

# NEVAC **BLAD**

jaargang 54 / nummer 3 – december 2016

## Gas phase growth of Si and SiGe nanoparticles

BABE als testbed voor  
fluctuatietheorie

Een 10 voor vacuümtechniek bij  
ASML en Urenco



NEDERLANDSE  
VACUÛMVERENIGING

Tweedimensionale  
materialen maken met  
atoomlaagdepositie

2017

# PVD75

## PRO-Line



## Thin Film Deposition System Platform

Kurt J. Lesker Company introduces the 2017 PVD75 PRO Line Thin Film Deposition System Platform, building upon the successes of the workhorse PVD75 and has been updated to bring new innovations such as Torus® Magkeeper sputtering sources to the PVD marketplace.

- Designed for university, industrial, & government labs
- Multi-source, co-deposition tool utilizing sputtering, evaporation, thermal and organic sources
- Accommodates substrates up to 10" (254mm)
- Modular/customizable system platform
- Over 400 ProLine PVD 75 tools in the field

For More Information Visit: [lesker.com/go/2017-PVD75](http://lesker.com/go/2017-PVD75)

## 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 abonnementenadministratie.

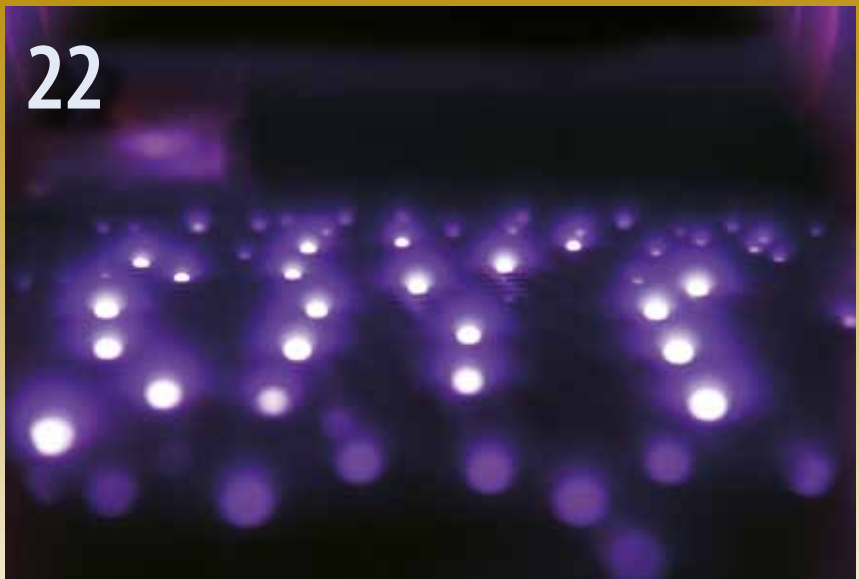
### Vergoeding kopij

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

# 22



Locally enhanced plasma in a new plasma reactor used to synthesize quantum sized Si and SiGe nanocrystals

- 5 **Van de redactie:** Meer aandacht voor vacuümtechniek bij bedrijven  
*Ad Ettema*
- 6 **Interview:** Twee tieners voor vacuümtechniek *Claud Biemans*
- 6 **Jos Aerts:** "Deze kennis komt goed van pas bij het verbeteren van de restgasanalysator"
- 8 **Wietse Smit:** "Vacuümtechniek leer je niet tijdens je scheikunde-studie"
- 11 **Student of promovendus?** Win 15 minutes of fame & 1000 euro!
- 12 **BABE als testbed voor fluctuatietheorie** *J.W.M. Vernimmen*
- 17 **Nieuws:** Thermo Fisher Scientific heeft FEI overgenomen
- 17 **Nieuws:** KJLC gaat partnership aan met Brooks Automation
- 18 **Tweedimensionale materialen maken met atoomlaagdepositie**  
*Claud Biemans*
- 21 **In memoriam Jaap Tomassen** *Jurgen Tomassen*
- 22 **Gas phase growth of Si and SiGe nanoparticles** *A. Mohan, R.E.I. Schropp and J.K. Rath*
- 27 **Call for abstracts:** NEVAC day 12 May 2017, DIFFER, Eindhoven
- 27 **Agenda**

De sluitingsdatum van kopij voor het eerste nummer van het *NEVAC blad 2017* is 15 februari 2017.



# 50 YEARS OF LEAK DETECTION

## Experience makes sense!

Pfeiffer Vacuum is the supplier with the widest range of leak detectors on the market. We provide solutions for applications using helium and hydrogen as tracer gas.

From portable devices to complex leak detection systems – we always offer the optimum solution to detect leakages in many different industrial sectors.

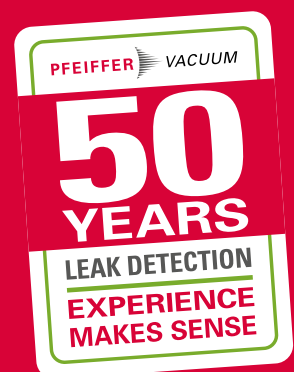
**Competence, quality and service from a single source.**



Learn everything  
about leak detection here:

[leak-detection.pfeiffer-vacuum.com](http://leak-detection.pfeiffer-vacuum.com)

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](mailto:office@pfeiffer-vacuum.nl) · [www.pfeiffer-vacuum.com](http://www.pfeiffer-vacuum.com)





## Verenigingsgegevens

### Ereleden

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

### Bestuur

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

### Penningmeester NEVAC

IBAN: NL50 INGB 0001 8515 29 o.v.v.:  
Penningmeester NEVAC,  
t.a.v. Dr. A.R.H.F. Ettema,  
Delftechpark 26,  
2628 XH Delft

### Contributies

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

## Meer aandacht voor vacuüm- techniek bij bedrijven

Voor u het laatste nummer van het *NEVAC blad* van dit jaar. Twee jaar geleden kwam er in een rondvraag van de bedrijfsleden een kritiekpunt naar voren dat het *NEVAC blad* alleen academische artikelen publiceert en te weinig aandacht heeft voor de niet-academische leden. Dit punt heeft het bestuur en de redactie hoog opgenomen. Het resultaat laat zich zien in de edities van afgelopen jaar: meer technische artikelen maar vooral ook de interviews met leden en cursisten. De interviews geven een goed beeld in welke breedte onze leden werkzaam zijn en door welke vacuümtoepassingen zij zich aan de beroepsvereniging gebonden voelen. In dit nummer zijn twee interviews met



cursisten die een 10 hebben gehaald voor de basiscursus Vacuümtechniek. De complimenten en felicitaties gaan uit naar Wietse Smit en Jos Aerts!

De NEVAC-prijs is inmiddels een populaire wedstrijd geworden voor studenten, promovendi en post-docs. De beloning in de erkenning voor de wetenschappelijke prestaties en uiteraard het geld (€ 1000,- voor de winnaar en € 250,- voor de andere indieners) bezorgen de NEVAC mooie en interessante artikelen. Dit keer kunnen we een bijdrage lezen van Akshatha Mohan uit Eindhoven over de groei van Si en Ge nanokristallen in een *plasma enhanced CVD process*. Het tweede artikel is ingediend door Jordy Vernimmen van DIFFER en beschrijft een detector voor de studie van stofdeeltjes in plasma's.

Ik hoop dat het *NEVAC blad* in deze vorm voor alle leden interessant is.

Ad Ettema

## Oproep

De Excursiecommissie Buitenland is op zoek naar ideeën voor de bestemming van een nieuwe excursie die in 2017 of 2018 zal worden georganiseerd. Stuur je voorstel met korte motivatie naar: [excursies@nevac.nl](mailto:excursies@nevac.nl)

De indiener van het winnende voorstel zal uitgenodigd worden om de excursie mede te organiseren, voorwaar een eervolle taak in een gemotiveerd en ervaren team.

De Excursiecommissie

# Twee tienen voor Vacuümtechniek

Maar liefst twee cursisten sloten dit jaar de NEVAC cursus Vacuümtechniek af met een 10: Jos Aerts, equipment engineer bij ASML in Veldhoven en Wietse Smit, chemical engineer bij Urenco in Almelo. Reden genoeg om beide heren op te zoeken en te vragen naar hun ervaringen met de cursus en de rol van vacuümtechniek in hun werk.

Claud Biemans

## Jos Aerts: "Deze kennis komt goed van pas bij het verbeteren van de restgasanalysator"

In de 22 jaar dat Jos Aerts werkt bij ASML, heeft hij de hele ontwikkeling meegemaakt van de lithografische machines die gebruikt worden voor de productie van chips, van kleine machines met een afbeeldingsresolutie van iets minder dan een micrometer, naar het huidige systeem dat 5 bij 10 meter lang is en een resolutie heeft van 16 nm. Aerts studeerde informatica aan de HTS. Na zijn afstuderen werkte hij een jaartje in de software, maar daarna vond hij een baan bij als *field service engineer* bij ASML. Aerts: "Ik had gelukkig ook elektronica geleerd en het analyseren van storingen heeft me altijd geboeid. Mijn taak was het oplossen van storingen die optreden aan de lithografische machines, waar een hoop elektronica, maar ook optica in zit."

### Extreem ultraviolet

Vacuümtechniek ging bij ASML pas een jaar of tien geleden een rol spelen, toen de golflengte van de lichtbron veranderde van ultraviolet naar extreem ultraviolet, 13,5 nm, opgewekt met een plasma van tin. Aerts: "Die golflengte gaat niet door materialen heen, maar wel door het luchtledige. Toen stapten we voor de optiek ook over van lenzen naar spiegels. Mijn functie veranderde in die tijd. Ik



Jos Aerts.

werd *equipment engineer*, in die rol zijn wij een interface tussen de echte designers die systemen ontwikkelen en de klant. Wij zorgen ervoor dat een systeem dat nieuw ontwikkeld is, betrouwbaar wordt, dat het makkelijk bedienbaar is door een operator, en dat het makkelijk te onderhouden is."

Aerts: "Ik ging onder andere werken aan het vacuümsysteem, waar de lichtbron in zit, net als de scanner. De machines hebben niet zozeer een heel diep vacuüm, maar wel een heel schoon vacuüm. Daarom doen we altijd waterstofgas in het gedeelte waar de lichtbron zit, zodat

de optiek schoon blijft. De druk daar is dan ongeveer tien keer zo hoog als in het gedeelte van de scanner. Die twee kamers zijn wel met elkaar verbonden, maar aangezien er bij de lichtbron tin zit en bij de scanner niet, wil je ze ook gescheiden houden. Dat kan niet met een klep, want er moet licht doorheen, dus dat doen we met een gasklep, twee gasstromen die ervoor zorgen dat het vuil uit het ene compartiment niet bij het andere gedeelte kan komen. Dat werkt eigenlijk hetzelfde als bij een winkel waar je met een luchtstroom de kou buiten en de warmte binnen houdt."



De TWINSKAN NXE:3350B van ASML. Het is het eerste industriële productieplatform voor lithografie met extreem ultraviolet licht. De lichtbron bevindt zich onderaan in het midden, de scanner linksonder.

Collega's die ook de cursus van Theo Mulder hadden gevolgd, attendeerden Aerts op de cursus vacuümtechniek. De groep cursisten bestond uit tien mensen van ASML.

Aerts: "De cursus was theoretisch maar voor de helft ook praktisch. Dat was wel het leuke, die combinatie. Er waren veel voorbeelden over turbopompen en andere soorten pompen. Het was een klein beetje rekenen, maar de berekeningen waren niet supermoeilijk. De cursus was goed toegesneden op wat ik moet kunnen. Want voordat je een goed design hebt, krijg je heel veel documenten voor je kiezen die je moet reviewen. Die stikken van de terminologie en formules. Als er bijvoorbeeld bij de specificaties staat dat de lektheid zo groot moet zijn en een specifiek onderdeel zoveel mag uitgassen, weet ik nu waar dat over gaat. Ik kan daarover nu wat scherpere vragen stellen. Je bent een iets betere sparring partner voor de designer en degene die de specificaties opstelt, ik heb daar heel veel aan."

