

NEVAC BLAD

jaargang 55 / nummer 2 – juli 2017

Een elektronisch Liebrooster: Het creëren en meten van nieuwe elektronische structuren

1,3,5-benzenetribenzoic acid on graphene: a self-assembled supramolecular porous network



NEDERLANDSE
VACUÛMVERENIGING

NEVAC-dag 2017
ASD Workshop 2017

Let's turn workplaces into quieter spaces



ECODRY plus

Your work demands concentration and focus. That's why we've made our newest generation of vacuum pumps even quieter and cleaner. With only 52 dB(A), ECODRY plus has the lowest noise level in its class. And thanks to multi-stage Roots design, no oil, particles, or dust are contaminating the pumping chamber.

The pump is very easy to use, offering intuitive operation and flexible integration. What's more, you never need to change the oil or replace the seals.

Leybold Nederland B.V.
Floridadreef 102
NL-3565 AM Utrecht
T +31 (30) 242 63 30
info.ut@leybold.com
www.leybold.com

Colofon

Redactie

Claud Biemans, eindredacteur
Bas Dielissen
Hans van Eck, hoofdredacteur
Ad Ettema
Rients de Groot
Karine van der Werf

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
penningmeester@nevac.nl

Grafische vormgeving

Claud Biemans
www.frontlinie.nl

Verschijningsstijdstippen 2017

April
Juli
December

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



Opstelling voor het creëren en meten van nieuwe elektronische structuren.

- 5 **Van de redactie:** Inspirerend, motiverend en nuttig tegelijk
Rients de Groot
- 6 Een elektronisch Lieb-rooster: Het creëren en meten van nieuwe elektronische structuren *Thomas Gardenier*
- 11 **Nieuws:** Vacuümtechniek essentieel voor de Hyperloop
- 12 **Interview:** Twee achten voor Elementaire Vacuümtechniek bij Pfeiffer Vacuum *Claud Biemans*
- 14 1,3,5-benzenetribenzoic acid on graphene: a self-assembled supramolecular porous network *Jun Li, Stefano Gottardi, Juan Carlos Moreno-Lopez, Leonid Solianyk, Meike Stöhr*
- 18 NEVAC-dag 2017: Vacuüm voor duurzame energie en nieuwe technologie *Claud Biemans*
- 23 ASD Workshop 2017 - Eindhoven *Martijn Vos, Alfredo Mameli, Erwin Kessels, Adrie Mackus*
- 26 Student of promovendus? Win 15 minutes of fame & 1000 euro!
- 27 Buitenland Excursie 2018: meld je aan *Rob Klöpping*
- 27 Agenda

De sluitingsdatum van kopij voor het derde nummer van het *NEVAC blad* 2017 is 15 oktober 2017.



HIPACE® 300 H

The turbopump with highest compression for light gases

- Specifically designed for light gases
- Ideal for HV and UHV applications
- Best UHV pressures even in combination with diaphragm pumps

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



Oproep aan bedrijfsleden

Het NEVAC blad heeft drie bedrijfsrubrieken:

- Vacuümtechniek
- Nieuw product
- Viewport

De richtlijnen voor deze rubrieken staan op www.nevac.nl

Uw bijdrage voor deze rubrieken kunt u sturen naar:
redactie@nevac.nl



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. I. Swart, voorzitter
 Dr. S.J. van der Molen, vicevoorzitter
 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. A.D. van Langeveld
 Gageldonk 12, 4854 LH Bavel
 GSM: 06-29561797
 e-mail: advanlangeveld@gmail.com

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

Inspirerend, motiverend en nuttig tegelijk

Voor u ligt het tweede nummer van het NEVAC blad jaargang 2017. Inmiddels hebben we een zeer geslaagde NEVAC-dag achter de rug, een dag met een groot aantal interessante aspecten die ons vakgebied aangaan. In dit nummer doen we daarvan uitvoerig verslag. Toen ik ruim een jaar geleden gevraagd werd om deel uit te maken van de redactie van het NEVAC blad was mijn overweging om ja te zeggen onder andere om te helpen de bestaande vacuümtechnologie en vernieuwingen meer voor het voetlicht te brengen. Het interview in het voorgaande blad met Leonard Hofman over bevestigingsmiddelen voor gebruik in het vacuüm en het artikel over het tegengaan van deeltjesemissie uit Ion Getter Pumps zijn daar een voorbeeld van. Dergelijke informatie dient breder bekend te worden gemaakt binnen de Nederlandse vacuümgemeenschap.



Voor degenen die de afgelopen NEVAC-dag hebben bijgewoond is het geen nieuws meer, maar wist u dat er kokosnoten gebruikt worden als grondstof voor de actieve koolstof van de cryogene sorptiepompen waarmee het ultieme vacuüm gecreëerd wordt bij ITER? Deze informatie en nog veel meer komt zo via de NEVAC bij haar leden. Zo werd ook bij mij de interesse gewekt door de kreet *Ultra-Clean Vacuum* bij de EUV-lithografie, omdat in het vakgebied waarin ik werkzaam ben (elektronenmicroscopie) het voorkomen van moleculaire contaminatie vanuit koolwaterstoffen een hot item is. Bij de EUV wenst men weinig tot geen koolwaterstoffen, bij een relatief slechte vacuümdruk. Een machtig interessant onderwerp en een tipje van de sluier werd tijdens de NEVAC-dag opgelicht. In het volgende nummer wordt hier verder op ingegaan met een artikel over het werk van TNO. Verder maakten we kennis met een technologie waarbij juist een koolstofhoudend molecuul gemanipuleerd werd in een zeer goed vacuüm om een nieuwe elektronische structuur te creëren op een zuiver koperoppervlak. Wonderbaarlijk. En niet te vergeten, het contact met vakgenoten tijdens zo'n NEVAC-dag is altijd inspirerend, motiverend en nuttig tegelijk. Tijdens de vergadering werd een suggestie gedaan om een vak vacuümtechnologie in de opleiding van studenten aan de TU aan te bieden via de NEVAC. Een goed idee. Dat brengt mij op het punt dat er naast de langdurige NEVAC-opleidingen ook kortlopende cursussen via de NEVAC aangeboden worden waarvoor ik u graag naar de website verwijst. De bestemming van de buitenlandse excursie in 2018 is vastgesteld: met een overtuigende meeste-stemmen-gelden-uitslag is er gekozen voor Japan. Suggesties voor bezoeken aan bedrijven en onderzoeksinstituten in Japan zijn nog steeds welkom, en aanmelden kan natuurlijk ook, zie www.nevac.nl. Ik wens u plezier bij het lezen van dit blad en hoop dat het ook een reden is om actief de NEVAC te supporten met informatie over activiteiten, wetenswaardigheden, vacuüm-tips, kennisdeling, nieuws, etc.

Rients de Groot

Een elektronisch Lieb-rooster

Het creëren en meten van nieuwe elektronische structuren

Grafeen is een van de bekendste materialen van het afgelopen decennium. Door zijn honingraatstructuur (figuur 1a) bezit grafeen veel bijzondere eigenschappen, zowel structureel als elektronisch [1]. De lineaire afhankelijkheid tussen de energie en golfvectors (k) in de elektronische structuur (figuur 1b) zorgt ervoor dat een deel van de elektronen zich als massalose deeltjes gedraagt [2]. Hoewel grafeen in de natuur voorkomt, is de honingraatstructuur ook kunstmatig te maken. Gomes et al. [3] creëerden kunstmatig grafeen door koolstofmonoxide (CO) moleculen te plaatsen op een koperoppervlak met behulp van rastertunnelmicroscopie (STM). De elektronische structuur van dit kunstmatige grafeen werd gemeten met rastertunnelspectroscopie (STS), waarmee zij aantoonde dat de elektronische structuur gelijk was aan die van grafeen.

Thomas Gardenier

Gecondenseerde Materie en Oppervlakken, Debye Instituut voor Nanowetenschap, Universiteit Utrecht
t.s.gardenier@uu.nl

Het Lieb-rooster is een variatie op de honingraatstructuur [4]. Dit rooster heeft een elektronische structuur die sterk lijkt op die van grafeen. Naast de lineaire afhankelijkheid is er een extra platte band te zien. Hoewel het Lieb-rooster niet in de natuur voorkomt, is dit wel te bouwen met behulp van de STM. In dit artikel zal het bouwen en bestuderen van een elektronisch Lieb-rooster in een STM besproken worden.

Kegelvormige en platte banden

Het Lieb-rooster is een vierkant rooster met drie roosterpunten in elke eenheids-cel, zie figuur 1c. De roosterpunten zijn niet equivalent: de hoekpunten hebben vier naburige roosterpunten, terwijl de zijpunten twee burens hebben. Deze geometrie zorgt ervoor dat er in het Lieb-rooster elektronen zijn waarvan de energie lineair van de impuls afhangt, net als in grafeen. Dit is de energieafhankelijkheid die we kennen van fotonen. We

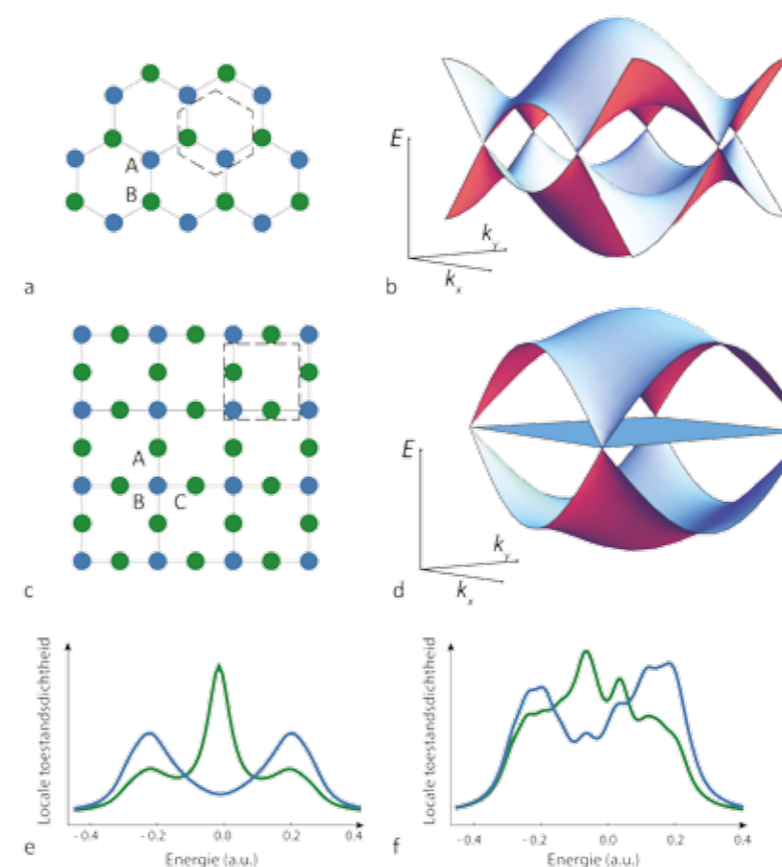
kunnen deze elektronen zodoende beschrijven als effectief massalose deeltjes. Deze 'massalose' elektronen bevinden zich voornamelijk op de hoekpunten en in mindere mate op de zijpunten. De geometrische structuur zorgt tevens voor een platte band (figuur 1d), waarin de energie van de elektronen volledig onafhankelijk is van de golfvector [5]. Deze elektronen zijn geheel gelokaliseerd op de zijpunten. De toestandsdichtheid, het aantal mogelijke toestanden voor elektronen met een bepaalde energie, is verschillend voor de hoek- en zijpunten. De theoretische toestandsdichtheid voor deze verschillende punten is weergegeven in figuur 1e. De zijpunten (groene lijn) laten een hoge toestandsdichtheid zien bij de energie van de platte band, terwijl de hoekpunten (blauwe lijn) een hoge toestandsdichtheid laten zien bij energieën van de kegelvormige banden.

Met behulp van rastertunnelspectroscopie (STS) kan de toestandsdichtheid op

de verschillende punten gemeten worden. Metingen op de zijpunten zouden de platte band moeten laten zien, terwijl metingen op de hoekpunten de kegelvormige banden zouden moeten opleveren.

Atomair scherpe naalden in ultrahog vacuüm

Het bouwen van het Lieb-rooster en het meten ervan gebeurde in een STM, zie figuur 2. Een STM bevat een atomair scherpe naald die een kristal aftast op enkele nanometers boven het oppervlak [6]. Tussen de naald en het kristal kan een spanning worden aangelegd, waardoor er een stroom gaat lopen op de orde van pA - nA. Hoewel er vacuüm tussen de naald en het substraat is, tunnelen elektronen met een bepaalde waarschijnlijkheid van het substraat naar de naald. Door de spanning te veranderen, of door de afstand tussen naald en substraat te veranderen kan de tunnelstroom (het aantal elektronen dat tussen de naald en



Figuur 1 (a) Fysieke en (b) elektronische structuur van grafeen. (c) Fysieke en (d) elektronische structuur van het Lieb-rooster. (e) Berekening voor de ideale lokale toestandsdichtheid van het Lieb-rooster. (f) Berekening voor het daadwerkelijke rooster.

het substraat tunnelt) groter of kleiner worden. Dit is het signaal dat we kunnen meten.

