

NEVAC *blad*

JAARGANG 50 / UITGAVE 2

NEVAC 50 jaar!



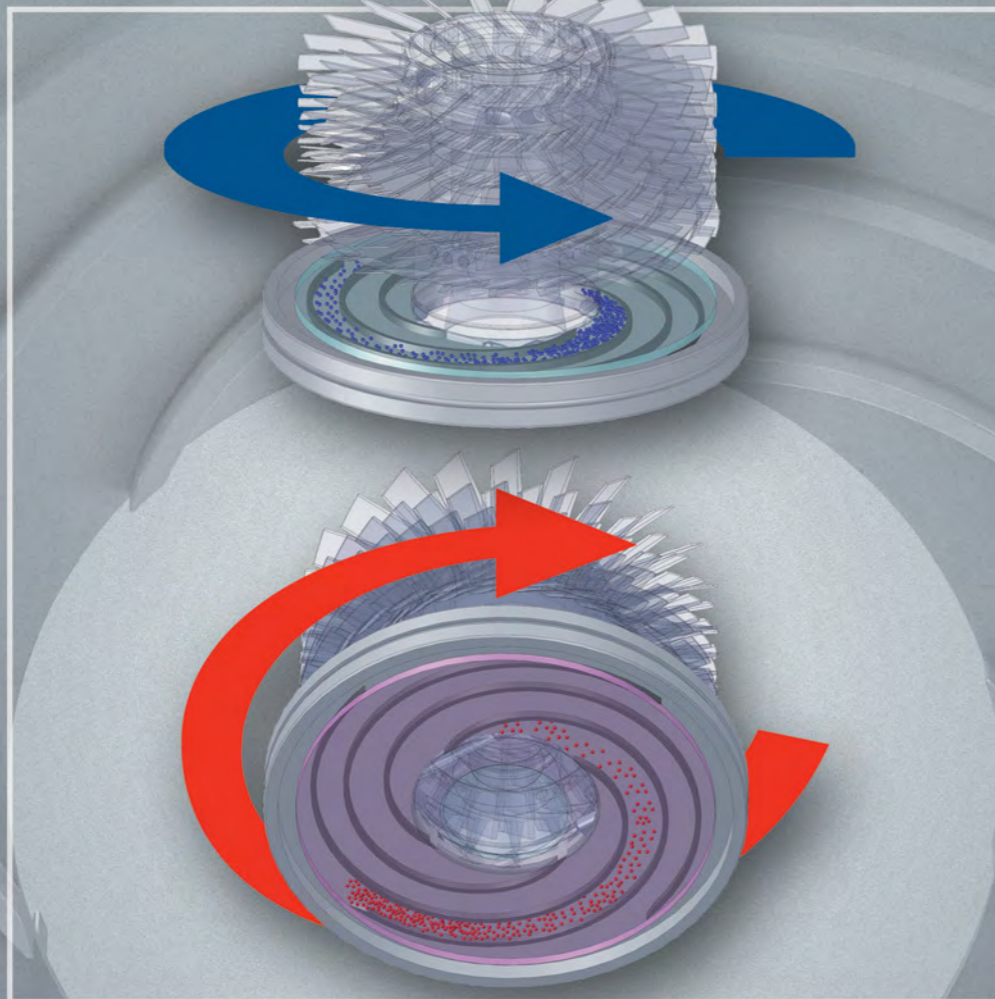
**JUBILEUM
EDITIE**

Verder in de uitgave:

- ALD met hoge laterale resolutie
- Ontwerp van een grafeen productiemachine
- Impressie van de viering van de 50ste NEVAC dag
- Verslag van de Korea excursie

TwisTorr

The New Molecular-Drag Technology



Vacuum Products Evolution: TwisTorr Technology

New spiral design molecular drag section with highest vacuum performance and most compact design.

The Agilent Turbo-V TwisTorr Series represents a new category of Turbomolecular Pumps and outpaces competition in terms of:

- Pumping speed (> 700 l/s)
- Compression ratio (up to 10^{11})
- Compact (length from 240 mm up)
- Advanced electronics (Field Oriented Control solution)
- Clean and dry, maintenance-free UHV solution



Agilent Technologies Netherlands B.V.
Tel: +31 118 671570 Toll Free: 00 800 234 234 00

www.agilent.com/chem/vacuum

© Agilent Technologies, Inc. 2011

The Measure of Confidence

 **Agilent Technologies**

Colofon

Redactie

Dr. A.R.H.F. Ettema
Prof.dr.ir. W.M.M. Kessels

Web-adres

www.nevac.nl

Redactiesecretariaat:

Prof.dr.ir. Erwin Kessels (W.M.M. Kessels)
Plasma & Materials Processing Group
Dept. of Applied Physics, Eindhoven University of Technology
P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands

Adres abonnementenadministratie

Dr. A.R.H.F. Ettema
NEVAC
Delftechpark 26
2628 XH Delft, The Netherlands
Telefoon: +31 15 260 04 06
Fax: +31 15 260 04 05
e-mail: penningmeester@nevac.nl

Abonnementen

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

Advertentie-exploitatie en druk

AriëS Grafische vormgeving / Ben Mobach
Torenberglaan 42
5628 EP Eindhoven
Telefoon 040-242 23 66 / 06 248 60 322
e-mail: ben.mobach@chello.nl

Grafische vormgeving en realisatie

AriëS Grafische vormgeving / Ben Mobach
Eindhoven

Verschijningsstijpsten 2012

Februari
Mei
September
December

Diversen

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

Vergoeding kopij

Artikelen in het Nederlands van welke aard dan ook over vacuümtechniek en haar toepassingen worden door de redactie zeer op prijs gesteld. In bepaalde gevallen kan voor artikelen zonder commerciële achtergronden een vergoeding van € 100,- per pagina tekst worden gegeven. Voor studenten is er een kopij vergoeding van € 100,- per artikel.

ISSN 0169-9431

Op de voorpagina

Demonstratie van de beroemde proef met de Maagdenburger halve bollen van de natuurkundige Von Guericke.

De demonstratie vindt plaats in het kader van het 50-jarig jubileum van de NEVAC, Nederlandse Vacuümvereniging. Het symposium in Museum Boerhaave werd onderbroken door een lunchpauze met demonstraties voor het grote publiek op het Vrouwenkerkplein.

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. Makink

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

Prof.dr.ir. W.M.M. Kessels, voorzitter

J.W.M. van Kessel, secretaris

Dr. A.F. Otte, vice-voorzitter

Dr. A.R.H.F. Ettema, penningmeester

Adres secretariaat

Jan W.M. van Kessel

jwmvankessel@gmail.com of secretaris@nevac.nl

Adres ledenadministratie

p/a Dr. A.R.H.F. Ettema

NEVAC, Delftechpark 26, 2628 XH Delft, The Netherlands

Telefoon: +31 15 2600406, Fax: +31 15 2600405, e-mail: penningmeester@nevac.nl

Inlichtingen over opleidingen en examens

Dr.ir. E.P.Th.M. Suurmeijer

Elzenlaan 11, 9321 GL Peize. Telefoon: 050-5032556, e-mail: eptm.suurmeijer@kpnplanet.nl

Penningmeester NEVAC

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

Contributies

Contributie € 20,- per jaar

Bedrijfsleden € 150,- per jaar

Studenten/promovendi € 5,- per jaar

Inhoud

ALD met hoge laterale resolutie	pagina 7
Voorstellen bedrijfslid: Nijdra groep	pagina 10
Agenda	pagina 10
Ontwerp van een grafeen...	pagina 16
Impressie 50 ^{ste} NEVAC dag	pagina 20
Verslag van de Korea excursie	pagina 23
Aankondiging NEVAC prijs 2013	pagina 30

SPECIAL FASTENERS FOR VACUUM AND HIGH VACUUM APPLICATIONS

A large range of fasteners for vacuum environments are available. Co-engineered for the semiconductor industry by Jeveka, these fasteners can be used in a very wide range of applications.

Available products:

- Socket head capscrew
- Vented socket head capscrew
- Captive
- Vented captive

Available surface treatments:

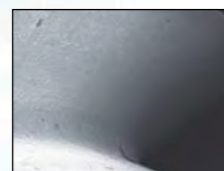
- Electro polishing, for reducing friction and particles
- Kolsterising, for preventing galling
- Cleaning, for minimizing particles

Available materials:

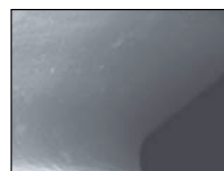
- AISI 316 and A4 Stainless Steel
- Titanium TiAl6v4 (grade 5) rolled thread, pressed head

Jeveka. Since 1937 a leading specialist in the field of fasteners and tools.

