

# NEVAC **BLAD**

jaargang 56 / nummer 2 – juni 2018

Hoge druk in het vacuüm van  
de European Spallation Source

Geschiedenis:  
Ionisatiemanometers

Tunneldiodes en metaal-  
halfgeleiderverbindingen  
van grafeen-nanodraden



NEDERLANDSE  
VACUÛMVERENIGING

Fotoverslag NEVAC-dag

# Your European Vacuum supplier



**VACUUM TECHNOLOGY**  
**Hositrad**

De Wel 44  
3871 MV Hoevelaken  
Holland

Postbus 114  
3870 CC Hoevelaken  
Holland

---

phone (+31) 33 - 2537210 - fax (+31) 33 - 2535274  
info@hositrade.com - www.hositrade.com

## Colofon

### Redactie

Claud Biemans, eindredacteur  
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 2018

Maart  
Juni  
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



Een paar kilometer ten noordoosten van het historische Zweedse stadje Lund is de skyline gevuld met hoge bouwkransen. Hier wordt de European Spallation Source gebouwd.

- 5 **Van de redactie:** *La gazette de vide* Ad Ettema
- 6 Tunneldiodes en metaal-halfgeleiderverbindingen van grafeen-nanoraden Peter Jacobse, Ingmar Swart
- 11 Uitslag NEVAC-prijsvraag 2018 Hans van Eck
- 12 **Interview:** Hoge druk in het vacuüm van de European Spallation Source Claud Biemans
- 17 **Nieuw product:** Jeclin
- 17 NEVAC-cursisten bezoeken Leybold in Keulen Riens de Groot
- 18 NEVAC-dag 2018: Wetenschap in vacuüm op de schaal van atomen en moleculen Claud Biemans
- 22 **Geschiedenis:** Ionisatiemanometers Theo Mulder
- 25 In memoriam Ries van de Sande Daan Schram, Richard van de Sanden, Erwin Kessels en Janneke Zeebregts
- 26 Japanreizigers bijeen bij Hositrade
- 27 Agenda

De sluitingsdatum van kopij voor het derde nummer van het *NEVAC blad* 2018 is 15 oktober 2018

# Jeclin

fasteners for cleanroom

developed by **Jeveka**

**Jeclin** is een uitgebreid assortiment aan bevestigingsartikelen voor cleanroom en vacuümtoepassingen. Jeclin is oorspronkelijk ontwikkeld door Jeveka in samenwerking met de halfgeleiderindustrie. Tegenwoordig vind je deze bevestigingsartikelen in een groot aantal toepassingen die afhankelijk zijn van cleanroom technologie, zoals lucht- en ruimtevaart, solarsystemen en de medische industrie.

## Waarom kiezen voor **Jeclin** van **Jeveka**

- Veel artikelen uit voorraad leverbaar
- Productie van specials op aanvraag
- Kleine verpakkingen en verkoopheenheden mogelijk
- Technische ondersteuning en advies
- Groeiend assortiment door vraag uit de markt

## Oppervlakte- en nabehandelingen

- Elektrolytisch polijsten
- Kolsteriseren (voorkoming van koudlas)
- Reinigen (minimaliseren van kleine deeltjes)
- Nagerolde draad

**Jeclin** bevestigingsartikelen voor cleanroom kenmerken zich door een standaard kwaliteit van A4-80. De artikelen zijn ook verkrijgbaar in: roestvaststaal AISI 316, Inconel 718 en Titanium (grade 2 en 5).

## Beschikbare producten

- Binnenzeskant
- Zeskant
- Moeren
- Onverliesbaar
- Ringen
- Pennen



Om een ruimte optimaal vacuüm te krijgen en te houden, maar ook om virtueel lekken en potentiële contaminatie te voorkomen, is het van belang dat er gebruik wordt gemaakt van vacuüm bevestigingsartikelen.

Vented voor optimaal vacuüm



[Jeveka.com/jeclin](http://Jeveka.com/jeclin)

 **Jeveka**  
De passende verbinding



## 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

## La gazette de vide

Afgelopen week ontving ik *La gazette de vide*, het ledenblad van de vacuümvereniging in Frankrijk. Interessant is dan natuurlijk om naar verschillen en gelijkenissen te kijken.

De Société Française du Vide kent net als de NEVAC gewone leden en bedrijfsleden. De SFV heeft 1945 persoonlijke lidmaatschappen en 38 bedrijfslidmaatschappen, de NEVAC heeft ca 240 leden op persoonlijke titel en ca 60 bedrijven die lid zijn. De SFV heeft daarmee ruim 6 keer zoveel leden als de NEVAC, maar de NEVAC heeft bijna 2 maal zoveel bedrijfsleden. Ter vergelijking: Frankrijk heeft 4 keer zoveel inwoners als Nederland.

Een opvallend verschil in de organisatie is dat de SFV een bureau heeft met vier professionele medewerkers terwijl de NEVAC door vrijwilligers op de been wordt gehouden. Een belangrijke inkomstenbron voor de SFV is het organiseren van conferenties. Het is van grote waarde voor de actieve wetenschappers in Frankrijk dat de organisatie van een klein of groot congres volledig uit handen gegeven kan worden door een professioneel team dat bekend is met wetenschappelijke conferenties. Ik heb zelf mogen ervaren hoe professioneel dit team is en heb diep respect voor hen.

Een ander verschil is het blad. *La gazette* verschijnt jaarlijks (1 keer) en het *NEVAC blad* drie keer per jaar, maar een groter verschil betreft de inhoud van beide bladen. *La gazette* bevat veel kleine mededelingen en aankondigingen en nauwelijks inhoudelijke bijdragen. Het *NEVAC blad* heeft een strenge redactie die de leesbaarheid van de bijdragen controleert en waar nodig verbeteringen en suggesties aan de auteurs doet. Met een drie keer hogere verschijningsfrequentie en significant meer inhoudelijke bijdragen kunnen we met recht trots zijn op het *NEVAC blad*.



Ad Ettema

# Tunneldiodes en metaal-halfgeleiderverbindingen van grafeen-nanodraden

Grafeen-nanodraden zijn smalle strookjes van grafeen die – in tegenstelling tot het bulkmateriaal – een bandkloof kunnen hebben, een eigenschap waardoor ze interessante kandidaten zijn voor toekomstige nanoelektronica. De aanwezigheid en grootte van deze bandkloof is sterk afhankelijk van de breedte en structuur van de draden. Met behulp van oppervlaktesynthese in ultrahogvacuüm (UHV) kunnen met atomaire precisie verschillende typen nanodraden gemaakt worden en bovendien metaal-halfgeleiderverbindingen direct in individuele draden ingebouwd worden. De elektronische en geometrische structuren van de draden kunnen in kaart gebracht worden met rastertunnelmicroscopie en atoomkrachtmicroscopie, ook in UHV. Bovendien kan de geleiding gemeten worden door de grafeen-nanodraden op te tillen aan de tip. Deze metingen tonen aan dat de metaal-halfgeleiderverbindingen zich zoals voorspeld gedragen en laten vingerafdrukken zien van elektronische componenten in een enkele draad, zoals een tunnelbarrière.

Peter Jacobse, Ingmar Swart

Sinds de ontdekking van grafeen in 2004 wordt het materiaal gezien als een wondermateriaal voor de toekomst. Niet alleen heeft het atomaire dunne honingraatrooster (zie figuur 1) van koolstof ongewone mechanische eigenschappen, maar bovenal is aangetoond dat het elektronen vele malen beter kan geleiden dan metalen zoals koper en goud. Grafeen heeft daarom de potentie het mate-

riaal te zijn waarop een volgende generatie van nog snellere microchips wordt gebouwd.

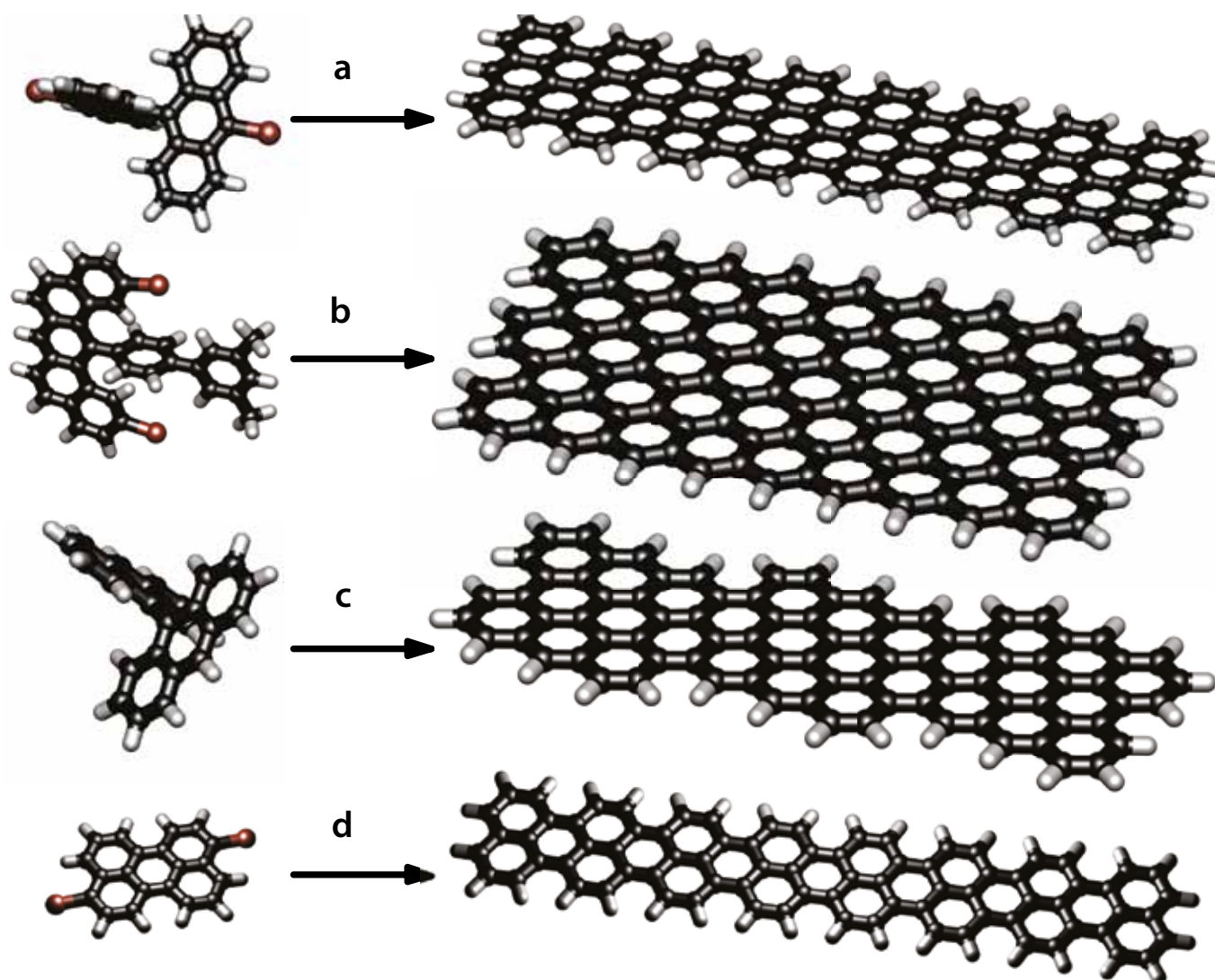
Ondanks de goede geleidingseigenschappen is grafeen zelf niet het perfecte materiaal voor toepassing in elektronische componenten zoals transistors en diodes. Het materiaal heeft namelijk geen bandkloof (Engels: *band gap*). Een bandkloof zorgt ervoor dat een mate-

riaal halfgeleidend wordt – geleidend in een elektrisch veld maar isolerend zonder. Dit maakt het mogelijk de geleiding naar keuze aan- en uit te schakelen – een principe dat cruciaal is voor de werking van transistors. Wereldwijd onderzoeken verschillende groepen hoe een bandkloof gecontroleerd in grafeen aangebracht kan worden zodat het materiaal haar potentie als bouwmaterial voor elektronische componenten van de microchips van morgen waar zal kunnen maken (toegegeven: “morgen” zou best enkele tientallen jaren in de toekomst kunnen liggen).