"Wij konden bij Theo ook met vragen terecht die specifiek voor ASML waren. Lektesten, bijvoorbeeld, doe je gewoonlijk door het systeem heel diep vacuüm te maken en dan rondom te sprayen met helium. Met onze systemen kunnen wij die lektest soms helemaal niet uitvoeren. Maar in ons vacuüm treffen we liever geen lichte koolwaterstofverbindingen aan, of andere stoffen die de spiegels kunnen aantasten. We willen weten wanneer dat gebeurt, want anders weet je niet waardoor een storing veroorzaakt wordt. Dus dat monitoren we altijd met een restgasanalysator. Maar er zit waterstof in ons vacuümsysteem en het meten bij een hogere druk maakt het moeilijk. Ons restgasanalysator is dus specifiek voor ASML. We konden tijdens de cursus vragen stellen over hoe je het beste kunt meten met zo'n apparaat. Wat betekent het als er rare piekjes te zien zijn in het spectrum? Deze kennis komt goed van pas, want ik werk nu aan het verbeteren van die restgasanalysator."

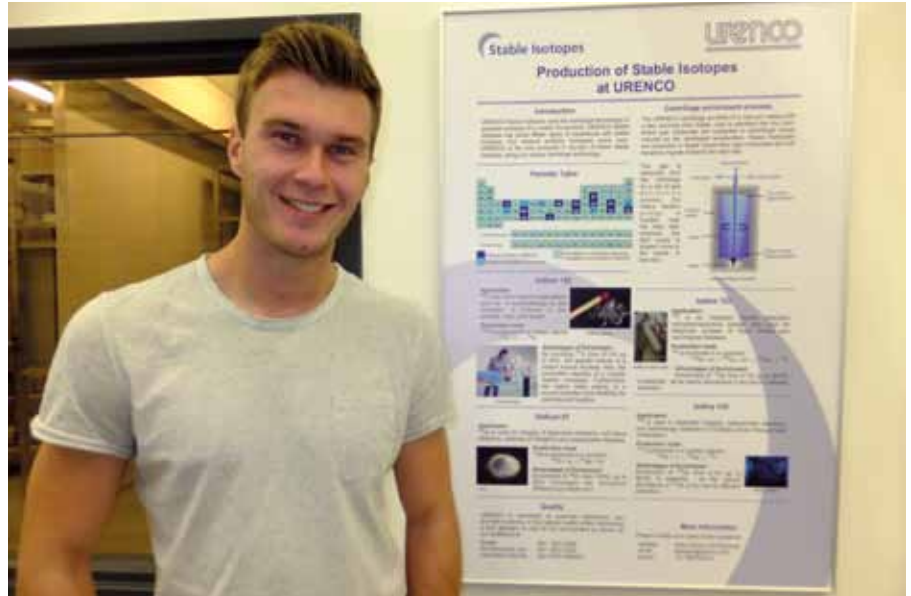
### Sport

Ondanks dat hij slaagde met een 10 vond Aerts de cursus niet te makkelijk. "Bij het proefexamen had ik al een 9,4 en toen dacht ik, nu ben ik toch bezig, dan ga ik ook voor een 10. Dat was een sport. Ik heb er goed voor gestudeerd, thuis heb ik er echt wel 70 tot 80 uurtjes ingestoken. Maar ik vond het leuk, hè?"

Was er iets in de cursus dat anders had gekund? Aerts: "Het enige is dat bepaalde onderdelen van de theorie tegenwoordig niet meer worden toegepast. Bijvoorbeeld een diffusiepomp, die wordt bij ons maar ik denk ook in het algemeen nauwelijks meer gebruikt. Dan zat ik heel goed op te letten en dan hoorde je na 10 minuten praten dat je er eigenlijk niets aan hebt. Daar zou je meteen kunnen zeggen dat het niet meer gebruikt wordt. Eventueel zou je dat kunnen doorlezen in je eigen tijd. Dan kun je iets meer tijd besteden aan wat nu nog wel toepasbaar is."

# Wietse Smit: "Vacuümtechniek leer je niet tijdens je scheikundestudie"

Wietse Smit werkt als *Chemical Engineer* bij Urenco in Almelo. Het bedrijf is vooral bekend van de verrijking van uranium met behulp van ultracentrifuges, maar Smit werkt bij de afdeling Stabiele Isotopen (zie kader). Dat is een kwartiertje lopen vanaf de ingang van het terrein, dus hij komt me ophalen met een mooi blauw busje, dat eruitziet als een kermisattractie. Tijdens het rijden wordt me al duidelijk waarom hij een 10 haalde voor zijn examen. Smit: "Na het onder de knie hebben van de theorie heb ik voornamelijk wat examens geoefend, dan ben je bekend met wat voor vragen ze stellen en dan kun je de berekeningen vaak gemakkelijk doen."



Wietse Smit.

## Ontstaan van leven

Smit vertelt ook enthousiast over de plek waar hij in 2013 afstudeerde: bij het Stratingh Institute for Chemistry in Groningen, waar de kersverse Nobelprijswinnaar Ben Feringa werkt. Zelf deed hij in de groep van Sijbren Otto onderzoek

dat te maken had met het ontstaan van het leven. Terwijl er bij een chemische reactie gewoonlijk evenveel links- als rechtsdraaiende (chirale) moleculen ontstaan, hebben we in levende organismen te maken met enkel linksdraaiende aminozuren en rechtsdraaiende suikers.

Het volledig bestaan uit één van de twee vormen wordt homochiraliteit genoemd. Smit: "Het is niet bekend waarom er een voorkeur voor één van de twee vormen is. Ik onderzoek complexe chemische systemen waarbij spontaan een voorkeur voor één van de twee vormen ontstond. Het ontstaan van homochiraliteit is een belangrijk puzzelstukje in het ontstaan van het leven."

Smit vond dit fundamentele onderzoek heel leuk om te doen, maar hij wilde daarna graag dichter bij een toepassing bij een bedrijf aan de slag en dat werd Urenco. Smit: "Ik heb hier een drietal taken: onderzoek en het ontwerpen van nieuwe processen en opstellingen, ondersteuning van de lopende processen – probleempjes oplossen op het gebied van chemie –, en onze huidige processen, veiliger en efficiënter maken. De *core business* bij Urenco is uraniumverrijking met ultracentrifuges. Op onze afdeling passen we hetzelfde principe toe, maar hier verrijken wij stabiele isotopen. De laatste tijd ben ik bezig geweest met het conversieproces van verrijkt molybdeen (Mo). Er is een wereldwijde vraag naar

## Elementen, isotopen en gascentrifuges

De verschillende atomen ofwel elementen uit het periodieke systeem worden bepaald door het aantal protonen in de kern. Van veel elementen kan het atoomgewicht echter variëren, omdat er verschillende aantallen neutronen in de kern kunnen zitten; dan zijn er verschillende isotopen. Sommige isotopen zijn radioactief; ze zijn niet stabiel en vallen uiteen.

Uranium heeft bijvoorbeeld atoomnummer 92, dat wil zeggen 92 protonen in de kern. In de natuur komen twee radioactieve isotopen het meest voor: atoomgewicht 235 (dus 143 neutronen) en atoomgewicht 238 (146 neutronen).  $^{235}\text{U}$  kan, in tegenstelling tot  $^{238}\text{U}$ , worden gebruikt voor de productie van kernenergie, maar het percentage in delfstoffen is klein: 0,7 %. Met behulp van gascentrifuges, die zwaardere moleculen naar de buitenkant van de centrifuge slingeren waar ze afgevoerd kunnen worden, kan de concentratie van  $^{235}\text{U}$  in het mengsel met  $^{238}\text{U}$  worden verhoogd. Dit verrijkte uranium wordt gebruikt in kerncentrales om elektriciteit op te wekken.

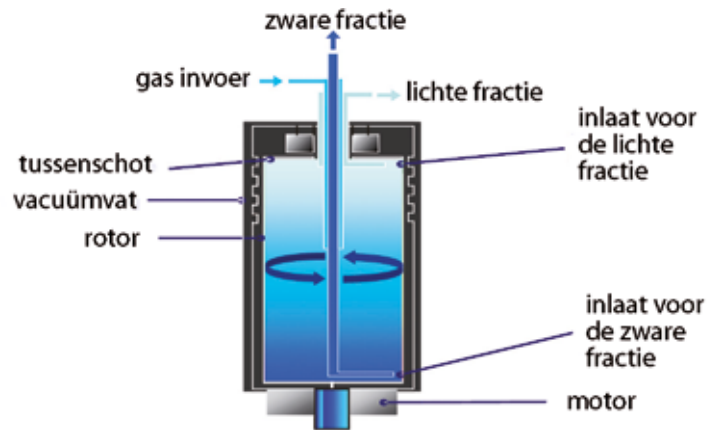


$^{98}\text{Mo}$  en  $^{100}\text{Mo}$  voor de productie van metastabiel technetium-99 ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ). Dat wordt gebruikt in de medische diagnostiek.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  is een zachte gammastraler en heeft ongeveer een halfwaardetijd van zes uur, dus als dat in het lichaam wordt ingebracht, is de activiteit redelijk snel weg. Het is een vervalproduct van  $^{99}\text{Mo}$ , dat nu vooral uit hoogverrijkt uranium wordt gewonnen. Het  $^{99}\text{Mo}$  heeft een halfwaardetijd van ongeveer 2,5 dag, dus dat kan je redelijk transporteren naar een ziekenhuis waar ze  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  kunnen scheiden van  $^{99}\text{Mo}$ .”

### Metaalfluorides

Voor het verrijken van isotopen zijn gasvormige verbindingen nodig. Smit: “Bij de verrijking van uranium wordt gewerkt met  $\text{UF}_6$  en hier werken we met diverse gasvormige verbindingen welke geen radioactieve isotopen bevatten. Metaalfluorides zijn vluchtige verbindingen en het grote voordeel is dat fluor maar één isotoop kent, wat het scheiden van de isotopen van het metaal makkelijker maakt. Een klant is niet altijd geïnteresseerd in een gasvormige verbinding. Dus moeten deze gassen worden omgezet naar een voor de klant gewenste vorm of verbinding. Ik werk voornamelijk aan het proces dat plaatsvindt na verrijking: de route van gas naar metaaloxide of metaal.”

“Onze producten hebben onder meer toepassingen in de medische diagnostiek en in medische therapie. Iridium (Ir) is ook een van onze producten. Het heeft van nature twee stabiele isotopen en wij verrijken het stabiele  $^{191}\text{Ir}$  en maken het na een conversieproces in de vorm van heel kleine metalen staafjes. Na activering met neutronen vormt zich het radioactieve  $^{192}\text{Ir}$ . De buisjes kunnen in het lichaam worden aangebracht voor bestraling van bijvoorbeeld prostaatkanker. Dan heb je een bronnetje in het lichaam dat heel lokaal een bepaalde straling afgeeft. Daarom vind ik het mooi dat ik hier werk, ik zit heel dicht op de toepassing. Je weet direct waar je het voor doet.”



De werking van een ultracentrifuge.

Wietse Smit bouwt in het lab testopstellingen en dat zijn vacuümsystemen. Smit: “De meeste van onze stoffen zijn erg reactief. Een klein spoortje zuurstof of water zorgt meteen voor hydrolyse en dan krijg je afbraakproducten in de leidingen met als gevolg een verstopping of verlies. In principe werken we daarom bijna altijd onder vacuüm of een inerte atmosfeer. Het is dus goed om kennis van en ervaring met vacuümtechniek te hebben en dat leer je niet tijdens je scheikundestudie. Alle medewerkers hier doen de NEVAC-cursus. Het wordt voor Urenco-medewerkers hier ter plekke gegeven, dus het kost ook weinig extra tijd, twee uurtjes in de week. Het eerste deel wordt gegeven door Harold Zandvliet, profes-

sor aan de Universiteit Twente. Hij geeft leuk les en vertelt bijvoorbeeld ook over wat hij doet op de universiteit. De technische man in zijn groep, Herman Oerbekke, geeft het tweede deel en dat focust op de pompen. Het tempo is goed en de cursus is goed opgebouwd. In het begin deden we veel basisberekeningen, bijvoorbeeld met de algemene gaswet. De meeste deelnemers aan de cursus hebben een MBO-achtergrond, dus dat was prima, zelf had ik al wat meer ervaring met bepaalde berekeningen. Maar pompen daar wist ik helemaal nog niets van. Nu na de cursus heb je meer achtergrond over waarom je bepaalde dingen doet en je weet wat de specifieke eigenschappen van pompen zijn.