A4 stainless steel cap screw



without treatment



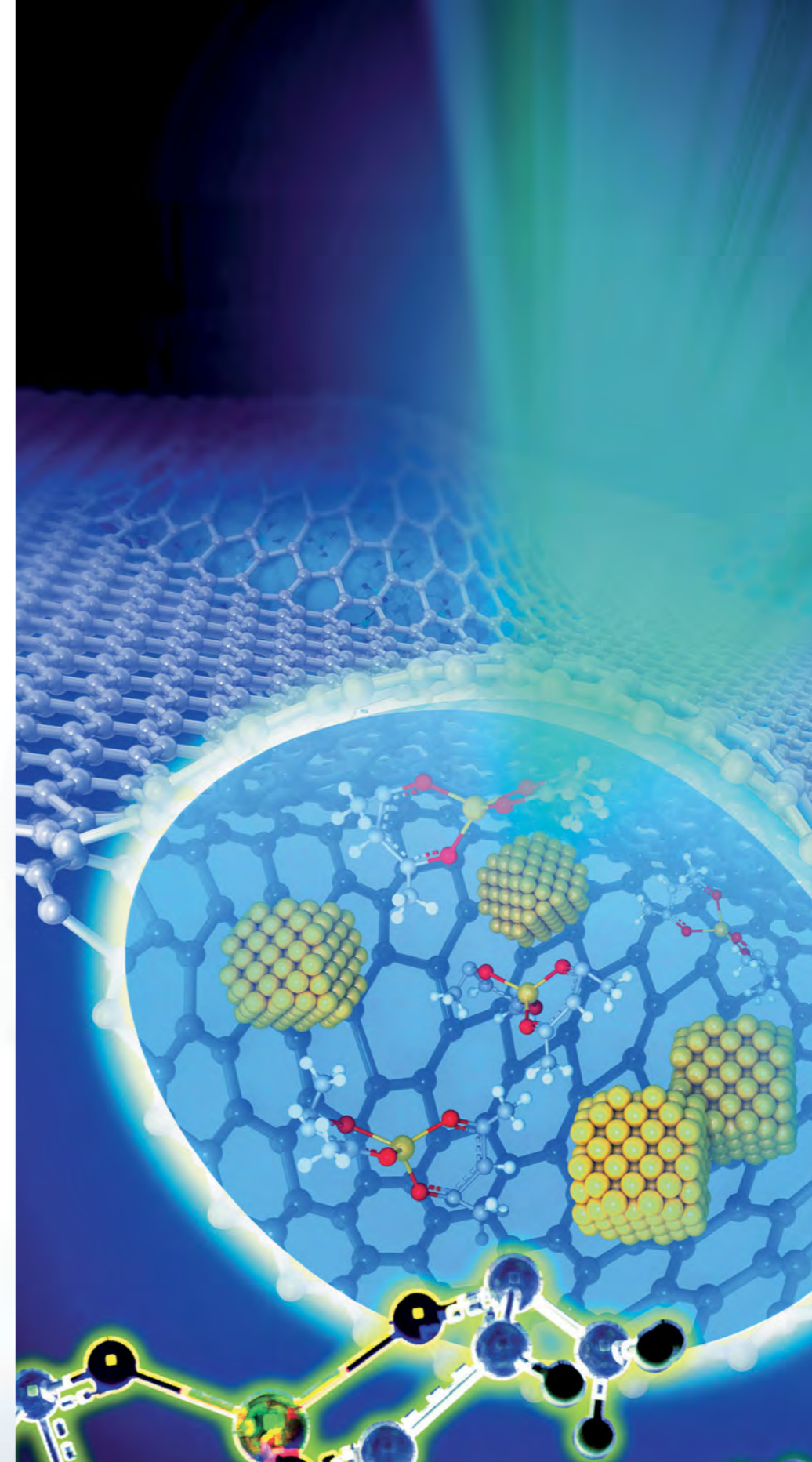
after kolsterising and polishing

Keienbergweg 8
NL-1101 GB Amsterdam
P.O. Box 22966
NL-1100 DL Amsterdam

T +31 (0)20 - 342 0 342
F +31 (0)20 - 342 0 302
E info@jeveka.com
I www.jeveka.com



Photo's by FEI Electron Optics BV



Redactioneel

Hierbij verschijnt het tweede nummer van het NEVAC blad van 2012. Net als het eerste nummer een mooie jubileum uitgave met interessante bijdragen. De bijdragen lopen uiteen van wetenschappelijk, technisch tot huishoudelijk.

Het wetenschappelijke artikel beschijft ALD processen met hoge laterale resolutie. Een doorbraak op het gebied van atomic layer depositie (ALD) dat tot op heden een hoge dikte resolutie kende maar lateraal juist niet. Door de slimme combinatie van electron beam assisted depositie met ALD ontstaat een methode om zowel in lag dikte als plaats super zuiver en met hoge resolutie material deponeringen te doen.

Het technische artikel betreft het ontwerp van een grafeen produktiemachine. Het is nog steeds een uitdaging om enkele lagen grafeen van voldoende grootte te maken voor experimenteel fysisch onderzoek. Daarom heeft de instrumentmakerij van de universiteit van Leiden een machine ontwikkeld waarbij dit wel mogelijk is. De technische vereisten waren zeer hoog, maar de instrumentmakers zijn er in geslaagd om een succesvolle machine te ontwerpen en te maken.

In het jubileumjaar hebben we tevens een mooie excursie naar Korea kunnen organiseren en hebben we een zeer feestelijke editie van de NEVAC dag gekend. Verslagen en impressies hiervan treft u verder in dit nummer.

De sluitingsdatum voor de bijdragen van de NEVAC prijzen is op 15 januari 2013.

De sluitingsdatum van kopij voor het eerste nummer van het NEVAC-blad 2013 is 15 december 2012

NEVACprijs 2012 en 2013

De twee foto's tonen Fred Schenkel van de instrumentmakerij van de Universiteit Leiden en Bas Dielissen van de TU Eindhoven als winnaars van de NEVACprijs 2012 tijdens de NEVACdag die 13 april jl. in het Boerhaave Museum gehouden is.

Ook voor 2013 staat de NEVAC prijsvraag weer open en kunnen dus artikelen ingestuurd worden; zie voor meer details de aparte advertentie.



Plaatsopgeloste depositie van Pt nanostructuren door het combineren van elektronenbundel geïnduceerde depositie en atoomlaagdepositie.

Bas Dielissen^{1*}, Adrie Mackus¹, Hans Mulders², Erwin Kessels¹

¹ Faculteit Technische Natuurkunde, Technische Universiteit Eindhoven, postbus 513, 5600 MB Eindhoven, Nederland

² FEI Electron Optics, Achtseweg Noord 5, 5651 GG Eindhoven, Nederland

* bas.dielissen@solaytec.com

Recente ontwikkelingen in de nanotechnologie vereisen het maken van patronen op de nanoschaal om bijvoorbeeld contacten aan te brengen op gevoelige nanomaterialen (bijv. koolstof nanobuisjes, grafen en nanodraden) [1]. Een veel gebruikte techniek hiervoor is elektronenbundel lithografie (electron beam lithography, EBL). Het heeft echter niet de voorkeur om lithografische processen te gebruiken om patronen aan te brengen op gevoelige nanomaterialen. De benodigde ets stappen kunnen deze gevoelige nanomaterialen beschadigen en de benodigde fotolaklaag (resist) is vrijwel niet in zijn geheel te verwijderen van deze structuren [2,3]. Deze problemen zijn een motivatie om nieuwe nanofabricage (nanomanufacturing) technieken te ontwikkelen waarmee het materiaal direct en lokaal aangebracht kan worden. Naast deze eis zijn er nog twee eisen waaraan de technieken voor nanofabricage moeten voldoen voordat deze gebruikt kunnen worden. De eerste is dat het gedeponeerde materiaal van voldoende hoge kwaliteit moet zijn. Bij een te lage kwaliteit worden de eigenschappen van bijvoorbeeld een sensor voornamelijk bepaald door de eigenschappen van het contact in plaats van door het nanomateriaal zelf [4]. De tweede eis is de resolutie die kan worden bereikt met de techniek; de afmeting van het contact moet van dezelfde orde zijn als het nanomateriaal zelf. Grote contacten zorgen niet alleen voor een groter benodigd oppervlak waardoor er minder effectief gebruik van het oppervlak gemaakt kan worden, maar voor zulke contacten is dan ook meer energie nodig om ze te schakelen.

In dit artikel wordt een nieuwe techniek besproken die twee bestaande technieken, elektronenbundel geïnduceerde depositie (electron beam induced deposition, EBID) en atoomlaagdepositie (atomic layer deposition, ALD), met elkaar combineert. Allereerst worden beide technieken afzonderlijk uitgelegd en zal worden toegelicht waarom ze op zichzelf niet geschikt zijn voor het aanbrengen van patronen op de nanoschaal. Daarna zal de gecombineerde techniek worden besproken en worden getoetst aan de hiervoor gestelde eisen.

Elektronenbundel geïnduceerde depositie

Het principe van EBID is vrij simpel. Een schematische weergave van het EBID proces