Een interessante benadering is het toepassen van het quantumopsluitingseffect (Engels: *quantum confinement*). Door grafeen “uit te stansen” in strookjes met een breedte van enkele nanometers worden grafeen-nanodraden verkregen. Dit zijn structuren die veel van de gunstige geleidingseigenschappen van het grafeen



Figuur 1 Model van grafeen. Hierin zijn de zigzagrichting en de armchair-richting aangegeven.



**Figuur 2** Verschillende moleculen geven verschillende nanodraden. a) 10,10'-dibroom-9,9'-bianthryl reageert op goud tot *armchair* nanodraden [1]. b) Zigzag nanodraden worden gemaakt met 1-(3,5-dimethylfenyl)-4-(di-(3-broom)benz[a,j]-9'-anthracenyl)benzeen [2]. c) Chirale draden kunnen gemaakt worden met 9,9'-bianthryl [3]. d) *armchair* nanodraden met een breedte van 5 atomen worden vervaardigd met 3,9-dibroomperyleen [4].

overnemen maar daarnaast – vanwege de quantummechanische kwantisatie van elektrongolven – een bandkloof kunnen hebben. De exacte grootte van deze kloof is sterk afhankelijk van de breedte van de stroken en kan ook enorm variëren met de structuur van de rand. Afhankelijk van hoe het materiaal gesneden wordt zijn er in principe twee verschillende soorten randen, de zogenoemde zigzag- en *armchair*-rand (zie figuur 1).

Juist vanwege de gevoeligheid van de elektronische structuur met betrekking tot de geometrische structuur van de nanodraad is het erg lastig een nanodraad te verkrijgen met exact de gewenste eigenschappen. Draden die niet met de grootst mogelijke precisie vervaardigd

kunnen worden zullen erg vatbaar zijn voor variaties in de bandkloof over de lengte van de draad, hetgeen verstrooiing van elektronen in de hand werkt. Dit zal hypothetische elektronische nanodraad-componenten inefficiënt maken.

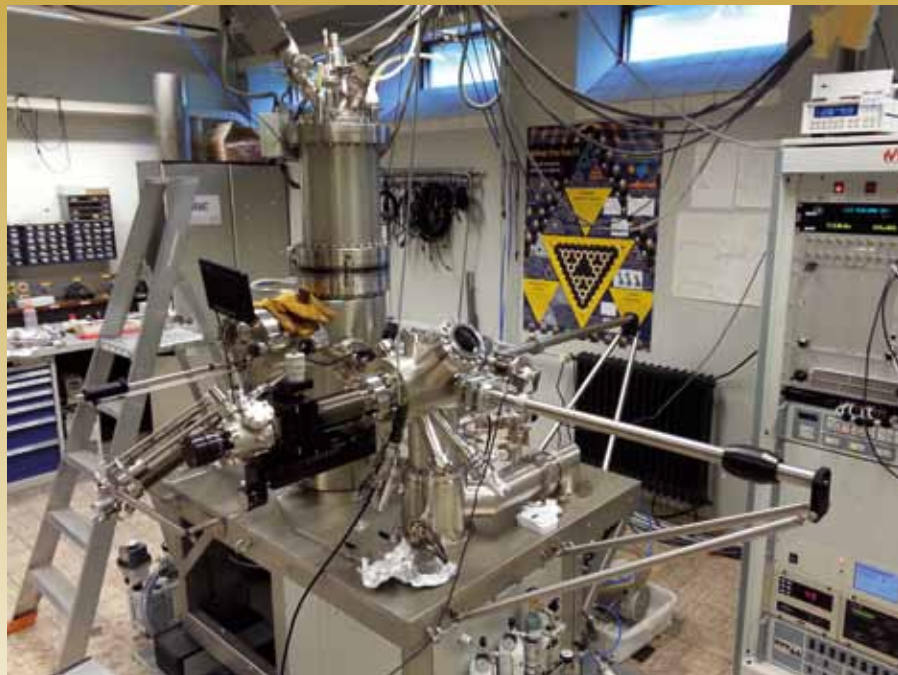
#### Synthese van grafeen-nanodraden

Gelukkig zijn er recentelijk methodes ontwikkeld om de benodigde atomaire precisie te kunnen verkrijgen. Dit zijn bottom-upmethodes. Met behulp van oppervlaktesynthese (Engels: *on-surface synthesis*) kunnen de nanodraden gegroeid worden uit chemische stoffen. Dit gebeurt door moleculen, die worden gesynthetiseerd in het scheikundelaboratorium, aan te brengen op een me-

taaloppervlak en polymerisatiereacties en andere koppelingen uit te voeren. De chemische methode levert nanodraden met atomaire precisie en vaak zonder ook maar een enkel defect in de draad te introduceren. Dit in tegenstelling tot de eerder ontwikkelde top-downmethodes waarin grafeen-nanodraden werden uitgesneden met behulp van lithografie, of koolstof nanobuisjes werden “opengeritst”. Een ander belangrijk voordeel van de bottom-upmethode is dat de uiteindelijke structuur van de draad is ‘ingebakken’ in het uitgangsmolecuul. Door verschillende moleculen te maken en gebruiken kunnen dus draden van verschillende breedte en randstructuur worden gemaakt (figuur 2).

# De UHV-opstelling

Alle rastertunnelmicroscopie- (STM) en atoomkrachtmicroscopiemetingen (AFM) worden uitgevoerd in UHV ( $10^{-10}$  mbar) bij een temperatuur van 4,5 K ( $-268,5$  °C). Bij deze gecontroleerde, koude condities kan ook de AFM in non-contact mode gebruikt worden, wat nodig is om de atomaire structuur van de nanodraden in kaart te brengen. In dezelfde behuizing zit een preparatiekamer waarin metaalkristallen kunnen worden schoongemaakt en samples kunnen worden geprepareerd. Het schoonmaken van metaalkristallen gebeurt door verscheidene cycli van sputteren (het verwijderen van de bovenste lagen door ze te beschieten met een plasma van hoog-energetische argonionen) en *annealen* (het verhitten tot het punt waarop de metaal-atomen aan het oppervlak mobiel genoeg worden om zich netjes te rangschikken in atomair vlakke 'terrassen'). Zodra dit is gebeurd wordt een zogenaamde molecuulverdampster (een klein houder-tje waarin enkele korrels van de chemische uitgangsstof zitten) verhit tot het punt dat de moleculen sublimeren.



**Figuur 3** Onze UHV-opstelling, met op de voorgrond de preparatiekamer en daarachter (de verticale cilinder) de rastertunnel- en atoomkrachtmicroscop.

Stabiele molecuulsublimatie is af te lezen aan een drukverhoging, meestal in de orde van  $5 \cdot 10^{-9}$  mbar vanaf een basisdruk die een orde van grootte lager ligt.

De oppervlaktesynthese begint met het schoonmaken van een eenkristal van een metaal in een preparatiekamer van onze UHV-opstelling (zie kader). Hierna worden moleculen opgedampt op het metaaloppervlak en zodra de gewenste bedekking is bereikt (ongeveer een kwart van een (oppevlakbedekkende) monolaag) kunnen de oppervlaktesynthetische reacties uitgevoerd worden. Hiertoe wordt het metaalkristal simpelweg verhit. De reacties die daardoor plaatsvinden zijn dehalogenatiereacties (reacties waarbij een koolstof-halogeenaanbinding wordt verbroken en daarmee het koolstof geactiveerd wordt voor koppelingenreacties), polymerisaties (reacties waarbij moleculen met elkaar koppelen tot lange ketens) en cyclodehydrogenaties (reacties waarbij koolstof-koolstofbindingen worden gevormd onder verlies van wa-

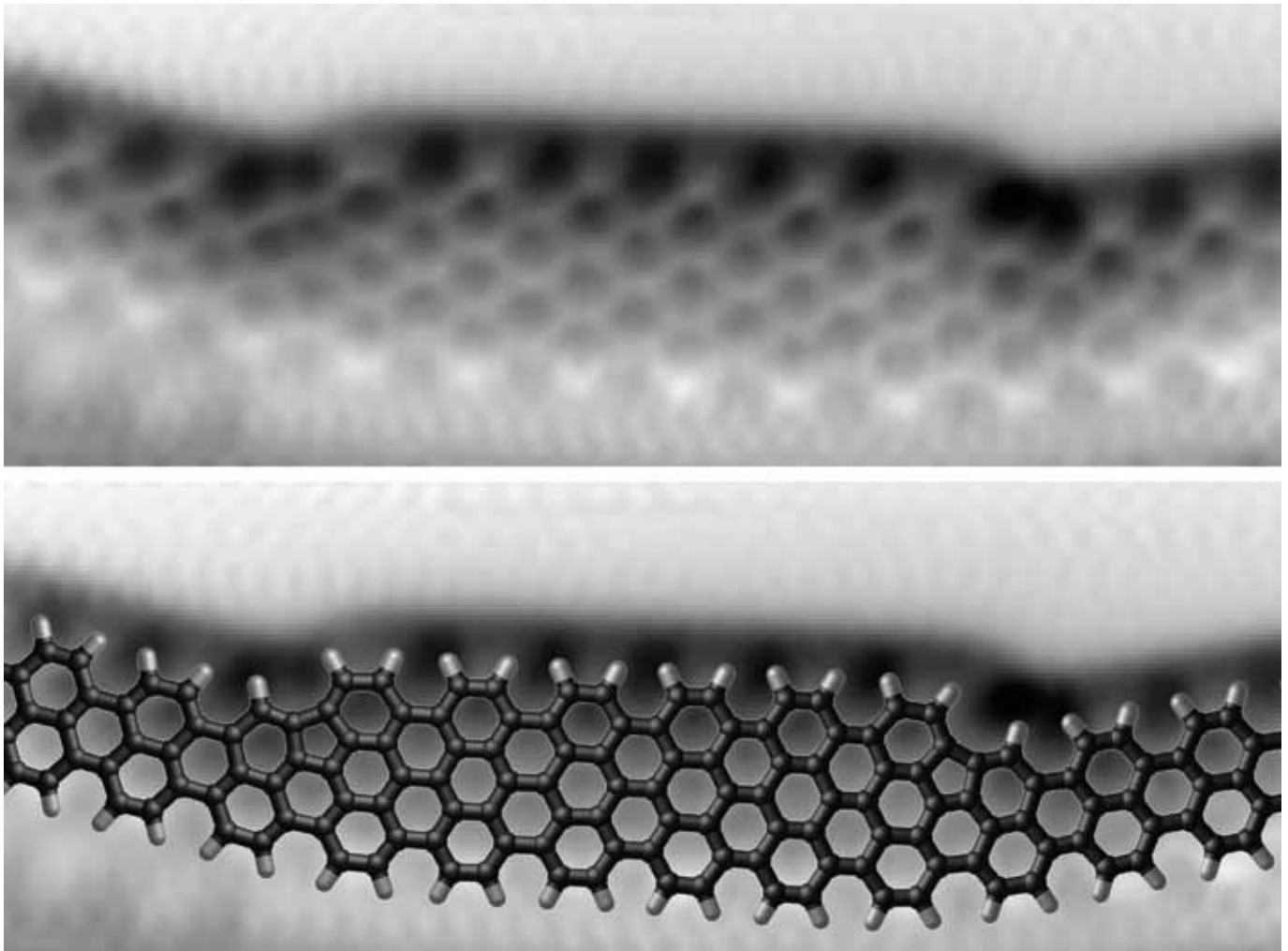
terstof om extra ringen te vormen en waarbij de structuur plat wordt). Door steeds exact de juiste temperatuur aan te houden gedurende de juiste tijd en vervolgens verder te verhitten naar de volgende temperatuur kunnen de verschillende reacties opeenvolgend uitgevoerd worden.