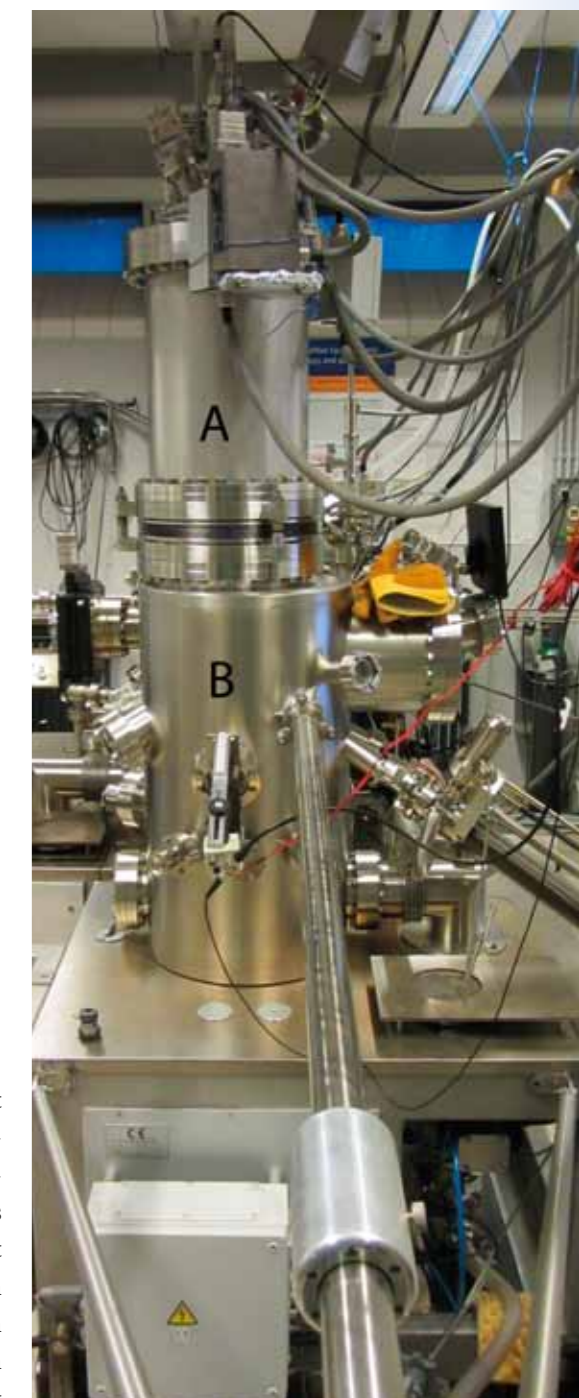
Als substraat wordt een Cu(111) kristal gebruikt, dat met een ionenstraal is schoongemaakt en verhit zodat er grote schone oppervlakken worden gevormd. Door een ultrahog vacuüm te creëren (tot 10^{-10} mbar) blijft het oppervlak van het kristal schoon van verontreinigingen. De temperatuur binnen de STM-meetkop wordt constant gehouden op 4,5 K met behulp van een cryostaat met vloeibaar helium en vloeibaar stikstof. De CO moleculen worden op het koude kristal opgedampt door CO de vacuümkamer in te laten lekken [7]. De opgedampte CO moleculen blijven op willekeurige plekken plakken op het koude kristal en moeten daarna met atomaire precisie verschoven worden.

Op het oppervlak van het kristal bevindt zich een tweedimensionaal elektronen-

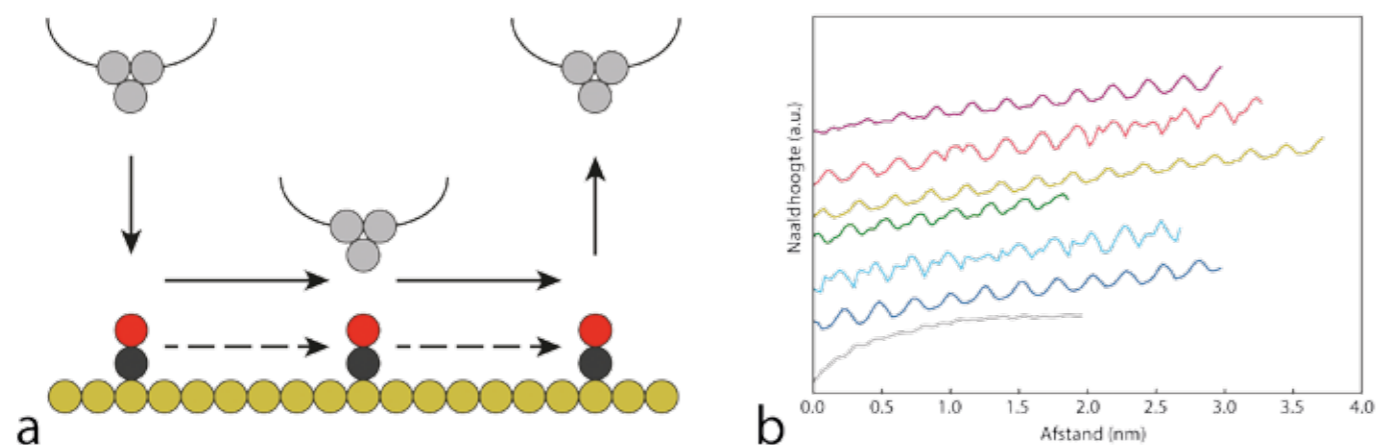
gas dat homogeen verdeeld is over het oppervlak. Echter, door de aanwezigheid van een CO molecuul op het kristaloppervlak wordt het elektronengas verstoord. Meestal is dit een ongewenst effect, maar als de verstrooiers in een bepaald patroon worden geplaatst, dan kunnen elektronische structuren worden gecreëerd van systemen die anders nooit hadden kunnen bestaan.

Bouwen op kleine schaal

Op atomaire schaal structuren bouwen en vervolgens de eigenschappen ervan meten, dat is toch wel de ideale combinatie van wetenschap en LEGO. Met behulp van de STM kunnen de CO moleculen worden verschoven om zo het Lieb-rooster te bouwen. Dit gebeurt door de naald boven een CO molecuul te plaatsen, die loodrecht op het oppervlak staat, en de naald dichterbij het oppervlak te brengen. Als de naald nu naar een



Figuur 2 Meetopstelling. De STM met (a) de vloeibaar helium- en stikstofcryostaten en (b) de meetkop. Deze STM is een gemodificeerde Scienta Omicron lage-temperatuur-STM. Het ultrahog vacuüm wordt bereikt door een combinatie van turbopompen, ionenpompen en titaniumsublimatiepompen. De druk in de STM kan worden verlaagd tot 10^{-10} mbar. Niet in beeld is de vacuümkamer waar het kristal wordt schoongemaakt. Dit gebeurt met afwisselend een argonionenstraal en verhitting van het kristal om kristaldefecten en verontreinigingen te verwijderen.



Figuur 3 Manipulaties met de STM (a) schematische weergave van een manipulatie (b) naald-hoogtesignalen tijdens gelukke (in kleur) manipulaties en een mislukte (in grijs) manipulatie.

andere locatie wordt gebracht wordt het CO molecuul meegetrokken, schematisch weergegeven in figuur 3a. Om dit te kunnen volgen wordt het hoogtesignaal van de naald gevolgd (figuur 3b). Hierbij zie je de hoogte van de naald ten opzichte van de beweging die de naald maakt. Het CO molecuul wordt meegetrokken over het oppervlak van het kristal. Als de naald (met CO molecuul) is aangekomen

op de gewenste locatie wordt deze weer teruggetrokken waarbij het CO molecuul achterblijft. In figuur 4 wordt het bouwen van een rooster afgebeeld, gaande van een willekeurige verdeling van CO moleculen op het oppervlak, naar een met sub-nanometerprecisie hoog geordend rooster. Het uiteindelijke rooster lijkt niet op het Lieb-rooster zoals getoond in figuur 1c. Dat komt omdat de

CO moleculen worden geplaatst op het anti-rooster van het Lieb-rooster. De CO moleculen zorgen ervoor dat alleen op de 'echte' plekken van het Lieb-rooster nog het elektronengas zit, zie ook het kader.

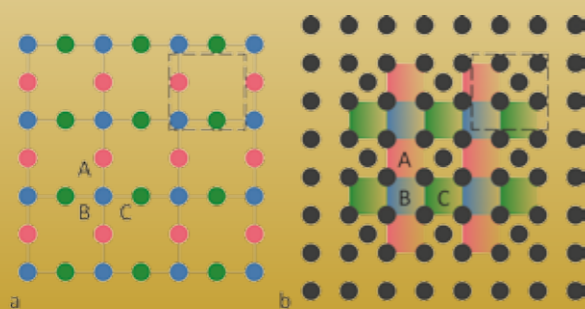
Bevestigen van structuur

Op het koperoppervlak in de STM bevindt zich nu een artificieel Lieb-rooster. Om de elektronische structuur van het Lieb-rooster te bevestigen is het nodig de lokale toestandsdichtheid te meten. Dit gebeurt met behulp van rastertunnelspectroscopie (STS). Hierbij wordt de spanning over de naald en het kristal over een bepaald bereik veranderd. Hierop wordt ook een amplitudemodulatie uitgevoerd waardoor je niet alleen het verband krijgt tussen tunnelstroom en spanning, maar ook de afgeleide stroom naar de spanning. Dit signaal is evenredig aan de lokale toestandsdichtheid en kan dus helpen met het bevestigen van de elektronische structuur van het Lieb-rooster. Boven het Lieb-rooster is een vierkant rooster gebouwd (zonder de centrale CO moleculen), dat wordt gebruikt als referentie. Hiermee wordt gecontroleerd of de gekozen configuratie van de CO moleculen voor het creëren van het Lieb-rooster juist is.

In figuur 5a en d zijn het Lieb-rooster en het vierkante rooster getoond met daarop de punten waarop spectra zijn genomen. Hierbij worden zowel zijpunten als hoekpunten en een complete lijn gemeten. In

Waarom plaatsen we CO moleculen zo?

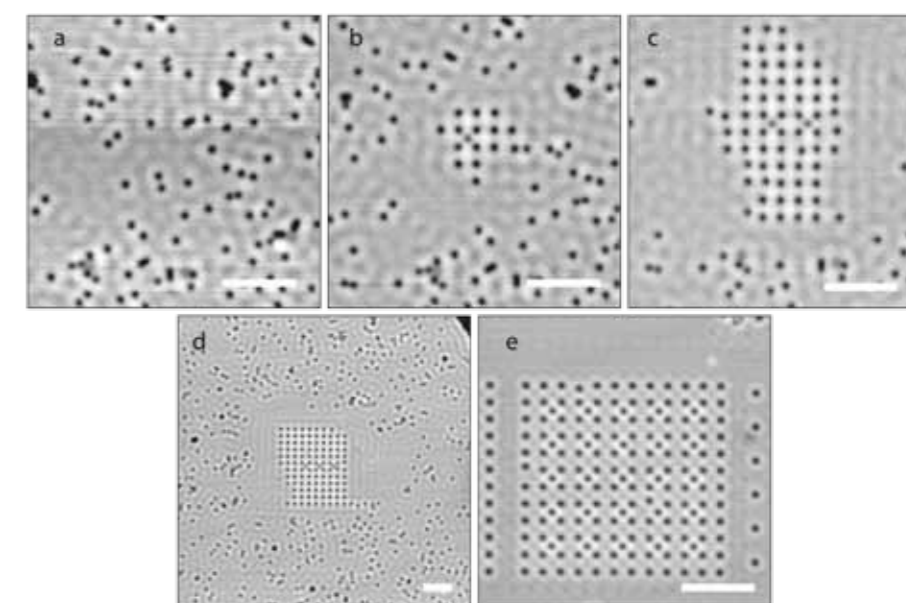
Het ontwerp voor het uiteindelijke Lieb-rooster lijkt op eerste gezicht geen Lieb-rooster. Door het plaatsen van CO moleculen wordt de elektronendichtheid op die plekken lager. Alleen de plekken zonder CO moleculen zullen bijdragen aan het creëren van het elektronisch Lieb-rooster. De CO moleculen worden geplaatst in een kruis van 5 CO moleculen per eenheidscel, in een zogenaamd anti-rooster. Zo wordt het vierkante rooster met drie roosterpunten in elke eenheidscel gecreëerd, zie onderstaande figuur. Een muur van CO moleculen wordt om het rooster heen gebouwd om het gehalte aan equivalenten roosterpunten te vergroten.



