden moeten ontstaan als onder hoge druk. Dit kan redelijk eenvoudig worden gedaan door de temperatuur van het systeem flink te verlagen. Het afkoelen zorgt er namelijk voor dat de bijdrage van de entropie aan de vrije energie verlaagd wordt. Ook dit zorgt ervoor dat gasmoleculen opgedrongen worden aan het oppervlak. Op deze manier is het mogelijk zinnige experimenten uit te voeren met meettechnieken die vacuüm vereisen.

Het afkoelen van het systeem kent echter een groot nadeel. Om sommige structuren te vormen is het nodig dat metaalatomen van de katalysator significant van positie veranderen. Dit is typisch het ge-



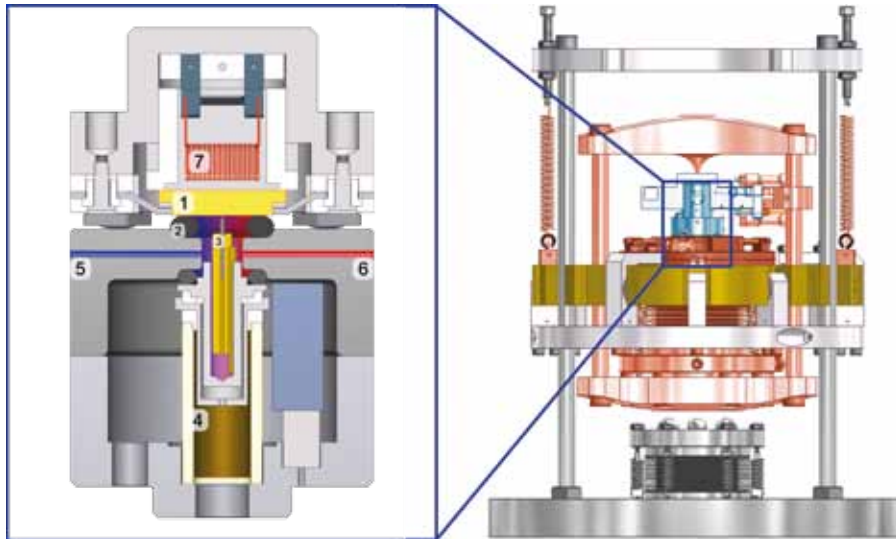
Figuur 2 Werkingsprincipe van STM. Door de spanning tussen de atomair scherpe tip en het oppervlak loopt er een stroom, die sterk afhankelijk is van de afstand. De tip kan over het oppervlak bewegen door een piezo-elektrisch buisje, waaraan de tip vastzit. Tijdens de beweging varieert de gemeten stroom door het reliëf van het oppervlak. Deze stroom kan constant worden gehouden door de hoogte van de tip te aan te passen. De benodigde hoogteverandering van de tip bevat de atomaire structuur van het oppervlak [1].

val bij structuren die zich pas onder hoge druk willen vormen, zoals metaaloxides. De energiebarrière is daarbij erg hoog en om dit voor elkaar te krijgen is er veel mobiliteit nodig. Deze mobiliteit is niet aanwezig bij sterk gekoelde systemen en de meest stabiele structuur zal niet gevormd worden binnen realistische tijdschalen. Dus ook al schrijft de thermodynamica een bepaalde structuur voor, is dat nog geen garantie dat dit de structuur is die bij lage temperatuur onder vacuümcondities wordt waargenomen. Experimenten onder hoge druk én hoge temperatuur zijn daarom absoluut noodzakelijk. Onze ReactorSTM is speciaal voor dergelijke condities ontwikkeld.

Modelkatalysatoren

Katalysatoren die gebruikt worden binnen industriële toepassingen zijn uiterst complexe systemen. Ze bestaan vaak uit metalen deeltjes van enkele tot enkele honderden nanometers groot. Omdat alleen het oppervlak van deze deeltjes

actief is, is het van belang dat ze klein blijven en niet samenklonteren tot grotere agglomeraten. Om dit te voorkomen worden de nanodeeltjes geplaatst op een drager gemaakt van oxide, zoals SiO_2 of Al_2O_3 . De structuur van deze oxidedragers is op haar beurt weer ingewikkeld en bestaat uit een samengeperst poeder waarin allerlei poriën en kanalen zitten om het oppervlak te vergroten, opdat de drager meer nanodeeltjes kan herbergen. De complexiteit maakt het nagenoeg onmogelijk de katalysator volledig te karakteriseren en een experiment op te zetten waarbij het effect van één eigenschap onderzocht wordt. Toch blijft het doel van het onderzoek om belangrijke aspecten zoals reactiviteit en selectiviteit te begrijpen en te koppelen aan bepaalde structuren van de katalysator. Op deze manier wordt het mogelijk nieuwe en verbeterde katalysatoren te ontwerpen. Dus om de katalysator te doorgronden, wordt deze eerst vereenvoudigd tot het meest eenvoudige modelstelsel dat nog steeds