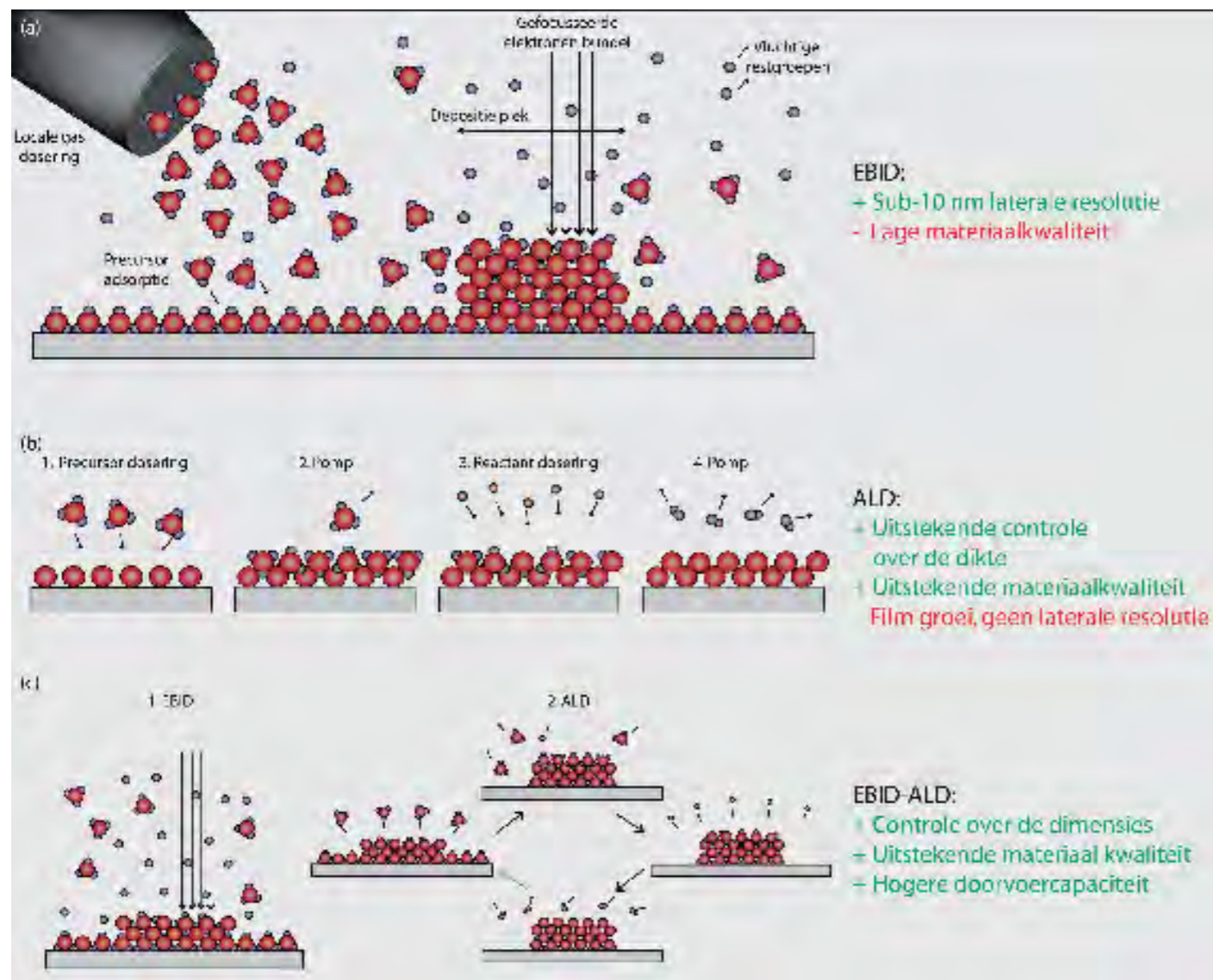
is getoond in Figuur 1a. In een vacuüm-kamer (basisdruk: $<10^{-5}$ mbar) wordt een precursor gas gedoseerd welke adsorbeert aan het oppervlak. Als op dit oppervlak een elektronenbundel wordt gefocuseerd zullen, door de interactie met de elektronen, de precursormoleculen op deze plek uit elkaar vallen in vluchtige en niet vluchtige producten. De vluchtige producten worden uit de kamer weggepompt terwijl de niet vluchtige delen op het oppervlak blijven plakken. EBID is dus een techniek om lokaal en direct materiaal te deponeren. Een van de voordelen van EBID is dat er gedeponeerd kan worden op een hoge laterale resolutie omdat de elektronenbundel tot een spot van enkele nanometers kan worden gefocuseerd. Hier-

mee wordt dus voldaan aan twee van de drie eisen.

Aan de derde eis, materiaalkwaliteit, wordt echter niet voldaan en dit is meteen het grote nadeel van EBID. Voor het deponeren van metallische structuren met EBID worden meestal de (metaal-organische) precursors gebruikt die zijn ontwikkeld voor chemische gasfaseafzetting (chemical vapour deposition). In het ideale geval zou, door de interactie met de elektronen, het precursor-molecuul volledig splitsen in metaal-atomen en vluchtige organische reactieproducten, waardoor een pure metaalstructuur wordt gedeponeerd. Dit is echter niet het geval en het gedeponeerde materiaal bevat daarom ook andere atomen afkomstig van het precursormolecuul. Voor Pt EBID gebruik makend van methyl cyclopentadienyl platinum trimethyl (MeCpPtMe_3) als precursor bestaat het gedeponeerde materiaal uit maximaal 16 atomaire procent (at.%) Pt met de overige 84 at.-% koolstof verontreinigingen [5]. De structuur kan beschreven worden als Pt korrels geïntegreerd in amorfe koolstof [6]. Door de lage metaalconcentratie is de soortelijke weerstand van het Pt EBID materiaal vele malen hoger dan dat van bulk Pt (typisch $3 \cdot 10^7 \mu\Omega\text{cm}$ tegen $10.8 \mu\Omega\text{cm}$) [7].

Het Pt EBID materiaal kan echter wel verbeterd worden door een temperproceduur (anneal), waarbij het substraat wordt verhit tot 300°C in een atmosfeer van zuurstof. Hierbij neemt de puurheid van het Pt EBID materiaal toe tot 70 at.-% en de soortelijke weerstand af tot $1.4 \cdot 10^4 \mu\Omega\text{cm}$. Hoewel dit een significante verbetering is, is de soortelijke weerstand van het getemperde Pt EBID materiaal nog steeds orders hoger dan de soortelijke weerstand van bulk Pt. Tevens zorgt het uitbranden van koolstof voor vormverlies van de gedeponeerde structuur [7].

In tabel 1 zijn de puurheid en soortelijke



Figuur 1: (a) Een schematische weergave van het (a) het EBID, (b) het ALD en (c) het EBID-ALD proces met de voor- en nadelen van elke proces.

weerstand van het Pt EBID materiaal zonder en met temperprocedures en dat van bulk Pt ter vergelijking opgesomd.

Atoomlaagdepositie

De ALD methode is gebaseerd op zelflimiterende oppervlaktereacties. Deze oppervlaktereacties vinden plaats door het afwisselend blootstellen van het substraattooppervlak aan verschillende precursorgassen die worden gescheiden door pomp of spoel stappen (Figuur 1b). Omdat de oppervlaktereacties zelflimiterend zijn is het ALD proces onafhankelijk van de precursordosis en is het mogelijk om een goede conformaliteit te halen op driedimensionale structuren met hoge aspect verhoudingen. Tijdens de oppervlaktereacties reageren de precursor-moleculen met oppervlaktegroepen waarbij vluchtige reactieproducten vrijkomen en nieuwe oppervlaktegroepen worden geïntroduceerd (deze oppervlaktegroepen reageren

niet met de precursor of de reactieproducten). Vervolgens worden de reactieproducten afgepompt en wordt het oppervlak blootgesteld aan een tweede reactant, bijvoorbeeld een oxiderend gas. Dit gas reageert met de nieuwe oppervlaktegroepen waarbij vluchtige reactieproducten vrijkomen en het oppervlak weer hersteld wordt naar de oorspronkelijke oppervlaktegroepen. Deze combinatie van reacties vormt een ALD cyclus waarbij per cyclus een submonolaag aan materiaal wordt gedeponerd. De gewenste dikte van de film kan bereikt worden door een aantal cycli achter elkaar uit te voeren. De ultieme controle van de dikte van de film samen met de goede materiaalkwaliteit, maakt ALD de perfecte techniek voor het groeien van dunne lagen.

Een nadeel van ALD is echter dat er geen controle is over de groei in laterale richting waardoor het niet mogelijk is om patronen

te maken zonder een andere techniek aan te wenden.

Voor het speciale geval van ALD van Pt worden de MeCpPtMe_3 precursor en het O_2 oxiderend gas alternerend gedoseerd in een vacuümkamer (basisdruk: $<10^{-5}$ mbar). De Pt precursor adsorbeert op het substraattooppervlak waar het reageert met het aanwezige atomaire zuurstof. Bij deze reactie komen H_2O , CO_2 en CH_4 als reactieproducten vrij en blijven er liganden op het oppervlak zitten. In de tweede stap verbrandt het O_2 , dat op het Pt reageert, de overige liganden van de precursor waarbij ook weer H_2O en CO_2 als reactieproducten vrijkomen. Tijdens deze stap wordt ook het atomaire O op het oppervlak geadsorbeerd [8]. Met Pt ALD kan een nagenoeg pure Pt laag met een soortelijke weerstand van $(13 \pm 1) \mu\Omega\text{cm}$ worden gedeponerd [9]. Deze waarde ligt net hoger dan de soortelijke weerstand van bulk Pt (10.8

$\mu\Omega\text{cm}$) en dit geeft aan dat het materiaal van hoge kwaliteit is. Door de katalytische eigenschappen van Pt, is er minder energie nodig om zuurstof te dissociëren en een Pt oppervlak dan op een oxide oppervlak (zoals Al_2O_3 of SiO_2). Omdat het atomaire zuurstof essentieel is voor Pt ALD groei is het mogelijk om, bij bepaalde condities, selectief Pt te groeien. Dit betekent dat er wel Pt groei plaatsvindt op een Pt laag terwijl dat niet gebeurt op het oxide substraat.

De combinatie EBID en ALD

De gecombineerde methode bestaat uit twee stappen zoals geïllustreerd in Figuur 1c. In de figuur worden tevens de belangrijkste eigenschappen opgesomd. In de eerste stap wordt een Pt EBID kiemlaag gedeponerd waarop verder wordt aangegroeid door ALD. De laterale dimensie wordt bepaald door de laterale dimensie van de Pt EBID kiemlaag terwijl de dikte wordt bepaald door het aantal ALD cycli. Hierdoor is een ultieme controle over de dimensies van de gedeponerde structuur mogelijk. Om selectieve groei op de Pt EBID kiemlaag mogelijk te maken moet het Pt ALD proces zodanig geoptimaliseerd worden dat de ALD groei selectief is op de Pt EBID kiemlagen en het substraat ongemoeid laat. Als er een relatief dunne Pt EBID kiemlaag wordt gebruikt om het Pt ALD proces te activeren, wordt het meeste materiaal gedeponerd met ALD. Hierdoor is het EBID-ALD materiaal vergelijkbaar met het materiaal gedeponerd met ALD. Simpel gezien combineert EBID-ALD het direct en lokaal schrijven van structuren door EBID met de goede materiaalkwaliteit van ALD [10].