De moleculen die we gebruiken zijn dihalobianthryl: een organische verbinding met zes benzeenringen en twee halogeenaatomen. De halogeenaatomen zijn ofwel chlooratomen ofwel broomatomen. Deze moleculen geven *armchair*-nanodraden met een breedte van 7 atomen (figuur 2a): nanodraden met een significante bandkloof van ongeveer 2,4 eV. Verrassend genoeg werkt de oppervlaktesynthese op koper anders dan op een goudkristal. Hier vindt een ander type reactie plaats dan de gebruikelijke

polymerisatie, met als resultaat draden met een 'chirale' rand: een gemengde *armchair*-/*zigzag*rand, zie figuur 2c. De chirale draden hebben een veel kleinere bandkloof dan de *armchair*-nanodraden wat grotendeels komt door elektronische toestanden die aan de randen zijn gelokaliseerd. Een derde type draad dat we kunnen synthetiseren is de 5 atomen brede *armchair*-nanodraad. In tegenstelling tot de andere draden heeft deze een bandkloof die naar nul afneemt met toenemende lengte: de nanodraad kan als een metaal worden beschouwd.

De 5 atomen brede draad wordt gesynthetiseerd uit dibroomperyleen, een molecuul met vijf gefuseerde benzeenringen en twee broomatomen. De oppervlaktesynthese van deze moleculen op goud werkt analoog aan de reactie van dibroombianthryl. Interessant genoeg





**Figuur 4** AFM-scan van een grafeen-nanodraad met ingebouwde metaal-halfgeleiderverbindingen. Het onderste paneel toont een model van de atomaire geometrie.

betekent dit dat we met hetzelfde type chemie zowel metallische als halfgeleidende nanodraden kunnen maken. Een logische volgende denkstap was derhalve het proberen de syntheses te combineren in een copolymerisatiereactie. Het idee hierachter is dat de verschillende moleculen met elkaar kunnen polymeriseren tot grafeen-nanodraden met afwisselend 5 en 7 koolstofatomen brede stukken. Dit zou dan een heterostructuur van metallische en halfgeleidende segmenten moeten vormen. In ons onderzoek hebben we inderdaad deze copolymerisatie uitgevoerd en metaal-halfgeleiderdraden gegroeid.

#### Karakterisatie van nanodraden

Karakterisatie van de draden vindt plaats in onze gecombineerde rastertunnel- en atoomkrachtmicroscop (STM

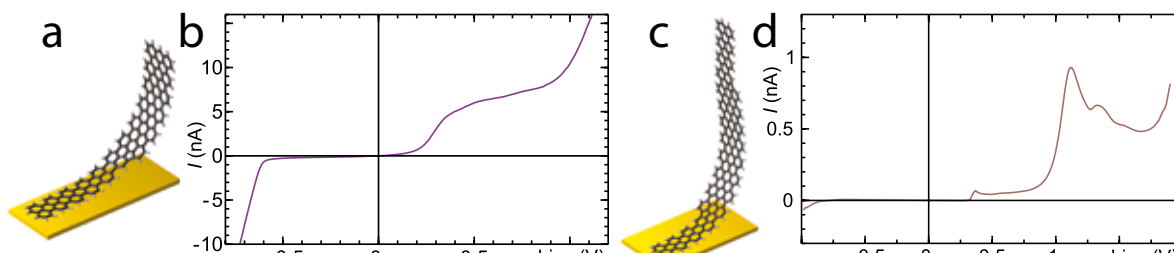
en AFM) die ingebouwd is in dezelfde UHV-opstelling (zie kader). Met behulp van STM kan niet alleen een beeld van de structuur van de draden op het oppervlak verkregen worden, maar ook van de elektronische structuur in de draden zelf. Dit komt doordat de spanning naar wens aangepast kan worden en er bij verschillende spanningen resonant tunnelen kan plaatsvinden in de elektronische toestanden van de grafeen-nanodraden (bijvoorbeeld in de valentie- en geleidingsband). In tegenstelling tot STM kan met AFM de geometrische structuur van de nanodraad zichtbaar gemaakt worden. Figuur 4 toont een AFM-scan van een grafeen-nanodraad met segmenten die 5 en 7 atomen breed zijn.

Door de gecombineerde AFM- en STM-studie van de grafeen-nanodraden kon worden vastgesteld dat er inderdaad me-

taal-halfgeleiderverbindingen gemaakt kunnen worden. AFM brengt de atomaire structuur van de draden in kaart en laat zien hoe de verschillende segmenten respectievelijke breedtes hebben van 5 atomen en 7 atomen. STM laat vervolgens zien dat de lage-energietoestanden gelokaliseerd zijn op de 5 atomen brede segmenten terwijl er wat extra energie nodig is om in de 7 atomen brede segmenten te tunnelen. De bandkloof in de brede stukjes is inderdaad significant groter dan de bandkloof in de nauwe stukjes.

#### Elektronisch functionele grafeen-nanodraden

Een experiment dat is uitgevoerd om nog beter het verschil in elektronische structuur in kaart te brengen in de segmenten is door de draden fysiek op te pakken



**Figuur 5** Geleidingsexperimenten door metaal-halfgeleiderverbindingen. a) Gesimuleerde geometrie van een metaal-halfgeleider-nanodraad die van een goudoppervlak af wordt getild aan het halfgeleidersegment. b) Experimenteel verkregen  $I(V)$ -karakteristiek van de nanodraad afgebeeld in a. c) Geometrie van een metaal-halfgeleider-metaal-nanodraad die van een goudoppervlak af wordt getild. d)  $I(V)$ -karakteristiek van de nanodraad afgebeeld in c.

met de tip van de STM (vergelijkbaar met een grijper op de kermis). Door dit bij lage spanning te doen – een spanning die te laag is om door een zogenaamd geleidingskanaal te tunnelen – en vervolgens de nanodraad het vacuüm in te tillen, is te zien hoe de stroom afneemt met toenemende hoogte. Hierbij is vastgesteld dat de exponentiële afname van de stroom met toenemende hoogte veel sterker is voor de halfgeleidende draden dan voor de metallische draden. Wanneer vervolgens een heterostructuur opgetild wordt, verandert de afname van de stroom steeds wanneer verschillende segmenten van het oppervlak afgetild worden.

Tot slot zijn bepaalde nanodraden opgetild totdat ze nagenoeg verticaal op het oppervlak stonden. In deze toestand is de stroom gemeten als functie van de aangelegde spanning. Een enkele metaal-halfgeleiderverbinding vertoont in de stroomkarakteristiek duidelijk schottkydiodegedrag: de stroom wordt tot een bepaalde spanning slechts in één richting doorgelaten (zie figuur 5a,b). Een metaal-halfgeleider-metaalverbinding laat een andere karakteristiek zien. Hier is een regime zichtbaar in de aangelegde spanning waar de stroom nul is gevolgd door een piek met een daaropvolgende negatieve differentiële geleiding (zie figuur 5c,d). Dit verschijnsel, waarin een toename van de spanning resulteert in een afname van de stroom, is karakteristiek voor een proces met meerdere resonante tunnelstappen. In dit specifieke geval is te zien dat er resonant tunnelen

plaats kan vinden van het ene naar het andere metallische segment, door het halfgeleidende kanaal heen. Hiermee is voor het eerst een tunnelbarrière aange-toond in een enkele grafeen-nanodraad.

### Toekomst

Er zijn nog flink wat verbeteringsstappen te maken in de oppervlaktesynthese van metaal-halfgeleiderverbindingen of andere elektronische heterostructuren uit grafeen-nanodraden. Momenteel is het nog moeilijk de polymerisatie te controleren. Ten eerste is het belangrijk goed te doseren. Voor beide molecuulsoorten kunnen, met behulp van een kwarts microbalans, de verhittingsstroom en -tijd van de molecuulverdampers goed ingesteld worden. Bovendien kan de verdampingssnelheid enigszins gemonitord worden aan de hand van de druk in de preparatiekamer. Het is niettemin soms lastig gebleken de juiste draden met de juiste precisie te maken.

De volgorde van aangroei is erg belangrijk. Zo moet de lengte van de tunnelbarrières en metallische ‘elektrodes’ bijvoorbeeld goed gedefinieerd zijn (bijvoorbeeld exact vier monomeren van de 7 atomen brede draad). Hiertoe moeten eerst vier bianthrylmoleculen met elkaar reageren voordat ze reacties aangaan met dibroomperyleen. Het sequentieel opdampen kan er echter voor zorgen dat de brede draden eerst te lang uitgroeien. Ook kunnen ze zo’n lage oppervlaktedichtheid en mobiliteit hebben voor de dibroomperyleen moleculen dat laatstgenoemde voornamelijk met elkaar

gaan reageren en het oppervlak vol komt te liggen met metallische draden. Hoe de oppervlaktesynthese gecontroleerd kan worden is een vraagstuk voor de toekomst. Een toekomst die, als het aan de auteurs ligt, rijk is aan mooie grafeen-nanodraadcomponenten [5].

### Referenties

1. Cai, J. *et al.* Atomically precise bottom-up fabrication of graphene nanoribbons. *Nature* **466**, 470–473 (2010).
2. Ruffieux, P. *et al.* On-surface synthesis of graphene nanoribbons with zigzag edge topology. *Nature* **531**, 489–492 (2016).
3. Schulz, F. *et al.* Precursor Geometry Determines the Growth Mechanism in Graphene Nanoribbons. *J. Phys. Chem. C* **121**, 2896–2904 (2017).
4. Kimouche, A. *et al.* Ultra-narrow metallic armchair graphene nanoribbons. *Nat. Commun.* **6**, 10177 (2015).
5. Jacobse, P. H. *et al.* Electronic components embedded in a single graphene nanoribbon. *Nat. Commun.* **8**, 119 (2017).

## Uitslag NEVAC-prijsvraag 2018

Elk jaar wordt het beste Nederlands- of Engelstalige ingestuurde en gepubliceerde artikel in het *NEVAC blad* beloond met de NEVAC-prijs. Deze prijs, een geldbedrag van € 1.000,- wordt uitgereikt door een jury die de artikelen beoordeelt op onder meer leesbaarheid, wetenschappelijk en technisch niveau en het gebruik van illustraties.