Figuur 3 Schematische weergave van de ReactorSTM. De linker figuur laat de details rondom de reactor zien: het oppervlak (1) wordt tegen een polymeren ring (2) gedrukt. De tip zit vast aan een houder (3) die door de piëzo-elektrische buis (4) bewogen wordt. De gassen stromen van de gasinlaat (5) langs het oppervlak naar de gasuitlaat (6). Het oppervlak kan verhit worden door een filament (7). De rechter figuur laat zien hoe de reactor in de STM zit [2].

als katalysator functioneert. Een eerste stap kan zijn de nanodeeltjes van één enkel formaat te deponeren op een volledig vlak gepolijst oxide. Dit is een grote stap terug in complexiteit maar laat nog veel overeenkomsten bestaan met industriële katalysatoren. We kunnen echter nog een stap verder gaan en negeren dat het metaal uit kleine deeltjes bestaat. In dat geval nemen we een vlak oppervlak van een perfect kristallijn metaal, zoals platina. De afmetingen van zo'n kristal zijn tussen de millimeter en centimeter. Om deze modelkatalysator reproduceerbaar en perfect schoon te krijgen is het nodig het oppervlak voor elk experiment met een aantal vacuümtechnieken grondig te reinigen. Als eerste worden met argonionen de bovenste lagen van het kristal inclusief verontreinigingen weggebombardeerd, waarna de kristalliniteit van het oppervlak wordt hersteld door het naar hoge temperaturen te verhitten. Deze procedure wordt meerdere malen herhaald om een schoon en vlak oppervlak te krijgen.

De ReactorSTM: metingen onder hoge druk en hoge temperatuur

De meettechniek die voor ons onderzoek is gebruikt, heet rastertunnelmicroscopie

(*Scanning Tunneling Microscopy*, STM). Dit is een methode om de structuur van een oppervlak op atomaire schaal te bepalen. Deze microscoop wijkt af van de standaardmicroscoop waarbij licht gebruikt wordt. Deze 'blinde' microscoop tast een oppervlak als het ware af door vlak erboven heen en weer te gaan met een scherpe naald, de zogenaamde tip. Wanneer er tussen tip en het oppervlak een spanning gezet wordt, dan kunnen elektronen tussen tip en oppervlak overspringen. Hiervoor moet de tip zich dicht bij het oppervlak bevinden, maar ze hoeven elkaar niet echt te raken. De grootte van de gemeten stroom is sterk afhankelijk van de afstand tussen tip en oppervlak. Bij de scanbeweging van de tip over het oppervlak varieert deze stroom overeenkomstig met de structuur van het oppervlak. Dit principe is geïllustreerd in figuur 2.

STM is één van de weinige technieken die vrijwel evengoed onder ultrahogvacuüm (UHV) werkt als onder hoge druk. Een verhoogde gasdruk kan atomen op het oppervlak mobieler maken en wellicht zal het gas ook met de tip reageren. Hoewel STM bij hoge druk en hoge temperatuur daardoor soms moeilijk is, blijft