Kleine metalen staafjes van iridium-191 die, na bestraling met neutronen, gebruikt worden voor de behandeling van kanker.

## THIN FILM DEPOSITION

### **Ultratech CNT**

ALD Depositie systemen



- Up to 300mm
- Ultra High Aspect Ratio
- Labview, W7
- Max. 400°C
- 2 to 6 precursors
- LVPD, Ozone, Ellipso, QC,
- SAM's

### **Ferrotec Temescal**

E-beam Depositie systemen



- Fastcycle loadlocked
- Multi pocket gun
- 2 to 8" multi wafer
- Ion cleaning & IBAD
- Multi user control with datalogging
- High uptime

### **COAT320 R&D belljar type**

Thermische opdamp systemen



- General purpose R&D
- Automatic depositioncontrol
- Metals, Polymers, organics, Perovskites
- General Research

### **COAT340 Glovebox Integrated**

Thermische opdamp systemen



- Solar Research R&D
- Automatic depositioncontrol
- Labview & datalogging
- Metals, Polymers, organics, Perovskites
- Glovebox integrated
- Full PC control

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



Wil jij een winnaar zijn, net als Martijn Vos, en presenteer jij je werk tijdens de NEVAC-dag in 2017? Win jij 1000 euro, de NEVAC-prijs voor het beste artikel gerelateerd aan vacuüm?

Deel je onderzoek en je kennis op het gebied van vacuümtechniek in een helder geschreven artikel van 2000 woorden. De lezers van het *NEVAC blad* hebben een technische, fysische of chemische achtergrond en aan jou de taak om voor dit brede publiek een begrijpelijk verhaal te schrijven. Stuur het uiterlijk **1 februari 2017** naar: [redactie@nevac.nl](mailto: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](http://www.nevac.nl/1019/richtlijnen-voor-auteurs)

Do you want to be a winner, like Martijn Vos, and are you going to present your work during the next NEVAC day 2017? Will you receive 1000 Euro: the NEVAC prize for the best paper related to vacuum?

Share your research and knowledge on vacuum related science in a clearly written 2000 word paper. *NEVAC blad* readers have technical, physical or chemical backgrounds and all of them should be able to understand your article. The deadline is **February 1, 2017**. Email your paper to: [redactie@nevac.nl](mailto: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](http://www.nevac.nl/1370/author-guidelines)

# BABE als testbed voor fluctuatietheorie

Onzichtbare stofdeeltjes in het heelal zijn mogelijk van invloed op het ontstaan van sterren en planeten [1]. Voor het karakteriseren van deze deeltjes wordt gekeken naar de thermische fluctuaties die ze veroorzaken in plasma's. De meeste laboratoriumplasma's zijn hiervoor echter niet stabiel genoeg, dat wil zeggen, de lokale fluctuaties van het plasma zelf zijn hoger dan de thermische fluctuaties veroorzaakt door stofdeeltjes. Om de thermische fluctuaties te meten, is een speciaal type glimontlading (Engels: *glow discharge*), de BAri Brush Electrode (BABE) ontwikkeld en gebouwd door DIFFER in samenwerking met het Zweedse Royal Institute of Technology, Stockholm en het Italiaanse Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bari. BABE is een apparaat dat verschillende concepten uit de jaren zestig combineert, waarmee een extreem stabiel plasma gegenereerd kan worden met unieke plasmacondities [2]. Na beschrijving van de verschillende concepten wordt de eerste fase van BABE beschreven, het bepalen van de plasmacondities. Voor deze fase was slechts anderhalve week tijd, waardoor veel geïmproviseerd is. Ten slotte wordt gekeken naar het toekomstperspectief van BABE.

**J.W.M. Vernimmen**

FOM Institute DIFFER, Dutch Institute for Fundamental Energy Research, Association EURATOM-FOM, Trilateral Euregio Cluster, P.O. Box 6336, 5600 HH Eindhoven, The Netherlands  
j.vernimmen@diffier.nl

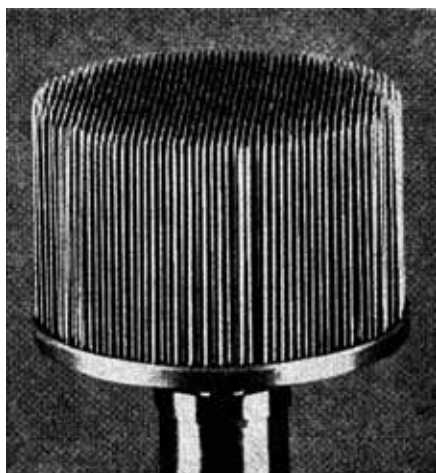
Al meer dan 60 jaar is men bezig met onderzoek naar gecontroleerde nucleaire fusie in plasma's voor opwekking van energie. Volledig geïoniseerde plasma's zonder botsingen zijn theoretisch rigoureus beschreven en experimenteel

geverifieerd. De meeste laboratoriumplasma's zijn echter onvolledig geïoniseerd en er vinden veel botsingen plaats. Bij deze plasma's zijn de lokale fluctuaties in bijvoorbeeld elektronendichtheid en elektrisch veld zo hoog dat thermische fluctuaties niet gemeten kunnen worden. Daarvoor moet een heel stabiel plasma gegenereerd worden, dat wil zeggen dat de lokale elektrische velden vrijwel nul zijn.

Een vrij onbekend concept om een dergelijk plasma te genereren stamt uit 1965 en maakt gebruik van de zogenaamde borstelelektrode (Engels: *brush electrode*) [3]. Spontaan gegenereerde ionen (door bijvoorbeeld kosmische straling) worden hierbij naar een kathode versneld, die bestaat uit kleine wolframhaartjes om het oppervlak van de kathode te vergroten, zie figuur 1. Bij de impact van een ion op

de borstelelektrode komen veel secundaire elektronen vrij die versneld worden naar de anode. Deze elektronen ioniseren hierbij het gas tussen de kathode en anode. Om een stabiel plasma te krijgen dat zichzelf in stand kan houden, is het drukbereik waarin de borstelelektrode kan werken beperkt: bij een te lage druk zijn er onvoldoende botsingen om het plasma in stand te houden, terwijl bij een te hoge druk de elektronen tussen opeenvolgende botsingen niet genoeg energie krijgen om het gas te ioniseren, vanwege de te kleine vrije weglengte. Specifiek betekent dit dat het gebied waarin de borstelelektrode kan werken ligt tussen ongeveer 1 en 100 Pa.

Door de lineaire combinatie van kathode en anode is het plasma echter niet zonder elektrisch veld. Nog in hetzelfde jaar 1965 is daarom een reflex-geometrie



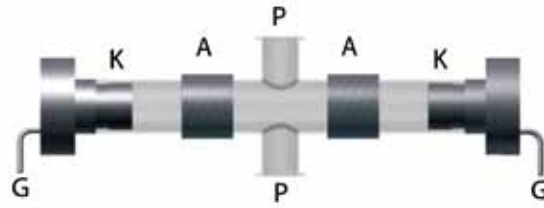
**Figuur 1** De borstelkathode.

voorgesteld [4]: twee kathodes die tegenover elkaar staan, en twee anodes die symmetrisch geplaatst zijn ten opzichte van de kathodes, schematisch weergegeven in figuur 2. In het gebied tussen de anodes wordt een plasma gegenereerd door twee tegenovergestelde plasmabundels, waardoor het elektrische veld in dit gebied (ongeveer) gelijk wordt aan nul. De productie van de borstelektrode is echter ingewikkeld. Ook kent de elektrode enkele tekortkomingen, zoals hoge verliezen van wolframatomen door sputtering, en de haartjes kunnen smelten bij een elektrische doorslag. In 1966 is voorgesteld om een zogenaamde omgekeerde borstelektrode [5] te gebruiken, waarbij de haartjes vervangen worden door gaten om het oppervlak van de kathode te vergroten. De kathode zoals deze ontworpen is door DIFFER is te zien in figuur 3.

Wat BABA uniek maakt, is dat het deze twee verbeteringen voor het eerst combineert. Ook worden twee orthogonale reflexgeometrieën gebruikt, zodat er in totaal vier kathodes zijn. Hierdoor wordt een hogere elektronendichtheid behaald bij een lagere achtergronddruk. Per kathode wordt minder vermogen gedissipeerd, wat de levensduur van de kathodes verlengt. In figuur 4 is een foto te zien van BABA in bedrijf. Op deze foto zijn de kathodes afgedekt door zwart karton om veiligheidsredenen. De glimontlading is duidelijk zichtbaar, met in het midden het gebied waar het plasma extreem stabiel is.

### Thomsonverstrooiing

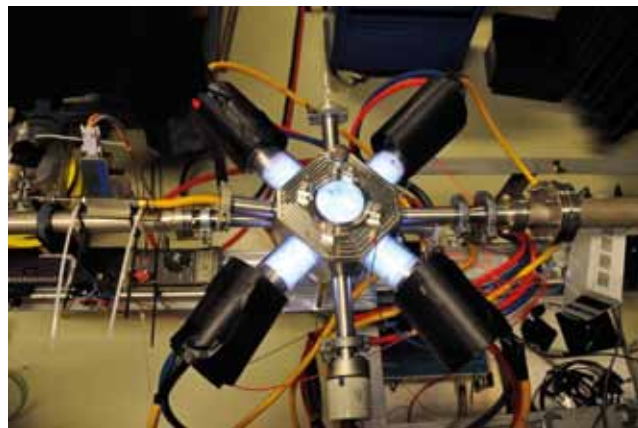
Om te testen of de unieke variant van de borstelektrode werkt zoals verwacht, moeten de twee belangrijkste plasmaparameters gemeten worden: de elektronendichtheid ( $n_e$ ) en elektronentemperatuur ( $T_e$ ). Een manier om deze eigenschappen tegelijkertijd en ondubbelzinnig te meten is aan de hand van Thomsonverstrooiing: de elastische verstrooiing van een elektromagnetische golf aan een vrij elektron. Het elektron



**Figuur 2** Schematische weergave van de reflex-geometrie. In de figuur staan de afkortingen voor K: kathode, A: anode, P: vacuumpoort, G: gasinjectione.



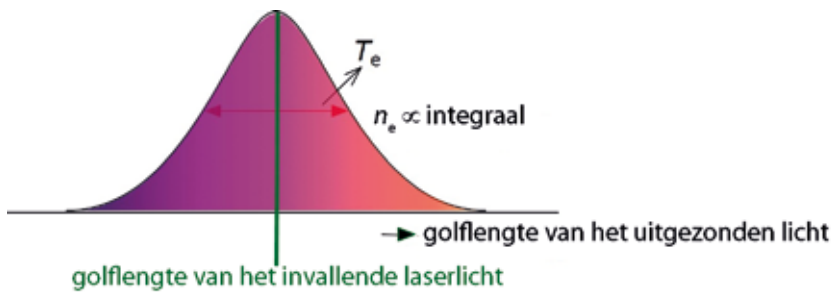
**Figuur 3** De omgekeerde borstelektrode, ontworpen door DIFFER.