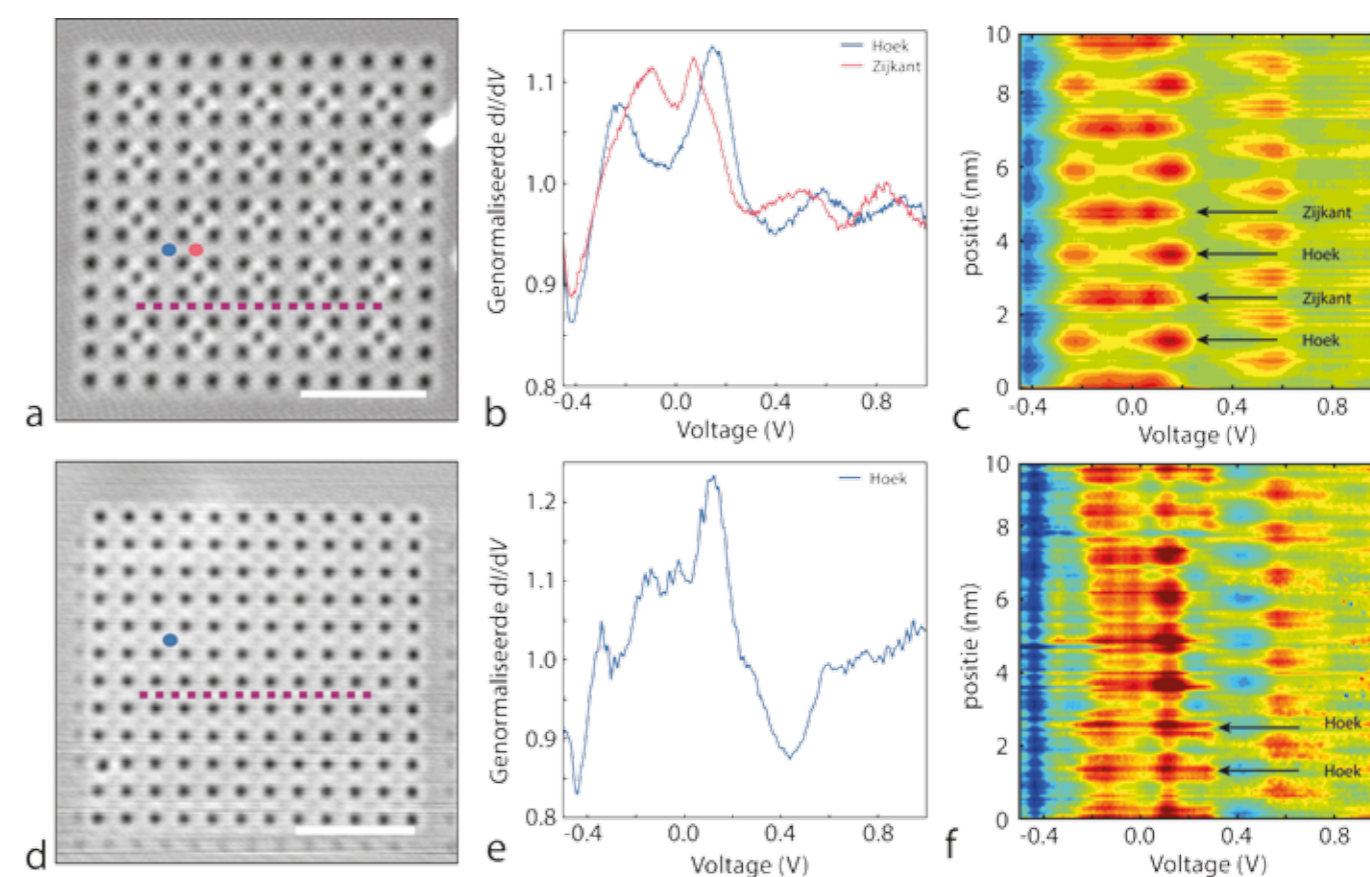
Schematische weergave van het Lieb-rooster in (a) en de plaatsing van de CO moleculen in het anti-rooster (b). De CO moleculen zijn zwart en de gekleurde vlakken geven gelijke roosterpunten aan.

figuur 5b worden twee spectra getoond, één genomen op een hoekpunt (blauw) en één genomen op een zijpunt (rood) in het Lieb-rooster. De intensiteiten zijn niet puur symmetrisch en wijken enigszins af van de theoretische voorspellingen. De hoekpunten hebben een hoge intensiteit bij -200 mV en bij $+150$ mV (de energieën behorend bij de kegelvormige banden), en een lage intensiteit rond -50 mV. De zijpunten hebben precies de tegenovergestelde intensiteiten, laag bij -200 en $+150$ mV en zeer hoog bij -50 mV, de energie van de platte band. Merk op dat er in het vierkante rooster geen grote intensiteitsverschillen te zien zijn. Hierdoor kunnen we zeggen dat we de elektronische structuur van een Lieb-rooster hebben gecreëerd.

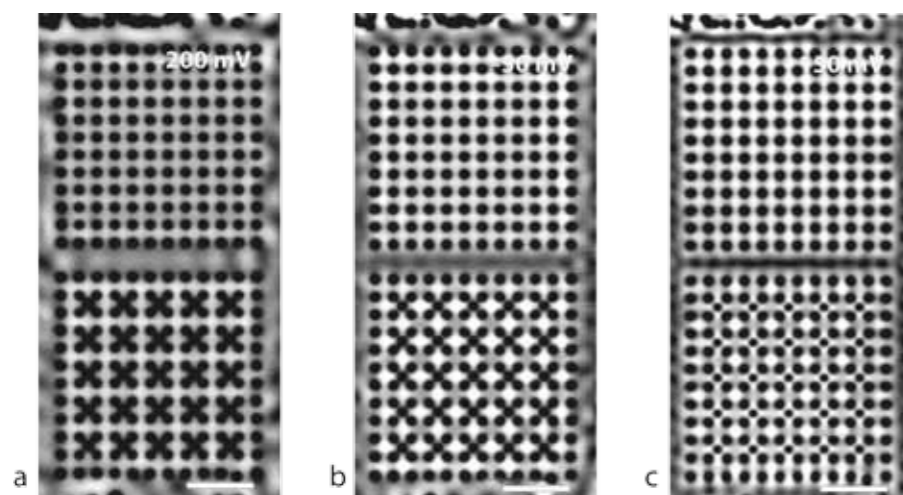
In de theorie werden koppelingen met niet-naburige sites niet meegerekend en wordt er ook geen rekening gehouden met het eindige rooster dat is gebouwd,



Figuur 4 STM-plaatjes waarbij de constructie wordt getoond. In (a) wordt de willekeurige ligging van de CO moleculen net na het opdampen getoond. (b)-(e) Door steeds meer CO moleculen te verschuiven wordt het Lieb-rooster gevormd. De schaal is overal 5 nm.



Figuur 5 (a en d) STM-afbeeldingen van het Lieb-rooster (boven) en het vierkante rooster (onder) met de hoekpunten in blauw, een zijpunt in rood en de lijn in paars. (b en e) Spectra genomen op een lijn in het Lieb-rooster en het vierkante rooster. (c en f) Contourplots van de lijnspectra genomen op het Lieb-rooster en het vierkante rooster.



Figuur 6 STM-afbeeldingen van het Lieb-rooster met het vierkante rooster: (a) is bij -200 mV opgenomen (b) bij -50 mV en (c) bij $+150$ mV.

in plaats van de ideale situatie waarbij het rooster oneindig groot zou zijn. In figuur 1f worden de theoretische spectra getoond waar voor deze praktische beperkingen is gecorrigeerd. De vorm komt zo heel goed overeen met de spectra in figuur 5b. In figuur 5c en f worden contourplots getoond van de lijnmetingen aan zowel het Lieb-rooster als het vierkante rooster. De kleur geeft de intensiteit van het spectrum aan, de x -as is de aangelegde spanning en de y -as is de positie waarop het spectrum is genomen. Hier wordt het verschil tussen de afwisselende hoekpunten en zijpunten nogmaals duidelijk.

STM-afbeeldingen van het Lieb-rooster bij een bepaalde spanning, tonen de ruimtelijke verdeling van de elektronen over het rooster. Figuur 6 laat drie van deze afbeeldingen zien: (a) is bij -200 mV opgenomen (b) bij -50 mV en (c) bij $+150$ mV. Dit zijn dezelfde energieën waarbij de spectra interessante intensiteiten vormden. In figuur 6a hebben de hoekpunten in het Lieb-rooster meer intensiteit dan de zijpunten. In figuur 6b meten we een hoge intensiteit op de zijpunten en een lage intensiteit op de hoekpunten. In figuur 6c hebben de hoekpunten wel weer intensiteit en de zijpunten juist weer niet. Dit komt mooi overeen met de eerdere metingen en theorie. Bij de platte band (-50 mV) zijn er

alleen toestandsdichtheden op de zijpunten, hoewel er bij de banden bij hogere en lagere energie juist meer intensiteit op de hoekpunten is gelokaliseerd. Bij het vierkante rooster is bij alle drie de energieën geen intensiteitsverschil te zien binnen het rooster. De STM-afbeeldingen bevestigen opnieuw dat wij een elektronisch Lieb-rooster hebben gemaakt.

Blik op de toekomst

We hebben een elektronisch Lieb-rooster gecreëerd door CO moleculen als verstrooiers in een anti-rooster te plaatsen met behulp van STM. Hierdoor worden de elektronen van het elektronengas beperkt in hun bewegingsvrijheid wat de elektronische structuur van een Lieb-rooster tot stand brengt. STS-metingen hebben aangetoond dat de gekozen plaatsing van de CO moleculen op het koperoppervlak inderdaad leidt tot de elektronische structuur van een Lieb-rooster. De gebruikte technieken voor het bouwen van het Lieb-rooster bieden vele mogelijkheden om nieuwe, nog nooit eerder gemeten, elektronische roosters te maken en te onderzoeken in één apparaat, de STM. Hierbij is het belangrijk goed te letten op het accuraat kunnen bouwen van patronen op het juiste kristaloppervlak. Over een paar jaar kunnen we hopelijk zeggen: noem het en wij bouwen het.

Dit onderzoek was niet tot stand gekomen zonder de hulp van de volgende personen:

Gecondenseerde Materie en Oppervlakken, Universiteit Utrecht: prof. dr. Daniel Vanmaekelbergh, dr. Ingmar Swart, Marlou Slot, Peter Jacobse en ing. Stephan Zevenhuizen.

Instituut voor Theoretische Fysica, Universiteit Utrecht: prof. dr. Christiane Morais Smith, Guido van Miert en Sander Kempkes.

Deze bijdrage is gebaseerd op een wetenschappelijk artikel getiteld 'Experimental realization and characterization of an electronic Lieb lattice', door Marlou R. Slot, Thomas S. Gardenier, Peter H. Jacobse, Guido C.P. van Miert, Sander N. Kempkes, Stephan J.M. Zevenhuizen, Cristiane Morais Smith, Daniel Vanmaekelbergh, en Ingmar Swart. Dit Engelstalige artikel is te vinden op <https://arxiv.org/abs/1611.04641>.

Referenties

- 1 K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva and A. Firsov, *Science* **306** (2004) 666-669.
- 2 S. G. Louie and C. H. Park, *Nano Letters* **9** (2009) 1793-1797.
- 3 K. K. Gomes, W. Mar, W. Ko, F. Guinea and H. C. Manoharan, *Nature* **483** (2012) 306-310.
- 4 M. Nita, B. Ostahie and A. Aldea, *Physical Review B* **87** (2013) 125428.
- 5 W. Beugeling, J. C. Everts and C. Morais Smith, *Physical Review B* **86** (2012) 195129.
- 6 C. J. Chen, *Introduction to Scanning Tunneling Microscopy*, Oxford University Press Inc., New York, second edition, 2008.
- 7 J. A. Stroscio and R. J. Celotta, *Science* **306** (2004) 242-7.

Vacuümtechniek essentieel voor de hyperloop



Artistische impressie van de hyperloop die ontwikkeld wordt door Hardt.

FOTO: HARDT

In 2013 publiceerde Elon Musk, bekend van Tesla en SpaceX, het concept van Hyperloop Alpha, een systeem voor ultrasnel personenvervoer door een vacuumbuis. SpaceX schreef inmiddels twee internationale wedstrijden uit voor studenten voor het ontwerp van de capsules die door de buis gaan bewegen. In 2016 eindigde het team van de TU Delft, Delft Hyperloop, op de tweede plaats en begin dit jaar wonnen ze de eerste prijs met hun ontwerp op de 1 mijl lange testbaan van SpaceX in Californië. De Delftse capsule, die ruimte biedt aan enkele passagiers, zweeft door middel van magnetische levitatie boven de aluminium platen van het spoor in de buis. Aan het begin van de buis krijgt de capsule een beginsnelheid met behulp van een motor. Een tweede motor wint de meeste remenergie terug, waardoor de energie-efficiëntie enorm hoog is. Daarnaast ontwierp het team een slim remsysteem dat de capsule automatisch afremt, in het geval dat de stroom uitvalt.

Een aantal leden van Delft Hyperloop aan zijn inmiddels een bedrijf gestart, Hardt, dat een hyperloop tussen Amsterdam en Parijs ontwikkelt. Reistijd: 30 minuten, maximum snelheid van de

capsule rond de 1000 km/h. Hardt vond diverse investeerders en krijgt subsidie van het ministerie van Economische Zaken. Hardt heeft samen met het Europese bouwconcern BAM in Delft een 30 meter lange testfaciliteit gebouwd om de technologie voor de hyperloop te testen. In juni is deze faciliteit, een buis met een lengte van 3,2 meter, onder grote internationale belangstelling geopend. Met deze testfaciliteit gaat Hardt op lage snelheid alle belangrijke systemen in een vacuüm testen. Het gaat onder meer om het testen van de veiligheid, de voortstuwing, het zweven en het stabiliseren van het hyperloopvoertuig.