EBID-ALD Resultaten

In Figuur 2a en b zijn raster elektronenmicroscopie (scanning electron microscopy, SEM) afbeeldingen weergegeven van een

experiment na respectievelijk EBID en EBID + ALD. Hierbij zijn 1000 Pt ALD cycli uitgevoerd op EBID kiemlagen met verschillende elektronendoses. In Figuur 2a is de Pt EBID dosis aangegeven waarmee de kiemlagen zijn gedeponerd terwijl in Figuur 2b de dikte van de patronen, zoals gemeten met energiedispersieve röntgenspectroscopie (energy dispersive X-ray spectroscopy, EDX), zijn aangegeven. Uit het contrastverschil tussen beide figuren kan worden geconcludeerd dat Pt ALD selectief groeit op de EBID kiemlagen. Tussen de kiemlagen in is geen Pt gemeten met SEM en EDX wat een indicatie is dat de Pt ALD groei selectief is en dus alleen op de Pt EBID kiemlagen heeft plaatsgevonden.

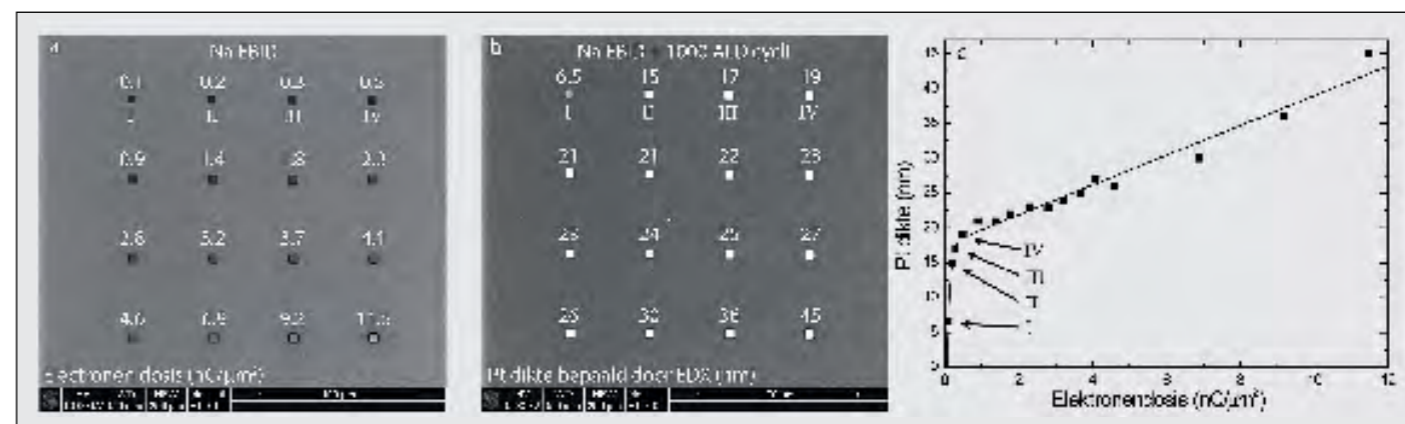
In Figuur 2c is de dikte van de Pt structuren na ALD als functie van de EBID elektronen dosis uitgezet. Het is duidelijk zichtbaar dat voor elektronendoses boven $1 \text{ nC}/\mu\text{m}^2$ (vanaf structuur IV) de dikte van de Pt structuren na ALD lineair toeneemt, terwijl dat niet het geval is voor lagere doses (structuren I tot III). De lineaire diktetoename bij elektronendoses boven $1 \text{ nC}/\mu\text{m}^2$ wordt verklaard doordat bij hogere elektronendoses meer EBID materiaal wordt gedeponerd. De materiaaltoename zorgt voor meer Pt in de kiemlagen waardoor de dikte van de Pt structuren na ALD lineair toenemen met de elektronendoses. Voor elektronendoses onder $1 \text{ nC}/\mu\text{m}^2$ is er echter iets anders aan de hand waardoor de Pt dikte na ALD sneller toeneemt met hogere elektronendoses. Dit kan verklaard worden door de structuur van het EBID materiaal, een amorf koolstof laag met daarin Pt korrels, in acht te nemen. Bij te dunne kiemlagen zitten er niet genoeg Pt korrels in de kiemlaag om meteen laag-voor-laag ALD groei te initiëren. Tijdens de eerste Pt ALD cycli zullen daarom de korrels eerst in diameter moeten toenemen totdat ze uiteindelijk samensmelten tot één structuur.

De mate dat de Pt structuren dunner zijn is een maat voor hoeveel ALD cycli er nodig zijn voordat normale laag-voor-laag ALD groei plaats vindt. Dit wordt aangeduid met "groeivertraging".

Als de structuren I, II, III en IV met elkaar vergeleken worden in Figuur 2 kan worden geconcludeerd dat een elektronendosis van $0.5 \text{ nC}/\mu\text{m}^2$ (structuur IV) nodig is om een goed gedefinieerd patroon aan te groeien met een minimale groeivertraging.

Om de kwaliteit van het materiaal te onderzoeken is een structuur gedeponerd die gebruikt kan worden voor elektrische weerstandsmetingen. In Figuur 3a en 3b zijn plaatjes getoond respectievelijk na de EBID stap en na EBID + 1000 Pt ALD cycli (met in de inzet een vergroting van de binnenste structuur). Op elk van de vier hoekpunten is een naald geplaatst waardoor de stroom gestuurd of de spanning gemeten kan worden. Door de naalden die naar de buitenste elektrodes (I en II) leiden is een stroom gestuurd, terwijl het spanningsverval over de binnenste elektrodes (III en IV) gemeten is. Uit de I-V curve die met deze vierpuntsmeting verkregen is, volgt een soortelijke weerstand van $(11 \pm 2) \mu\Omega\text{cm}$. Deze waarde is net iets hoger dan de soortelijke weerstand van bulk Pt ($10.8 \mu\Omega\text{cm}$), wat aangeeft dat het EBID-ALD materiaal van zeer goede kwaliteit is.

Om de kwaliteit van het EBID-ALD materiaal verder te karakteriseren is een groot vlak gedeponerd en onderzocht met röntgen foto-emissie spectroscopie (X-ray photoemission spectroscopy, XPS). In Figuur 4a is een volledig spectrum getoond van het EBID-ALD materiaal terwijl in Figuur 4b een diepteprofiel is gegeven waarbij de Pt, C en O concentraties zijn aangegeven. Meerdere Pt pieken zijn zichtbaar evenals twee O pieken.



Figuur 2: SEM afbeeldingen (a) na EBID en (b) na EBID + 1000 Pt ALD cycli. In (a) is de elektronendosis aangegeven terwijl de dikte van de Pt structuur na ALD is aangegeven in (b). In (c) is de Pt dikte na ALD uitgezet als functie van de elektronendosis. Twee gebieden worden gescheiden door de gestreepte, verticale lijn.

Precision is our Profession and Service is our Passion!

De Nijdra Group is een zelfstandig (familiebedrijf), full-service organisatie gespecialiseerd in engineering, assemblage, verspaning en slijpen van fijnmechanische onderdelen en mechatronische samenstellingen voor diverse hightech industrieën.

De Nijdra Group bestaat uit de volgende 4 businessunits:

- Nijdra Fijnmechanische Industrie (cnc draaien & frezen, ook voor proto's);
- High-tech Mechanical Industry (cnc vlak/ rond slijpen);
- Nijdra Special Products (engineering & assemblage);
- Medische Product Technologie (orthopedische & orthodontische implantaten).

De Nijdra Group is ISO 9001-2008, ISO 13485 en ISO 14001-2004 gecertificeerd, een waarborg voor kwaliteit en milieuverantwoordelijkheid in product, dienstverlening en logistiek. Onze drie vestigingen beschikken over een goed geoutilleerde en geconditioneerde meetruimte.

Door ons geautomatiseerde en gerobotiseerde machinepark kunnen wij 24/7 onbemand kleine series en hoog nauwkeurige onderdelen produceren. Dus voor onze klanten betekent dit: high mix / low volume / high complexity series met een korte doorlooptijd tegen lage kosten!

Enkele van onze referenties zijn Philips Healthcare (medische apparatuur), Stratec AG (biomedische analyse apparatuur), PANalytical (Röntgenanalyse apparatuur), Grass Valley (professionele camera's) en Stryker (implantaten).

Voor een Zwitserse klant in de optische industrie bouwen wij een complete machine. Deze hightech machine is onderdeel van een bewerkingslijn voor het produceren van klant specifieke optieken.

Naast de elektronische en pneumatische aansturingen heeft deze machine ook enkele hoog vacuümcompartimenten. De Nijdra

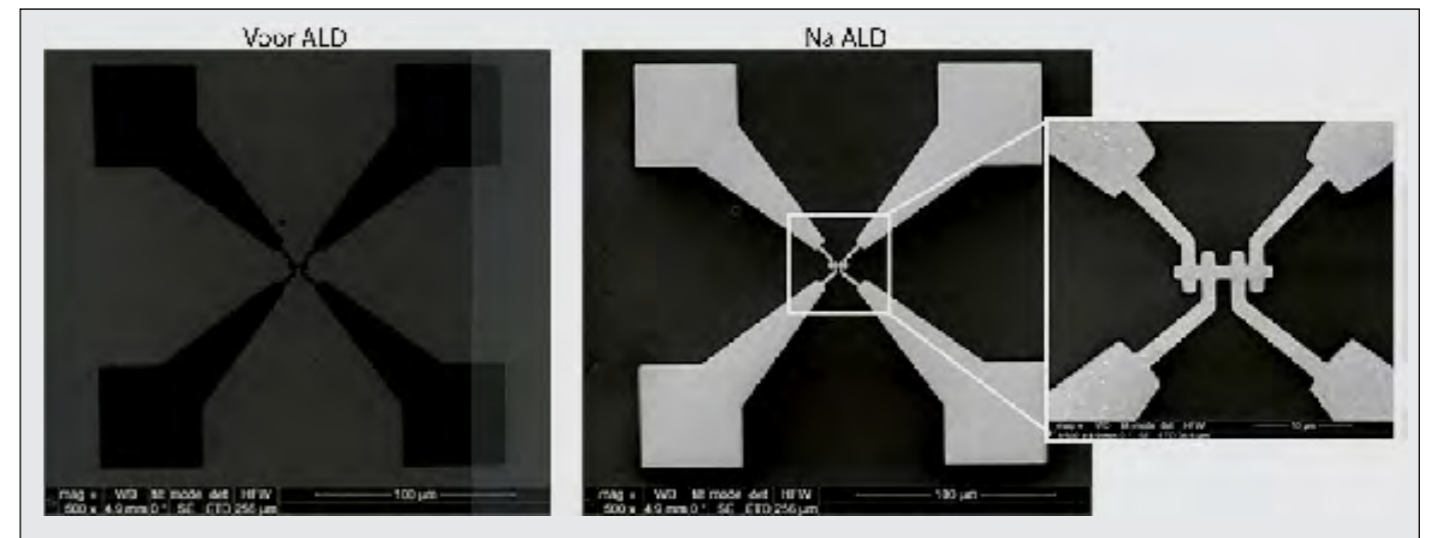
Group heeft bijgedragen aan het verder ontwikkelen van deze machine met behulp van enkele Nederlandse experts op het gebied van vacuümtechniek.