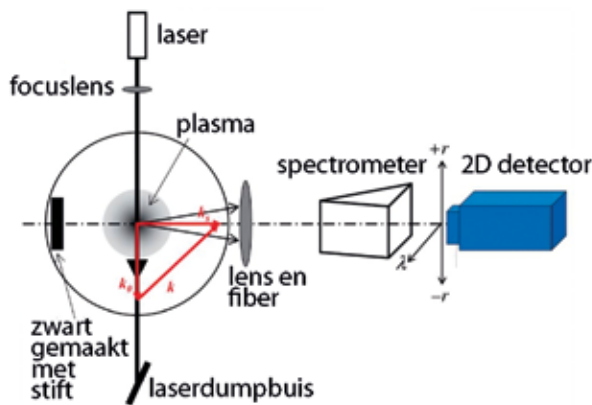
**Figuur 4** Foto gemaakt van BABA. De kathodes zijn afgedekt door zwart karton. De glimontlading die geproduceerd wordt, en het stabiele plasma in de ruimte tussen de anodes, zijn duidelijk zichtbaar.

wordt versneld door een elektromagnetische golf en het directe resultaat is dat het elektron een elektromagnetische golf uitzendt met dezelfde frequentie. Vanwege de snelheid van het elektron ten opzichte van de detector wordt een Dopplerver-

breiding gemeten. Door de lage elektronentemperatuur is de snelheidsverdeling niet relativistisch en kan deze beschreven worden door een Maxwell-Boltzmannverdeling. Hierdoor zal het spectrum van het Thomsonsinaal een Gaussische ver-



**Figuur 5** Een voorbeeld van een gesimuleerd Thomsons signaal. De elektronentemperatuur  $T_e$  volgt uit de breedte van het signaal en de dichtheid  $n_e$  uit de integraal.



**Figuur 6** Schematische weergave van de meetopstelling voor Thomsonverstrooiing.

deling krijgen. De elektronentemperatuur en -dichtheid kunnen bepaald worden aan de hand van respectievelijk de breedte en de integraal van het signaal, zie figuur 5.

In de praktijk wordt er een laserbundel geïnjecteerd in de vacuümopstelling via Brewstervensters, die in principe zorgen voor perfecte transmissie. Door oneffenheden in het venster zal echter een gedeelte van het licht in alle richtingen verstrooid worden. Met behulp van diafragma's wordt dit licht zodanig gecollimeerd dat het verdwijnt in een dumpbuis. Om eventuele reflecties in de opstelling te elimineren is de vacuümzijde van de opstelling zwart gemaakt met een permanente stift (inderdaad, een vloek in vacuümtechniek).

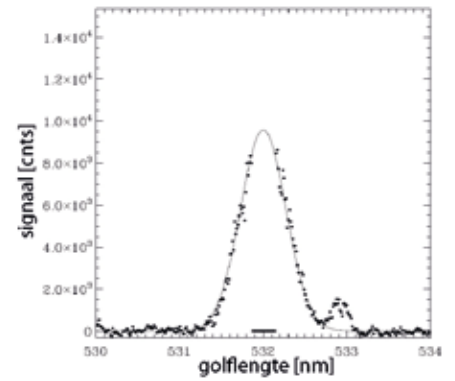
De hoofdbundel wordt gefocuseerd in het plasma en het Doppler-verbrede licht wordt geïncollimeerd door een detector bestaande uit een lens en fiber die het licht naar de spectrometer leiden. Dit is schematisch weergegeven in figuur 6.

### Metingen

Om de Thomsonmetingen uit te voeren is gebruikgemaakt van de Magnum-PSI TS-spectrometer, uitgebreid beschreven in [6]. Aan de hand van Rayleighverstrooiing (elastische verstrooiing aan gebonden elektronen in plaats van vrije elektronen) wordt het systeem absoluut gekalibreerd.

De verwachte elektronendichtheid en temperatuur zijn  $n_e = 10^{17} \text{ m}^{-3}$  en  $T_e = 0,1 \text{ eV}$  (1160 K), wat betekent dat de amplitudes van het Rayleigh- en Thomsonsignaal vergelijkbaar zijn bij een heliumachtergronddruk van  $\sim 1,5 \text{ mbar}$ . Omdat we toen deze lage elektronendichtheid verwachtten, hebben we een lange accumulatie tijd gebruikt van 150 s (532 nm, 10 Hz, 4 W).

De eerste analyse van de Thomsondata is zeer bemoedigend: de verwachting dat een hogere elektronendichtheid bij een lagere druk bereikt wordt door meerdere reflexgeometrieën is bevestigd. Een typisch spectrum is weergegeven in fi-



**Figuur 7** Een typisch Thomsonsignaal, gemeten door de Magnum-TS-spectrometer. Bij ongeveer 533 nm zijn twee spectraallijnen te zien. Deze zijn afkomstig van koolstof van de permanente stift.

guur 7. De gemeten waarden zijn na een voorlopige analyse gelijk aan  $n_e = 1,5 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$  en  $T_e = 0,07 \text{ eV}$  ( $\sim 500 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Dat is een record-lage temperatuur. Het meten van zulke lage temperaturen is mogelijk door de hoge spectrale resolutie van de gebruikte spectrometer.

Hierna is BABE naar Italië getransporteerd, waar de elektronendichtheid en -temperatuur onafhankelijk bevestigd zijn door middel van metingen met een elektrostatische probe.

### Toekomst

In de toekomst kunnen de Thomsonmetingen door enkele aanpassingen nog beter uitgevoerd worden:

- Door het verdubbelen van de lasergolflengte (1064 nm) neemt het Rayleighsignaal met een factor 16 af, terwijl het Thomsons signaal gelijk blijft. Dit maakt het mogelijk om bij hogere achtergronddruk te meten.
- In de Thomsonmetingen zijn twee koolstoflijnen te zien bij ongeveer 533 nm, veroorzaakt door het gebruik van de permanente stift. Om het strooilicht te verminderen zullen andere maatregelen getroffen moeten worden.
- Na afloop is ontdekt dat de inputbuis van het laserlicht een opening bevatte die niet goed was afgesloten, welke mogelijk voor een groot gedeelte heeft bijgedragen aan het strooilicht.

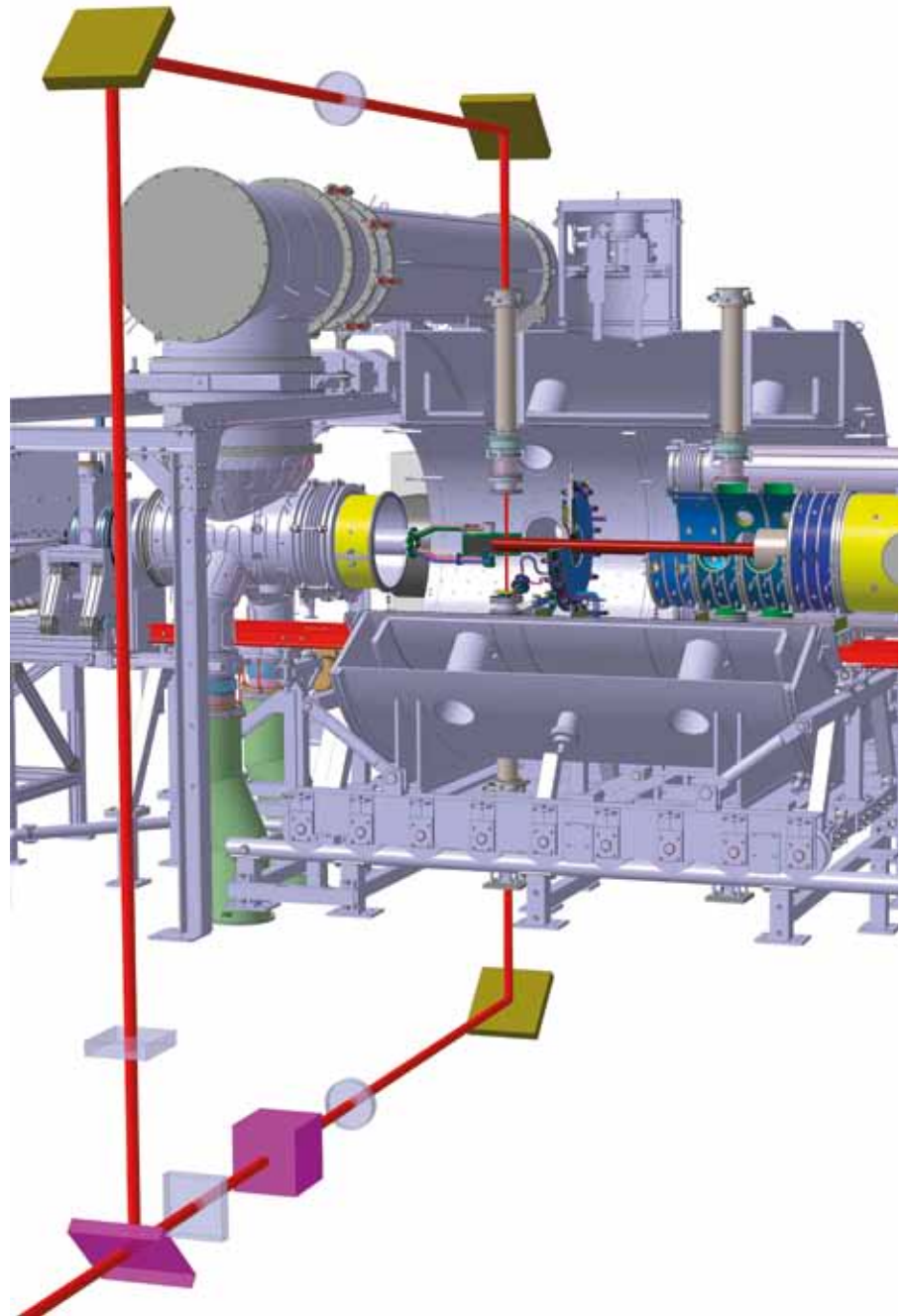
Op dat moment was het echter te laat om nog metingen te verrichten.

- Om de elektronendichtheid te verhogen kunnen meer dan vier kathodes gebruikt worden.

Het uiteindelijke, ambitieuze doel van BABA is het verrichten van collectieve Thomsonverstrooiing (CTS) aan stofdeeltjes in het plasma. Het opsluiten van de stofdeeltjes in het plasma is echter problematisch, omdat dit leidt tot extra verstoring van het plasma. Het is dan niet mogelijk om het signaal van meerdere laserpulsen te accumuleren. Om binnen  $0,5 \mu\text{s}$  toch voldoende signaal te meten zal een *multi-pass*-systeem ontworpen worden. Het *multi-pass*-systeem bestaat uit een Pockels cel en een polariserende bundelsplitser, die het laserlicht opsluiten in een vierkante trilholtte, met als gevolg dat het CTS-signaal van een enkele laserpuls effectief verhoogd wordt. Een schematische tekening van het *multi-pass*-systeem, zoals dit is voorgesteld voor Magnum-PSI, is te zien in figuur 8. Doordat het plasma zeer stabiel is kunnen de fluctuaties gemeten worden die veroorzaakt worden door de stofdeeltjes. Deze fluctuaties hangen af van de grootte en lading van de stofdeeltjes, de dichtheid, en samenstelling. Deze techniek kan mogelijk gebruikt worden als *in situ* diagnostiek voor het meten van onzichtbare sub-microndeeltjes in zowel laboratoriumplasma's als plasma's in het heelal.

### Conclusie

In dit artikel is de ontwikkeling van BABA beschreven. BABA is een apparaat dat enkele concepten uit de jaren zestig combineert, waarmee extreem stabiele plasma's gegenereerd kunnen worden. Aan de hand van Thomsonverstrooiing is een record-lage elektronentemperatuur gemeten en een hoge elektronendichtheid. De lokale fluctuaties zijn extreem laag, waardoor thermische fluctuaties te meten zijn. Dit maakt het mogelijk om van BABA een simulator te maken voor het testen van de fluctuatietheorie van stofdeeltjes in plasma's, zowel in het la-



**Figuur 8** Het principe van een multi-pass-systeem voor Magnum-PSI dat ook toegepast kan worden voor BABA. Het laserlicht (rood) wordt gevangen in een vierkante trilholtte door middel van een Pockels cel en een polariserende bundelsplitser, beide weergegeven in magenta.

boratorium als in de ruimte, ten behoeve van de studie van het ontstaan van sterren en planeten.

### Referenties

- 1 P.K. Shukla and A.A. Mamun, *Introduction to Dusty Plasma Physics* (Institute of Physics, Philadelphia, 2001).
- 2 S. Ratynskaia, BABA – a brush cathode discharge for thermal fluctuation measurements, *J. Plasma Physics* **81**, 345810202 (2012).
- 3 K.-B. Persson, Brush cathode plasma - A well-behaved plasma. *J. Appl. Phys.* **36**, 3086–3094 (1965).
- 4 J. Allison and B. Chambers, Reflex discharge in argon using brush cathodes. *Electron. Lett.* **2**, 443–444 (1965).
- 5 H.M. Musal, An inverse brush cathode for the negative glow plasma source. *J. Appl. Phys.* **37**, 1935 (1966).
- 6 H.J. van der Meiden, Advanced Thomson scattering system for high-flux linear plasma generator, *Rev. Sci. Instrum.* **83**, 123505 (2012).