Helaas hebben we dit jaar maar één artikel ontvangen, ondanks het oprekken van de deadline. Gelukkig bleek het artikel van Peter Jacobse van de Universiteit Utrecht, naar oordeel van de beoordelingscommissie, bestaande uit Meike Stöhr, Jaap Kautz en ondergetekende, van hoog niveau en wordt de NEVAC-prijs ook dit jaar verdiend toegekend.

In het artikel wordt de synthese van grafeen-nanodraden beschreven, een

veelbelovend bouw- materiaal voor de elektronica van de toekomst. Het artikel is helder geschreven en begrijpelijk voor een breed publiek met een technische, fysische of chemische achtergrond. Tijdens de NEVAC-dag van 20 april, die plaatsvond aan de Universiteit Twente, is de prijs aan Peter overhandigd.

Vanaf nu kan iedereen weer artikelen insturen voor de komende prijsvraag. Heb je een interessant onderwerp dat gerelateerd is aan vacuümtechniek, schroom dan niet en schrijf erover! Wij ontvangen



ELROY VAN SLOTEN

het graag en onze lezers zijn benieuwd naar je verhaal. Geplaatste artikelen van studenten/promovendi worden altijd beloond met 250 euro!

Hans van Eck

Voorzitter beoordelingscommissie 2018

**PFEIFFER**  **VACUUM**



## HIPACE<sup>®</sup> 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



# Hoge druk in het vacuüm van de European Spallation Source

Een paar kilometer ten noordoosten van het historische Zweedse stadje Lund is de skyline gevuld met hoge bouwkransen. Hier wordt een nieuwe, grote gebruikersfaciliteit gebouwd, de European Spallation Source (ESS). Het wordt de meest intense neutronenbron op aarde, aangedreven door een linac (*linear accelerator*) met een lengte van bijna 600 meter en een gemiddeld bundelvermogen van 5 MW. Het 1,84 miljard euro kostende project wordt gebouwd door dertien Europese lidstaten, plus Nederland en België – landen met een waarnemerstatus. In 2023 worden de eerste wetenschappers verwacht die verschillende instrumenten tot hun beschikking krijgen voor het afbeelden van materialen met hoge ruimte- en tijdsresolutie. De neutronenbron zal geheel draaien op duurzame energie en met de restwarmte worden huizen in Lund verwarmd.



## Claud Biemans

Neutronen kunnen worden gebruikt voor het niet-destructief in beeld brengen van de structuur en beweging van atomen en moleculen. De lengteschalen van de instrumenten van de ESS (in totaal 22 verschillende opstellingen) zullen variëren van  $10^{-6}$  tot  $10^{-11}$  m, in combinatie met tijdschalen van  $10^{-3}$  tot  $10^{-15}$  s. Hierbij kunnen materialen bij hoge of lage temperaturen, hoge of lage druk bestudeerd worden.

Neutronen hebben geen elektrische lading. Dat betekent dat ze niet, net als elektronen en protonen, versneld kunnen worden in een deeltjesversneller. Daarom worden er bij de ESS (net als bij andere neutronenbronnen) protonen versneld met een lineaire versneller (figuur 1). De protonen met zeer hoge energie worden vervolgens gericht op

een cirkelvormige schijf van 3 ton wolfram (in 7000 blokken), die roteert met een snelheid van 23,3 rpm. De wolframatomen spatten daardoor uit elkaar in kleinere atomaire brokstukken (*spallation*), waarbij gammastraling en veel neutronen met een hoge snelheid vrijkomen. Daarom is deze *target* omgeven door 6000 ton staal en beton, dat de vrijkomende straling en neutronen opneemt en daardoor radioactief wordt. De neutronen die vrijkomen hebben een tiende van de snelheid van het licht: veel te groot om bruikbaar te zijn in de instrumenten. Ze worden afgeremd tot ongeveer de geluidssnelheid door twee moderators van superkritisch vloeibaar waterstof en water. Er moet rondom de target dus een grote hoeveelheid energie afgevoerd worden. Hiervoor wordt on-

## Model van de target van wolfram-blokken.

der andere gekoeld met maar liefst 3 kg/s heliumgas.

## Straling

De linac, het gebied rondom de target en de neutronengeleiders naar de instrumenten: alles bestaat uit vacuüminstallaties. De afdeling vacuümtechniek van de ESS bestond in april dit jaar uit acht mensen. Daar komen dit jaar zeker nog drie technici bij en de afdeling blijft groeien [1]. Sinds een jaar of vier is dit het werkterrein van een Nederlandse ingenieur die al vele jaren in Zweden woont, Hilko Spoelstra. Hij komt oorspronkelijk uit de medische techniek en werkte eerder aan versnellers voor kankerbehandeling.



**Figuur 1** Het vacuümsysteem van de linac. Voor de ionenbron, Low Energy Beam Transport en radio frequency quadrupole worden turbomoleculaire pompen gebruikt. Voor alle andere systemen worden sputter ionenpompen en NEG-pompen gebruikt. De blauw gekleurde onderdelen zijn supergeleidende cryomodules. Er zijn in totaal 107 afsluiters.



PERRY NORDENG/ESS

Nu is hij vooral verantwoordelijk voor het besturingssysteem voor het vacuüm. Spoelstra: “De partnerlanden leveren alles voor het vacuümsysteem *in kind*. Wij stellen de eisen, de partner maakt het ontwerp en levert de onderdelen. Wij leveren daarna alleen support.”

De protonenbron en het eerste stuk van de linac, de Low Energy Beam Transport (LEBT) zijn inmiddels geïnstalleerd. Spoelstra: “Er zijn nog wat kleine dingen die we moeten verbeteren. De ionenbron is gemaakt in Sicilië en heeft duizenden km gereden in een vrachtwagen. Er zijn enkele kleine lekkages ontstaan die gerepareerd moeten worden. Het installeren van de gehele machine neemt nog twee, drie jaar in beslag. En alles moet per sectie getest worden. We kijken ook of alles schoon is. Bepaalde delen, vooral de cryomodules met een temperatuur van 2 K, moeten helemaal deeltjesvrij zijn. Als daar teveel deeltjes in komen, dan versnellen de protonen niet meer. Dan moet je het schoonmaken en dat is een paar maanden werk. We hebben zelf geen testlab voor grotere voorwerpen, dus het grootste deel wordt gedaan door

Science and Technology Facilities Council (STFC) in Daresbury, Engeland en deeltjesvrij aangeleverd.”

Als de protonenversneller aan staat, komt daar veel straling vrij. Spoelstra: “Daarom kunnen we helemaal geen elektronica in de tunnel hebben, die zou binnen no time kapot gaan.” Op de verdieping boven de linac staan veel kasten met controllers en van daaruit lopen lange kabels naar de tunnel waar de sensoren voor het meten van het vacuüm zitten. Spoelstra: “De Pirani gauge en Cold Cathode Gauge hebben geen elektronische onderdelen en kunnen redelijk goed tegen straling, maar we hebben alles dubbel. Dus als er iets kapot gaat hebben we een backup.”

#### Vacuümlab

Spoelstra laat me het vacuümlab zien. Dat is maar klein en er staan drie opstellingen, alle geleverd door STFC. Er is een integratietank, een algemene tank om nieuwe controllers, sensoren en ventielen te testen. Ook staat er een *gauge calibration tank* voor het ijken van sensoren. Spoelstra: “We kunnen hierin verschillende

**Figuur 2** Luchtfoto van de bouw van het target-gebouw van de ESS en de ruimte voor de waaivormig opgestelde neutronengeleiders naar verschillende instrumenten, 13 november 2017.



**Figuur 3** De ionenbron is gearriveerd uit Sicilië.



**Figuur 4 Hilko Spoelstra en Marcelo Juni Ferreira in het vacuümlab.**

soorten gas injecteren om te zien wat de invloed is. We kunnen helaas lang niet zoveel testen als we willen, daar is geen tijd voor. Levensduurtesten, je komt er gewoon niet aan toe.” In de derde opstelling van het lab worden allerlei verschillende materialen op uitgassen getest. In de laatste test werd gekeken hoe O-ringen van EPDM, een soort rubber, reageren op straling. Rond de target kunnen deze zeker niet worden toegepast, door de straling zouden ze het binnen drie minuten begeven. Daar kunnen alleen metalen afsluitringen gebruikt worden.

Spoelstra vertelt over een losse pomp die op een karretje in het lab staat. Deze is door het ESS- team wel zelf ontwikkeld. Spoelstra: “Naast de vaste pompen van de linac: turbo- ion-, NEG-pompen, cryopompen, is er soms een deel dat je apart wil pompen. Zelf bouwen is wel een leuk werkje, maar kost veel tijd, een paar keer hebben we het design veranderd en dan moet ook de hele elektronica weer aangepast worden.”

#### Hoge-drukvacuümvat

Dan komt Marcelo Juni Ferreira binnen. Het hoofd van de afdeling vacuümtechniek introduceert zich met: “*I am the guy who does less, and less, and less.*” Trots vertelt hij dat de ESS een faciliteit wordt die beter is dan alle andere. “Wij zijn in staat om het risico op problemen te beperken. Want we bouwen voort op de ervaring die is opgedaan bij andere versnellers. Alleen: niemand werkt op de schaal waarop wij werken.”

Het vacuümvat voor de target moet aan bijzondere eisen voldoen. Ferreira: “In het ideale geval zou dat een vat kunnen zijn voor hoog vacuüm, maar zo simpel is het niet. Wij moeten rekening houden met allerlei scenario’s waarop dingen mis zouden kunnen gaan. Daarom wordt dit targetvat niet alleen een vacuümvat, maar het moet ook tegen hoge druk kunnen. Als er iets mis gaat en de hitte van de target niet meteen kan worden afgevoerd, kan de druk tijdelijk erg hoog worden, voordat er een ventiel geopend kan worden. Dus de viewports die wij bij de target nodig hebben moeten – naast hoog vacuüm – tegen 3 bar bestand zijn.

Vacuümsensoren met die specificatie bestaan niet, een normale hoogvacuümsensor gaat tot 1 bar. Ook bij het kiezen van kleppen en pompen moeten we goed opletten; als er hoge druk op komt te staan moet een pomp intact blijven. Als die van binnen kapot gaat is dat niet zo erg, als de behuizing het maar aankan. Wij proberen op dit moment bedrijven te vinden die doorvoeren kunnen maken voor de instrumenten die tegen 3 bar kunnen. Ik ken zelf niemand die ervaring heeft met het bouwen van vacuümvaten die bestand zijn tegen hoge druk. Ook zijn we op zoek naar cobalt-vrij rvs voor gebruik bij de target. Een deel van de aanschaf van vacuüm-apparatuur loopt nu wat vertraging op, omdat we de juiste leverancier nog niet gevonden hebben.” Het spannendste moment wordt waarschijnlijk de eerste keer dat de protonenbundel de target gaat raken. Ferreira: “Op dat moment moet de hele installatie af zijn en moeten we de hele bediening van de machine begrijpen. Want op dat moment kunnen we niet terug. Zodra de target geraakt wordt, wordt deze radioactief en kunnen we er niet meer



**Figuur 5** De complete infrastructuur van de ESS.

bij, tenminste, dat is niet de bedoeling. We kunnen wel dingen veranderen met remote-control. Dat is een hele opgave, maar we leren van andere labs die al ervaring hiermee hebben opgedaan.”