Ook in de Verenigde Staten werken verschillende start-ups aan de verdere ontwikkeling van hyperloops. Het bedrijf Hyperloop Transportation Technologies (HTT) bouwt een eigen testbuis in Californië en werkt inmiddels samen met Oerlikon Leybold Vacuum.

In het document uit 2013 benoemt Elon Musk een aantal moeilijkheden bij het ontwerp van de buis. Voor het bereiken van een zeer lage luchtweerstand zou een extreem diep vacuüm aantrekkelijk zijn, maar dat is met bestaande pompen moei-

lijk te realiseren in honderden kilometers lange buizen, waar duizenden capsules per dag doorheen zullen gaan, en waarin stations zijn opgenomen waar een normale luchtdruk heerst. Musk schrijft echter dat het systeem met bewezen technologie wel zou kunnen werken bij een druk van 100 Pascal. Vacuümpompen langs de buis zullen voortdurend zorgen voor de benodigde lage druk en lucht van lekken verwijderen. Bij stations kan differentieel gepompt worden, hoe verder van het station, hoe lager de druk. In de buurt van het station is een capsule nog niet op topsnelheid, dus iets meer luchtweerstand is dan nog geen ramp. Maar er is alsnog zoveel lucht in het systeem aanwezig dat er schokgolven ontstaan wanneer de snelheid van een capsule de geluidsbarrière nadert. Daar moet een oplossing voor gevonden worden bij het ontwerp van de capsules, bijvoorbeeld in de vorm van een compressor die lucht van de voorkant van de capsule naar de achterkant verplaatst.

Tussen 25 en 27 augustus organiseert SpaceX de derde internationale wedstrijd, waarin het gaat om welke capsule de hoogste snelheid bereikt.

Claud Biemans

Twee achten voor Elementaire Vacuümtechniek bij Pfeiffer Vacuum

In mei slaagden twee medewerkers van Pfeiffer Vacuum voor de NEVAC-cursus Elementaire Vacuümtechniek met een 8, het hoogste cijfer dat dit jaar gehaald werd. Pfeiffer vindt het belangrijk dat haar medewerkers goed geschoold zijn, zo lezen we op de Facebook-pagina van het bedrijf. Als een soort van basistraining volgen alle medewerkers een training bij de NEVAC. Een van de twee geslaagden is Rob van Beusekom. Hij leidt me rond door het bedrijfsgebouw van Pfeiffer in Culemborg en vertelt over zijn werk.

Rob van Beusekom werkt sinds anderhalf jaar bij Pfeiffer. Hij is opgeleid als metaalbewerker, daarna als constructie- en apparatenbouwer op MBO-niveau 3. Een aantal jaren werkte hij voornamelijk met RVS voor waterschappen. Op een gegeven moment was hij een beetje uitgekeken op de metaal, dat werd meer van hetzelfde. Van Beusekom: "Toen ben ik op zoek gegaan naar een andere job. Ik ben bij allerlei bedrijven gaan kijken. Toen ik hier kwam vond ik het mooi specialistisch werk, en het was nieuw voor mij dus kon ik heel wat leren. Mijn werk bij Pfeiffer bestaat uit allround onderhoud en reparaties aan de apparaten die we

binnenkrijgen. Ik doe bijvoorbeeld veel werk aan lektesters. Ik maak ze open, kijk bij alle pompen en kleppen en dergelijke na of ze service nodig hebben. Het hele apparaat wordt sowieso schoongemaakt, we wassen alle onderdelen en zetten dan alles weer in elkaar."

Pfeiffer Vacuum is in 1890 opgericht in het Duitse Wetzlar. Aanvankelijk verkocht het bedrijf olie-pneumatische pompen. Inmiddels heeft het bedrijf wereldwijd meer dan 2.400 werknemers en meer dan 20 dochterondernemingen. Pfeiffer Vacuum maakt inmiddels allerlei soorten vacuümpompen, meet-apparatuur, lektesters, en aanverwante componenten en systemen. De vestiging in Culemborg, waar twintig mensen werken, heeft een benedenverdieping die helemaal ingericht is voor het leveren van onderhoud en service, met diverse ruimtes voor het reinigen, doormeten en weer stofvrij verpakken van pompen, lektesters en aanverwante apparatuur.

Rob van Beusekom leidt me door de benedenruimte. Een turbo wordt op dat moment gerepareerd in een stofvrije ruimte en in de Analytics-ruimte wordt een lektester getest. Er liggen verschillende gedemonteerde pompen en zo zie ik hoe een turbopomp er vanbinnen uitziet, met vele metalen lamellen die steeds dichter op elkaar geplaatst zijn; één set

schijfjes staat stil en één set draait. De Cleaning-ruimte is uitgerust met twee machines voor ultrasoon reinigen met behulp van belletjes in vloeistof en er staan kasten voor nat en droog zandstralen en een groot uitgevallen vaatwasser. Ook is er een ruimte met grote afzuigers waar de lucht 45 keer per uur ververs wordt. Van Beusekom: "Als we vervuilde pompen binnenkrijgen, dan gaat die eerst naar deze ruimte toe. Dan doen we een pak aan en een gasmasker op en dan kunnen we die helemaal schoon gaan maken. Dan heb je ook een omval-alarm om. Mocht je bijvoorbeeld vallen, dan gaat er een sirene af in het hele pand. Dat is hier goed geregeld." De cleanroom van Pfeiffer wordt gebruikt voor de laatste schoonmaakstap. Van Beusekom: "De lektesters van ASML worden daar toegepast in een cleanroom, dus wij moeten ze hier stofvrij verpakken."

Kennis verbreden

Toen Van Beusekom bij Pfeiffer begon, had hij nog geen ervaring met vacuüm: "Ik heb eigenlijk alles hier geleerd. In dat kader heb ik ook de EVT-cursus gedaan. Pfeiffer geeft zelf ook trainingen. Vorig jaar deed ik cursussen over turbopompen, rotary vane pompen en rootspompen. De lektesters worden in Annecy gemaakt, daar ben ik geweest voor een training over hoe die in elkaar zitten. Bij de NEVAC-cursus EVT krijg je meer een totaal begrip, bijvoorbeeld over hoe een lektester werkt vanaf het niveau van moleculen. Docent Theo Mulder nam wel eens een pompje mee en liet dan zien hoe het een en ander in zijn werk gaat. Maar de cursus bestond voornamelijk uit theorie, over welke drukken pompen halen, waar ze voor gebruikt worden, wat



Zo ziet een turbopomp er vanbinnen uit.

de voordelen zijn van bepaalde pompen, wat de nadelen zijn. Het meest interessante vond ik dat ik mijn kennis kon verbreden over de pompen die wij hier in huis hebben. Nu herken ik elke pomp die binnenkomt bij ons. Ik vond het ook leuk dat er in de cursus een plaatje voorbijkwam van ons 'turbootje', een van de turbomoleculaire pompen. Ik heb Theo zelf nog iets kunnen vertellen over een temperatuursensor in een van onze apparaten. Dat wou hij graag weten. Ik vond het mooi om te zien hoe Theo met veel passie over vacuüm sprak."

Claud Biemans



Een lektester wordt getest.



Pfeiffer-medewerkers Rob van Beusekom (rechts) en Ivo Lammers (links) nemen het diploma Elementaire Vacuümtechniek in ontvangst van docent Theo Mulder (midden).

1,3,5-benzenetribenzoic acid on graphene: a self-assembled supramolecular porous network

The porous network formed by 1,3,5-benzenetribenzoic acid (BTB) on epitaxial graphene grown on Cu(111) was studied by means of scanning tunnelling microscopy (STM) and low-energy electron diffraction (LEED). Upon deposition on graphene, the BTB molecules self-assemble into a well-ordered hexagonal porous network due to intermolecular hydrogen bonding between the carboxy groups. The periodic potential induced by the porous network may serve for tuning the electronic properties of graphene.

Jun Li, Stefano Gottardi, Juan Carlos Moreno-Lopez, Leonid Solianyik, Meike Stöhr

Zernike Institute for Advanced Materials, University of Groningen

Graphene is considered as a wonder material with outstanding properties [1] which makes it useful for a large variety of applications. However, the absence of a band gap hinders the further application of graphene in electronic devices up to now. As a promising method, molecular patterning of graphene may bring modification of the electronic properties of graphene in a controllable way. In this work, a supramolecular porous network made from 1,3,5-benzenetribenzoic acid molecules on graphene on Cu(111) was studied by STM and LEED under ultra-

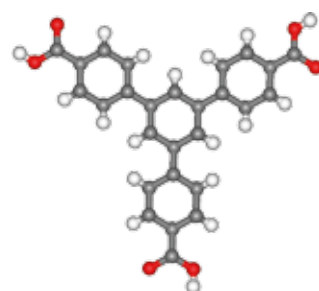


Figure 1 Structure of 1,3,5-tris(4-carboxyphenyl)benzene ($C_{27}H_{18}O_6$). Carbon atoms are grey, oxygen atoms red and hydrogen atoms white.

high vacuum (UHV) conditions. The UHV system is pumped by a combination of a turbo and rotary vane pump and the vacuum is maintained by two ion pumps and titanium sublimation pumps. STM measurements showed that the molecules are arranged in a honeycomb lattice due to intermolecular hydrogen bonding between the functional carboxylic acid groups.

Research motivation

In prototype devices, graphene has so far shown great potential in many fields ranging from photovoltaics to electronics [1]. Due to its single atom thickness, it is an essential requirement for any application to integrate graphene with other materials. For example in the field of graphene-based organic electronics, the interaction between the organic molecules and graphene plays an important role in the performance of these devices [2]. The arrangement of the molecules on graphene (including conformational adaptation) is governed by the subtle balance between the molecule-molecule interactions and molecule-graphene in-

teractions. In this sense, understanding of both the interfacial structure and interactions becomes an important issue for industrial applications. On the other hand, the usage of graphene in transistor applications is hindered by its zero-band-gap nature. Several approaches have been suggested to tune the electronic structure of graphene including substitutional dopants, covalent modification [3-5], confinement effects [6,7] and molecular self-assembly [8,9]. Among these methods, molecular self-assembly offers the possibility to dope graphene by charge transfer. Further theoretical studies [10-12] show that the electronic structure of graphene can be tuned by the periodic potential originating from the ordered structure of the porous network. Therefore, the study of molecular self-assembly on graphene remains an important issue in fundamental research with the prospect for practical applications.

Experimental methods

The STM measurements were performed at 77 K under ultrahigh vacuum conditions (base pressure $\sim 10^{-11}$ mbar) with a

commercial low temperature STM (Scienta Omicron GmbH). The STM tip was made from a mechanically cut Pt/Ir wire. All bias voltages are given with respect to a grounded tip. The STM images were acquired in constant current mode and were analyzed with the WSxM software [13]. LEED measurements were performed at room temperature. Graphene was grown by cracking methane on the Cu(111) surface at around 1270 K. A detailed description can be found in reference [14]. BTB with a purity of 98% was purchased from Sigma Aldrich. After being degassed at 470 K, the molecules are deposited onto graphene in situ. The structure of BTB is shown in figure 1.

Graphene on Cu(111)

In this study, the bare graphene was first checked by LEED and STM before depositing BTB molecules on it. Figure 2a shows the LEED pattern of graphene grown on Cu(111) with the Cu(111) reciprocal unit cell vectors marked in blue. The ring around the first order Cu(111) diffraction spots indicates the successful synthesis of polycrystalline graphene. The ring-shape diffraction pattern of graphene indicates that graphene grows with azimuthal disorder on Cu(111). The graphene diffraction pattern shows relatively strong intensity near the first order Cu(111) spots, suggesting a preferred orientation of graphene [15,16]. Figure 2b shows an STM image of clean graphene taken at 77 K. The moiré pattern (interference pattern) originates from the lattice mismatch between graphene and the underlying Cu(111) surface [17]. Depending on the specific angles between the principal directions of graphene and the Cu(111) surface, different periodicities for the moiré patterns can be observed [18].