# All new smart **High Vacuum Pumps**

EICOM\_13622\_02 1.08.2016



## **TURBOVAC**

Turbomolecular pumps from the **TURBOVAC i(X)** line with integrated electronic drive will allow you to optimize pump-down times and consistently hit your target regarding pressures and gas flows.

Designed to offer the best performance-size ratio available in the ISO 63/100/160 size range, they feature a rotor and drag stage design to achieve maximum performance and unparalleled speed, especially for light gases.

**New Turbomolecular pump range  
90 l/s - 450 l/s**



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



## Thermo Fisher Scientific heeft FEI overgenomen

In september heeft Thermo Fisher Scientific de overname afgerond van FEI Company, de producent van geavanceerde systemen voor elektronenmicroscopie. Thermo Fisher Scientific is een groot researchbedrijf met een omzet van 17 miljard dollar en 50.000 werknemers in 50 landen. FEI heeft 3000 werknemers, waarvan 700 in Eindhoven, en heeft een omzet van ongeveer één miljard euro.

Volgens Marc N. Casper, president en CEO van Thermo Fisher Scientific wordt er in de life sciences steeds meer gebruikgemaakt van elektronenmicroscopie. "De technologie die we met FEI binnenhalen, is een aanvulling op onze systemen voor massaspectrometrie die gebruikt worden voor de identificatie en het karakteriseren van eiwitten. De technologie voor kryo-elektronenmicroscopie (kryo-EM) van FEI, bijvoorbeeld, is een baanbrekende techniek die meer en meer wordt toegepast voor de analyse van eiwitten in de structurele biologie. Dat versterkt onze mogelijkheden voor het helpen van onze klanten in de life sciences bij het doen van nieuwe stappen in de structurele biologie. Daarnaast creëren de producten van FEI nieuwe mogelijkheden voor onze klanten in de material sciences die in toenemende mate gefocust zijn op nanotechnologie."

FEI levert sinds 2008 de KRIOS als systeem voor kryo-EM. Door Nature Methods is deze technologie in 2015 benoemd tot "Method of the Year". Kryo-EM wordt gebruikt voor het bestuderen van de structuur en functie van cellen, virussen en eiwitstructuren op de moleculaire, sub-nanometerschaal. De techniek kan geïntegreerd worden met röntgenkristallografie en kernspinresonantiespectroscopie (NMR) waardoor modellen van ingewikkelde, dynamische moleculaire complexen verkregen kunnen worden.

FEI is nu onderdeel van Thermo Fishers Analytical Instruments Segment.

## KJLC gaat partnership aan met Brooks Automation

De Kurt J. Lesker Company (KJLC) is sinds 1 oktober distributeur in Europa, Afrika en delen van Azië van Brooks Automation CTI cryopompen, waterpompen, en heliumcompressors. Deze overeenkomst biedt kansen voor beide organisaties, die over de hele wereld vertegenwoordigd zijn. De kwaliteit van Brooks Automation's cryopompen gaat samen met het wereldwijde distributienetwerk, de technische support, en aanvullende producten van KJLC voor verschillende industrieën en toepassingen.

De Kurt J. Lesker Company, opgericht in 1954, is een wereldwijde producent en distributeur van vacuümcomponenten en systemen voor hoog- en ultrahoog vacuüm. Met vier afdelingen – Vacuum Mart, Process Equipment, Materials, en Manufacturing – brengt KJLC een complete lijn van producten en service voor de vacuümindustrie, van simpele onderdelen tot complexe vacuüm-systemen en computergestuurde depositiesystemen. Ze werken nauw samen met klanten aan degelijke en kostenefficiënte oplossingen.



## 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](http://www.nevac.nl)

# Tweedimensionale materialen maken met atoomlaagdepositie

**Op 31 oktober kwamen aan de TU in Eindhoven wetenschappers en technici bijeen voor de workshop *ALD for 2D: atoomlaagdepositie van tweedimensionale materialen*. De organisatie van de dag was in handen van Ageeth Bol van de afdeling Plasma & Materials Processing. Sponsor van de dag was Oxford Instruments, die net een gloednieuw FlexAL 2D-systeem in de cleanroom van de afdeling had geïnstalleerd. In dit systeem zijn verschillende mogelijkheden voor het fabriceren, bewerken en in situ meten van 2D-atoomlagen gecombineerd.**

Het bekendste 2D-materiaal is wel grafeen. Het bestaat uit een laag koolstofatomen die een plat rooster vormen, opgebouwd uit zeshoeken. Grafeen is een zeer sterk materiaal en daarnaast een van de snelste geleiders voor elektronen. Andere 2D-materialen zijn de dichalcogeniden: verbindingen van overgangsmetalen als molybdeen (Mo) en wolfram (W) met zwavel (S), selenium (Se) en telluur (Te). Dit zijn stabiele materialen die in de natuur voorkomen als mineralen. Ze bevatten geen elementen die zeldzaam zijn.

Bij de miniaturisering van computers zijn alle onderdelen steeds kleiner geworden, met als gevolg dat de elektronen die voor informatie-overdracht en -opslag zorgen, door steeds kleinere kanaal-

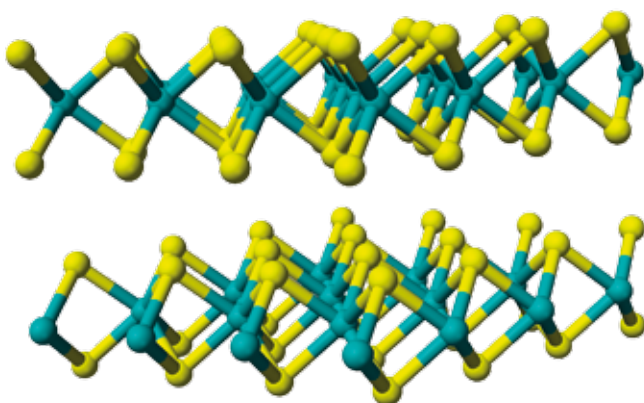
tjes moeten stromen. Daarbij neemt de weerstand toe en ontstaat er veel warmte. De geïntegreerde schakelingen bevatten tegenwoordig vaak veldeffecttransistoren (zoals MOSFETs) die aangestuurd worden met een spanning op de gate, waardoor een stroom kan gaan lopen tussen source en drain. Moderne gates zijn inmiddels zo dun geworden dat de capaciteit, en daarmee de spanning die nodig is voor het schakelen, toeneemt. Als een gate nanometers dik is, neemt ook het ladingverlies toe door het wegtunnellen van elektronen. Het resultaat is dat het energieverlies enorm stijgt en de transistor minder betrouwbaar werkt en ook nog eens gekoeld moet worden.

Hedendaagse processoren zijn al ener-

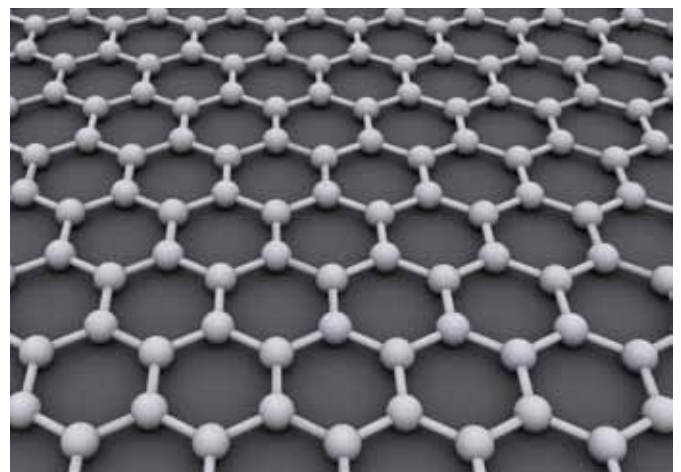
giezuiniger dan oudere technieken. Toch gebruiken in 2014 alle datacenters in de VS bij elkaar 70 miljard kWh, dat is 70 TWh. Ter vergelijking: het totale verbruik van elektriciteit in Nederland in 2014 was 118 TWh. Voor de ontwikkeling van nog krachtigere processoren die minder energie gebruiken, wordt nu gekeken naar nieuwe, tweedimensionale materialen. Die hebben bovendien als bijkomend voordeel dat ze transparant en flexibel zijn.

## Plakband en ALD

Het is bekend dat je een 1 atoom dikke laag grafeen kunt maken door het voorzichtig lostrekken van plakband dat over een potloodstreep zit. Het is natuurlijk lastig om deze 2D-laag over te brengen op een ander materiaal en als je een wat groter oppervlak nodig hebt, is het, ook met een professionelere variant van deze methode, lastig te voorkomen dat er plooiën en scheuren in de laag ontstaan, de laagdikte is niet te controleren en de stukjes grafeen zijn hoogstens enkele micrometers groot. 2D-lagen van bijvoorbeeld  $\text{MoS}_2$  kunnen ook met an-



Twee 2D-lagen  $\text{MoS}_2$ . Groen: molybdeen, geel: zwavel.



2D-structuur van grafeen, opgebouwd uit koolstofatomen.



FOTO NANDO HARMISEN

dere methoden gemaakt worden, zoals sputtering en *chemical vapour deposition*. Atoomlaagdepositie blijkt een zeer nauwkeurige techniek te zijn voor het fabriceren van grotere 2D-lagen zonder defecten, met precieze controle over het aantal atoomlagen.

Een enkele laag  $\text{MoS}_2$  kan gemaakt worden door een silicium wafer in de ALD-reactor bloot te stellen aan  $\text{MoCl}_5$  waarvan 1 atoomlaag hecht aan de dunne bovenlaag  $\text{SiO}_2$ . Omdat er niet meer plaatsen aan het oppervlak beschikbaar zijn waar de reactie kan plaatsvinden, is deze zelflimiterend. Na spoelen met argon, waardoor al het overtollige  $\text{MoCl}_5$  wordt afgevoerd, wordt de ALD-reactor gevuld met  $\text{H}_2\text{S}$ , waardoor een enkele laag  $\text{MoS}_2$  op het oppervlak overblijft. Vervolgens wordt de overmaat  $\text{H}_2\text{S}$  en het reactieproduct  $\text{HCl}$  door spoelen met argon afgevoerd.

### Complexere structuren

Bij het maken van complexere structuren wordt bij ALD gewoonlijk eerst het basismateriaal gedeponerd dat daarna wordt bewerkt. Er kan bijvoorbeeld een patroon worden aangebracht door middel van etsen. Daarmee zijn processtappen gemoed die tijdrovend en duur zijn. En ook kunnen onderliggende lagen beschadigd raken, wat natuurlijk zeer problematisch is voor de 1 atoomlaag dikke 2D materialen.

Bovendien is er bij grafeen en 2D-chalcogeniden een andere moeilijkheid: het zijn zeer stabiele verbindingen, dus ze reageren niet met andere moleculen. Hierdoor is het moeilijk andere materialen op de 2D-lagen af te zetten, die nodig zijn om complexere structuren te maken voor optische en elektronische toepassingen. Nu is er een oplossing bedacht om de 2D-laag te activeren, zodat er daarna

**Ageeth Bol laat aan deelnemers van de workshop zien hoe grafeen met behulp van *chemical vapour deposition* wordt gemaakt in het *plasma & materials processing-lab*.**

bijvoorbeeld een contact van platina op kan worden gedeponerd en dan wel alleen op de plaats waar dat nodig is. Het oppervlak kan met een elektronenbundel geactiveerd worden op de plek waar het platina moet komen. Deze methode heet *electron beam induced deposition*, EBID. Zo zijn door de groep van Ageeth Bol voor het eerst met behulp van ALD platinacontacten op grafeen aangebracht. 2D-ALD staat nog in de kinderschoenen. Tijdens de workshop was er veel tijd voor discussie en onderlinge ontmoetingen en de diverse deelnemers uit heel Europa hebben daar dankbaar gebruik van gemaakt.