Deze machine wordt compleet bij de Nijdra Group geassembleerd in een cleanroom en uitvoerig getest op eerder genoemde disciplines. In verband met het complexe productieproces, kijkt de klant online mee naar de testresultaten van het proces.

De machine wordt door ons "plug & play" aan de klant geleverd en zij hoeven deze alleen nog maar in de productielijn te plaatsen en aan te sluiten!

Nijdra Group

Bamestraweg 31
NL-1462 VM Middenbeemster, Nederland
t. +31(0)299 68 99 00
f. +31(0)299 68 34 75
dijk.d@nijdra.nl
www.nijdra.com



Figuur 3: SEM afbeeldingen (a) na EBID en (b) na EBID + 1000 Pt ALD cycli van de structuur gebruikt voor elektrische weerstandsmetingen. De structuur waarmee de soortelijke weerstand van het EBID-ALD materiaal is bepaald is verder uitgegroot.

De puurheid van het EBID-ALD materiaal is bepaald op (98 ± 1) at.% Pt met de overige (2 ± 1) at.% toe te schrijven aan O. Een diepteprofiel kan verkregen worden door het materiaal langzaam weg te etsen. Bij de eerste meting van het diepteprofiel zijn nog veel C en O verontreinigingen gemeten welke afkomstig zijn van oppervlakteverontreinigingen. Na de eerste etsstap wordt alleen het EBID-ALD materiaal daadwerkelijk gemeten en een hoge Pt puurheid geobserveerd. Na voldoende etsen wordt het O van het Al_2O_3 substraat zichtbaar. Op het EBID-ALD en Al_2O_3 interface is geen C gemeten. Dit impliceert dat tijdens de ALD stap al het C is weggebrand uit de EBID kiemlaag.

Een opsomming van de materiaaleigenschappen van de verschillende processen

beschreven in dit artikel, zijn gegeven in Tabel 1. Het is duidelijk dat het gecombineerde EBID-ALD proces een significante verbetering geeft ten opzichte van het Pt EBID proces en dezelfde materiaaleigenschappen heeft als materiaal gedeponerd met Pt.

In een poging om de hoge resolutie van EBID-ALD aan te tonen is het recentelijk gelukt om lijnen te deponeren met een diameter van ~ 10 nm [11]. Hiervoor is een verdere optimalisatie van het EBID en ALD proces noodzakelijk. Doordat de resolutie van het EBID proces sterk afhangt van de gekozen elektronenbundelstroom en acceleratievoltage moeten deze zorgvuldig gekozen worden. Daarnaast zijn de hoeveelheid ALD cycli die worden uitgevoerd van cruciaal belang. Bij meer ALD cycli worden de structuren niet

alleen dikker maar ook breder, waardoor de resolutie afneemt.

Conclusies

In dit artikel hebben we duidelijk gemaakt dat EBID en ALD technieken zijn die los van elkaar niet geschikt zijn voor het maken van patronen op de nanoschaal. Het materiaal gedeponerd met EBID is van te lage kwaliteit en met alleen ALD is het niet mogelijk om structuren plaatsopgelost te deponeren. Het is echter in dit artikel ook aangetoond, dat de combinatie van beide technieken wel geschikt is om patronen te deponeren op de nanoschaal. Met EBID-ALD is het mogelijk om direct en lokaal materiaal te deponeren met een laterale dimensie van ~ 10 nm. Daarnaast is het materiaal gedeponerd met Pt EBID-ALD van zeer hoge kwaliteit met

Agenda

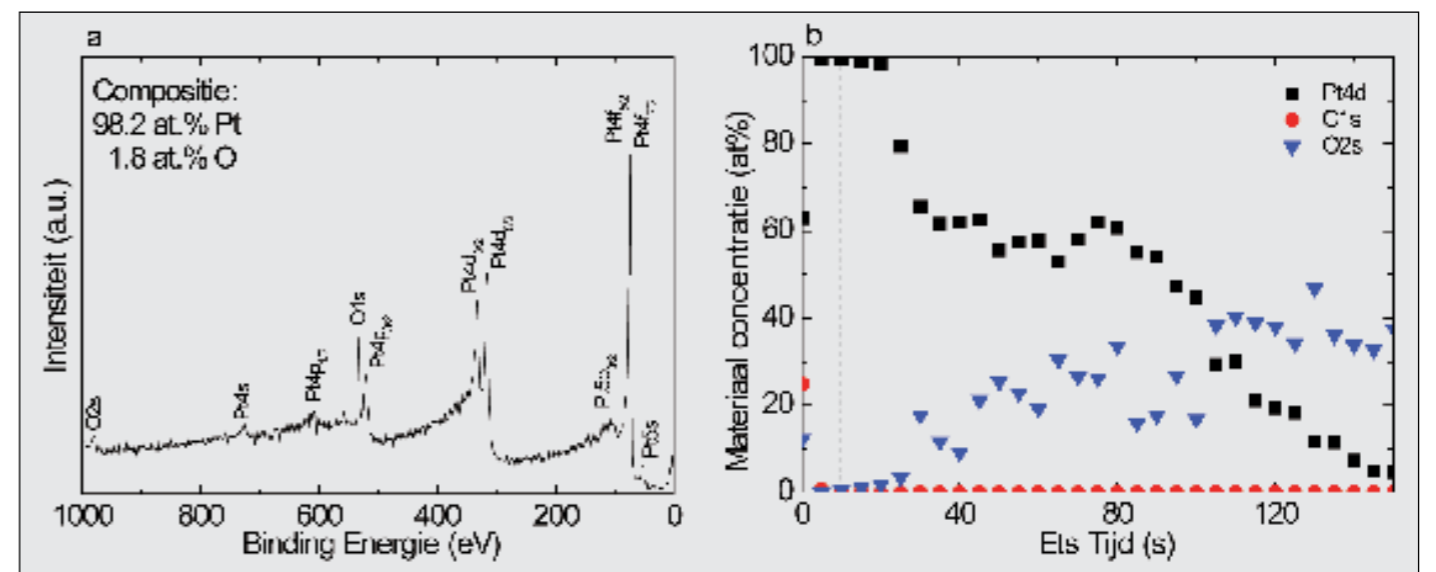
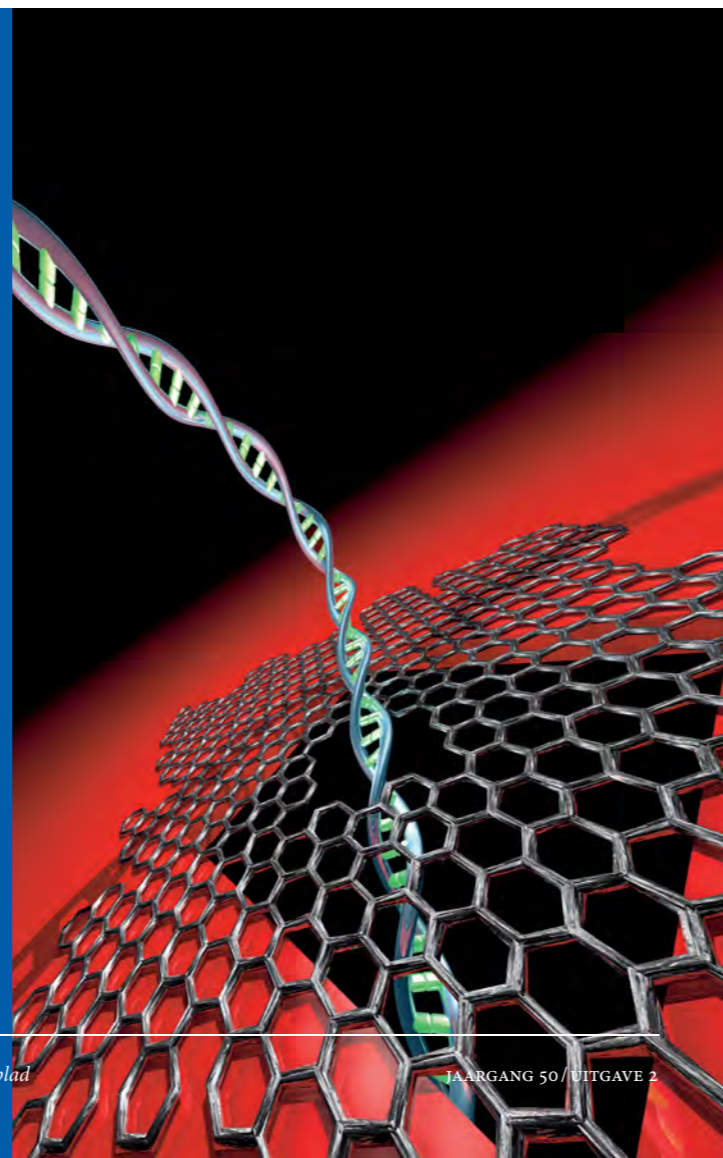
5-7 april 2013
ECMI15 - Krakow Polen

19 april 2013
Fysica2013 - Delft

april 2013
NEVAC dag 2013 - Sciencepark, Amsterdam

9-13 september 2013
IVC19-ICSS15 - Parijs, Frankrijk

13-16 oktober 2013
ICTF16 - Dubrovnik Kroatie



Figuur 4: (a) een XPS spectrum van het EBID-ALD materiaal en een (b) diepteprofiel van hetzelfde materiaal. De verticale lijn in (b) geeft aan op welke diepte het spectrum in (a) genomen is.