STM characterization of BTB molecules on graphene

The BTB molecules were deposited on graphene on Cu(111) from a homebuilt molecule evaporator. The graphene on

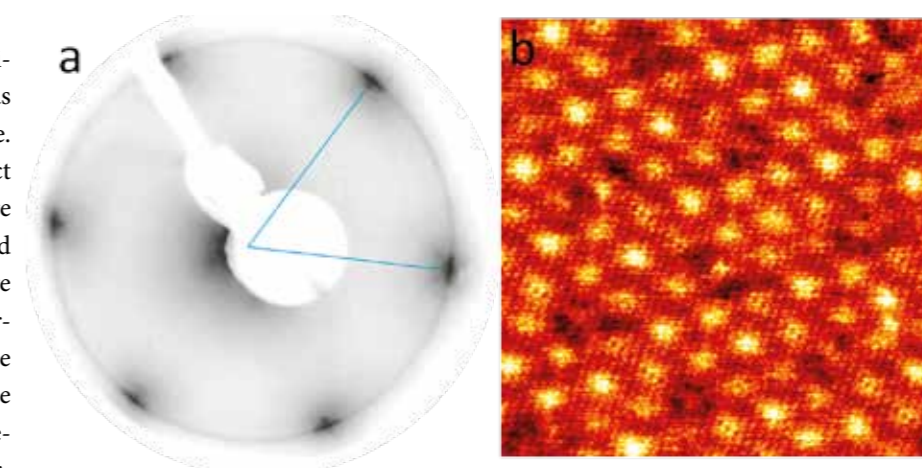
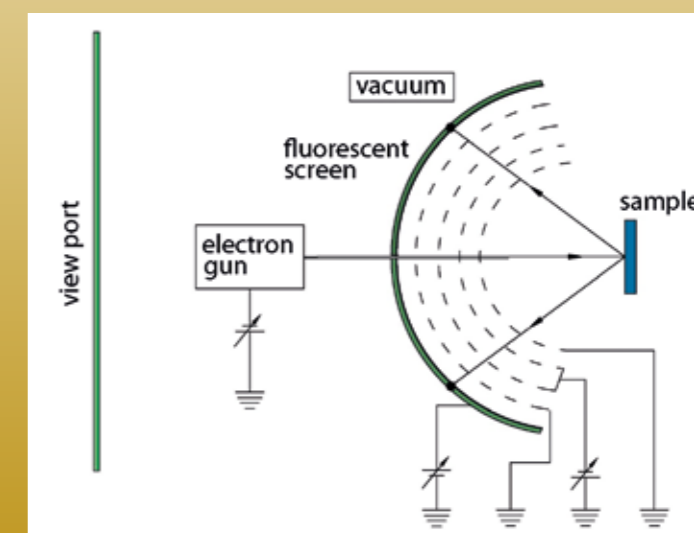


Figure 2 (a) LEED pattern of graphene grown on Cu(111) taken at an energy of 74.5 eV. (b) STM image ($18 \text{ nm} \times 18 \text{ nm}$) showing the moiré pattern as well as atomic resolution of graphene on Cu(111).

Low-Energy Electron Diffraction

The surface crystallographic structure can be determined by bombarding the surface with low energy electrons (approximately 10-200 eV) and observing electrons as spots on a phosphorescent screen, which are diffracted at the surface. By analyzing both the LEED patterns and intensities, the size and shape of the surface unit cell, the degree of order and the atomic structure can be determined. The figure below shows a typical LEED setup. In a LEED experiment, a beam of low energy electrons generated by the electron gun is directed towards the sample. The electrons are diffracted by the surface atoms of the sample and the diffracted electrons are observed as LEED pattern on the fluorescent screen. The grids in front of the fluorescent screen (i) assure a field free region around the sample, (ii) prevent inelastically scattered electrons to reach the fluorescent screen what would deteriorate the signal to noise ratio and to (iii) separate the high voltage of the screen from the grids.



A typical LEED setup.

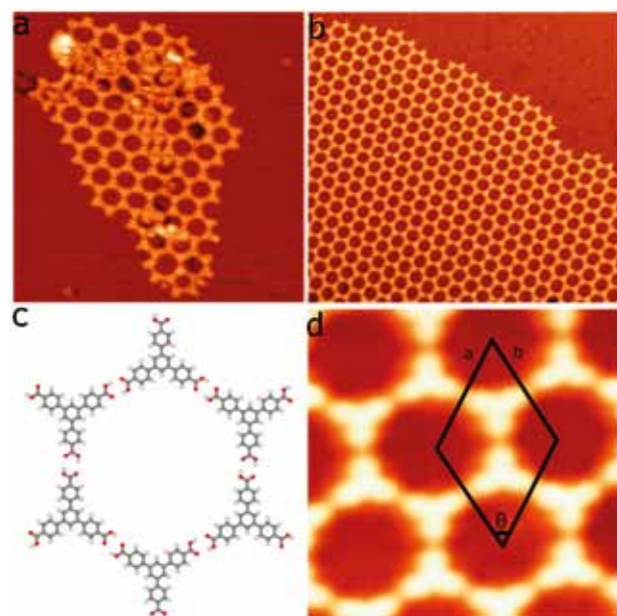


Figure 3 (a) STM image (32.7 nm × 32.7 nm) for submonolayer coverage of BTB on graphene deposited at room temperature. (b) STM image (65 nm × 62 nm) of the porous BTB network on graphene after annealing at 365 K. (c) Tentative model of the porous BTB network stabilized by double hydrogen bonding between neighbouring molecules. (d) High-resolution STM image (7.7 nm × 7.7 nm) displaying the detailed structural arrangement of the porous BTB network. The unit cell of the porous network is drawn in black.

Cu(111) sample was kept at room temperature during the deposition. After the deposition, the sample is transferred to the STM chamber and cooled down to 77 K for STM measurements. So far, the molecular self-assembly of BTB molecules has been investigated on different surfaces including Ag(111) and graphite [19-21]. Different 2D molecular arrangements have been found on the different surfaces. This is reasonable since each BTB molecule has three carboxyl (COOH) groups, which have an angle of 120° with respect to each other and which can undergo double hydrogen bonding with a carboxyl group of another BTB molecule. In our study, when deposited on graphene on Cu(111), the BTB molecules mainly formed a supramolecular porous honeycomb network based on double hydrogen bonding. As shown in figure 3a, the BTB molecules tend to arrange themselves in a honeycomb lattice while some BTB molecules are trapped in the pores of the network. To improve the network quality and to obtain large domains, the sample was annealed at 365 K for 30 minutes. A rep-

resentative STM image of the annealed sample is depicted in figure 3b. The structural arrangement in a porous network remains the same, while the size of the molecular domains increased considerably (typical domain sizes of 60 nm were determined) and the number of trapped molecules and defects clearly decreased. The structural model of the porous network is depicted in figure 3c. Double hydrogen bonds are formed between the hydroxyl group and the carbonyl oxygen of neighbouring molecules, which drives the formation of the hexagonal porous network. The high-resolution STM image in figure 3d nicely illustrates the structural arrangement of BTB on graphene and provides even intramolecular contrast (the outer phenyl rings can be easily discerned). Six molecules form an individual hexagonal pore with each BTB molecule belonging to three pores. The unit cell with a rhombic shape is drawn in the image and contains two molecules. The lattice parameters of the unit cell were determined to $a = 3.27 \text{ nm} \pm 0.15 \text{ nm}$, $b = 3.27 \pm 0.14 \text{ nm}$, $\theta = 60^\circ \pm 1^\circ$.

LEED characterization of BTB molecules on graphene

To gain insight into the structural relation of the BTB network with respect to the underlying graphene and Cu lattice and to possibly draw a conclusion of the interaction of the BTB network and graphene, LEED measurements were performed with the sample kept at room temperature. The LEED pattern acquired at an energy of 70 eV is shown in figure 4a. The ring-shape diffraction pattern of graphene is marked by a red arrow, the first-order diffraction spots of the Cu(111) surface are marked by a blue arrow and the diffraction pattern originating from the porous network is marked by the orange arrow. A closer inspection of the LEED pattern reveals that the graphene possesses a preferred growth orientation with respect to the Cu surface (pronounced intensity of the ring pattern around the spots originating from Cu(111)). Besides the features arising from both graphene and the Cu(111) surface, another ring-like feature with a smaller radius can be observed. This new feature is suggested to be due to the presence of the porous BTB network. With the knowledge of the real space lattice parameter of Cu(111) and graphene, the real space lattice parameter of the smaller feature can be determined and amounts to 3.27 nm, which is in accordance with the lattice parameter measured with STM. From this we conclude that the porous BTB network is randomly oriented with respect to the Cu(111) surface while no conclusion with respect to the graphene surface can be yet drawn. A LEED image (figure 4b) was taken at lower energy to further investigate the ring-like feature occurring because of the presence of the porous BTB network. The diffraction pattern of the porous BTB network exhibits similar features as the diffraction pattern of the underlying graphene. Six spots with higher intensity than the ring can be observed in figure 4b. This indicates that the porous network also exhibits a preferred orientation. Given the fact

that the diffraction pattern of graphene and the porous network highly coincide with each other, this indicates that the porous BTB network follows the orientation of graphene. In the present case, graphene acts as a decoupling layer and considerably reduces the interaction between the Cu surface and the BTB molecules. This is highly beneficial for the formation of two-dimensional supramolecular structures based on non-covalent intermolecular interactions.

Summary and conclusion

A porous network based on double hydrogen bonding was successfully synthesized by depositing BTB molecules on graphene on Cu(111). Through post-deposition annealing the domain size could be increased while at the same time the number of defects and trapped molecules could be decreased. LEED measurements showed that the orientation of the porous network follows the orientation of the graphene. Our study shows that the porous BTB network may serve as a promising candidate both for tuning the electronic structure of graphene by molecular patterning and for individually studying guest molecules by trapping them in the network pores. A detailed explanation of the work presented here can be found in reference [22]

References

- Novoselov, Konstantin S., *et al.*, A roadmap for graphene, *Nature* **490** (2012) 192-200.
- Pang, Shuping, *et al.*, Graphene as transparent electrode material for organic electronics, *Advanced Materials* **23** (2011) 2779-2795.
- Hossain, Md Zakir, Michael A. Walsh, and Mark C. Hersam, Scanning tunneling microscopy, spectroscopy, and nanolithography of epitaxial graphene chemically modified with aryl moieties, *Journal of the American Chemical Society* **132** (2010) 15399-15403.
- Hossain, Md Zakir, *et al.*, Chemically homogeneous and thermally reversible oxidation of epitaxial graphene, *Nature chemistry* **4** (2012) 305-309.
- Wang, Xinran, *et al.*, N-doping of graphene through electrothermal reactions with ammonia, *Science* **324** (2009) 768-771.
- Berger, Claire, *et al.*, Electronic confinement and coherence in patterned epitaxial graphene, *Science* **312** (2006) 1191-1196.
- Han, Melinda Y., *et al.*, Energy band-gap engineering of graphene nanoribbons, *Physical review letters* **98** (2007) 206805.
- Kozlov, Sergey M., Francesc Viñes, and Andreas Görling, Bandgap engineering of graphene by physisorbed adsorbates, *Advanced Materials* **23** (2011) 2638-2643.
- Berashevich, Julia, and Tapash Chakraborty, Tunable band gap and magnetic ordering by adsorption of molecules on graphene, *Physical Review B* **80** (2009) 033404.
- Lu, Y. H., *et al.*, Tuning the electronic structure of graphene by an organic molecule, *The Journal of Physical Chemistry B* **113** (2008) 2-5.
- Tian, X. Q., J. B. Xu, and X. M. Wang, Self-assembly of PTCDA ultrathin films on graphene: structural phase transition and charge transfer saturation, *The Journal of Physical Chemistry C* **114** (2010) 20917-20924.
- Kozlov, Sergey M., Francesc Viñes, and Andreas Görling, Bandgap engineering of graphene by physisorbed adsorbates, *Advanced Materials* **23** (2011) 2638-2643.
- Horcas, I., *et al.*, WSXM: a software for scanning probe microscopy and a tool for nanotechnology, *Review of Scientific Instruments* **78** (2007) 013705.
- Gottardi, Stefano, *et al.*, Comparing Graphene Growth on Cu (111) versus Oxidized Cu (111), *Nano letters* **15** (2015) 917-922.

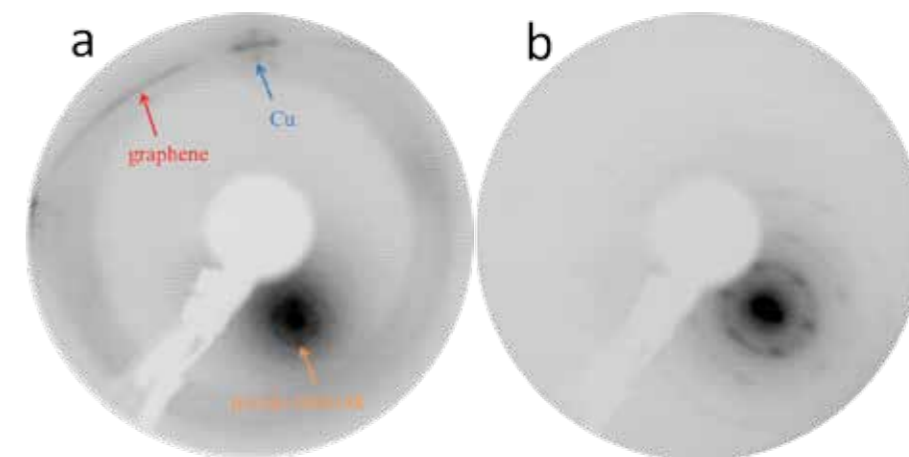


Figure 4 (a) LEED pattern of the porous BTB network on graphene taken at an energy of 70 eV. The coloured arrows indicate the features arising from graphene (red), the Cu(111) surface (blue) and the BTB network (orange). At this electron energy only a part of the ring-like structure originating from the presence of graphene is visible. This is in contrast to figure 2a. (b) LEED pattern for the porous BTB network on graphene taken at lower energy (16.6 eV). The diffraction features arising from the BTB network can be seen in more detail.