Claud Biemans

# nEXT85 Worldclass Turbomolecular Pump

## nEXT85 serie uniek in zijn klasse:

- Grootste pompcapaciteit
- Unieke rotortemperatuur bewaking
- Flexibele positie uitlaatflens
- 4 jaar service interval
- Lagers zelf te vervangen
- Micro USB met meegeleverde nST software
- Automatische beluchtingsklep en luchtkoeling



## T-station "Plug & Pump" turboset

- Digitale Turbocontroller voor:
  - Membraanpomp
  - nEXT85 Turbopomp
  - Hoogvacuüm Gauge
  - Beluchtingsklep
- Flens DN40KF, ISO63K of DN63CF
- Robuuste voetplaat
- Opties: HV afsluiter, bypass etc.



## In memoriam Jaap Tomassen

“Ik ben niet eigenwijs, ik doe het op mijn eigen wijze”

Jacob (Jaap) Tomassen, geboren in 1934, was één van de grondleggers in Nederland op vacuümgebied. Zijn kennis op dit gebied was bijzonder te noemen. In 1965 heeft hij Hositrاد opgericht. Hij startte zijn bedrijf in Amersfoort en begon met het verkopen van ionenpompen van Andar Corporation, Hall-fenzen (CF zonder *knife edge*), lektesters van Veeco, en hij bouwde zijn eigen ionenpompen en ionenpompcontrollers. Hij kreeg meteen een grote order van de Universiteit Mainz voor Veeco-lektesters, en is daarna zijn producten in heel Europa gaan verkopen aan allerlei researchinstututen en bedrijven in de high-tech-industrie.

Van Chiel Bron bij het Nikhef leerde hij lassen. Daarna ging hij zijn eigen vacuümkamers lassen. Het werd zijn specialiteit, net als lektesten. Hij kreeg de vertegenwoordiging van U.T.I.-massaspectrometers en verkocht en installeerde deze bij klanten zoals Philips Semiconductors, Siemens in München en Regensburg en bij IBM in Parijs. Ook kreeg hij een mooie order binnen van Tissot-horloges in Zwitserland, voor een *glove box* om pacemakers te lassen. Deze moesten getest worden met een restgas-analyse-rapport of ze niet vervuild waren door het lassen. Door de vele activiteiten in Duitsland opende hij een kantoor in Bleialf en later in Regensburg, wat daar nog steeds gevestigd is.

Na een lange tijd in Montfoort verhuisde hij zijn bedrijf naar Hoevelaken, waar Hositrاد nog steeds gevestigd is. Jaap was ooit actief binnen de NEVAC in de werkgroep constructies en is later enkele keren op NEVAC-excursies geweest in Singapore en Korea. Ook ging hij vaak mee met de Big Science-meetings bij Holland@Cern of bij de ESRF in Grenoble.

In 2001 heeft zijn zoon Jurgen de zaak overgenomen en samen hebben zij het



bedrijf groot gemaakt. In 2007 verhuisden ze naar het nieuwe pand met een grote werkplaats in Hoevelaken. De productie verplaatste zich deels naar Azië, waar Jaap ook meerdere keren geweest is. Samen met zijn zoon reisde hij de hele wereld over voor het bedrijf.

Jaap heeft bijna tot aan zijn 82<sup>e</sup> verjaardag gewerkt. Hoewel hij elke keer meedeelde dat hij minder zou gaan werken, kon hij

geen afscheid nemen van de vacuümwereld en was alle dagen op kantoor of in zijn laboratorium te vinden om allerlei testen te doen.

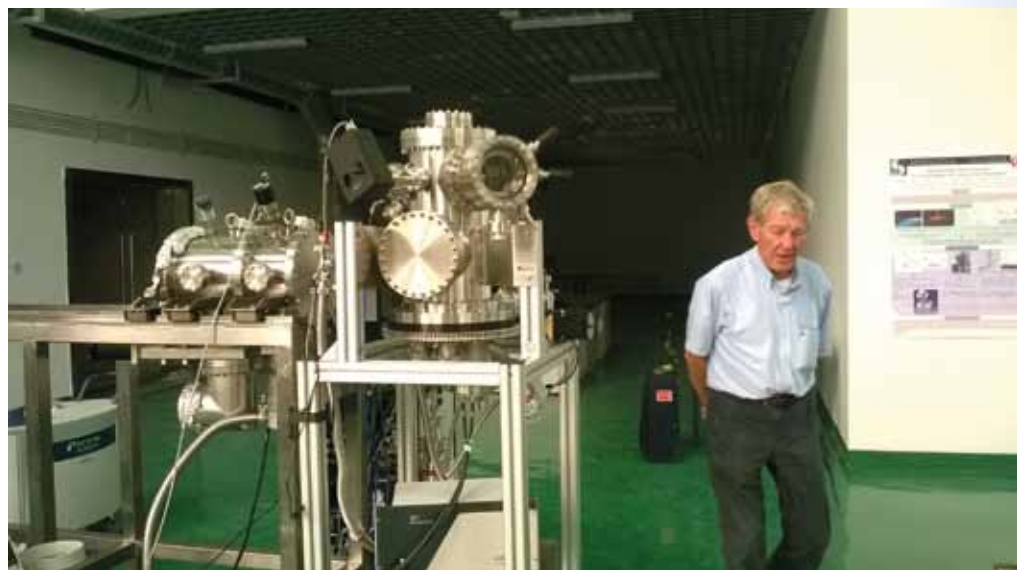
Zijn laatste grote project was een grote order voor een Moleculair Beam Scattering-systeem, gebouwd voor Prof. A. Kleijn in Chengdu China waar hij in 2015 nog twee keer geweest is om het systeem te installeren.

Jaap kreeg in juli dit jaar een zware darminfectie en dit, in combinatie met zijn hart- en nierfalen, is hem helaas fataal geworden.

We zullen een ondernemende, energieke, markante en bijzondere man missen.

Hij laat een grote leegte achter.

Jurgen Tomassen



Jaap bij zijn laatste project in 2015: UHV Molecular Beam Scattering System in Chengdu China.

# Gas phase growth of Si and SiGe nanoparticles

The design and construction of a new plasma reactor to synthesize free-standing quantum sized Si and SiGe nanocrystals in a single step is provided. The ability to tune various plasma parameters at ease is demonstrated by the fabrication of different ensembles of particles with various structural and optical properties. The Si and SiGe nanocrystals synthesized in the reactor can be used to make a complete quantum dot solar cell to harness a wider solar spectrum.

A. Mohan<sup>1</sup>, R.E.I. Schropp<sup>2</sup> and J.K. Rath<sup>1</sup>

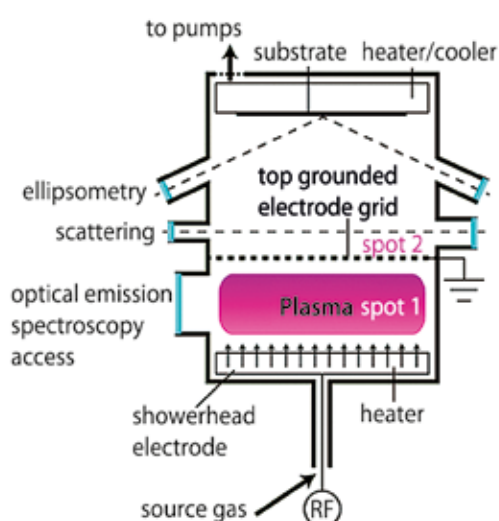
<sup>1</sup> Utrecht University, Faculty of Science, Debye Institute for Nanomaterials Science-Physics of Devices, High Tech Campus 21, 5656 AE Eindhoven

<sup>2</sup> Eindhoven University of Technology (TU/e), Department of Applied Physics, Plasma & Materials Processing, P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven

Bulk crystalline silicon (Si) is the dominant semiconductor material applied in the photovoltaics and microelectronics industry. Downscaling bulk Si to the nanometer regime opens up a world of opportunities as in this way the optoelectronic properties can be tuned over a large range. Si nanocrystals (NCs) less than 5 nm, have optoelectronic properties not found in their bulk counterparts. Alloying Si with germanium (Ge) pro-

vides an even larger degree of freedom in tailoring semiconductor properties. In this paper we report the synthesis of free-standing non-embedded Si and SiGe nanoparticles in the gas phase in a dedicated plasma reactor (figure 1). The design and function of this reactor employing very high frequency plasma enhanced chemical vapor deposition (VHF PECVD) has been described in detail elsewhere [1].

The effective operation of the reactor is demonstrated here by the fabrication of different ensembles of particles with various structural and optical properties synthesized in continuous and pulsed plasmas. The ability to tune the nanoparticle size, crystallinity and composition by varying the plasma parameters makes plasma synthesis a versatile tool for synthesizing Si and SiGe nanocrystals in a single step. Using these particles, a wide variety of materials with absorption at different parts of the solar spectrum can be achieved, and a larger part of the sunlight can be utilized.



**Figure 1** Schematic design of the nanoparticle plasma reactor. Nanoparticles formed leave the plasma through the holes of the top grounded electrode and are collected on the substrate. COPYRIGHT [1].

## Si nanoparticles synthesized in continuous plasma

Nanoparticle formation in a silane-hydrogen ( $\text{SiH}_4:\text{H}_2$ ) discharge is a multistep process involving nucleation, agglomeration, and growth by deposition on the surface of particles, similar to thin film deposition; in depth details are presented in [2]. In a continuous plasma, the occurrence of several well defined particle sizes corresponding to different stages of particle growth is well known [3].



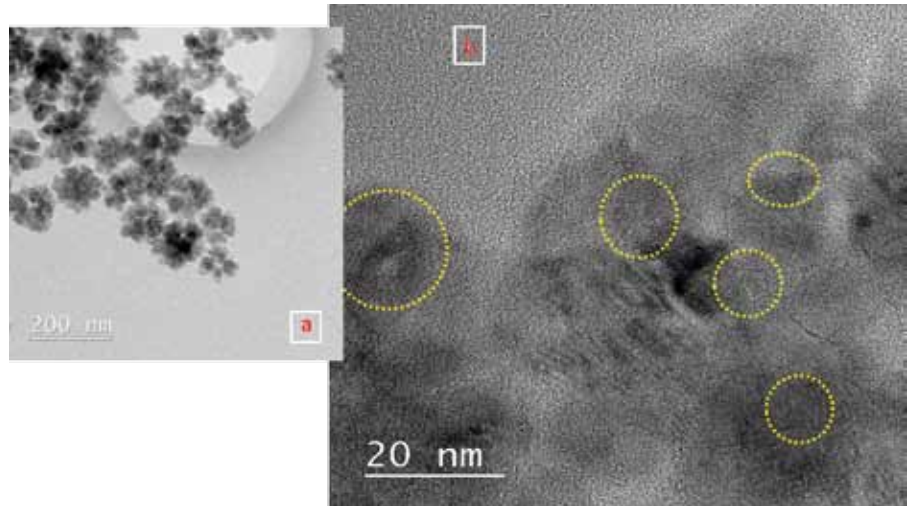
QR code for the videos at <http://bit.do/nevac>

The nanoparticles formed in our reactor leave the plasma through the holes of the top grounded electrode and are collected on a substrate.

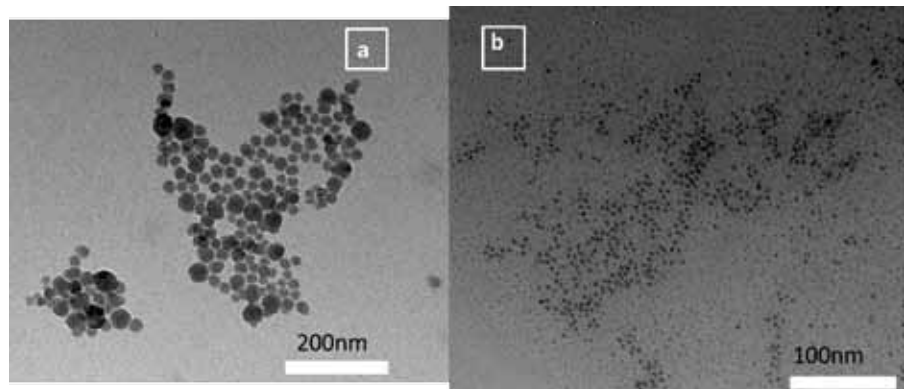
A continuous  $\text{SiH}_4:\text{H}_2$  plasma in our reactor (recipe #1 in table 1) yielded two ensembles of particles with different optical and structural properties. The two types of particles, according to our hypothesis, have their origin at two different places in the plasma, the bulk plasma (spot 1) and the locally enhanced plasma (spot 2).