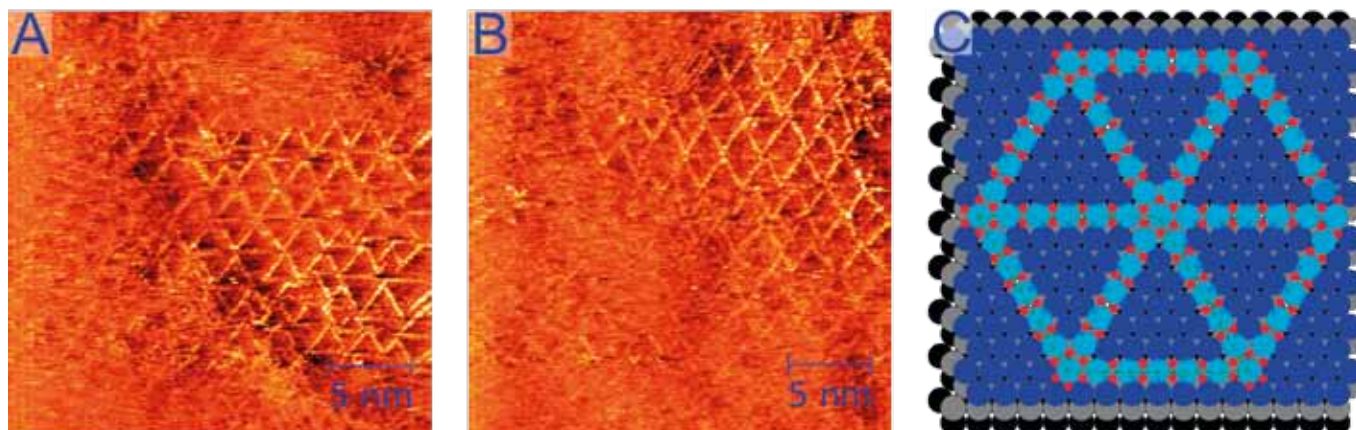
het meestal mogelijk atomaire resolutie te halen.

De gebruikte STM-opstelling is een speciale uitvoering waarbij een kleine hogedrukreactor is geïntegreerd in het hart van de microscoop (figuur 3) [2]. Deze 'ReactorSTM' is geplaatst in een UHV-systeem, waarin allerlei standaard vacuümtechnieken geplaatst zijn voor het schoonmaken van het preparaat, het opdampen van deeltjes, en voor de karakterisering van het oppervlak met elektrodiffractie en -spectroscopie.

Met een speciale gaskast kan er een mengsel gemaakt worden met instelbare verhoudingen en een druk van ongeveer 1 mbar tot aan 6 bar. Nadat dit gasmengsel onze modelkatalysator gepasseerd is, stroomt het naar een aparte UHV-kamer waar een deel van de gasstroom naar binnen lekt. In deze kamer wordt met behulp van een quadrupool-massaspectrometer de gassamenstelling bepaald. Op deze manier kan een verandering in reactiviteit direct worden gecorreleerd aan een structuurverandering.

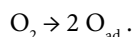
Ultradunne oxidelaag op Pt(111)

Platina is één van de meest gebruikte metalen in katalysatoren voor oxidatiereacties. Deze katalysatoren worden dus aan hoge O_2 drukken blootgesteld. Traditioneel werd gedacht dat edelmetalen zoals platina geen oxide vormen en metallisch blijven onder deze omstandigheden. Recent werk, onder andere uit onze onderzoeksgroep [3, 4], laat echter zien dat platina en palladium toch structuren vormen die sterk lijken op oxides. Deze ontdekking motiveerde ons de oxidatie van platina nader te bestuderen met de ReactorSTM. Als modelkatalysator is gekozen voor Pt(111). Dit is het platinaoppervlak waarbij de platina-atomen zo dicht mogelijk op elkaar zitten. Daarom is dit het meest stabiele oppervlak en hebben veel facetten van nanodeeltjes een (111) oriëntatie. Pt(111) is dus een uiterst representatieve modelkatalysator. Onder vacuümcondities is het niet mogelijk Pt(111) te oxideren met O_2 . Hoe-



Figuur 4 Twee STM-afbeeldingen (A en B) van het oppervlakte-oxide op Pt(111) onder 1,0 bar O₂ en 0,2 bar Ar bij 527 K, 25 nm x 25 nm. (C) laat een model zien van de vermoedelijke structuur (O-atomen in rood en overige atomen zijn Pt-atomen).

wel de thermodynamica voorspelt dat het mogelijk moet zijn om al bij lage O₂-druk platina om te zetten in α-PtO₂, gebeurt dit niet. De eerste stap in het oxidatieproces is de dissociatieve adsorptie van O₂ tot atomaire zuurstof:



De snelheid waarmee deze reactie verloopt, neemt af naar nul naarmate het oppervlak meer zuurstofatomen bevat; de adsorptie komt tot stilstand lang voordat een oxide kan ontstaan. Een 'woud' aan verschillende oxides, waaronder α-PtO₂, kan wel gevormd worden indien sterker oxiderende gassen worden gebruikt, als NO₂, O₃ en bundels van atomaire zuurstof [5, 6, 7]. Deze waarnemingen beantwoorden helaas niet de vraag wat de relevante fase is onder chemische reactiecondities. Om deze vraag te beantwoorden blijft het nodig metingen onder reactiecondities uit te voeren.