- Walter, Andrew L., *et al.*, Electronic structure of graphene on single-crystal copper substrates, *Physical Review B* **84** (2011) 195443.
- Nie, Shu, *et al.*, Origin of the mosaicity in graphene grown on Cu (111), *Physical Review B* **84** (2011) 155425.
- Gao, Li, *et al.*, Epitaxial graphene on Cu (111), *Nano letters* **10** (2010) 3512-3516.
- Zeller, Patrick, and Sebastian Günther, What are the possible moiré patterns of graphene on hexagonally packed surfaces? Universal solution for hexagonal coincidence lattices, derived by a geometric construction, *New Journal of Physics* **16** (2014) 083028.
- Ruben, Mario, *et al.*, 2D supramolecular assemblies of benzene-1, 3, 5-triyl-tribenzoic acid: temperature-induced phase transformations and hierarchical organization with macrocyclic molecules, *Journal of the American Chemical Society* **128** (2006) 15644-15651.
- Kampschulte, Lorenz, *et al.*, Thermodynamical Equilibrium of Binary Supramolecular Networks at the Liquid-Solid Interface, *Journal of the American Chemical Society* **130** (2008) 8502-8507.
- Kampschulte, Lorenz, *et al.*, Solvent induced polymorphism in supramolecular 1, 3, 5-benzenetribenzoic acid monolayers, *The Journal of Physical Chemistry B* **110** (2006) 10829-10836.
- Li, Jun, *et al.*, 1, 3, 5-Benzenetribenzoic Acid on Cu (111) and Graphene/Cu (111): A Comparative STM Study, *The Journal of Physical Chemistry C* **120** (2016) 18093-18098.

NEVAC-dag 2017

Vacuüm voor duurzame energie en nieuwe technologie

De NEVAC-dag werd dit jaar bij DIFFER georganiseerd door Richard van de Sanden en Hans van Eck. Leden en bedrijfsleden kwamen op vrijdag 12 mei in groten getale naar Eindhoven voor het bijwonen van het interessante programma en natuurlijk ook om elkaar te ontmoeten.

Claud Biemans, foto's: Bram Lamers

DIFFER doet onderzoek met het oog op de energievoorziening van de toekomst, en dat thema kwam gedurende de dag bij veel lezingen aan de orde. Richard opende het programma met een kijkje in de keuken van het Dutch Institute For Fundamental Energy Research, zoals DIFFER voluit heet. Twee belangrijke onderzoeksgebieden van het instituut zijn CO₂-neutrale brandstoffen, oftewel 'solar fuels' en kernfusie. Het Magnum-PSI experiment in Eindhoven test bijvoorbeeld de interactie tussen het plasma en

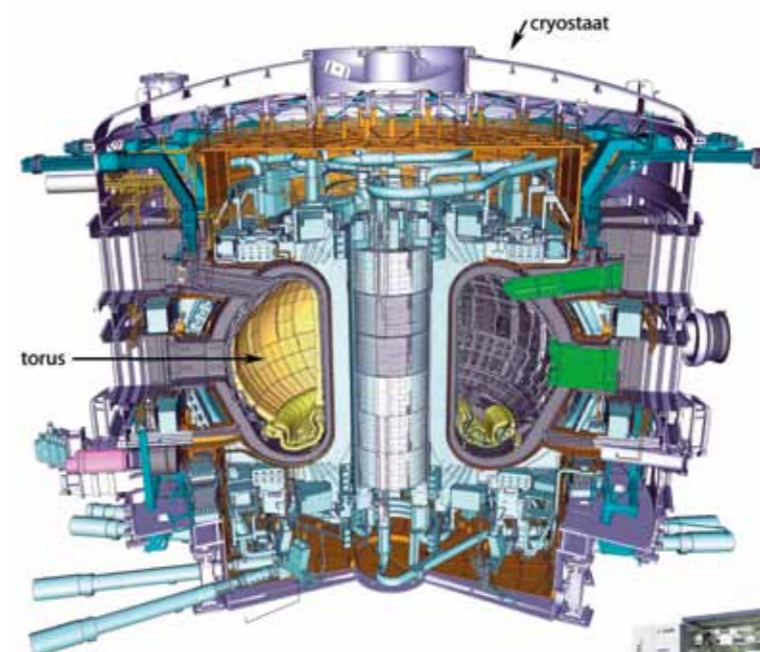
materialen voor de wand van de ITER-fusiereactor, die momenteel gebouwd wordt in Zuid-Frankrijk.

Vacuüm voor kernfusie

Daar sloot het verhaal van de eerste spreker, Robert Pearce, mooi op aan. Hij is hoofd van de vacuüm-afdeling van ITER. Hij heeft het overzicht over een van de ingewikkeldste en grootste vacuüminstallaties op aarde, die gebouwd wordt door een complex samenwerkingsverband van vele landen. Over de hele we-

reld worden onderdelen gefabriceerd en de assemblage vindt plaats in Frankrijk omdat de complete systemen zo groot zijn dat ze onmogelijk getransporteerd kunnen worden. Op dit moment worden de gebouwen al neergezet in Cadarache, terwijl nog de laatste hand wordt gelegd aan het ontwerp van de fusiereactor zelf met de laatste inzichten.

Het vacuümsysteem van ITER bestaat uit drie delen die samen 8.000 ton wegen (ITER totaal 23.000 ton). De torus is het binnenste vacuümvat waarin het plasma wordt opgesloten met behulp van sterke magneetvelden. De inhoud is 1.330 m³ en de druk zal hier 10⁻⁶ Pa zijn. De torus wordt omgeven door de cryostaat, een vacuümvat met een inhoud van 8.500 m³ en een druk van 10⁻⁴ Pa. Verder is er de neutrale plasmabundel, de *neutral beam*, waarin deeltjes (de totale lading is 0) met hoge energie naar het plasma in de torus worden geleid om het te verhitten. De *neutral beam* bestaat uit vier vacuümbuizen met een inhoud van elk 860 m³ en een druk van 10⁻⁷ Pa. Om het geheel vacuüm te krijgen en het fusieproces in stand te houden worden 18 grote cryopompen, 300 mechanische pompen en 10 km vacuümleiding ingezet. Bovendien is er een nieuw pompsysteem, de *cryogenic viscous compressor (CVC)*, ontwikkeld voor de afvoer van heet tritium bevattend gas uit de torus naar het systeem waar tritium wordt teruggewonnen. De temperatuur in de torus, waar de fusie gaat plaatsvinden tussen deuterium en tritium, kan oplopen tot boven de 150 miljoen graden Celsius. Dat terwijl de kabels van de magneten die het magneetveld opwekken voor het opsluiten van



Boven: De ITER-kernfusiereactor, met in het midden de torus, die wordt omgeven door de cryostaat.

Rechts: ASML Twinscan machine die werkt met EUV.



het plasma supergeleidend moeten zijn en gekoeld worden tot 4 Kelvin. ITER verwacht in 2024 het eerste vacuüm te hebben in de cryostaat en een jaar later het eerste plasma in de torus. Na 2030 zal er voor het eerst gewerkt worden met tritium. Meer informatie: <http://www.iter.org/mach>

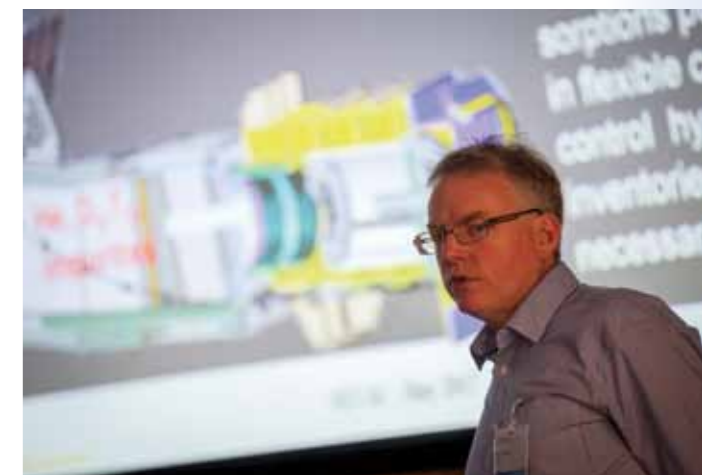
Ultraschoon vacuüm

Na het aanhoren van het verhaal over ITER kreeg je het gevoel dat alle andere vacuümtechniek die nog zou volgen tijdens de NEVAC-dag kinderspel zou lijken, maar niets was minder waar. Ook op de minder-dan-mega schaal zijn er zeer interessante ontwikkelingen. Bijvoorbeeld op het gebied van ultraschoon vacuüm, dat voor de nieuwe extreem-ultraviolet (EUV) lithografische chipmachines van ASML zeer belangrijk is. Vadim Banine gaf een introductie over het belang van vacuüm voor deze machines. Ultraschoon vacuüm betekent niet persé een heel diep vacuüm. Maar er mogen absoluut geen koolwaterstoffen voorkomen in het vacuümgedeelte en geen stofdeeltjes, want die verpesten de afbeelding van de minuscule structuren van processoren op de silicium wafer. In

het vacuüm bevinden zich de EUV-bron en de speciale optiek waarmee details van 22 nm kunnen worden afgebeeld. Het is niet zo simpel om met EUV te werken, want de frequentie van het licht, 13,5 nm, wordt door alle stoffen geabsorbeerd. Een spiegel bestaat daarom uit een multilaags raster. Het licht wordt opgewekt door het beschieten van vallende tindruppeltjes met een laser. Om te voorkomen dat tindeeltjes zich in het vacuüm verspreiden is dit deel afgescheiden met behulp van een stroom van waterstofgas, vergelijkbaar met de manier waarop ventilatiesystemen de warmte in winkels met openstaande deuren binnenhouden. Het maken van en het werken met zo'n ultraschoon vacuüm hangt sterk af van de procedures, de opleiding en discipline van de medewerkers. Bij ASML werken meer dan duizend mensen die zich met dit onderwerp bezighouden, en er worden veel trainingen gegeven voor het verbeteren van de discipline.

NEVAC-prijs en nieuwe vicevoorzitter

Aan het eind van het ochtendprogramma wordt altijd de NEVAC-prijs uitgereikt, dit jaar aan Stein van Eden, promovendus bij DIFFER. Zijn verhaal over het



Robert Pearce, hoofd van de vacuüm-afdeling van ITER.



Vadim Banine (ASML) sprak over het belang van ultraschoon vacuüm.



Stein van Eden (DIFFER) ontvangt de NEVAC-prijs 2017 van hoofdredacteur Hans van Eck.

meten van stralingsenergie in een fusiereactor sloot mooi aan op de lezing van Robert Pearce over ITER. Het winnende artikel is gepubliceerd in het vorige nummer van het *NEVAC blad*.



Richard van de Sanden opende de NEVAC-dag met een overzicht van de onderzoeksactiviteiten van DIFFER.



Veertien bedrijfsleden waren vertegenwoordigd met stands.



Het NEVAC-bestuur: Sense Jan van der Molen (vicevoorzitter), Ingmar Swart (voorzitter), Jan van Kessel (secretaris), Ad Ettema (penningmeester).

Terwijl de meeste mensen al toe waren aan de uitstekend verzorgde lunch tussen de stands van veertien bedrijfsleden, bleef een kwart van de aanwezigen nog even zitten voor het bijwonen van de jaarvergadering van de NEVAC. Sander Otte (TU Delft) nam afscheid als vicevoorzitter en zijn plaats werd ingenomen door Sense Jan van der Molen (Universiteit Leiden).

Tijdens de lunch werden er zes posters gepresenteerd en velen namen een kijkje bij de Ionen Bundel Faciliteit en de Magnum PSI-opstelling, met uitleg van groepsleider Hans van Eck.