Nanoparticles found in spot 1 are composed of cauliflower shaped crystalline agglomerates (100 nm) (figure 2) and particles found at spot 2 contain a mixture of crystalline nanoparticles (2-5 nm) and amorphous particles (10-25 nm) (figure 3). The presence or absence of crystallinity is confirmed by Raman spectroscopy and high resolution transmission electron microscopy (HRTEM) [1].

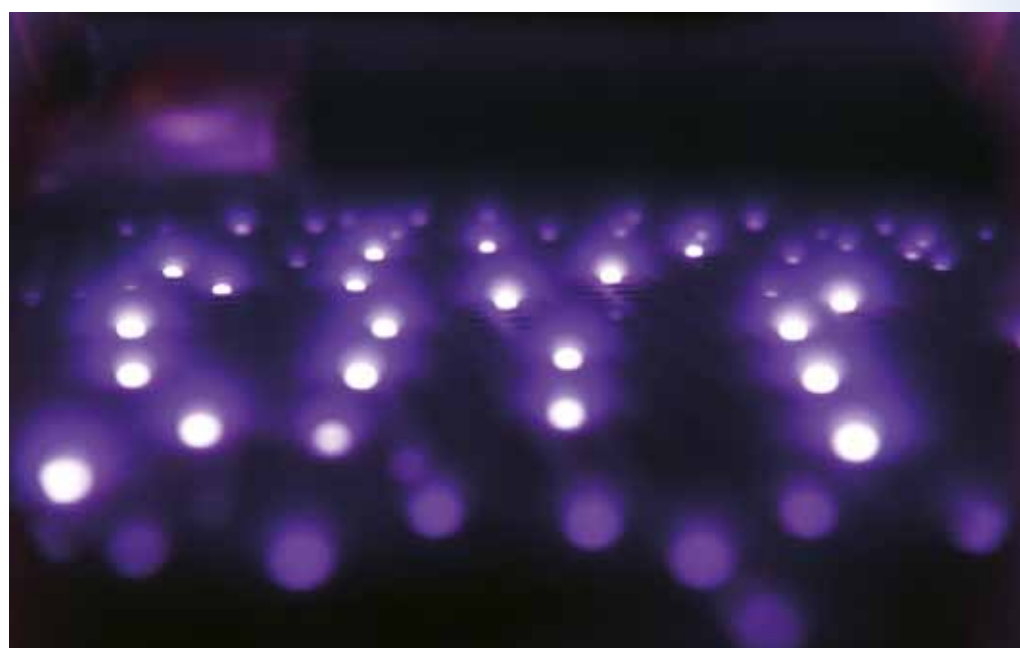
In our PECVD reactor the top electrode is grounded and is composed of squarely distributed holes of 5 mm diameter and 2 mm depth forming a grid. The topology of the holes has an important influence on the plasma close to the holes and is known to produce an intense locally enhanced plasma, which can be observed visually as luminous plasma spots at the holes of the grid electrode as seen in figure 4 and also in video 1. It is caused by a high density of electrons that accelerates



**Figure 2** (a) Cauliflower shaped crystalline nanoparticles found in spot 1; (b) HRTEM image of cauliflower shaped nanoparticles highlighting that they are composed of various crystallites of different orientations and size.



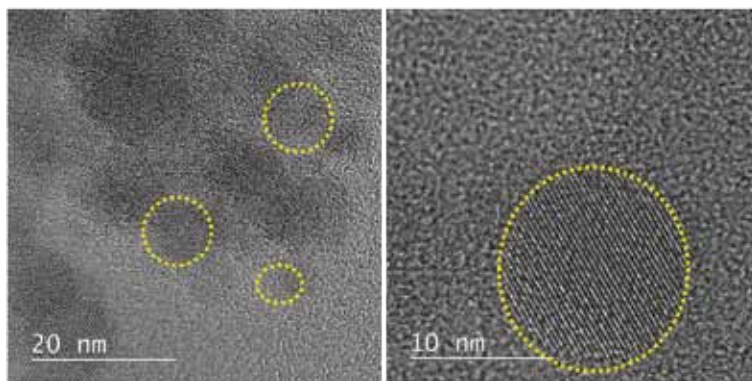
**Figure 3** (a) Amorphous nanoparticles found in spot 2; (b) Quantum sized crystalline nanoparticles found in spot 2.



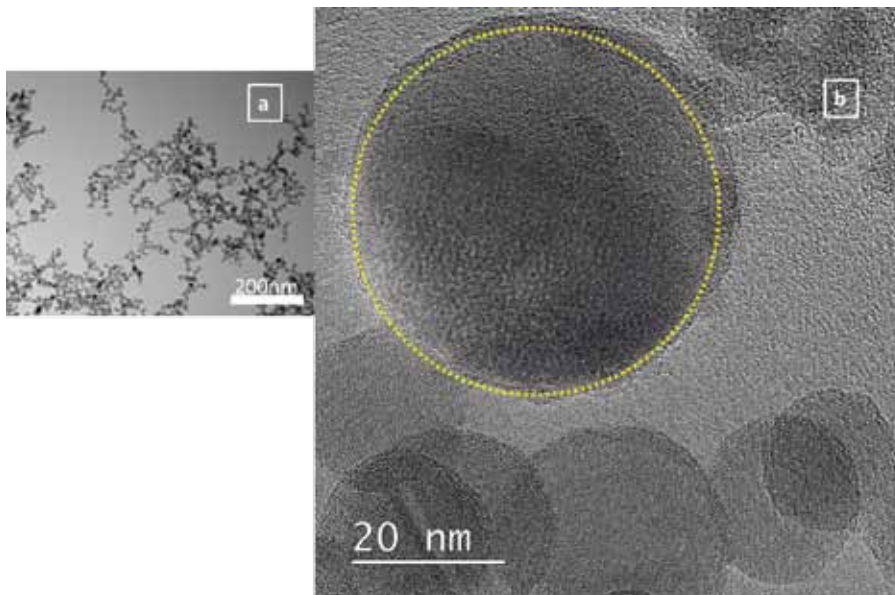
**Figure 4** Locally enhanced plasma formed at the holes in the grounded grid electrode.

Recipe #	Gases used	Flow (sccm)	Input power (W)	Pressure (mbar)	Pulsing
1	SiH <sub>4</sub> :H <sub>2</sub>	2:25	70	0.8	No
2	SiH <sub>4</sub> :H <sub>2</sub>	8:100	70	0.8	No
3	SiH <sub>4</sub> :H <sub>2</sub>	2:25	150	0.8	$t_{ON}=500\text{ ms}, t_{OFF}=2\text{ s}$
4	SiH <sub>4</sub> :Ar	4:50	150	0.8	$t_{ON}=500\text{ ms}, t_{OFF}=2\text{ s}$
5	SiH <sub>4</sub> :H <sub>2</sub>	2:25	140	0.8	$t_{ON}=25\text{ ms}, t_{OFF}=30\text{ ms}$
6	SiH <sub>4</sub> :H <sub>2</sub>	2:25	140	0.8	$t_{ON}=50\text{ ms}, t_{OFF}=10\text{ s}$
7	SiH <sub>4</sub> +GeH <sub>4</sub> + Ar	4:4:50	150	0.8	No
8	SiH <sub>4</sub> +GeH <sub>4</sub> + Ar	4:4:50	150	0.8	$t_{ON}=100\text{ ms}, t_{OFF}=1\text{ s}$

**Table 1** Recipes of plasma parameters used to obtain crystalline Si and SiGe nanoparticles (sccm = cm<sup>3</sup>/min at standard temperature and pressure). A VAT valve present between the chamber and the pumping port is used to maintain a constant pressure for different flows.



**Figure 5** Spherical crystalline nanoparticles found for high gas flows.



**Figure 6** (a) Monodisperse crystalline nanoparticles obtained with SiH<sub>4</sub>: Ar pulsed plasma; (b) HRTEM image of particles in 5(a).

through each hole, thereby increasing the local ionization rate. From the TEM images and the crystallinity of the nanoparticles, it is evident

that the particles formed in the locally enhanced discharges have more favorable characteristics such as being monodisperse free-standing quantum-sized

particles. It has been shown by modeling, using CFD - ACE multiphysics software, that locally enhanced discharges are caused by a high density of electrons streaming from the bulk of the plasma to the electrode holes. The intense local plasmas at the holes of the electrode are strong supplemental sources of energetic electrons [4].

The thermodynamics for the formation of crystalline particles can be understood by considering the presence of excess energetic free electrons and ions, which combine on the surface of the particles in a highly exothermic reaction [5][6]. The presence of excess electrons in locally enhanced discharges provides a suitable environment for the creation of crystalline particles. In addition, the excess electrons impart negative unipolar charge helping to overcome agglomeration [7]. One of the interesting types of particles obtained (using recipe #2 in table 1) was composed of spherical crystalline nanoparticles (figure 5). Although this result highlights that a high gas flow is beneficial for obtaining a small particle size, this recipe did not consistently yield crystalline nanoparticles when repeated and needs to be further investigated.

### Si nanoparticles synthesized in pulsed plasmas

The use of pulsed plasmas has shown to be very effective in obtaining precise size control of monodisperse particles [8]. Pulsing of the plasma in our case is done by modulating the amplitude of RF power (as shown in video 2) at different frequencies to have plasmas with various ON and OFF times. Growth times of the nanoparticles are determined by the plasma ON time ( $t_{ON}$ ). Reducing the  $t_{ON}$  reduces the growth time and hence decreases the particle size. Nanoparticle growth can be disrupted by the plasma OFF time ( $t_{OFF}$ ).

Nanoparticles obtained with recipe #3 in table 1 yielded monodisperse particles. However for SiH<sub>4</sub>:H<sub>2</sub> plasma, we could not obtain crystalline particles unless

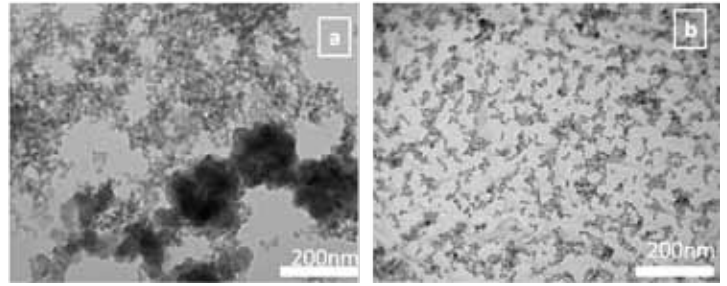


we increased the  $t_{ON}$  to 10 s, which is almost equivalent to a continuous plasma. Hence we replaced  $H_2$  with Ar (recipe #4) and this yielded monodisperse crystalline nanoparticles at smaller time scales of 500 ms (figure 6). We could tune the crystallinity of the particles from amorphous to crystalline by increasing the  $t_{ON}$ . The role of  $t_{OFF}$  is also found to be vital to control the size distribution of the silicon nanoparticles [9]. Particles synthesized at  $t_{OFF}$  time scales less (recipe #5) than the gas residence time (for the conditions used in our reactors) are cauliflower shaped nanoparticles and complex shaped aggregates of various sizes. As the  $t_{OFF}$  is very small, nanoparticles formed in one cycle are not totally pumped out and stay in the discharge volume, acting as growth sites for particles formed in subsequent cycles. Their growth continues for many cycles leading to large complex-shaped aggregates (figure 7(a)). During longer  $t_{OFF}$  times (recipe #6) the gas volume between the electrodes can be refreshed. As particles of one cycle are pumped away, free-standing monodisperse particles were formed in each cycle and collected (figure 7(b)). Thus, longer  $t_{OFF}$  provides a clear advantage to synthesize free-standing monodisperse nanoparticles.