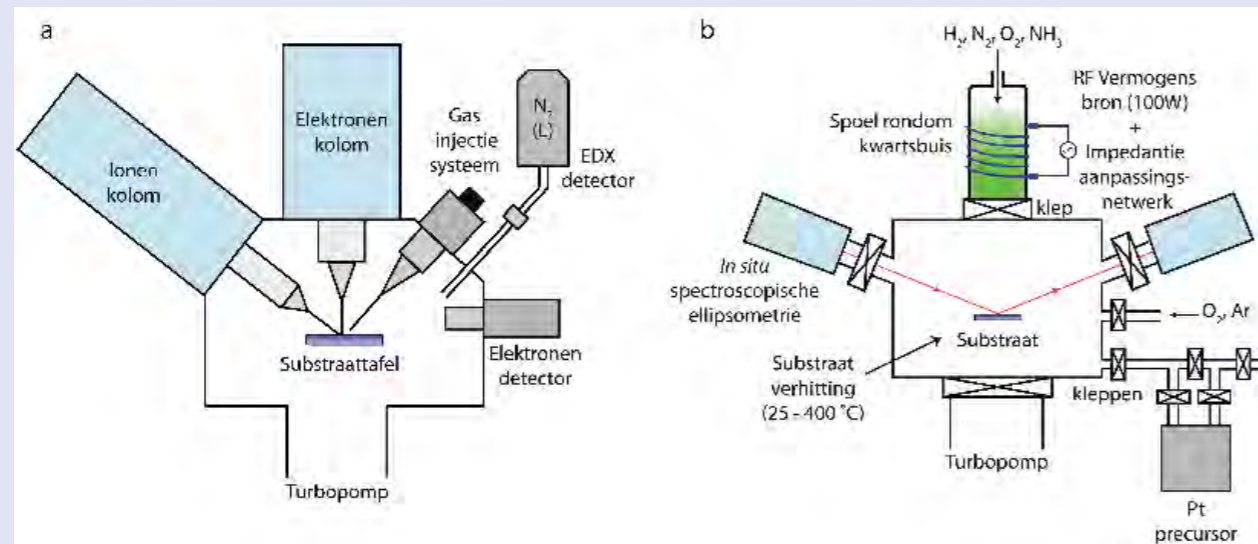
Experimentele details

De EBID en ALD experimenten zijn beide in verschillende vacuümsystemen uitgevoerd. Voor de EBID experimenten is een FEI Nova 600 DualBeam systeem gebruikt, waarin een gefocusserde ionenbundel (focussed ion beam) en een elektronenbundel zijn geïntegreerd. Figuur 5a toont een schematische weergave van het systeem. Een moleculaire turbo pomp (capaciteit: 250 l/s) wordt gebruikt om het systeem naar hoog vacuüm te brengen met een basisdruk van $<10^{-5}$ mbar. Tijdens het doseren van precursor-gassen komt de druk niet boven 10^{-4} mbar uit, omdat de precursor alleen lokaal wordt gedoseerd.

Voor de ALD experimenten is een zelfgebouwde ALD reactor gebruikt welke is ontworpen voor thermische en plasma geassisteerde ALD. Een schematische weergave is afgebeeld in Figuur 5b. Door de combinatie van een draaischijfpomp (capaciteit: 9.7 m³/uur) en een moleculaire turbopomp (capaciteit: 410 l/s), kan het

systeem naar een hoog vacuüm gebracht worden met een basisdruk van $<10^{-5}$ mbar. Tijdens de depositie kan de druk oplopen tot 10^{-2} mbar door het doseren van de precursor gassen.

Wanneer de reactiekamers van beide processen met elkaar vergeleken worden blijkt dat ze beide op ongeveer hetzelfde vacuümniveau opereren. Het is dus mogelijk om beide processen in één kamer te integreren [13]. Omdat de druk in de kamer tijdens het doseren van O₂ typisch 10^{-2} mbar is, moet het gecombineerde systeem wel aangepast worden om de ionen- en elektronenkolommen te beschermen tegen deze relatief hoge drukken. Dit kan gedaan worden door tijdens het ALD proces deze kolommen af te sluiten van de rest van de kamer of door de Pt precursor en O₂ op dezelfde manier te doseren als de Pt precursor tijdens het EBID proces.



Figuur 5: Een schematische weergave van de (a) EBID en (b) ALD opstellingen. De FEI Nova 600 DualBeamTM opstelling bestaat uit een elektronen- en ionenkolom die onder een hoek van 52° van elkaar staan. Een computer gestuurde substraattafel zorgt voor een nauwkeurige positie van het sample. Precursor wordt lokaal gedoseerd door een gasinjectiesysteem. Een EDX detector is aanwezig voor compositie en diktemetingen. De ALD reactor bestaat uit een roestvrijstalen depositiekamer met meerdere vensters waarop verschillende diagnostische technieken aangesloten kunnen worden. Verschillende precursors en gas dosering systemen zijn aanwezig, evenals een plasma bron en een turbo pomp.

	Laterale resolutie	Dikte controle	Compositie (at.%)			Soortelijke weerstand ($\mu\Omega\text{cm}$)	referentie
			Pt	C	O		
EBID	<10 nm	Beperkt	15	85	0	$>10^7$	5
EBID + temperen	<10 nm	Beperkt	70	30	0	$1.4 \cdot 10^4$	7
ALD	geen	Sub-monolaag	>95	<5	0	13 ± 1	9
EBID-ALD	~10 nm	Sub-monolaag	>98 %	0	<2%	11 ± 2	11
Bulk Pt	-	-	100	-	-	10.8	12

Tabel 1: Een opsomming van de laterale resolutie en diktecontrole die bereikt kan worden met de EBID, ALD en EBID-ALD technieken. Ook wordt de compositie en soortelijke weerstand van het materiaal dat gedeponeerd kan worden met de verschillende technieken vergeleken met dat van bulk Pt.

meer dan (98 ± 1) at.% Pt en een soortelijke weerstand die binnen 10 % van de waarde van die van bulk Pt ligt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat EBID-ALD een perfecte techniek is om patronen, zoals elektrische contacten, te deponeren op de nanoschaal, vooral als gebruik gemaakt wordt van gevoelige nanomaterialen.

Dankwoord

De auteurs willen Tatiana Fernández Landaluce bedanken voor het uitvoeren van de XPS metingen en Piet Trompenaars voor de assistentie bij de Dualbeam experimenten.

Referenties

- 1 P. Avouris, Z. Chen, and V. Perebeinos, *Nature Nanotechnology* 2, (2007)
- 2 S. Kumar, N. Peltekis, K. Lee, H.Y. Kim, and G.S. Duesberg, *Nanoscale Research Letters* 6, (2011)
- 3 Y. Lin, C. Lu, C. Yeh, C. Jin, K. Suenaga, and P. Chiu, *Nanoletters*, Accepted, (2011)
- 4 T. Schwamb, B.R. Burg, N.C. Schirmer, and D. Poulidakos, *Applied Physics Letters* 92, (2008)
- 5 A. Botman, J.J.L. Mulders, and C.W. Hagen, *Nanotechnology* 20, 372001 (2009)
- 6 L. Rotkina, S. Oh, J.M. Eckstein, and S.V. Rotkin, *Physical Review B* 72, (2005)
- 7 A. Botman, J.J.L. Mulders, R. Weemaes, and S. Mentink, *Nanotechnology* 17, 3779 (2006)
- 8 W.W.M. Kessels, H.C.M. Knoop, S.A.F. Dielissen, A.J.M. Mackus, and M.C.M. van de Sanden, *Applied Physics Letters* 95, (2009)
- 9 H.C.M. Knoop, A.J.M. Mackus, M.E. Donders, M.C.M. van de Sanden, P.H.L. Notten, and W.M.M. Kessels, *Electrochemical and Solid State Letters* 12, G34-G36 (2009)
- 10 A.J.M. Mackus, J.J.L. Mulders, M.C.M. van de Sanden, and W.M.M. Kessels, *Journal of Applied Physics* 107, (2010)
- 11 A.J.M. Mackus, S.A.F. Dielissen, J.J.L. Mulders, and W.M.M. Kessels, *To be published* (2012)
- 12 *Handbook of Chemistry and Physics*, 91 ed., Edited D.R. Lide (CRC, 2010)
- 13 A.J.M. Mackus, W.M.M. Kessels, J.J.L. Mulders, *Microscopy and Analysis* 25, (2011)

Mededeling van de Commissie Opleidingen

Maak kennis met het Supplement bij het Basisboek Vacuümtechniek

Negentig pagina's preprints van de belangrijkste wijzigingen en aanvullingen, op te nemen in een toekomstige 2de editie van dit boek.

Overzicht inhoud:

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

Een uitgave van de Commissie Opleidingen der Nederlandse Vacuümvereniging. Thermisch ingebonden budgetuitvoering in zwart/wit. Prijs € 20 inclusief verzendkosten.

U kunt het Supplement bestellen, door € 20 over te maken naar: Gironummer 3362114 t.n.v. Nevac Commissie Opleidingen Peize. o.v.v. 'Supplement BBVT' en het verzendadres. Na ontvangst betaling wordt het Supplement naar u opgezonden.