### Zonder hoofdpijn

Het speciale van de ESS is dat er zeer lange pulsen gegenereerd worden, waardoor er mogelijkheden ontstaan voor het maken van verschillend gemoduleerde neutronbundels. Choppersystemen zijn nodig voor het regelen van de hoeveelheid neutronen en het bepalen van de pulslengte en energie van de neutronbundels die naar de verschillende instrumenten gaan. Ferreira: “Door de ESS verdubbelt het aantal choppers dat aanwezig is op planeet aarde. Dat grote aantal brengt heel wat werk met zich mee. We moeten ook nog uitvinden of ze bestand zijn tegen de dingen die wij willen doen en tegen de straling. We zullen het al doende moeten leren. Ook kunnen we geen pompen plaatsen in het gedeelte

tussen de target en de instrumenten. Als er een hoog vacuüm moet heersen bij een chopper die twintig of dertig meter van de target af staat, dan zal er aan het begin van de neutrongeleider ook al hoog vacuüm moeten zijn, ook al is daar op zich  $10^{-3}$  mbar genoeg.”

“Wij moeten nog heel veel koffie drinken en over van alles discussieren. Het vacuümteam is verantwoordelijk voor elk vacuüm onderdeel van de machine. We

proberen zoveel mogelijk alles vanuit een enkel perspectief te integreren en alles te standaardiseren, de onderdelen, het controlesysteem, alle hardware, de veiligheid van de machine en van de mensen. Op die manier kom je zonder hoofdpijn tot een betrouwbaar systeem.”

### Referentie

- 1 Zie de vacatures op [europeanspallation-source.se](http://europeanspallation-source.se)

## ESS voor Nederlandse bedrijven

De waarnemerstatus betekent dat Nederland geen stemrecht heeft in de belangrijke beslissingen, Wel wordt Nederland van alle plannen op de hoogte gehouden. Het is mogelijk dat Nederland in een latere fase alsnog volledig mee gaat doen. De belangrijkste manier van bijdragen aan ESS is met *in kind*-bijdragen. Dat betekent dat in overleg tussen Nederland en ESS zowel wetenschappelijke als industriële pakketten worden vastgesteld. Veel interessante industriële werkpakketten zijn reeds door de ESS vergeven, met name aan landen die reeds zijn toegetreden tot de ESS. Een klein gedeelte van de industriële bijdragen wordt als ‘normale’ tenderactie op de markt gezet. Hierbij kunnen Nederlandse bedrijven nog steeds een aanbieding doen. Hier kan ik in mijn rol als Nederlandse Industrial Liaison Officer (ILO) voor ESS nog een belangrijke rol spelen daar ik, vooralsnog, steeds welkom ben op de ILO-bijeenkomsten met het ESS management en procurement afdelingen.

ILO voor ITER en ESS, Toon Verhoeven, A.G.A.Verhoeven@diffr.nl

# High Vacuum High Performance



Applications from analytics and physics laboratories require reliable vacuum components with outstanding product features.

Being an expert for high and ultrahigh vacuum technology, Leybold has a long-term experience in the development and realisation of vacuum solutions for challenging research tasks. 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. Highly flexible and absolutely precise.

## Smart vacuum solutions for laboratory and industry use



Leybold Nederland B.V.  
Floridadreef 102  
NL-3565 AM Utrecht  
T +31 (30) 242 63 30  
sales.ut@leybold.com  
[www.leybold.com](http://www.leybold.com)

Shop our products online:  
[www.leyboldproducts.com](http://www.leyboldproducts.com)



# Jeclin

Fasteners for cleanroom

De complete lijn bevestigingsartikelen voor cleanroom en vacuüm van Jeveka gaat verder onder een nieuwe naam: Jeclin. De lijn is ontwikkeld in samenwerking met de halfgeleiderindustrie. Om deze bevestigingsartikelen beter te onderscheiden is ervoor gekozen het complete assortiment onder een eigen naam op de markt te brengen. Jeveka blijft herkenbaar als afzender (Je~) en de nadruk ligt op *clean* (~clin), zie hier de verklaring van de naam: Jeclin.

Nieuw is, behalve de naam, de verhoogde productiecapaciteit. Om het boorwerk minder arbeidsintensief te maken is een productierobot aangeschaft. Deze bewerkt bovendien meer artikelen per uur dan voorheen mogelijk was en boort de hele nacht vrolijk door indien gewenst. Hoezo boren? Veel bevestigingsartikelen zijn *vented*. Dat betekent dat zij een sleuf of een gat hebben die lucht laat ontsnappen wanneer het artikel in een dicht gat eindigt. Dat is belangrijk, want lucht die

nog aanwezig is achter het artikel vervuult het vacuüm. Dit wordt een virtueel lek genoemd en die wil je niet hebben.

Jeclin bevestigingsartikelen zijn beschikbaar in verschillende materialen en nabewerkingen (zie kader). Ze worden dan ook in meer industrieën ingezet, niet alleen wanneer vacuüm of ultrahoogvacuüm nodig is, maar ook onder 'gewone' cleanroomcondities waar zuiverheid en het uitblijven van uitgassing belangrijk zijn.

De doorlooptijd van basisproduct tot Jeclin is zes tot twaalf weken, afhankelijk van de nabewerking. Omdat niemand zolang op een schroefje wil wachten, heeft Jeveka flink geïnvesteerd en is er van een zo compleet mogelijk programma een voorraad neergelegd. Tegelijk met Jeclin is een nieuwe binnenzeskantschroef gelanceerd van roestvaststaal met een treksterkte van meer dan 900 N/mm<sup>2</sup> onder de naam Jextar.

Meer informatie: [jeveka.com/jeclin](http://jeveka.com/jeclin) en [jeveka.com/jextar](http://jeveka.com/jextar)



## Beschikbare producten

Binnenzeskant

Zeskant

Moeren

Onverliesbaar

Ringen

Pennen

Uitgebreide lijn *vented*-producten uit voorraad

## Oppervlakte- en nabehandeling

Elektrolytisch polijsten

Kolsteriseren (voorkoming van koudlas)

Reinigen (minimaliseren van kleine deeltjes)

Nagerolde draad

## Beschikbare materialen:

RVS A4-80

Inconel 718

Titanium (grade 2 en 5)

## NEVAC-cursisten bezoeken Leybold in Keulen

Op Initiatief van A de Jong TH met medewerking van Leybold Nederland hebben twee groepen cursisten, een uit Amsterdam en een uit Eindhoven, de Leybold-fabriek in Keulen bezocht. Leybold heeft 168 jaar ervaring in vacuüm-innovaties en behoort nu, samen met Edwards en Gamma Vacuum tot het Atlas Copco-concern. Wereldwijd zijn er 1700 mensen werkzaam bij Leybold, waarvan 800 in Keulen. Leybold richt zich hoofdzakelijk op de voor- en hoogvacuümpompen, bijvoorbeeld roots- en turbopompen. *Vacuum gauges* worden door Inficon gemaakt en onder privaat label op de markt gebracht. De relatie van vroeger met het huidige Inficon is nog duidelijk: de lektesters van Inficon worden op hetzelfde terrein gefabriceerd. Na een algemene presentatie van Leybold en van A de Jong TH en een voortreffelijke lunch zijn de fabrieken bezocht waar de voor-vacuümpompen en de turbomoleculaire pompen gemaakt worden. Ook is de machinefabriek bezichtigd waar de roots- en schroefpomp-onderdelen vervaardigd worden en de assemblagelijnen voor beide pompen zijn bekeken, evenals de volledige turbo-



pompfabricage. Het is indrukwekkend te zien hoe de schoepen van de rotor vervaardigd worden uit een stuk aluminium door een draaibewerking, een vonkbewerking, een metaalvorming (twist), een hardingsstap en een zandstraalbewerking. Al met al een zeer indrukwekkende excursie. Met dank aan Evert van der Wiel, Ferry Jansen, Leon Snijder en Ian Stones voor de organisatie en begeleiding en de vriendelijke ontvangst.

Rients de Groot

# Wetenschap in vacuüm op de schaal van atomen en moleculen

Op de zonnigste vrijdag van april was het weer tijd voor de jaarlijkse dag vol verhalen over wetenschappelijk en technisch werk waarin vacuüm een belangrijke rol speelt. Dit jaar organiseerde Arie van Houselt de NEVAC-dag aan de Universiteit Twente.

Claud Biemans

Foto's: Elroy van Sloten

## Grafeen-elektronica

Christoph Tegenkamp, werkzaam aan de universiteiten van Chemnitz en Hannover in Duitsland, opende de dag met een inkijkje in de elektronica van de toekomst, gebaseerd op nanostructuren van grafeen. Interessant daarvoor zijn nanodraden van grafeen op siliciumcarbide, waarin elektronen met ballistische snelheden kunnen bewegen. De bandgap van grafeen kan makkelijk

beïnvloed worden door het toevoegen van bijvoorbeeld germanium-atomen. Ook de vorm van de rand van de grafeendraad speelt een belangrijke rol voor de elektronische eigenschappen: zigzagstructuren zijn daarvoor het meest interessant. Deze ontstaan op een perfecte manier als grafeen gegroeid wordt op de zijkant van moleculaire lagen kristallijn siliciumcarbide. De vorm en elektronische eigenschappen van de grafeen-

nanodraden kunnen goed onderzocht worden met een combinatie van raster-elektronen- (SEM) en rastertunnelmicroscopie (STM). De volgende stap in het onderzoek van Tegenkamp wordt de studie naar spin- en ladingstransport in structuren van grafeen, samen met Bart van Wees (RUG).

## Atoomgeheugen

Floris Kalff werkt aan de TU Delft aan een geheugen van losse atomen op een oppervlak. Dit geheugen wordt geschreven, en herschreven, met behulp van een STM, die losse chlooratomen kan verplaatsen over een oppervlak van koper(001). Dit gebeurt nu in ultrahog vacuüm ( $10^{-11}$  mbar), bij een temperatuur van 1,5 kelvin. De atomen worden per set van 64 stuks gerangschikt in blokken van 8 kolommen bij 16 rijen. De positie van een atoom in een bovenste of onderste rij geeft een '0' of een '1' aan. Op de hoekpunten zijn enkele extra atomen aangebracht die de status van het blok aangeven (bijvoorbeeld een foutmelding, zodat het blok bij het uitlezen wordt overgeslagen). In totaal is er op deze manier een geheugen gemaakt van 1 kB, de grootste structuur die ooit – atoom voor atoom – gebouwd is. De STM doet er nu twee uur over om de hele kB te herschrijven. Bij een temperatuur van 77 K bleek het geheugen langer dan 44 uur stabiel te zijn. Vervolgonderzoek zal gaan over het gebruik van andere atomen op andere oppervlakken in minder hoog vacuüm, met als doel de lees- en schrijfsnelheid te verhogen. Een video over dit werk is te vinden op de pagina van het Otte Lab in Delft [1].



Christoph Tegenkamp geeft een inkijkje in de elektronica van de toekomst, gebaseerd op nanostructuren van grafeen.



Boven: Arie van Houssel opende de NEVAC-dag.

Rechtsboven: Floris Kalff vertelt over het geheugen, gemaakt van losse atomen chloor op een oppervlak van koper.

Rechtsmidden: NEVAC-prijswinnaar Peter Jacobse vertelt over zijn onderzoek aan grafeen-nanodraden.

Rechtsonder: Twaalf bedrijfsleden lieten hun nieuwste producten zien in de pauzes en tijdens de lunch.