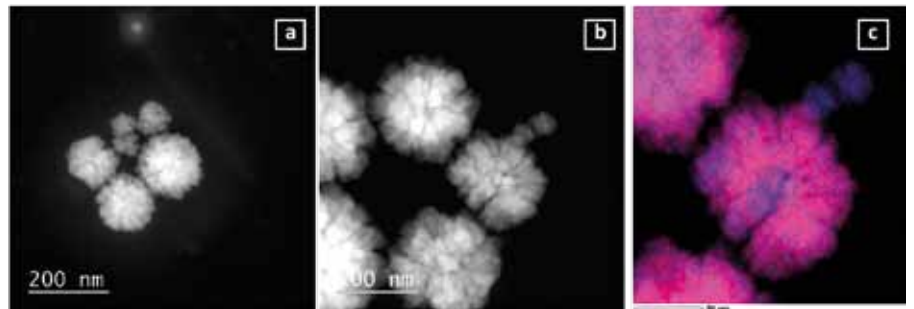
Our experiments show that an increase in  $t_{ON}$  leads to more crystallinity and bigger particle sizes (more interactions contribute to particle heating). The  $t_{OFF}$  on the other hand has no effect on particle heating, but the distribution of particle sizes depends on remnant particles from one cycle to the following cycle.

**SiGe nanoparticles synthesized in continuous plasma**

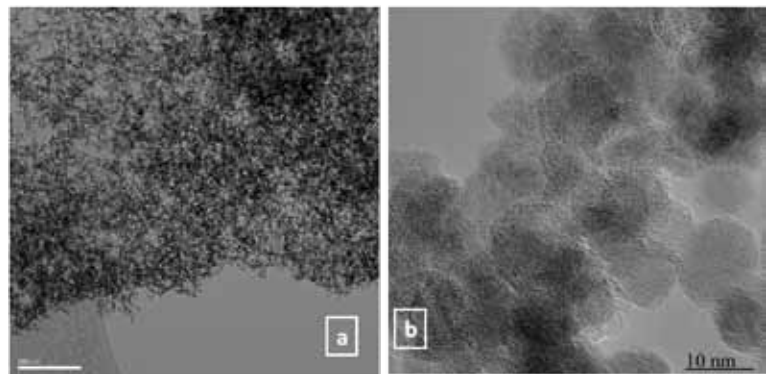
We also synthesized highly crystalline and homogeneously alloyed SiGe nanoparticles in the same reactor (recipe #7). Remarkable control over the composition of the particles could be obtained by varying the  $GeH_4$  gas flow. Molecular dynamics studies suggest that Ge segregates to the shell of the nanoparticle, leaving



**Figure 7** (a) Complex-shaped nanoparticles formed at small  $t_{OFF}$  of 30 ms; (b) Monodisperse nanoparticles formed at  $t_{OFF}$  of 10 s.



**Figure 8** (a) Cauliflower shaped nanoparticles (size: 150 nm and 70 nm) with constant Si and Ge across the sample (b) Smaller spherical shaped particles (25 nm) (c) Overlay image displaying the SiGe alloy concentration (pink). Ge rich particles are blue.



**Figure 9** (a) Overview of SiGe nanoparticles obtained in the pulsed plasma; (b) HRTEM image of SiGe nanoparticles showing a mixture of crystalline and amorphous nanoparticles. The crystalline particles show lattice fringes.

behind a Si rich core [10], which would make the fabrication of SiGe alloy particles in the gas phase challenging.

Like Si nanoparticles, particles in a  $SiH_4:GeH_4:Ar$  plasma are expected to be formed both in the locally enhanced discharges and in the plasma bulk. Video 3 shows the intense luminosity in the electrode holes of the discharge in a  $SiH_4:GeH_4:Ar$  plasma. For recipe #7, cauliflower shaped particles with sizes of 150 nm and 70 nm (figure 8(a)), and 25 nm (figure 8(b)) were formed. Most of the

cauliflower-shaped nanoparticles had constant Si and Ge concentrations across the sample [11]. There was some spread in composition, for instance figure 8 (c) shows that the two smaller particles are richer in Ge than the bigger ones which have a Ge rich core.

**SiGe nanoparticles synthesized in pulsed plasma**

Pulsing of the plasma during SiGe nanoparticle growth resulted in elimination of cauliflower structured particles normally

present in continuous plasmas (recipe #8). We found spherical nanoparticles with a mean size of  $7.8 \pm 1.3$  nm (Figure 9(a)). Further studies showed a constant distribution of Si and Ge material in each particle. The particles contained a mixture of crystalline and amorphous domains (figure 9(b)). This result proves that pulsing is an effective method to obtain quantum-sized homogeneous alloy SiGe nanoparticles [11]. So far, we have not found other published reports on SiGe nanoparticles produced in a pulsed plasma.

### Conclusions

We demonstrate the controlled synthesis of various ensembles of Si and SiGe nanoparticles in continuous and pulsed plasmas. The specialty of the dedicated reactor we have built is the grounded electrode with holes arranged in a grid, which aids in the sustenance of locally enhanced plasma regions, rendering quantum sized crystalline particles synthesized there. In this reactor a wide range of parameters can be tuned leading to nanoparticles with different structural properties with tailored optical properties. Furthermore, as this reactor is a part of the multichamber PECVD reactor, a complete solar cell with Si and SiGe quantum dots can be synthesized, to harness a wide solar spectrum.

### Acknowledgements

This work is part of the joint solar programme (JSP) of Hyet Solar and the Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie FOM, which is part of the Netherlands Organisation for Scientific Research (NWO). I. Poullos is thanked for his assistance with depositions. The authors would like to acknowledge M.A. Verheijen and M. Kaiser from Philips Innovation Services for HRTEM images and the discussions. Solliance is acknowledged for funding the TEM facility. Frans D. Tichelaar from National Centre for HREM, Delft is acknowledged for pulsed SiGe HRTEM images.

## Vacuum system

The process pressure needed to maintain a  $\text{SiH}_4/\text{GeH}_4/\text{H}_2/\text{Ar}$  plasma and obtain nanoparticles with the desired properties is 0.8 mbar for the given reactor geometry (see also [12]). To avoid oxygen and water contamination the background pressure needs to be several orders lower. The typical background pressure used is in the order of  $10^{-8}$  mbar ( $10^{-6}$  Pa). To reach this vacuum level the reactor is constructed of stainless steel with copper sealed conflat flanges, viewports, and feedthroughs. The pumping system consists of a turbomolecular pump backed by a rotary vane pump. The turbomolecular pump can be bypassed by closing a gate valve directly at the inlet of the turbomolecular pump and opening a valve in the by-pass line.

The background pressure is measured by a Penning type ionisation gauge. The process pressure is measured by a capacitive membrane pressure gauge (Baratron) which measures the pressure (i.e. the force applied to the membrane) independent of the type of gas used.

The gas supply system consists of stainless steel tubes (1/4 inch OD, electropolished interior) with metal sealed couplings (VCR). The gas flows are controlled by all-metal mass flow controllers. The gasses are mixed close to the shower head. The process pressure is controlled by adapting the pumping speed by means of a variable valve (VAT) in the bypass pumping line.

Silane and germane are pyrophoric gasses which form solid oxide particles already at room temperature when in contact with oxygen. Also in the plasma solid particles (clusters of Si and SiGe) can be formed. The rotary vane pump is equipped with an oil filter to remove these solid particles. To dilute the exhaust gas to a silane and germane concentration  $<1\%$  and prevent backflow of air at the exhaust exit the exhaust line is permanently flushed with nitrogen.

### References

- 1 A. Mohan, M.M. de Jong, I. Poullos, R.E.I. Schropp and J.K. Rath, 'Gas phase synthesis of two ensembles of silicon nanoparticles', *J. Phys. D: Appl. Phys.* **48**, p. 375201, 2015.
- 2 A. Bouchoule, *Dusty Plasmas: Physics, Chemistry and Technological Impacts in Plasma Processing*, Wiley, 1999.
- 3 L. Boufendi and A. Bouchoule, 'Particle nucleation and growth in a low-pressure argon-silane discharge', *Plasma Sources Sci. Technol.* **3**, p. 262, 1994.
- 4 K. Denpoh, 'Locally enhanced discharges at gas hole outlets of a showerhead in a plasma etching reactor', *J. Phys. D: Appl. Phys.* **42**, p. 032003, 2008.
- 5 L. Mangolini, D. Jurbergs, E. Rogojina and U. Kortshagen, 'Plasma synthesis and liquid-phase surface passivation of brightly luminescent Si nanocrystals', *J. Lumin.* **121**, p. 327, 2006.
- 6 M. Hirasawa, T. Orii and T. Seto, 'Size-dependent crystallization of Si nanoparticles', *Appl. Phys. Lett.* **88**, p. 093119, 2006.
- 7 U. Kortshagen and U. Bhandarkar, 'Plasma-Assisted Synthesis of Silicon Nanocrystal Inks', *Phys. Rev. E*, **60**, p. 887, 2007.
- 8 T. Nguyen-Tran, P.R. i Cabarrocas and G. Patriarche, 'Study of radial growth rate and size control of silicon nanocrystals in square-wave-modulated silane plasmas', *Appl. Phys. Lett.* **91**, p. 111501, 2007.
- 9 A. Mohan, I. Poullos, R.E.I. Schropp and J.K. Rath, 'Size control of gas phase grown silicon nanoparticles by varying the plasma OFF time in silane pulsed plasma', *Material. Res. Soc. Symp. Proc.* **1803**, 2015.
- 10 A.D. Zdetsis, C.S. Garoufalis and E.N. Koukaras, 'Mixed silicon-germanium nanocrystals: a detailed study of  $\text{Si}_x\text{Ge}_{47-x}:\text{H}$ ', *J. Math. Chem.* **46**, p. 942, 2009.
- 11 A. Mohan, F.D. Tichelaar, M. Kaiser, M.A. Verheijen, R.E.I. Schropp and J.K. Rath, 'Gas phase grown silicon germanium nanocrystals', *Chem Phys Lett* **661**, p. 185, 2016.
- 12 J. Bezemer, C.A.M. Stap, 'U.H.V. voor zonnecellen onderzoek', *NEVAC blad* 1989 nr 3, <http://tinyurl.com/gnrqgql>

FOTO DIFFER / BRAM LAVERS

# Call for abstracts

## NEVAC day 12 May 2017, DIFFER, Eindhoven



The NEVAC day 2017 will be organised on Friday 12 May in DIFFER's beautiful new building in Eindhoven. The organisation, chaired by director Richard van de Sanden, is going to program a session with proposed contributions.

You can write a  $\pm 400$  words proposal if you would like to present a topic during this day and email it to: [nevacday2017@diffier.nl](mailto:nevacday2017@diffier.nl). The organisation makes a selection: the best topics get the opportunity to be presented in a lecture, the other ones in the poster session.

## Agenda

15-16 december 2016

18th International Conference on Plasma Science and Fusion Engineering, Londen

15-19 januari 2017

44th Conference on the Physics and Chemistry of Surfaces and Interfaces (PCSI-44), Santa Fe, VS

17-18 januari 2017

Physics@Veldhoven, Veldhoven

12-16 maart 2017

81st IUVSTA Workshop Response of Biological Materials to Plasma Treated Medium Rogla, Slovenija

28-30 maart 2017

ITER Business Forum Avignon, Frankrijk

7 april 2017

Fysica 2017, Groningen

12 mei 2017

NEVAC-dag 2017, DIFFER, Eindhoven

15-19 mei 2017

79th IUVSTA Workshop 3D Chemical Imaging – from fundamentals to advancing applications Pula, Sardinië, Italië

5-8 juli 2017

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

15-18 juli 2017

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

27 augustus-1 september 2017

ECOSS-33 Szeged, Hongarije

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

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

# Tailored Solutions

from an unparalleled spectrum of technologies.

## Products & Capabilities

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

For more information please check our new website [www.scientaomicron.com](http://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](http://www.scientaomicron.com)