Wij hebben het volgende experiment uitgevoerd: een Pt(111)-kristal werd schoongemaakt volgens de gebruikelijke methodes en geplaatst in de reactor. Het reactorvolume werd gevuld met argon tot 1,2 bar en het kristal werd verhit tot 527 K. Terwijl wij het oppervlak voortdurend afbeeldden met de ReactorSTM, veranderden we de gassenstelling naar een 5:1 mengsel van O₂ en Ar. De resultaten zijn weergegeven in figuur 4a en 4b. We zien hoe een structuur ontstaat

van driehoekjes met zijden van ongeveer 2,3 nm. De details laten zien dat de zijden bestaan uit rijen van 7 tot 8 platina-atomen. De afstanden tussen deze platina-atomen zijn enigszins groter dan die in het onderliggende Pt(111)-rooster, terwijl de structuur in de richting loodrecht op de rijen wel precies op het rooster past. Het is vooral de aansluiting met het onderliggende substraat waarin deze structuur fundamenteel afwijkt van α-PtO₂. Figuur 4c laat een atomaire model zien van de structuur die wij uit onze STM-waarnemingen aflezen, die bestaat uit een spakenwiel-superstructuur opgebouwd uit driehoeken. Elke zijde van een driehoek kan beschouwd worden als ééndimensionale oxide-rij. Onder realistische, katalytische condities vormt Pt(111) dus een oppervlakte-oxide in plaats van het bulkoxide, α-PtO₂. De heersende discussie of α-PtO₂ wel of niet reactief is, blijkt dus niet relevant te zijn. De vraag die we wel moeten stellen is hoe reactief dit oppervlakte-oxide is. Met nieuwe experimenten onderzoeken we nu de reactiviteit van dit oppervlakte-oxide, in zowel CO als NO oxidatie.

Samenvatting en conclusie

Om katalyse echt te kunnen begrijpen, is het van belang dat we zo nauwkeurig mogelijk weten hoe het grensvlak tussen de katalysator en gasvormige reactanten eruitziet. Dit grensvlak, de actieve fase, kan onder reactiecondities flink verschil-

len van de structuren die gevormd worden bij lage drukken. Daarom is het van vitaal belang experimenten uit te voeren die de actieve fase kunnen bepalen onder hoge druk en hoge temperatuur. Dit principe is toegepast in een studie met de ReactorSTM van de oxidatie van Pt(111). Deze speciale hoge-druk-STM-opstelling geeft atomaire informatie onder deze condities, en in 1 bar O₂ op 527 K vormt zich op Pt(111) een niet eerder waargenomen oppervlakte-oxide. Dit oxide ordent zich in een superstructuur opgebouwd uit driehoekjes waarin de afstanden tussen de platina-atomen vergroot zijn om meer zuurstofatomen op te nemen. Wij vermoeden dat dit de actieve fase is van op platina gebaseerde katalysatoren in oxidatiereacties.

Referenties

- 1 M. Schmid and G. Pietrzak, aangepast door Jcwf, aangepast voor deze publicatie, Wikimedia Commons, CC BY-SA 2.0 AT.
- 2 C.T. Herbschleb, *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.*, **85** (2014) 083703.
- 3 M.A. van Spronsen, *et al.*, *Cat. Today* **244** (2015) 85.
- 4 B.L.M. Hendriksen, *et al.*, *Nat. Chem.* **2** (2010) 730.
- 5 S.P. Devarajan, *et al.*, *Surf. Sci.* **602** (2008) 3116.
- 6 N.A. Saliba, *et al.*, *Surf. Sci.* **419** (1999) 79.
- 7 C.R. Parkinson, *et al.*, *Surf. Sci.*, **545** (2003) 19.

Student of promovendus? Win 15 minutes of fame & 1000 euro!



FOTO MARJAN VERSLUJUS-HELDER

Wil jij een winnaar zijn, net als Jaap Kautz, en presenteer jij je werk tijdens de NEVAC-dag in 2016 in Leiden? Win jij 1000 euro, de NEVAC-prijs voor het beste artikel gerelateerd aan vacuüm?