PFEIFFER VACUUM

adixen
by PFEIFFER VACUUM

nXDS Dry Scroll Pump

The great new shape of vacuum pumping performance

- Exceptional pumping performance and ultimate vacuum
- Hermetically sealed for lubricant-free vacuum environment
- Intelligent and easy to use control functions for simple operation
- Extended service intervals and minimal maintenance for low cost of ownership
- Range includes 6, 10, 15 and 20 m³h⁻¹
- Low acoustic noise < 52 dB(A)



EDWARDS

Perfect Vacuum Solutions!

Two strong brands combined for your success

- Best-in-class products
- Leading vacuum technology know-how
- Worldwide sales and service support

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





Nijdra Group

Precision is our Profession

Nijdra groep
Bamestraweg 31
1462 VM Middenbeemster
T. +31 299 68 99 00



Precision is our profession, service is our passion!

De Nijdra Group is een zelfstandig opererende onderneming die gespecialiseerd is in fijnmechanica, verspaning, assemblage, slijpen, engineering en prothese-techniek. De Nijdra Group levert totaaloplossingen voor alle fijnmechanische vraagstukken aan grote en kleine afnemers in binnen- en buitenland.

Ons bedrijf heeft zich gespecialiseerd in het seriematig fabriceren van technisch en kwalitatief hoogwaardige producten. Wij zijn in staat tot zeer nauwkeurige en bijzondere bewerkingen, die voldoen aan hoge nauwkeurigheden.

Vandaar ons motto:
Precision is our profession, service is our passion!

Een vacuümopstelling voor het op grote schaal fabriceren van grafeen van hoge kwaliteit

Fred Schenkel, Gijsbert Hijmans, Dirk van Baarle, Guocai Dong, Raymond Koehler, Richard van Rijn, Jan Verhoeven en Joost Frenken
Interface Physics Groep, Fijn Mechanische Dienst, Elektronische Dienst
Kamerlingh Onnes Laboratorium, Universiteit Leiden, Postbus 9504, 2300 RA Leiden

Het is de verwachting dat grafeen in de toekomst veelzijdig zal kunnen worden toegepast. Het materiaal is weliswaar nu al commercieel verkrijgbaar, maar de kwaliteit ervan laat te wensen over. Eén van de productiemethoden van grafeen is gebaseerd op een chemisch proces, waarbij een koperoppervlak bij hoge temperatuur wordt blootgesteld aan het procesgas ethyleen. Naar verwachting zal door gebruik te maken van zeer lage ethyleendrukken en mono-kristallijne koperoppervlakken een betere kwaliteit grafeen kunnen worden geproduceerd. Door het proces gelijktijdig toe te passen op een groot aantal monokristallen wordt productie op grotere schaal mogelijk. In dat geval vormt het onder (lage) procesdruk homogeen verhitten van alle substraattoepervlakken tot temperaturen boven 10000C een belangrijke voorwaarde voor het ontwerp van een depositiesysteem. In dit artikel beschrijven we de door ons ontwikkelde substraathouder, waarop de temperaturen van alle daarop bevestigde substraten bij 10000C niet meer dan 100C van elkaar afwijken.

Grafeen is koolstof in de vorm van een enkele monolaag grafiet. Het wordt gezien als een veelbelovend materiaal, onder andere voor toepassing in toekomstige elektronica¹. Het pionierswerk van Andre Geim en Konstantin Novoselov op het gebied van de bijzondere eigenschappen van grafeen werd in 2010 bekroond met de Nobelprijs voor de natuurkunde². Wereldwijd wordt veel aandacht besteed aan het productieproces en grafeen is dan ook al commercieel verkrijgbaar. Echter de laterale homogeniteit laat nog te wensen over. De basis van één van de toegepaste productieprocessen wordt gevormd door "chemical vapour deposition" (CVD). Dit is een chemisch proces waarbij een reactief gas over een vaste-stof oppervlak op hoge temperatuur wordt geleid. Afhankelijk van het reactieve gas zal een dunne laag worden gevormd. Voor de aangroei van grafeen kan gebruik gemaakt worden van eenvoudige koolwaterstoffen zoals methaan of ethyleen. Koper, iridium en nikkel oppervlakken zijn voorbeelden die goed voldoen als substraat voor grafeenvorming. Voor het vormingsproces zijn temperaturen vereist in de orde van 10000C.

Eén van de strategieën om monokristallijn grafeen te verkrijgen, is om gebruik te maken van een mono-kristallijn metaaloppervlak. Aangezien de afmetingen van metaalkristal-

len meestal beperkt zijn, is gekozen voor een systeem waarin meerdere metaalkristallen van commercieel aanvaardbare afmetingen (≈ 1 cm) gelijktijdig aan het procesgas worden blootgesteld. Teneinde de invloed van het restgas op de gedeponeerde laag te kunnen verwaarlozen is gekozen voor een basisvacuüm van beter dan 10-9 mbar. Op basis van deze gegevens is een vacuümsysteem ontwikkeld voor vorming van grafeen op een grotere schaal, dat tevens de basis vormt voor verdere opschaaling.

Figuur 1. Vacuümsysteem voor het op grote schaal produceren van grafeen van hoge kwaliteit



Het vacuümsysteem (figuur 1)

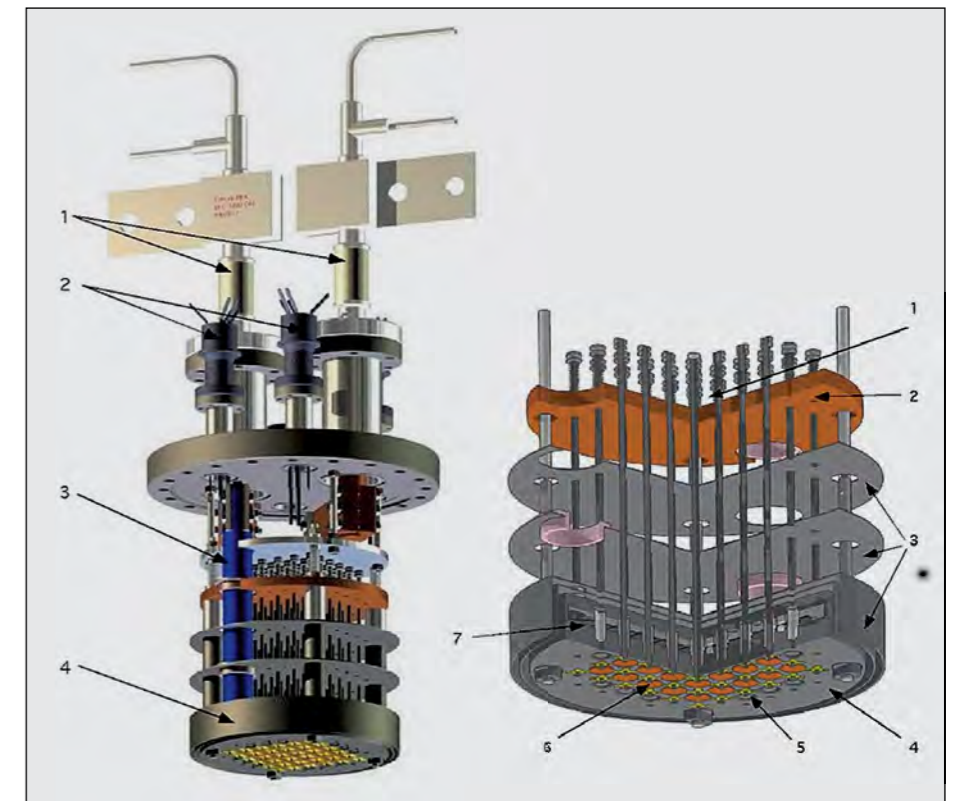
Vanwege de hoge proces temperatuur is een dubbelwandige, watergekoelde vacuümkamer (≈ 250 mm) ontworpen. Ook de bodem- en de topflenzen zijn voorzien van koelkanalen. Het pompsysteem bestaat uit een 300 l/s turbo-moleculair pomp (TURBO-V301 van Agilent) met een scroll pomp (TS 300 van Agilent) in serie. De metaalsubstraten zijn geïnstalleerd op een verwarmbare houder, gemonteerd op een CF 150 flens. Het geheel hangt ondersteboven in het vacuümsysteem, om te voorkomen dat stof of tijdens het proces gevormde verontreinigingen op de substraten terecht kunnen komen. Een 3 cm divergerende Kaufman bron³, gemonteerd onder een hoek van 45° met de substraten, wordt gebruikt voor het reinigen van de metaaloppervlakken met behulp van argon-

ionenbombardement. Voor het uitstoken van het gehele vacuümsysteem wordt gebruik gemaakt van straling van de substraathouder. Dat vindt plaats, voorafgaand aan het depositieproces, nadat water uit de koelmantel is verwijderd. Dit alles vereist een koelwaterbeheer, waarbij niet alleen beveiliging een rol speelt, maar ook de mogelijkheid bestaat om naar keuze een deel van de koeling los te koppelen en te beluchten. Voor zowel controle van de proces temperatuur als beveiliging voor oververhitting van het vacuümsysteem wordt de temperatuur op verschillende plaatsen gemeten met (chromel/alumel) thermokoppels. Voor het productieproces is in eerste instantie gekozen voor de combinatie van koper als substraatmateriaal en ethyleen als reactief gas. Voor aanvang van de depositie moeten de substraattoepervlakken worden gereinigd. Dit geschiedt door middel van enkele cycli van argon-ionenbombardement, verhitting in vacuüm en verhitting in waterstof-atmosfeer. Daarbij varieert de substraatt temperatuur tussen 700 en 10000C.

Tijdens het depositieproces zelf wordt een mengsel van ethyleen en waterstof ingelaten. De werkdruk kan variëren tussen 10⁻⁶ mbar en 1 mbar. Voor drukmetingen met grote nauwkeurigheid in dit drukgebied wordt gebruik gemaakt van 2 membraan-manometers (CMR 364 en 365 van Pfeiffer). Voor het inlaten van het procesgas gebruiken we handmatige UHV regelventielen.