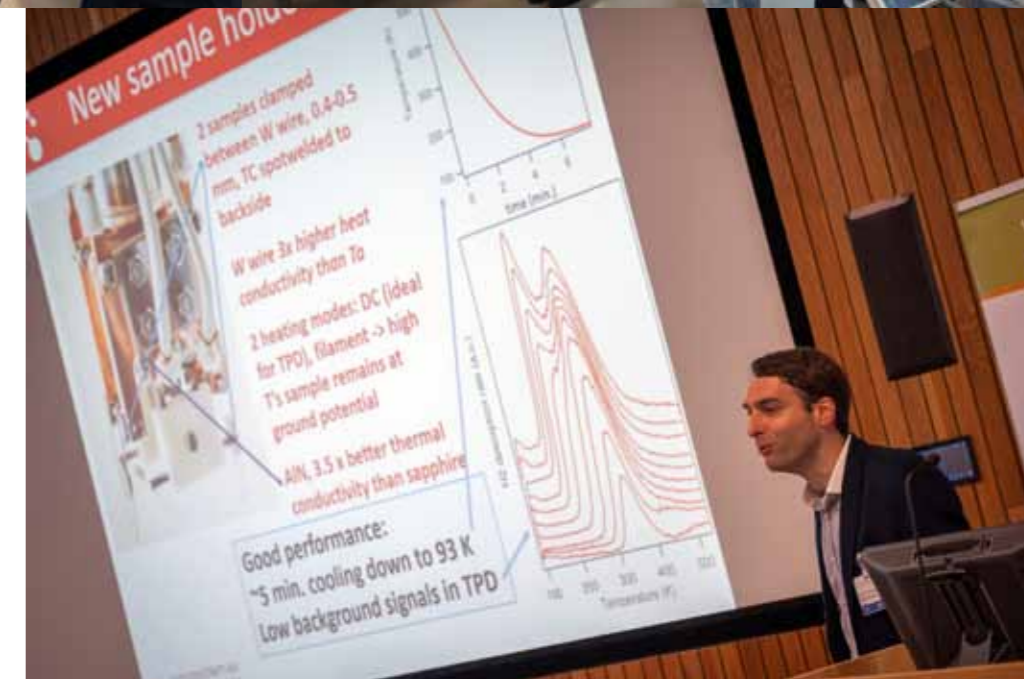
Syngas en zonnecellen

Kees-Jan Weststrate van het Syngaschem lab, dat bij DIFFER gevestigd is, opende het middagprogramma met een verhaal over het maken van koolwaterstoffen (zoals benzine) uit koolmonoxide en waterstofgas. Dit mengsel heet 'syngas' en komt bij verschillende processen vrij als afvalstroom of kan gemaakt worden uit afval. Het proces heet de Fisher-Tropsch-reactie en deze wordt door Syngaschem bestudeerd in ultrahog vacuüm. Voor de reactie worden katalysatoren als kobalt, ruthenium en ijzer gebruikt. Als het oppervlak van bijvoorbeeld de katalysator kobalt zeer glad is, dan verloopt de reactie slecht. Waterstof adsorbeert veel beter aan een ruw oppervlak. De dissociatie van koolmonoxide vindt ook plaats aan het oppervlak van de katalysator, maar dit

gebeurt bij voorkeur op plaatsen waar een defect in het kristalrooster van het metaal is. Met behulp van verschillende spectroscopische technieken worden de reacties aan het oppervlak van de katalysator bij Syngaschem bestudeerd, zodat er meer bekend wordt over de samenstelling van de koolwaterstoffen die onder verschillende omstandigheden geproduceerd worden.

Mariadriana Creatore (Plasma & Materials Processing, TU/e en Soliance) vertelde over nieuwe toepassingen van atoomlaagdepositie voor energietoepassingen, zoals batterijen en zonnecellen. Haar groep werkt aan zonnecellen gebaseerd op perovskieten met tin en germanium. Deze blijken zeer stabiel te zijn en kunnen redelijk makkelijk gemaakt worden met een groot oppervlak. Onlangs is er een record-efficiency voor dit type zonnecel bereikt van 15,9%. Bovendien kunnen deze zonnecellen werken bij een zeer lage lichtintensiteit van 200 lux, zodat ze binnenshuis gebruikt kunnen worden. Meer hierover in het komende nummer van het *NEVAC blad*

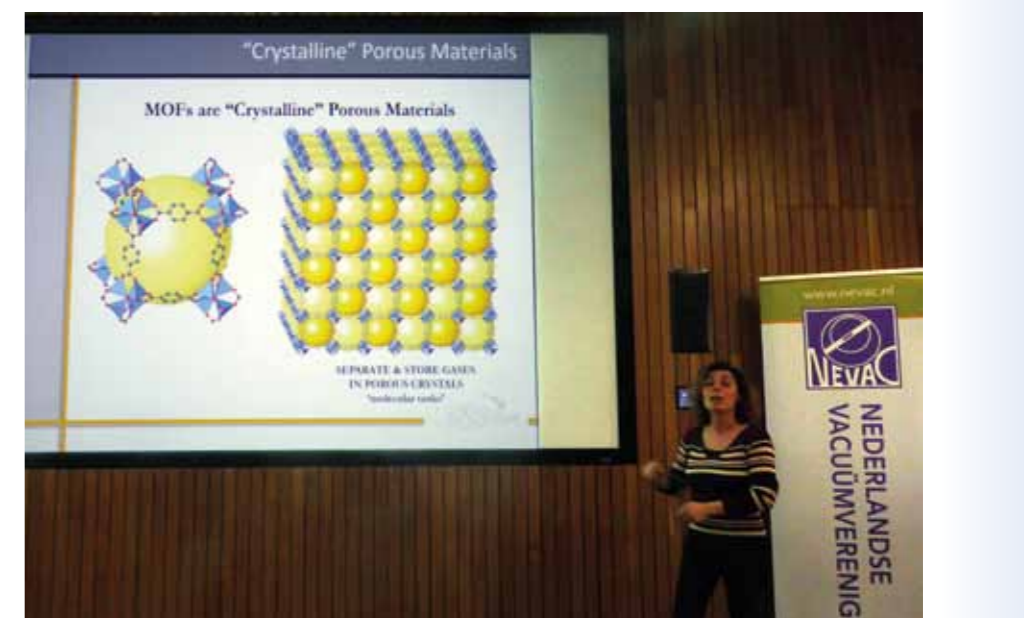
Cor Schrauwen vertelde over de *rent-a-lab* mogelijkheden met modulaire vacuumopstellingen die het bedrijf Sidrabe in Riga, Letland biedt. Deze faciliteit voor dunne-laagtechnieken is opgezet in samenwerking met het Instituut voor Vaste Stof Fysica van de Letse universiteit en kan bijvoorbeeld gebruikt worden voor het ontwikkelen van coatings met behulp van verschillende depositietechnieken.



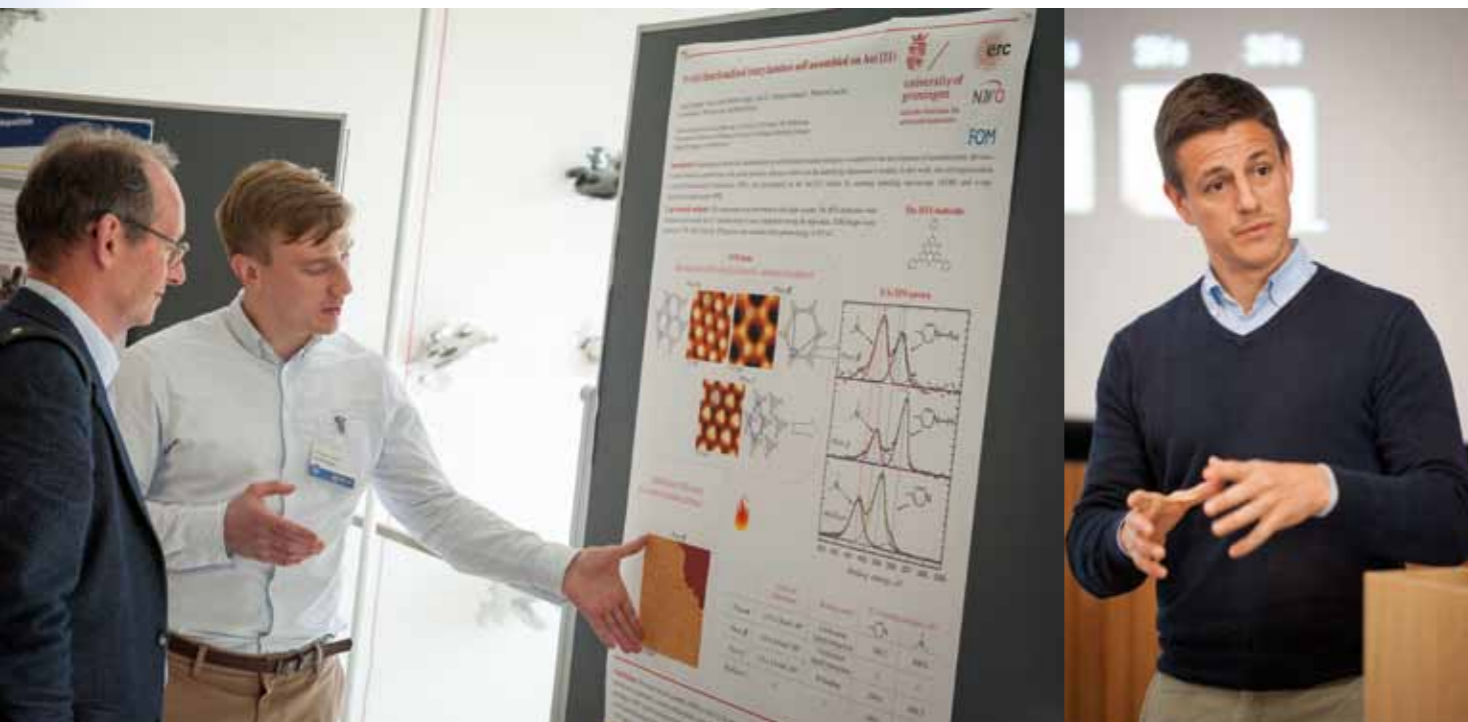
Kees-Jan Weststrate (Syngaschem) over het maken van brandstoffen uit CO en H₂.



Rondleiding bij de Magnum PSI-opstelling.



Sofia Calero (Universiteit Pablo de Olavide) over moleculaire zeven.



De winnaar van de posterprijs: Leonid Solianyc, uit de groep Surfaces and Thin Films van de Rijksuniversiteit Groningen.

Andrea Baldi vertelt over energie-opslag in nanomaterialen.

Het verhaal dat Freek Molkenboer (TNO) hierna hield, sloot naadloos aan op Vadim Banine's verhaal over de machines van ASML. Met behulp van de nieuwe machine EBL2 doet TNO onderzoek naar de levensduur van de EUV spiegels die in de nieuwste lithografie-machines gebruikt worden. Ook hierbij is uiteraard het werken met ultraschoon vacuüm een groot aandachtspunt. In het volgende nummer van het *NEVAC blad* zullen we hier uitgebreid aandacht aan besteden.

Moleculaire zeven en waterstofbatterijen

Sofia Calero (Universiteit Pablo de Olavide, Sevilla, Spanje) nam ons na de middagpauze mee terug naar de Fisher-Tropsch-reactie van Kees-Jan Weststrate. Zij maakt in haar onderzoek gebruik van modellen om de scheiding van bijvoorbeeld de verschillende koolwaterstoffen die bij deze reactie ontstaan te bestuderen. Een ander voorbeeld dat met een dergelijk model bestudeerd kan worden is het scheiden van mengsels van kleine moleculen in bijvoorbeeld verbrandingsgassen: H_2O , CO_2 , N_2 , SO_x en NO_x . De

moleculen die als 'zeef' gebruikt worden zijn polymeren of zeolieten, mineralen die van nature voorkomen in klei, opgebouwd uit silicium-, aluminium- en zuurstofatomen. Met de modellen die ze gebruikt (RASPA moleculaire simulatie software) kan ze exact procescondities reproduceren, of snel en systematisch allerlei mogelijke scheidingsmethoden en zeolieten met verschillende symmetrieën screenen op de beste selectiviteit en capaciteit.

De laatste spreker van de dag was Andrea Baldi. Hij doet onderzoek naar de moleculaire mechanismen van energie-opslag in nanomaterialen. Lithium-ion batterijen met een hoge capaciteit worden op dit moment al gebruikt in bijvoorbeeld de Tesla Powerwall, maar de kostprijs per opgeslagen kWh is nu nog 700 dollar. Als die prijs daalt naar 150 dollar/kWh dan kunnen dit soort batterijen algemeen gebruikt worden. Opslag van energie wordt steeds belangrijker nu er steeds meer elektriciteit duurzaam wordt opgewekt met zonnecellen en windparken. Met elektriciteit die niet meteen gebruikt wordt kan bijvoorbeeld water worden omgezet in zuurstofgas en wa-

terstofgas. Waterstof is daarna bruikbaar als brandstof of kan worden opgeslagen in metaalhydride batterijen. Baldi bestudeert de opslag van waterstofgas in palladium-nanostructuren. Hij vond dat de opslagcapaciteit van palladium in theorie veel groter is dan de hoeveelheid die daadwerkelijk wordt opgenomen. Dat komt omdat het palladium als het verzaagd zou zijn 10 % uit zou zetten. Als de druk in het metaal te hoog is dan vindt er een faseovergang plaats, waardoor de opname van waterstof stopt. Met behulp van verschillende spectroscopische technieken kan hij nu tot op atomair niveau in beeld brengen hoe het waterstof zich over palladium nanodeeltjes verdeelt. Na deze volle dag vol onderwerpen die hoopvol stemmen over nieuwe ontwikkelingen in de duurzame energie, was het tijd voor het laatste onderdeel. Hans van Eck reikte de prijs voor de beste poster 'Pyridyl-Functionalized Triarylamine self-assembly on Au(111)' uit aan promovendus Leonid Solianyc, uit de groep Surfaces and Thin Films van de Rijksuniversiteit Groningen. Onder het genot van de borrel werden de onderlinge contacten tenslotte nog even extra aangehaald.