Deel je onderzoek en je kennis op het gebied van vacuümtechniek in een helder geschreven 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 **1 februari 2016** naar: redactie@nevac.nl

Geplaatste artikelen van studenten/promovendi worden **altijd beloond met 250 euro!**

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-Nederlands-taligen zijn welkom.

Uitgebreide richtlijnen voor auteurs staan op:

www.nevac.nl/1019/richtlijnen-voor-auteurs

Do you want to be a winner, like Jaap Kautz, and are you going to present your work during the next NEVAC day 2016 in Leiden? Will you receive 1000 Euro: the NEVAC prize for the best paper related to vacuum?

Share your research and knowledge on vacuum related science in a clearly written 2000 word paper. *NEVAC blad* readers have technical, physical or chemical backgrounds and all of them should be able to understand your article. The deadline is **February 1, 2016**. Email your paper to: redactie@nevac.nl

Notice that NEVAC always rewards published articles written by (PhD) students **with 250 Euro!**

If you know a student with a great vacuum research story to tell, whom might not receive this *NEVAC blad* please pass on this message. Non-Dutch speaking students working in the Netherlands are allowed to publish in English.

Extensive author guidelines are published at:

www.nevac.nl/1370/author-guidelines

Nieuw product:

B-RAX 3300

DEMACO, Postbus 4, 1723 ZG Noord-Scharwoude
www.webshop.demaco.nl, vacuum@demaco.nl



InstruTech is a designer and manufacturer of vacuum measurement and control instrumentation whose products are used in numerous industrial vacuum processes. InstruTech has introduced the B-RAX 3300 which is capable of operating one glass or nude hot cathode BA ionization gauge with up to two convection gauges. You can also substitute a capacitance diaphragm gauge for one of the convection gauges. The B-RAX provides pressure measurement capability from 5.33×10^{-8} to 133.3 kPa. The B-RAX 3300 comes with many standard features such as:

- ◇ Three channel LED pressure measurement displays.
- ◇ User friendly setup and programming screen with OLED display.
- ◇ User selectable for readouts in Torr, mbar or Pa.
- ◇ 3 analog outputs, 6 setpoint relays and remote input/output (Digital I/O).
- ◇ RS232/RS485 serial communications.
- ◇ CE and RoHS compliant.
- ◇ Short lead times.
- ◇ Product warranty of 5 years.

The ionization gauge on/off, degas functions and emission current selection can be controlled via front panel soft-keys, remote input signals (Digital I/O), or serial communications. Ionization Gauge (IG) sensor can also be automatically turned on/off using the measurements from one of the user selectable convection or alternate gauges. When using hot cathode IGs, the B-RAX can be set to automatically switch (auto-ranging) between various emission currents. This results in optimal and stable pressure readings over the entire measurement range from low to high vacuum. High efficiency power supply design and thermal management techniques are used to enable operation of the B-RAX without the need for air movement devices such as troublesome fans. The state of all setpoint relays, emission current, filament in use and error messages for all fault conditions are displayed on the OLED set-up screen. Filament operation including filament current, emission current and ion current can be monitored in real time in the research screen mode.

Richtlijnen voor auteurs

Kop

Kort en krachtig. Eventueel een onderkop gebruiken

Auteurs

Voor- en achternamen van alle auteurs. Daaronder adres en e-mailadres.

Inleiding

Maximaal 150 woorden, waarin in kort staat waarover het artikel gaat.

Hoofdttekst

Inclusief inleiding maximaal 2000 woorden. Gebruik korte tussenkopjes ongeveer na elke 300 woorden. Eindig met een conclusie.

Taalgebruik en symbolen

Gebruik zoveel mogelijk Nederlandse termen. Woorden in een vreemde taal cursief zetten.

Bij het gebruik van grootheden, uitleggen waar de gebruikte symbolen voor staan. Symbolen worden cursief gezet. Gebruik waar mogelijk SI-eenheden. Leg afwijkende eenheden uit.

Tip: <http://woordenlijst.org/zoek/> voor het controleren van de schrijfwijze van Nederlandse woorden.

Gebruik van kaders

Bedenk bij het schrijven van een artikel dat het blad gelezen wordt door zowel onderzoekers, studenten als technici. Gebruik een kader voor gedeelten met specialistische wetenschappelijke of technische details en formules, zodat de minder gespecialiseerde lezer de algemene strekking van het verhaal kan blijven volgen.

Bestandsformaat

Lever de tekst aan als .doc of .docx. Eventueel een pdf als voorbeeld meesturen.