### NEVAC-prijs

Aan het einde van het ochtendprogramma wordt traditioneel de NEVAC-prijs uitgereikt door de hoofdredacteur van het NEVAC-blad, Hans van Eck. Dit jaar gaat de prijs naar Peter Jacobse (UU), voor zijn artikel dat in dit nummer is opgenomen op pagina 6: *Tunneldiodes en metaal-halfgeleiderverbindingen van grafeen-nanodraden*. Naast zijn schrijftalent bleek dat de prijswinnaar ook een goede spreker is, toen hij zijn onderzoek presenteerde aan de aanwezigen. De meeste mensen vertrokken na deze presentatie naar de lunch, die tussen de vele stands van bedrijfsleden geserveerd werd. Een





**Pantelis Bampoulis over de eigenschappen van het op grafeen lijkende tweedimensionale materiaal germaneen.**

**Kai Soththewes ontwikkelde een snellere methode voor het bestuderen van bijvoorbeeld de elektronenstructuur aan de randen van een laag grafeen.**



**Konstantinos Gkrekos van Thermo Fisher Scientific vertelt over de oorzaken van plotselinge, kortdurende verhogingen van de druk in vacuümpostellingen.**

aantal leden bleef nog even in de zaal voor de korte NEVAC-ledenvergadering.

### Germaneen

Pantelis Bampoulis (UT) opende het middagprogramma met zijn onderzoek naar de eigenschappen van het op grafeen lijkende tweedimensionale materiaal germaneen. Dat komt in de natuur niet voor, omdat het niet stabiel is bij omgevingsdruk en -temperatuur. Germaneen kan wel in het lab gemaakt worden door depositie van germanium op een

substraat als molybdeensulfide ( $\text{MoS}_2$ ) of digermanium-platina ( $\text{Ge}_2\text{Pt}$ ). Net als in grafeen kunnen elektronen zich met ballistische snelheid door de gewelfde 2D-honingraatstructuur van germaneen verplaatsen. Als er een extern elektrisch veld wordt aangebracht, krijgt germaneen een bandgap, waardoor verschillende toepassingen in het vizier komen, bijvoorbeeld als veldeffecttransistor.

### Vacuüm-spikes

Vacuüm-*spikes* zijn plotselinge, kortdurende verhogingen van de druk in een vacuüminstallatie. Konstantinos Gkrekos doet onderzoek naar dit fenomeen in tunnel-elektronenmicroscopen bij Thermo Fisher Scientific in Eindhoven. De spikes kunnen bijvoorbeeld ontstaan door stof, verontreinigingen uit soldeertin, O-ringen en vacuümvet. Door blootstelling aan de hogere druk en de verontreiniging kunnen samples verloren gaan. In het komende nummer zullen we een artikel publiceren over dit onderzoek.

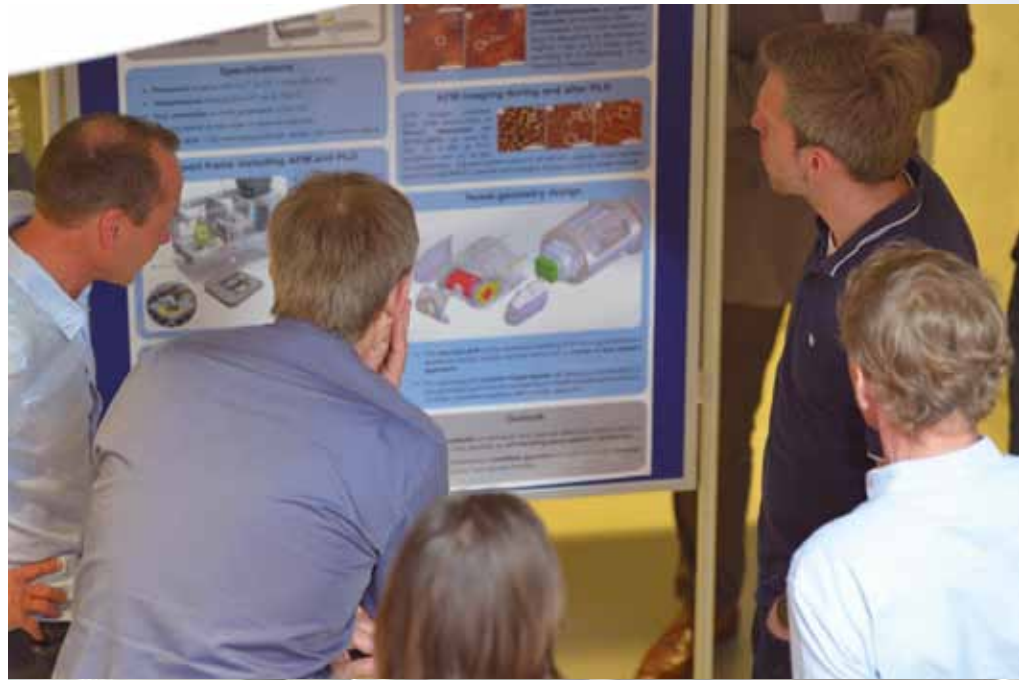
### Thermospanning

Samen met Martin Siekman en Harold Zandvliet onderzocht Kai Soththewes aan de Universiteit Twente de spanning op een oppervlak van goud, Au(111), die



Met zijn onderzoeksgroep synthetiseert en bestudeert Bart Kooi nanostructuren van chalcogeniden.

ontstaat door een verschil in temperatuur tussen het sample en de naald van een rastertunnelmicroscop. Hierdoor ontstaat een tunnelstroom tussen naald en oppervlak en de afbeelding die gemaakt wordt is daarom opgebouwd uit het signaal van de topografie van het oppervlak, plus de extra tunnelstroom. Hiervan kan gebruikgemaakt worden bij het bestuderen van bijvoorbeeld de elektronenstructuur aan de randen van een laag grafeen. Met de extra tunnelstroom is er meer structuur zichtbaar dan zonder de thermospanning. Dit soort metingen vraagt wel enig geduld: drie uur voor een afbeelding was tot voor kort heel gebruikelijk. De groep heeft nu echter een snellere methode ontwikkeld, waarbij de naald twee keer (met een verschillende temperatuur) over het oppervlak scant: de eerste keer wordt alleen de topografie gemeten en de tweede keer alleen het thermovoltage. Op deze manier duurt het maken van een afbeelding nog maar een kwartier.



Discussies bij de posterborden (boven) en bij de stands van de bedrijfsleden (onder).

### Vanderwaals-heterostructuren

De laatste spreker van de dag was Bart Kooi (RUG). Met zijn onderzoeksgroep synthetiseert en bestudeert hij nanostructuren van chalcogeniden (metaalverbindingen met zwavel, seleen en telluur). Deze materialen kunnen als lagen gedeponeerd worden en vormen dan zogenoemde vanderwaals-heterostructuren. Deze materialen kennen een zwakke binding, waardoor de lagen niet precies als perfecte kristalroosters op el-

kaar hoeven te passen. Hierdoor ontstaan materiaaleigenschappen die afhankelijk zijn van de afmetingen van een laag en die daardoor relatief eenvoudig te beïnvloeden zijn. Zo kunnen deze structuren mogelijk gebruikt worden voor thermoelektrische en optische toepassingen en voor data-opslag.

### Referentie

1 [ottelab.tudelft.nl/vacancy-manipulation](http://ottelab.tudelft.nl/vacancy-manipulation)

# Ionisatiemanometers

De vorige aflevering eindigde met het werk van de Amerikaanse radiopionier Edwin Armstrong, die vele schakelingen bouwde met de Audion-triode. De artikelen die Armstrong hierover schreef hebben Europa waarschijnlijk niet bereikt, want in 1914 brak de Eerste Wereldoorlog uit. Vele Duitse bedrijven stelden hun productiecapaciteit ten dienste van de Duitse regering voor de oorlogshandelingen. Daardoor moesten zij een deel van hun productiviteit voor derden stoppen. Dit ondervond ook Telefunken, gevestigd in Berlijn, die voor een groot deel van hun radiobuizenproductie afhankelijk was van toeleveranciers, zoals AEG en Siemens & Halske. Teneinde de productie toch op peil te houden, besloot men in mei 1914 alle onderdelen zelf te fabriceren.

## Theo Mulder

In die tijd dacht men bij 'fabriceren' vooral aan draaibanken, automaten, stansen, frezen en boren. Maar het fabriceren van een hoogvacuüm radiobuis is meer 'natuurkundig fabriceren', daar komt meer bij kijken dan alleen maar het mechanische werk.

In korte tijd schafte Telefunken het benodigde materiaal aan, zoals Gaede-pompen, glasbuizen, gloeidraden, platina en niet te vergeten: kokosnootkool en de-warvaten. De actieve kokosnootkool afgekoeld met vloeibare stikstof vormt een uitstekende adsorptiepomp.

In de Friedrichstraße in Berlijn richtte het bedrijf een radiobuizenfabriek op van 3500 m<sup>2</sup> met drie verdiepingen, die 24 uur per dag in gebruik was voor productie. Het voortdurend inkopen van de benodigde materialen zoals loodglas en platina gaf nogal eens problemen. Een vervangend materiaal voor platina (dat gebruikt werd voor de glasdoorvoer) veroorzaakte vaak een lekkage tijdens het uitstoken en evacueren, waardoor een hele serie buizen ter ziele ging.

Voor de gloeidraad, rooster en anode werd bij voorkeur wolfram gebruikt,

maar ook dat materiaal werd in deze tijd schaars. De vervangende materialen zoals platina, iridium, goud, palladium, zilver, tantaal en molybdeen waren óf te duur, óf niet in voldoende mate voorhanden. Dun plaatmateriaal van ijzer, koper, zink, aluminium, nikkel en enkele andere legeringen was wel verkrijgbaar, maar niet alle waren geschikt voor hoogvacuüm. Bleef over koper, nikkel en ijzer, maar ook dat laatste viel af omdat er geen blank gewalste dunne ijzerplaat te krijgen was. Nikkel bleek een goede keuze, totdat ook dit materiaal schaars werd en men de laatste twee jaren moest overstappen op koper. Tja, het was nu eenmaal oorlog...

## Geautomatiseerde productie

Om radiobuizen in groten getale te kunnen produceren, moest men dit eigenlijk op dezelfde manier doen als bij gloeilampen, namelijk volautomatisch. Echter een radiobuis is niet te vergelijken met een gloeilamp, er komen veel meer handelingen aan te pas. Toch slaagde men erin dit proces voor een groot deel te automatiseren, vooral voor een veelgevraagde trioderadiobuis van het type RE16.

Als de radiobuis dan eenmaal in elkaar zat, moest deze nog worden geëvacueerd. Daartoe stond een aantal pompen ter beschikking: oliegesmeerde draaischuif-pompen, met kwik gevulde rotatiepompen (beide van Gaede) en adsorptiepompen met kokosnootkool gekoeld met vloeibare stikstof. Er werden 20 radiobuizen op een manifold aangesloten die gezamenlijk in een oven werden uitgestookt en geëvacueerd. Zo waren er 32 opstellingen die tegelijkertijd 640 radiobuizen produceerden, waardoor het aantal opliep tot 2000 stuks per dag! Uiteraard werd zowel de druk van het



Enkele afbeeldingen van radiobuizen uit *Telefunken Zeitschrift* [1]. Sommige buizen werden via de bovenkant geëvacueerd en hadden dan, als ze klaar waren, aan de bovenkant een tuitje. Later is men via de onderkant gaan evacueren, zodat het afgesmolten tuitje in de sokkel verdween.

voorvacuüm als van het hoogvacuüm constant gecontroleerd.