ASD Workshop 2017 - Eindhoven



Op 20 en 21 april vond in Eindhoven de tweede workshop plaats over plaats-selectieve depositie (*area selective deposition*, ASD). Na een succesvolle workshop in 2016, georganiseerd door imec in Leuven, nam de Technische Universiteit Eindhoven dit jaar het stokje over. De workshop werd georganiseerd binnen het kader van het Europese samenwerkingsproject (COST actie) 'Hooking together European Research in Atomic Layer Deposition' (HERALD). Mede dankzij de gulle bijdragen van sponsors Lam Research, ASML, Oxford Instruments en de NEVAC kan de workshop beschouwd worden als een groot succes met meer dan 150 deelnemers.

Martijn Vos, Alfredo Mameli, Erwin Kessels, Adrie Mackus

Plasma & Materials Processing, Faculteit Technische Natuurkunde, Technische Universiteit Eindhoven, Postbus 513, 5600MB Eindhoven
a.j.m.mackus@tue.nl

Sinds de uitvinding van de transistor is het aantal transistoren op een computerchip iedere twee jaar verdubbeld. Aan deze trend, ook wel de wet van Moore genoemd, wordt nu zo'n 50 jaar voldaan, maar technologisch wordt het steeds moeilijker om mee te gaan in deze ontwikkeling en door sommige experts wordt gesuggereerd dat de limiet nagenoeg is bereikt. Om de wet van Moore te kunnen blijven volgen is het van belang om steeds kleinere structuren te definiëren, bijvoorbeeld met ASML's nieuwe EUV-machine. Het uitlijnen van deze structuren op nanometerschaal wordt echter een steeds

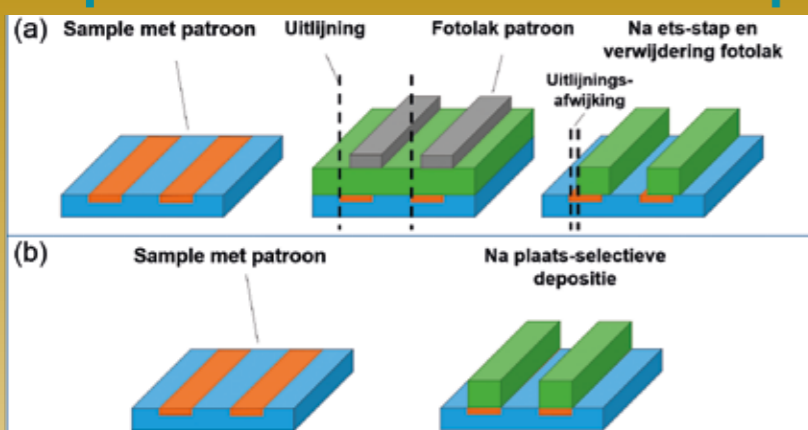
grotere uitdaging (zie het kader). Om die reden is er vanuit de halfgeleiderindustrie een groeiende vraag naar plaats-selectieve depositieprocessen, waarmee structuren bottom-up kunnen worden opgebouwd. Vanwege deze wens vanuit de industrie zijn er steeds meer onderzoekers die zich bezighouden met ASD en het kan dan ook gezien worden als een *hot topic* binnen de dunne-filmgemeenschap. Genoeg reden om een workshop te organiseren waarbij deze onderzoekers de kans krijgen hun nieuwste resultaten te delen en te bespreken wat de uitdagingen en mogelijkheden voor ASD zijn.

Wetenschap en industrie

De workshop werd bijgewoond door 152 deelnemers, waarvan meer dan de helft afkomstig was uit de industrie. Dit illustreert de noodzaak die er in de industrie wordt ervaren om bottom-up technieken te implementeren. Naast een groot aantal deelnemers uit Europa, bleek er ook veel interesse te zijn vanuit de VS en Azië. De workshop was opgesplitst in een informeel gedeelte op de avond van 20 april en een wetenschappelijk gedeelte op 21 april. De welkomstreceptie vond plaats op donderdagavond op de natuurkunde-faculteit van de Technische Universiteit Eindhoven. Tijdens deze receptie was er de gelegenheid voor een bezoek aan het lab van de Plasma & Materials Processing (PMP) onderzoeksgroep waar ook aan ASD wordt gewerkt. Vervolgens werd de receptie afgesloten met een diner, wat ook de ruimte bood om te netwerken met zowel oude bekenden als nieuwe gezichten.

Het wetenschappelijk gedeelte vond plaats in het Pullman Hotel in het centrum van Eindhoven, en bestond uit zestien presentaties, een postersessie en een afsluitende discussiesessie. De bijdragen waren onderverdeeld in presentaties door uitgenodigde sprekers uit de academische wereld en uit de industrie

Top-down versus bottom-up



Schematische weergave van de conventionele top-down (a) en de innovatieve bottom-up (b) methoden voor het aanbrengen van structuren tijdens het fabriceren van nanoelektronica.

De conventionele methode om halfgeleiderstructuren aan te brengen berust op een top-down aanpak waarbij materiaal weggehaald wordt op plaatsen waar het niet gewenst is (zie figuur (a)). Om het patroon aan te brengen wordt een fotolaklaag gebruikt die behandeld wordt met behulp van fotolithografie. Door de alsmat kleiner wordende dimensies van halfgeleiderstructuren levert de conventionele top-down aanpak moeilijkheden op bij de uitlijning van verschillende lagen op elkaar. Een alternatief is om gebruik te maken van plaats-selectieve depositie (zie figuur (b)). Hierbij vindt er selectief depositie plaats op oppervlakken (of materialen) waar dit gewenst is, terwijl er op andere oppervlakken geen materiaal wordt aangebracht. Deze bottom-up methode lost het probleem van de uitlijning op en zorgt er bovendien voor dat er minder lithografie- en ets-stappen nodig zijn.



Deelnemers in gesprek onder het genot van eten en drinken tijdens de welkomstreceptie.

en sprekers geselecteerd op basis van een ingestuurde samenvatting.

Wetenschappelijke bijdragen

Prof. Stacey Bent van de Stanford Universiteit (Californië, VS) had de eer om de dag te beginnen. Zij is een van de pioniers op het gebied van ASD en werkt al sinds 2004 aan selectieve atoomlaagdepositie (*atomic layer deposition*, ALD) met behulp van zelf-geassembleerde monolagen (*self-assembled monolayers*, SAMs). Prof. Bent besprak in haar presentatie twee methoden om selectiviteit te verbeteren, namelijk chemisch etsen en regeneratie van de SAMs. Prof. John Abelson van de Universiteit van Illinois in Urbana-Champaign nam het publiek vervolgens terug naar de basis van chemische dampdepositie (*chemical vapour deposition*, CVD). Hij benadrukte het belang van defecten aan het oppervlak van materialen en de rol die deze spelen in selectieve depositie. Daarnaast legde hij uit hoe bepaalde moleculen gebruikt kunnen worden om groei af te remmen (zogenaamde *inhibitors*).

Prof. Annelies Delabie van het Belgische IMEC presenteerde over hoe de werelden van 2D-materialen (zoals grafeen, MoS₂ en WS₂) en ASD samenkomen in haar onderzoek. Ondanks dat het onderzoek naar depositie van 2D-materialen nog in de kinderschoenen staat, zijn er dus onderzoekers die al bezig zijn met de volgende stap. Hoewel het meeste onderzoek binnen het ASD-veld gericht is op toepassingen in de halfgeleiderindustrie, liggen daarbuiten nog genoeg andere mogelijkheden. Prof. Rong Chen van de Huazhong Universiteit, China, bracht dit onder de aandacht door de toepassingen in katalysatoren te bespreken. De presentatie van Dr. Younghee Lee van de Universiteit van Colorado in Boulder zou gezien kunnen worden als de vreemde eend in de bijt tijdens de workshop, aangezien Lee niet sprak over het selectief aanbrengen van materiaal, maar over het selectief verwijderen van materiaal. Lee liet resultaten zien van zijn onderzoek naar



atoomlaagetsen (*atomic layer etching*, ALE). ALE is de tegenhanger van ALD en is momenteel een ander *hot topic* aangezien het ook nieuwe mogelijkheden biedt voor het fabriceren van kleinere halfgeleiderstructuren. Daarnaast bleek er tijdens de workshop veel interesse te zijn voor combinaties van selectieve ALD en ALE voor het verbeteren van de selectiviteit van de groei.

Industriële uitdagingen

Met sprekers van Tokyo Electron, IBM, Air Liquide, ASM en Applied Materials was de industrie ook ruim vertegenwoordigd. Dr. Jean-Marc Girard van Air Liquide, een leverancier van chemicaliën, sprak over het ontwikkelen van nieuwe chemicaliën en de commerciële en logistieke aspecten daarvan. Dr. Son Van Nguyen van IBM richtte zich voornamelijk op de toepassing die momenteel het dichtste bij implementatie in de industrie staat, het aanbrengen van beschermingslagen op koper met CVD. De sprekers van de apparatuur-leveranciers Tokyo Electron, ASM en Applied Materials be-

spraken hun visie over de mogelijkheden en uitdagingen binnen het ASD-veld. Het formele programma werd afgesloten met een discussiesessie waarbij deelnemers de gelegenheid hadden om hun eigen ideeën of een belangrijke vraag te *pitchen*. Hoewel de dag inmiddels lang bezig was en de vermoeidheid langzaam zichtbaar begon te worden, werd het een levendige discussie met inbreng van een groot aantal deelnemers. Rond 19.00 uur werd door een van de deelnemers dan toch de vraag gesteld of de borrel

Hoofd-organisator Adrie Mackus van de TU/e leidt deelnemers rond in een van de labs van de Plasma & Materials Processing-groep.

kon beginnen. Het was immers vrijdag. De derde ASD-workshop zal volgend jaar in maart/april in Raleigh, Noord Carolina, VS plaatsvinden. Voor een gedetailleerder verslag van de workshop verwijzen we naar het blog van de Plasma & Materials Processing groep: www.atomiclimits.com.



Deelnemers luisteren aandachtig naar Gregory Parsons die een vraag stelt aan spreker Younghee Lee (niet in beeld).

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



Stein van Eden (DIFFER) won dit jaar de NEVAC-prijs van 1000 euro en presenteerde zijn werk tijdens de NEVAC-dag. Volgend jaar kun jij degene zijn die de NEVAC-prijs wint 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 2018** 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

This year, Stein van Eden (DIFFER) was the winner of the NEVAC Prize (1000 Euro) and he presented his work during the NEVAC day. Next year you could be the NEVAC Prize winner for the best article related to vacuüm.

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, 2018**. 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

Agenda

5-8 juli 2017

The 14th International Symposium on Sputtering and Plasma Processes (ISSP 2017)
Nonoichi, Japan

10-14 juli 2017

30th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC), Regensburg, Duitsland

15-18 juli 2017

17th International Conference on Atomic Layer Deposition (ALD 2017)
Denver, VS

27 augustus-1 september 2017

ECOSS-33
Szeged, Hongarije

10-14 september 2017

Operating Quantum States in Atoms and Molecules at Surfaces (QMol 2017)
Monte Verita in Ascona, Switzerland

25-29 september 2017

International Summer School on Vacuum, Electron and Ion Technologies
Sozopol, Bulgaria

11-12 oktober 2017

Vacuum Expo / Vacuum Symposium / Photonex 2017, Richoh Arena Coventry, UK

15-18 oktober 2017

TACT 2017, International Thin Films Conference, National Dong Hwa University, Hualien, Taiwan

29 oktober - 3 november 2017

AVS 64th International Symposium and Exhibition, Tampa, Florida

13-17 november 2017

International Conference on Thin Films, ICTF-17
New Delhi, India

15-16 november 2017

Precisiebeurs, Koningshof, Veldhoven

4-7 december 2017

The 82nd IUVSTA Workshop on Plasma-based Atomic Layer Processes
Bankoku Shinryokan, Okinawa, Japan

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 met het formulier op

www.nevac.nl

Buitenland Excursie 2018: meld je aan

In 2018 gaan we weer een buitenlandse reis maken: met een overweldigende meerderheid van stemmen is besloten dat we in september naar Japan gaan. Daar is dan de jaarlijkse Japan Vacuum Show, en we willen een programma maken van meerdere bezoeken in die regio, bijvoorbeeld SMC-Japan, de KEK-versneller, JEOL, Hitachi, etc. Eventueel een tweede week om Japan als toerist te verkennen.

Geef je alvast op via het formulier op www.nevac.nl

We gaan nu een voorlopig programma in elkaar draaien. Suggesties voor bedrijfsbezoeken zijn altijd welkom.

De Buitenland Excursie Commissie bestaat nu uit: Riens de Groot (programmacoördinator), Coen Driessen (financiën), Rob Klöpping (CTRL-f en excursieleider/-lijder).

We worden bijgestaan door:

Claud Biemans (eindredacteur van de deelnemersverslagen voor het *NEVAC blad*), Cristian van Helvoirt (mede-programmacoördinator), Ad Ettema, penningmeester van de NEVAC en verantwoordelijk voor de juiste besteding van de NEVAC-subsidie.

Rob Klöpping

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