Afbeeldingen

Lever afbeeldingen los aan. Werkbare formaten: jpg, eps, ai, psd, tif.

Resolutie: 300 dpi bij het gewenste afdrukformaat of groter.

Engelse tekst in de figuren zo mogelijk vertalen naar Nederlands.

Bijschrift tot 50 woorden. Afbeeldingen met uitgebreide toelichting eventueel als kader plaatsen.

[Kopij kunt u inzenden naar redactie@nevac.nl](mailto:redactie@nevac.nl)

Opleidingen onder auspiciën van de NEVAC

Bij bedrijven en instellingen bestaat een voortdurende vraag naar vacuümtechnische opleidingsmogelijkheden. De Commissie Opleidingen (CO) van de NEVAC zoekt ter zake bekwaame en deskundige docenten voor het verzorgen van cursussen in de vacuümtechniek en toepassingen ervan en vervult zo een brugfunctie tussen vraag- en aanbodzijde. De docenten organiseren hun cursussen zelfstandig dan wel vanuit een gevestigde onderwijsinstelling. De CO verleent aan deze docenten toestemming om hun cursussen te geven 'Onder auspiciën van de NEVAC'. Het NEVAC-vignet vormt daarmee een 'keurmerk' voor het aangeboden onderwijs, waarop de vereniging kan worden aangesproken.

In het 'Onder auspiciën van de NEVAC' aangeboden vacuüm-onderwijs onderscheidt de CO de volgende vier categorieën:

1. Langlopende seizoengebonden vacuüm cursussen afgestemd en ter voorbereiding op de jaarlijks door de NEVAC afgenomen examens Elementaire Vacuümtechniek (EVT; lbo/vbo-niveau), Vacuümtechniek (VT; mbo-niveau) en Vacuümtechniek Plus (VTPlus; hbo/academisch niveau) met bijbehorende landelijk erkende diploma's. Vanwege de constant hoge examenkwaliteit is de waarde van deze diploma's alom door het bedrijfsleven erkend; bezitters van een NEVAC-diploma "kun je om een boodschap sturen".
2. Kortlopende vacuüm cursussen: Basiskennis Vacuümtechniek, VacuümCompact.
3. Applicatiecursussen: Lekzoeken, Opdamptechnieken, Restgasanalyse.



vacaTures in Delft
Banen met toekomst

Technicus / Research-Instrument-maker

Faculteit/afdeling	Technische Natuurwetenschappen
Niveau	MBO/HBO
Functie-omvang	38 uur p/w (1,0 FTE)
Contract	1 jaar met uitzicht op vast
Salaris	Min € 2.593,- Max € 3.561,-

De Technische Universiteit Delft werkt aan nieuwe, baanbrekende inzichten en oplossingen voor urgente, maatschappelijke vraagstukken in de wereld. Dankzij de verschillende faculteiten en de unieke, vele onderzoekslaboratoria biedt de universiteit multidisciplinair onderzoek en onderwijs van wereldklasse.

Als research-instrumentmaker werk je in een technisch wetenschappelijke omgeving samen met gedreven professionals. Je bent verantwoordelijk voor alle mechanische aspecten van vervaardiging, reparatie en beheer van instrumenten of proefopstellingen ten behoeve van onderzoek. Het gaat om unieke instrumenten die vaak een uitbreiding of modificatie zijn van grote commerciële instrumenten zoals elektronenmicroscopen. Je ontwerpt de prototypes in overleg met wetenschappelijk onderzoekers: soms slechts met een schets, soms ook met behulp van een volledige CAD tekening, eventueel met sterkte, stijfheid en warmtegeleiding berekeningen.

Je vervaardigt zeer complexe en samengestelde producten met een veelheid aan bewerkingen: verspanend (draaien, frezen, slijpen, honen, polijsten), scheidend, vervormend, etsend (draad etsend, chemisch, plasma) en verbindend (assembleren, solderen, lijmen). Je gebruikt zowel metalen als niet-metalen en gebruikt je kennis en ervaring om de juiste materiaalkeuze te maken.

Je bent bij uitstek de lokale deskundige op vacuümgebied: selectie en onderhoud van pompen, drukmeters en restgas analyzers en toezicht op het gebruik van vacuüm compatibele materialen en processen. Zonodig kun je vacuümlekkens opsporen en dichten.