Als de radiobuis dan eenmaal werd afgesmolten en verder afgemaakt met een aansluitsokkel en voorzien van een type-opdruk, dan moest deze nog op vele aspecten worden gecontroleerd. Waren de draden correct aangesloten, zat er nergens een barst in, waren de elektroden niet verbogen, en vooral trad er geen kortsluiting tussen de elektroden op? Heel belangrijk was de gloeispanning en de gloeistroom, deze laatste werd bij een waarde van 0,55 A op 2 mA nauwkeurig afgelezen.

**Vacuüm meten**

Tot slot moest het vacuüm worden gemeten in de afgesloten radiobuis, een probleem waar vele fysici zich in die tijd het hoofd over hebben gebroken. Toch bevat dit type radiobuis alle elementen om dit te doen. Sinds 21 oktober 1915 is een schakeling gebruikt (afbeelding midden onder), waarbij de gloeidraad (K) zijn normale spanning krijgt, de anode (A) op +100 volt wordt gebracht en het rooster (G) een kleine negatieve spanning van -2,5 volt krijgt. Als er dan nog een beetje gas in de buis is, wordt dit geïoniseerd en de positieve deeltjes worden door het rooster opgevangen en met een gevoelige galvanometer gemeten. Deze stroom is dan een maat voor het vacuüm. Bij Telefunken wordt niets geschreven over de gemeten stromen. Maar uit andere boeken valt te leren dat de ionenstroom in de orde van grootte van  $5 \cdot 10^{-9}$  A moet zijn geweest bij een druk van  $1 \cdot 10^{-6}$  Torr.

Sinds 18 juli 1917 gebruikte men een nog gevoeliger schakeling (rechtsonder). Weliswaar is het principe gelijk, maar nu kreeg het rooster de positieve spanning van +100 volt en was de anode negatief. Het voordeel was dat de baan van de elektronen langer is, want ze schieten door het rooster heen om vervolgens om te keren. De kans op ionisatie is daardoor veel groter.

Het eindeffect was dat men de gemeten waarden van de verschillende radiobui-



100% controle op de werking van de radiobuis, vele handen maken licht werk [1].

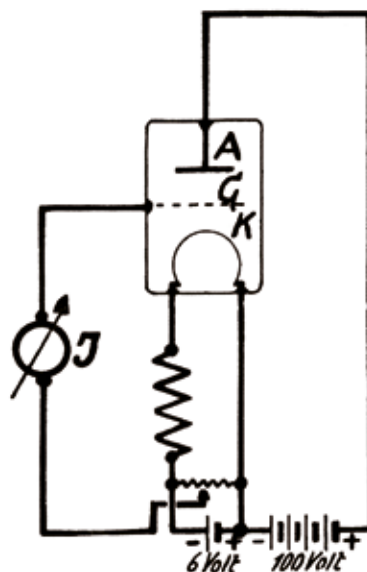
zen met elkaar kon vergelijken en de slechte, dus met een te hoge waarde c.q. een (te) slecht vacuüm, eruit kon halen. Op deze manier werden alle geproduceerde radiobuizen gemeten, een 100% controle! Met het grote aantal geproduceerde radiobuizen per dag moesten vele handen het werk licht maken.

Deze methode om de triode als een ionisatiemanometer te gebruiken stamt dus van Telefunken en is aansluitend door anderen overgenomen.

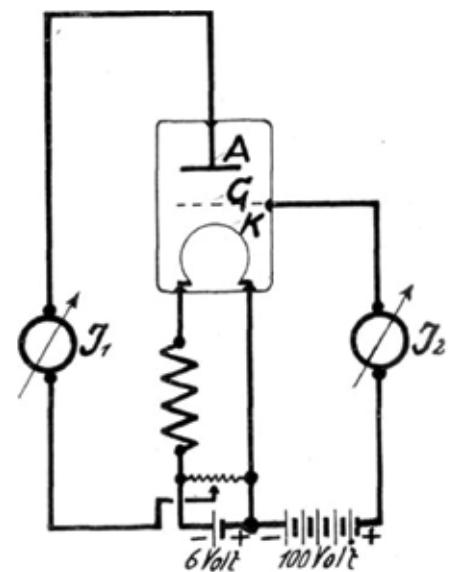
**Uitvinding in de VS**

Doordat deze vinding tijdens de Eerste Wereldoorlog geschiedde, kon men dit niet wereldwijd publiceren en had Telefunken ook geen weet van de ontdekking van O.E. Buckley op 13 november 1916 [2]. Buckley was werkzaam op het onderzoekslaboratorium van de American Telephone and Telegraph Company en Western Electric Company.

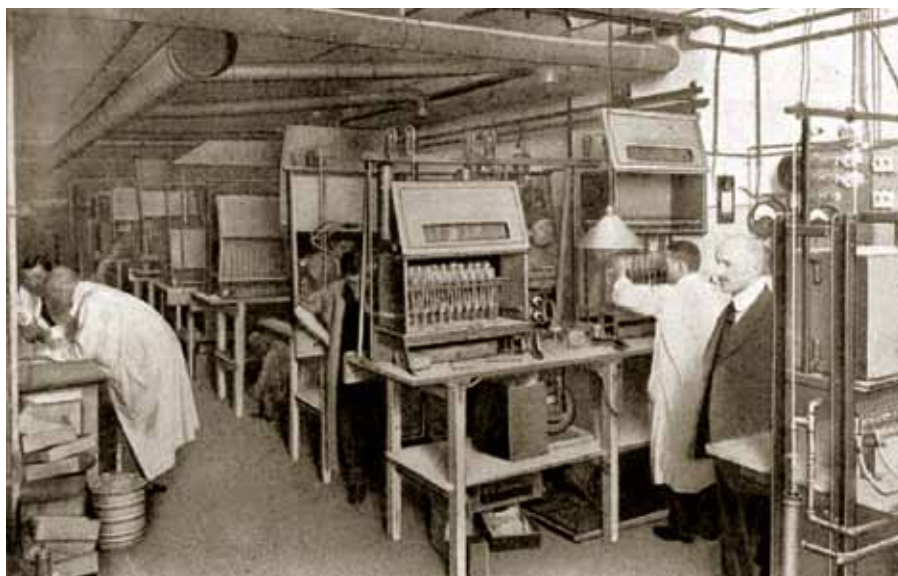
Tot nu toe waren de enige manometers voor het meten van lage drukken die



Eerste schakeling van Telefunken voor het meten van het vacuüm [1].



Verbeterde schakeling van Telefunken voor het meten van het vacuüm [1].



Een kijkje in de pompkamer van Telefunken met 32 opstellingen die tot 2000 radiobuizen per dag konden evacueren [1].

van McLeod, de radiometer van Knudsen en de moleculaire manometer van Langmuir. Het waren manometers die erg delicaat waren en drukveranderingen erg langzaam aantoonde. O.E. Buckley daarentegen beweerde nu een andere manometer te hebben ontwikkeld, die deze nadelen niet kende. Hij maakte gebruik van het ioniseren van gasdeeltjes. Hij beschreef de opbouw van een compleet nieuw systeem in een glazen buis, met drie V-vormige elektroden op een rij. Alle drie zijn gemaakt van een platina stripje, 3,5 cm lang en 5 mm uit elkaar. De uiteinden zijn naar buiten gebracht teneinde het ontgassen van de drie elektroden mogelijk te maken. De eerste dient als gloeidraad, de tweede als collector en de derde als anode. “De exacte

vorm van de elektroden is niet zo belangrijk” schrijft hij. De collector is tussen de beide andere elektroden gesitueerd en is zodanig van vorm dat de elektronenstroom naar de anode er niet door wordt geblokkeerd. Een mA-meter meet de anodestroom en een gevoelige galvanometer is verbonden met de collector, die op een negatieve spanning wordt gehouden. Als er gasdeeltjes aanwezig zijn, zullen deze door de elektronen worden geïoniseerd en op de negatieve collector terecht komen en worden gemeten. Elektronenstromen van 0,2 tot 2 mA worden gebruikt met een anodespanning van 100 tot 250 volt. De collector wordt op  $-10$  volt gehouden. De collectorstroom is het éénduizendste deel van de anodestroom bij een druk van  $10^{-3}$  Torr (0,133 Pa). Dus bij een druk van  $10^{-6}$  Torr is de collectorstroom  $2 \cdot 10^{-9}$  A. “De metingen zijn vergeleken met zowel een McLeod als de radiometer van Knudsen” schrijft O.E. Buckley in zijn artikel. De voordelen van deze meter zijn duidelijk, het meetbereik vergeleken met de andere meters is groot en strekt zich uit van  $10^{-3}$  Torr tot zover men heden ten dage in het vacuüm kan komen. Er zitten geen bewegende delen in, zodat de meting ongevoelig is voor trillingen. Het grootste voordeel is wel de snelheid van de aanwijzing, men hoeft alleen maar de galvanometer af te lezen.



Medewerksters meten het vacuüm van radiobuizen [1].

Een verder voordeel van de ionisatiemanometer is nog dat ook de druk van dampen wordt gemeten, wat met de McLeod niet mogelijk is.

“Tot zover men heden ten dage kan komen” is in die dagen niet veel lager dan  $10^{-6}$  à  $10^{-7}$  Torr. Weliswaar zijn er al meer mogelijkheden om te pompen met de moleculairepomp en kwikdiffusiepompe van Gaede en de condensatiepompe van Langmuir, maar deze pompen waren net ontwikkeld en hadden nog maar een kleine pompsnelheid. Toch was de vraag naar een beter vacuüm wel degelijk aanwezig, enerzijds omdat de gloeilampen nog steeds na enige tijd branden zwart werden aan de binnenkant en men het idee had dat een beter vacuüm dit kon voorkomen. Aan de andere kant ging de ontwikkeling van radiobuizen verder en vooral bij zendbuizen was het belangrijk een zo goed mogelijk vacuüm te hebben. De ontdekking van de ionisatiemanometer door O.E. Buckley kwam derhalve op een gunstig moment en velen hebben deze buis dan ook nagemaakt en verbeterd zodat sommigen zelfs drukken in de orde van grootte van  $10^{-8}$  Torr konden meten en dus ook konden bereiken.

Met een beter vacuüm kon het zwart worden van de gloeilampen echter niet worden voorkomen. Het is Langmuir geweest die na vele experimenten de gloeilamp heeft gevuld met een gas, waardoor de gemiddelde vrije weglengte drastisch omlaag ging en de gloeilamp niet meer zwart werd en een langere levensduur kreeg.

Zo kreeg de ionisatiemanometer dus zijn plaats in de vacuümtechniek. Ten opzichte van de vroegere vacuümmeters was dit een robuuste en betrouwbare, eenvoudige meter. In de volgende aflevering kijken we naar de periode na de Tweede Wereldoorlog, toen de ontwikkelingen in de vacuümtechniek verder gingen.

#### Literatuur:

- 1 *Telefunken Zeitung*, Februari 1920.
- 2 O.E. Buckley, *Proc. National Academy of Science*, 1916.