Voor meer informatie ga naar www.vacaTuresinDelft.nl

4. Tenslotte behoren ook zogenoemde bedrijfscursussen, toegesneden op de specifieke wensen van een bedrijf of instelling, tot de mogelijkheden. Vaak wordt gekozen voor (een combinatie van) cursussen uit de categorieën 2 en 3. Deze cursussen worden op locatie verzorgd.

Aan de cursuscategorieën 2, 3 en 4 is geen examen verbonden. Wel kan op verzoek door de docent een NEVAC-testimonium dan wel bewijs van deelname worden uitgereikt. Bij iedere specifieke cursus wordt aandacht besteed aan de doelstelling en de beoogde doelgroep.

Vacuümtechniek is een heel praktisch vakgebied. Dit maakt dat het vak niet of nauwelijks te leren valt uit alléén een leerboek of de handleiding bij een vacuümapparaat. Sterk op de dagelijkse praktijk gerichte cursussen vormen eigenlijk een must om te leren “wat wel en wat níét mag” in de vacuümtechniek. In verband hiermee is het vanzelfsprekend dat onze vacuümcursussen uitsluitend worden gegeven door docenten met veel eigen praktijkervaring. In de seizoengebonden cursussen wordt ter illustratie zoveel mogelijk gewerkt met (opengewerkte) demonstratiemodellen en rondleidingen langs werkende vacuümmopstellingen. Verder wordt getracht om enkele uren te vullen met praktijkgerichte lezingen over specifieke onderwerpen door medewerkers van vooraanstaande vacuümfirma's. Tenslotte wordt in de lessen waar mogelijk aandacht geschonken aan demonstraties van bijzondere vacuümapparatuur, vacuümsystemen, of praktijkonderdelen zoals het ijken van drukmeters, het meten van pompsnelheden, restgasanalyse, lekzoeken etc. In de langlopende vacuümcursussen (categorie 1) wordt gebruikgemaakt van door de NEVAC in eigen beheer opgestelde en uitgegeven cursusboeken. Bij de cursussen die opleiden tot de examens VT en VTPlus wordt het *Basisboek Vacuümtechniek* gebruikt. In 2012 is aan dit boek een supplement toegevoegd met aanvullingen en wijzigingen, die in de toekomst hun plaats zullen vinden in een geheel vernieuwde editie van het boek. De cursus Elementaire Vacuümtechniek worden gegeven aan de hand van het *Cursusboek Elementaire Vacuümtechniek* (nieuwe volledig bijgewerkte versie per september 2012). Ook in de eerder genoemde cursuscategorieën 2, 3 en 4 worden delen van dit cursusmateriaal gebruikt.

Wat is het 'nuttig effect'?

Het volgen van een vacuümcursus biedt diverse voordelen voor de cursist en daarmee indirect ook voor het bedrijf of de instelling waar de cursist werkzaam is. Te denken valt aan:

- Verantwoord ontwerpen en aankopen
- Correcte ingebruikname van apparatuur
- Voorkomen van foutieve bediening
- Vermindering van storingen
- Besparing van onderhouds- en reparatiekosten
- Verlenging van de levensduur van apparatuur
- Meer betrokkenheid van het bedieningspersoneel
- Kennis met betrekking tot mogelijkheden en alternatieven
- Inzicht in de invloed van vacuüm op het uit te voeren proces

Voor informatie over planning en korte inhoud van de aangeboden cursussen verwijzen we naar het cursusoverzicht op www.nevac.nl.

www.smc-pneumatics.nl



Stainless steel high vacuum valve

- No accumulation of gas due to precision casting and unified composition
- Service life: more than 2 million cycles
- Body and Bellows material: conforms to SUS304
- Series are also available in Aluminium