# In memoriam Ries van de Sande

1 oktober 1948 – 1 december 2017

Op 8 december 2017 hebben wij afscheid genomen van onze zeer gewaardeerde oud-collega en goede vriend Ries van de Sande. Voordat Ries met pensioen ging in 2012, was hij werkzaam bij de Faculteit Technische Natuurkunde aan de Technische Universiteit Eindhoven. Daar heeft hij 44 jaar gewerkt als technische medewerker, voornamelijk voor de plasmafysica en uiteindelijk in de onderzoeksgroep Plasma & Materials Processing. Ries was een goede metgezel en heeft vele jaren een belangrijke plaats gehad tussen studenten, promovendi, technische medewerkers en wetenschappelijk staf. Het was een steeds groeiende groep mensen, voor wie hij altijd tijd inruimde als het nodig was, ongeacht wie het was. Het praten met Ries herinnerde ons altijd aan het tastbare, het feitelijke deel van de natuurkunde, de technische en experimentele uitdaging.

Ries was altijd bereid om iemand te helpen bij technische problemen, om een opstelling aan te passen of anders in te richten, een nieuw ontwerp te maken of een nieuwe techniek toe te passen, niets was onmogelijk. Hij deed dat alles met een grote zekerheid, met enige afstand, vriendelijk en met licht geamuseerde blik. Ries werd daarmee de geestelijke vader van de vele en steeds veranderende experimentele opstellingen. De daarbij essentiële vacuümtechniek beheerste hij als geen ander. Het maken en verder ontwikkelen van instrumenten en opstellingen was zijn sterkte.

Wij herinneren ons het etsen en deponderen van dunne lagen, onder andere met behulp van het expanderend thermische plasma. Deze methode, die gebruikmaakte van zeer hoge fluxen van reactieve plasmadeeltjes, gegenereerd in een cascadeboog, bleek uitermate geschikt voor snelle depositie van lagen van koolstof, silicium, siliciumnitride



en zinkoxide. Dankzij de ontwerpen van Ries vond deze methode z'n weg naar industriële toepassingen, onder andere in samenwerking met bedrijven zoals General Electric en OTB Solar (nu Meyer Burger B.V.). Een ander voorbeeld uit het verleden was de restauratie van archeologische voorwerpen met waterstof bevattende plasma's: een passer, gevonden in de zee. Dat werkte beter dan verwacht en het gaf aan dat plasma's veel voordelen kunnen hebben. De cascadeboog wordt ook nog steeds gebruikt als deeltjesbron met extreem hoge fluxen in de plasma-wand-studies voor fusie-onderzoek, bijvoorbeeld bij het NWO-instituut DIF-FER. In het werk van Ries bleek keer op keer dat technische vervolmaking essentieel is voor het bereiken van fysisch nieuw resultaat.

Begin jaren 2000 kwam er steeds meer aandacht voor atoomlaagdepositie, ALD. Ries heeft een grote bijdrage geleverd aan het ontwerpen en ontwikkelen van een nieuw type ALD-machines, machines waarin ook plasma's konden worden gebruikt. Inmiddels is dit type machine voor plasma-ALD vele malen gekopieerd en ligt het ontwerp aan de basis van de commerciële machines die het bedrijf

Oxford Instruments sinds 2006 verkoopt. Daarnaast was hij betrokken bij ontwerp van ovens, bijvoorbeeld voor de groei van grafeen, en bij de ontwikkeling van allerlei technische meetinstrumenten, zoals bijvoorbeeld een porosimeter voor het meten van porositeit in dunne lagen. Ries was breed geïnteresseerd en hij was altijd bereid om je op te vrolijken met een grapje of met een lied. Hij bleef aanwezig tot na zijn pensioen, waar hij helaas niet lang van heeft mogen genieten. Zijn geveugelde uitspraak was "ben even weg" bij het einde van de werkdag om de volgende dag weer opgewekt en neuriënd te verschijnen. Hij was altijd op zoek naar iets nieuws, iets feitelijks en hij heeft voor velen iets moois gemaakt. Wij zullen hem blijven herinneren, ook zijn beschouwende aard, met vleugje geheimzinnigheid en vooral veel vrolijkheid: er is altijd een oplossing.

**Daan Schram, Richard van de Sanden,  
Erwin Kessels en Janneke Zeebregts  
Groepsleiders en hoofd technische medewerkers -  
Plasma & Materials Processing**



Ries van de Sande in zijn element in het lab.

# Japanreizigers bij Hositrad

Op 21 maart dit jaar reisden rond de 25 NEVAC-leden met belangstelling voor de reis naar Japan naar Hoevelaken, waar ze warm welkom werden geheten door Jurgen Tomassen, eigenaar van Hositrad. Jurgen gaf een presentatie over het bedrijf, waar onder andere vacuüm-kamers, flenzen, viewports en afsluiters worden gemaakt. Rients de Groot gaf een presentatie over het voorgenomen reis-programma door Japan, met bezoeken aan verschillende bedrijven en wetenschappelijke instituten. De pdf van deze presentatie staat op [www.nevac.nl](http://www.nevac.nl). Rob Klöpping vertelde over de praktische organisatie van de reis. Die lijkt af en toe op een stoptrein, maar de stoptrein rijdt. De middag werd afgesloten met een bezoek aan de werkplaats van Hositrad en een borrel.



Potentiële Japan-reizigers in de werkplaats van Hositrad, waar gelast en metaal bewerkt wordt, met speciale ruimtes voor lektesten en ultrasoon reinigen.

Nor-Cal Products



by PFEIFFER VACUUM

NOR-CAL  
IN EUROPE

European sales team: +44 13 23 81 08 54

Email: [sales@nor-cal.eu](mailto:sales@nor-cal.eu)

Web: [nor-cal.eu](http://nor-cal.eu)

Ultra high vacuum components for research and industry

## RELIABLE ISOLATION AND PRESSURE CONTROL VALVES FROM EUROPEAN STOCK

Nor-Cal Europe products offer valves for almost every vacuum application. Our valves provide outstanding performance in the most demanding situations such as semiconductor and compound semiconductor processing.

We have joined the Pfeiffer family, order via your contact at:

Pfeiffer Vacuum Benelux B.V.  
[pfeiffer-vacuum.com](http://pfeiffer-vacuum.com)  
[office@pfeiffer-vacuum.nl](mailto:office@pfeiffer-vacuum.nl)  
T +31 345 478 400



shop online: [nor-cal.eu](http://nor-cal.eu) or [pfeiffer-vacuum.com](http://pfeiffer-vacuum.com)

# Agenda

1-5 juli 2018

86th IUVSTA Workshop Nanoscale Oxides in Physics and Chemistry, Avila, Spanje

17-20 juli 2018

ThinFilms 2018, Shenzhen, China

29 juli-1 augustus 2018

18th International Conference on Atomic Layer Deposition (ALD 2018), Incheon, Zuid-Korea

13-16 augustus 2018

The 9th Vacuum and Surface Science Conference of Asia and Australia, Sydney, Australië

26-31 augustus 2018

34th European Conference on Surface Science Aarhus, Denemarken

2-5 september 2018

84th IUVSTA Workshop Surface Micro-Spectroscopy and Spectro- Microscopy of Electrical Phenomena Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

2-6 september 2018

83rd IUVSTA Workshop: New Horizons in Boron-Containing Coatings, Vadstena, Sweden

10-14 september 2018

17th Joint Vacuum Conference (JVC-17), Olomouc, Tsjechië

11-12 september 2018

Industry Space Days , ESA, Noordwijk

16-21 september 2018

30th edition of the Symposium on Fusion Technology (SOFT 2018), Giardini Naxos Sicilië

23-26 september 2018

International Symposium on Contamination Control, Den Haag

10-11 oktober 2018

Vacuum Expo, Ricoh Arena, Coventry, Engeland

14-19 oktober 2018

85 IUVSTA Workshop on Nanoporous Materials for Green Energy Conversion and Storage, Seggau, Oostenrijk

21-26 oktober 2018

AVS 65th International Symposium & Exhibition, Long Beach, CA, VS

14-15 november 2018

Precisiebeurs, Koningshof, Veldhoven

18-22 februari 2019

17th IUVSTA School, Nano-Optics Braga, Portugal

1-5 juli 2019

21st International Vacuum Congress, Malmö, Zweden

Links naar websites: zie de agenda op [www.nevac.nl](http://www.nevac.nl)

**Wordt 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](http://www.nevac.nl)**



# HAXPES Lab - A window to the bulk

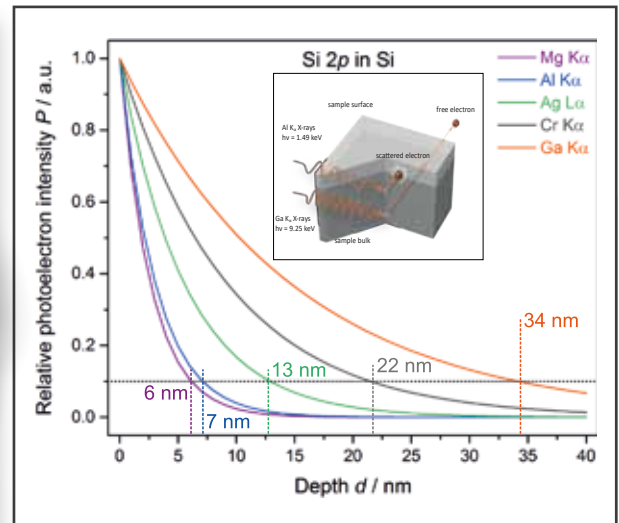


Figure 1. HAXPES using the Ga source offers 5x greater information depth, providing bulk sensitivity that is unavailable using conventional XPS.

- Robust laboratory based HAXPES solution
- Time scales comparable to synchrotron experiments
- Five times higher information depth than AlK $\alpha$  X-Rays
- High flux monochromated Hard X-rays at 9.25 keV
- Access to deep core levels
- Non-destructive measurements of buried interfaces
- Bulk sensitive photoemission spectroscopy

Scienta Omicron's HAXPES Lab brings hard X-ray photoelectron spectroscopy (HAXPES) capability directly to the local laboratory environment. This novel system probes bulk sample properties and accesses deep core level electrons via photoelectron spectroscopy (XPS) without the need for a synchrotron end station.

For further questions please contact us:  
[info@scientaomicron.com](mailto:info@scientaomicron.com)

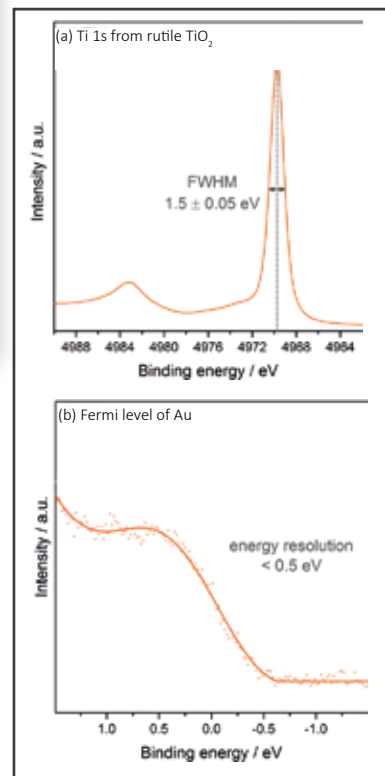


Figure 2 (a) HAXPES Lab provides unprecedented access to deep core levels, as shown in this example of a Ti 1s spectrum.

(b) Fermi edge of Au shows total instrument resolution < 0.5 eV.