Worldwide leading experts in automation



Netherlands

SMC Pneumatics B.V.
Tel. +31 (0)20 531 88 88
info@smcpneumatics.nl

Belgium

SMC Pneumatics N.V./S.A.
Tel. +32 (0)3 455 14 64
info@smcpneumatics.be

Japan

SMC Headquarters
Tel. +81 (0)3 52 078 225
info@smcjp.co.jp

United States

SMC Corporation of America
Tel. +1 (0)317 899 44 40
info@smcusa.com

Germany

SMC Pneumatik GmbH
Phone: +49 (0)61 03 40 20
info@smc-pneumatik.de

United Kingdom

SMC Pneumatics Ltd.
Tel +44 (0)1908 56 38 88
sales@smcpneumatics.co.uk

Taiwan

SMC Pneumatics Co., Ltd.
Tel. +886 (0)3 322 34 43
smctw@ms8.hinet.net

China

SMC China Technical Center
Tel: +86 (0)10 678 855 66
smcsales@smc.com.cn

South Korea

SMC Pneumatics Co. Ltd.
Tel +82 (0)2 321 907 00
sales@smckorea.co.kr

Singapore

SMC Pneumatics Pte. Ltd.
Tel. +65 (0)861 08 88
sales@smcsing.com.sg

Malaysia

SMC Pneumatics Sdn. Bhd.
Tel. +60 (0)3 563 505 90
smcmy@smcmy.com.my

HV angle valve

For pumping and venting of HV systems

Series 26.0, DN 16–50 (5/8"–2")



www.vatvalve.com



- Innovative design
- Most compact solution world
- Unique sealing configuration with protected plate seal
- Defined closing force prevents plate seal damage
- Easy and fast exchange of vacuum seals

**High quality
at attractive price**



Vacuüm Specials B.V.

Vacuüm Specials B.V. – bijna 40 jaar innovatief

Vacuüm Specials B.V. heeft zich gespecialiseerd in het engineeren, construeren en vervaardigen van componenten, deelsystemen en realiseren van projecten op turnkey-basis met betrekking tot vacuüm technische en cryogene toepassingen.

De specialist voor vacuüm- en cryogene toepassingen

Vacuümtechniek:

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



Cryotechniek:

LN₂ transportleidingen
Cryostaten
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 nieuwe website: www.vacuumspecials.nl

Agenda

31 augustus - 4 september 2015
European Conference on Surface Science,
Barcelona, Spanje

13 - 18 september 2015
SIMS XX, 2015 International Conference on Secondary Ion Mass Spectrometry
Seattle Washington, VS

5 - 9 oktober 2015
78th IUVESTA Workshop New horizons in oxynitride thin films: from synthesis to applications
Braga, Portugal

18 - 23 oktober 2015
NEVAC-excursiereis naar o.a.
AVS 62nd International Symposium & Exhibition
San Jose, California, VS

26 - 29 oktober 2015
ISCAN 2015, International Symposium on Clusters and Nanomaterials
Richmond, Virginia, VS

15 - 18 november 2015
TACT 2015, International Thin Films Conference
National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

18-22 januari 2016
PCSI-42: 42nd Conference on the Physics and Chemistry of Surfaces and Interfaces
Salt Lake City (Snowbird), Utah, VS

1 februari 2016
Deadline inzending artikelen voor de NEVAC-prijs

8 -11 februari 2016
MIIFED-IBF 2016, ITER International Fusion Energy Days (MIIFED) and ITER Business Forum (IBF),
Monaco

6 -10 juni 2016
EVC14
Portoroz, Slovenia

17-21 augustus 2016
77th IUVESTA Workshop
Surface processes, gas dynamic and vacuum technology of cryogenic vacuum systems
Fuefuki, Japan

22-26 augustus 2016
IVC20, Busan, Korea

Links naar websites: zie de agenda op www.nevac.nl



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

Tailored Solutions

from an unparalleled spectrum of technologies.

Products & Capabilities

With the merger of VG Scienta and Omicron to Scienta Omicron, the most advanced capabilities in Photoelectron Spectroscopy (PES), Scanning Probe Microscopy (SPM), Thin-Films and System Solutions comes together under one roof. Here, we outline some of the combined capabilities. In fact, VG Scienta and Omicron have already delivered a number of systems together in the past.

For more information please check our new website www.scientaomicron.com



APPES Systems

Scienta Omicron is currently developing the next generation platform for Ambient Pressure PES, utilising the latest advances in sample handling and sample environment control. The platform will be based on the imaging capabilities and outstanding transmission of the Scienta HiPP-3 analyser. In combination with the XM1200 monochromatic x-ray source, this will be the most efficient lab system for APPES ever.



MULTI-TECHNIQUE Systems

Omicron has a long history of delivering systems combining different analytical techniques as well as deposition and other modules. These capabilities are now even stronger with the in-house availability of the complete Scienta range of analysers. An example of an ARPES and low temperature STM combination system is shown above. System equipped with Scienta R4000 analyser and Omicron LT STM ARPES module equipped with Scienta R3000 analyser.

scientaomicron

www.scientaomicron.com