De substraathouder (figuur 2a en b)

In de eerste plaats is gezocht of er substraathouders commercieel verkrijgbaar zijn waarmee in UHV een temperatuur tot ca. 11000C kan worden bereikt. Vanwege de ontwerp eis dat het depositieproces gelijktijdig moet kunnen worden toegepast op een groot aantal (tientallen) metaalsubstraten, is gezocht naar een verwarmingssysteem met een relatief groot oppervlak. Een extra complicatie hierbij werd gevormd door de eis dat de substraten allen met een goed warmtecontact moeten worden gemonteerd, om zo de onderlinge temperatuurverschillen onder 100C te houden bij een proces temperatuur van 10000C. Dat betekent dat het oppervlak van het verwarmingssysteem voorzien moet zijn van een groot aantal goed gedefinieerde bevestigingspunten. Omdat we geen commercieel systeem hebben gevonden dat aan al deze eisen voldoet, is besloten zelf een verwarmbare substraathouder te ontwikkelen. Het ontwerp van deze substraathouder heeft uiteindelijk de grootste uitdaging van ons project gevormd. Onze huidige substraathouder heeft een diameter van 13 cm, waarop zich 36 posities bevinden voor metaalkristallen met een



Figuur 2a. Complete verwarmingssysteem voor de productie van grafeen

1) Water gekoelde stroomdoorvoeren voor 200A, 2) Speciale doorvoeren voor thermokoppels, 3) interne stroomverbinding met het verwarmingselement en 4) Substraathouder met kopersubstraten

Figuur 2b. Doorsnede van de substraathouder.

1) Veerelementen voor de substraatklemmetjes, 2) Koperen stralingsscherm, 3) Molybdeen stralingsschermen 4) Molybdeen plaat met uitsparingen voor de substraten, 5) Substraatklemmetjes, 6) Substraten, 7) Stralingselement

diameter tot 1 cm. De belangrijkste eis is dat voor het proces een maximale temperatuur van 11000C moet kunnen worden gehaald en gehandhaafd. Een ruwe schatting leert dat het stralend vermogen van een voorwerp van deze hoge temperatuur, met een diameter van 13 cm, geplaatst binnen een omgeving op kamertemperatuur, ongeveer 5 kW bedraagt. Het daadwerkelijk benodigde verwarmingsvermogen is gereduceerd door toepassing van stralingsschermen op diverse plaatsen. Vervolgens mag voor alle substraten onderling de temperatuur niet meer dan 100C afwijken. Dat betekent dat naast een grote homogeniteit van de temperatuurverdeling over het oppervlak van de substraathouder, een goed thermisch contact met alle substraten eveneens een belangrijke vereiste is.

In ons ontwerp wordt gebruik gemaakt van veerelementen om de substraten tegen de substraathouder te klemmen. Daarmee kunnen we substraten eenvoudig plaatsen en verwijderen, terwijl tevens de kracht waarmee elk substraat tegen de houder wordt gedrukt en daarmee de warmteweerstand van het

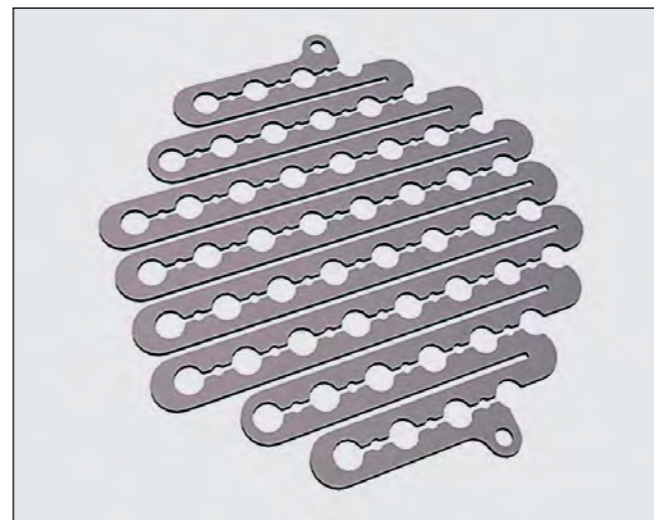
contact tussen substraat en houder goed instelbaar is. Omdat de meeste materialen hun veerkracht verliezen bij de hoge proces temperatuur, kunnen de veerelementen niet direct worden gemonteerd op of dichtbij het substraattoepervlak. Dit probleem is opgelost door starre molybdeen klemmetjes met behulp van stangetjes te verbinden met verende elementen, die op hun beurt gemonteerd zijn in een door hitteschermen afgeschermd en daardoor kouder deel van de substraathouder (figuur 2b).

Voor het in vacuüm naar hoge temperatuur verwarmen van objecten wordt in de oppervlaktestructuur vaak gebruik gemaakt van bombardement met hoogenergetische elektronen. Als gevolg van de hoge procesgasdruk valt verontreiniging (of zelfs corrosie) van de kathode meestal niet te vermijden met als gevolg een sterke afname van de elektronenemissie. Ons systeem wordt daarom uitsluitend verwarmd met behulp van warmtestraling. Daarvoor gebruiken we een warmtestralingselement dat zich achter de molybdeenplaat bevindt, waarin de substraten in

Your European Vacuum supplier

New Catalog 2012-2015

Out now!



Figuur 3. Wolfram stralingselement

uitsparingen verzonken liggen (figuren 2a & b). De maximaal haalbare temperatuur wordt voor een belangrijk deel bepaald door de oppervlakte en de temperatuur van het stralende element. De geometrie van een traditionele gloeidraad bleek hierbij niet optimaal te zijn. Zo leerde een warmteberekening ons dat een wolfram gloeidraad met een lengte van 1,3 m en een diameter van 1 mm over zijn totale lengte verwarmd zou moeten worden naar een temperatuur van ca. 25000C om de molybdeen plaat op 11000C te houden. Zo'n extreem hoge temperatuur heeft als nadeel dat het wolfram na verloop van tijd bros wordt en breekt. Daarnaast bestaat de kans op een extra versnelde veroudering van de gloeidraad als gevolg van de te verwachten hoge werkdruk van ethyleen. Teneinde de temperatuur van het stralende element zo laag mogelijk te houden, bijvoorbeeld onder 17000C, hebben we het stralende oppervlak zo groot mogelijk gemaakt. Een handicap hierbij werd gevormd door het grote aantal stangetjes, elk verbonden met een van de substraatklemmetjes, die het verwarmingssysteem doorsnijden. Optimalisatie door middel van berekening heeft geleid tot het ontwerp van een robuust verwarmingselement met een groot stralend oppervlak, ter dikte van 1 mm en met een variabele breedte van gemiddeld 5 mm, met uitsparingen rond alle obstakels (figuur 3). Bij de montage van dit element is ruimte gelaten voor de thermische uitzetting. Het geheel is door middel van vonkersie uit een wolfram plaat gevormd. Het totale verwarmingssysteem is compleet met aan de bovenzijde 5 stralingsschermen van molybdeen en koper en rondom 2 stralingsschermen van molybdeen (figuur 2b). Volgens berekening zou een stroom van 200 A voldoende moeten zijn om met dit verwarmingssysteem een substraattemperatuur boven 11000C te halen. De daarvoor benodigde stroomdoorvoeren (Figuur 2a) worden

daarbij gekoeld met water. Er is rekening gehouden met de mogelijkheid om met behulp van draaidoorvoeren beweegbare hitteschilden voor de substraathouder aan te brengen, voor het geval dat grote stralingsverliezen een probleem zouden opleveren.

De eerste resultaten

Zoals verwacht, halen we in het UHV systeem routinematig een basisdruk beter dan 10-9 mbar. De gemiddelde temperatuur en de temperatuurverschillen over het totale substraattooppervlak zijn gemeten via thermokoppels op de substraathouder en op een aantal koperen proefsubstraten, bestaande uit commercieel verkrijgbaar koperfolie. Bij een verwarmingsvermogen van 2 kW (100 A x 20 V) worden al temperaturen gehaald op de substraathouder van meer dan 10000C. Verder meten we dat de temperaturen op alle locaties waar proefsubstraten zijn gemonteerd minder dan 100C van elkaar afwijken. Bij duurproeven werkt het verwarmingselement betrouwbaar en reproduceerbaar en vertoont het geen verouderingsverschijnselen. Tenslotte zijn als inleidend experiment de koperen proefsubstraten bij een temperatuur van 9000C blootgesteld aan een mengsel van waterstof en ethyleen (totaal druk 10-4 mbar). Na afkoeling zijn de substraten uit het UHV systeem verwijderd en aan een nadere inspectie onderworpen. Zo konden we met behulp van Raman-spectroscopie⁴ en Scanning Elektronen Microscopie al meteen aantonen dat er zich (enkel-laags) grafeen op de koperoppervlakken had gevormd.

Het hier beschreven systeem is ontworpen voor proefproductie; er zijn geen experimentele technieken geïmplementeerd om het depositieproces in situ te controleren. Voor de ontwikkeling en optimalisatie van het vormingsproces van grafeen op metaaloppervlakken onderzoeken we deze processen

op atomaire schaal tijdens de blootstelling aan het procesgas bij hoge temperatuur met behulp van een eerder door ons ontwikkelde "Variable Temperatuur Scanning Tunneling Microscope" (VTSTM)⁵. Resultaten hiervan zullen later dit jaar worden gepubliceerd.

Conclusies

Met succes is een vacuümsysteem ontworpen en gebouwd met de bedoeling daarmee in de toekomst op gecontroleerde wijze grafeen te fabriceren van hoge kwaliteit. De eerste tests hebben aangetoond dat het systeem voldoet aan alle technische eisen die vooraf zijn gesteld en dat het daarmee de basis kan vormen voor schaalvergroting. De grootste uitdaging bleek te liggen in het ontwerp van het verwarmingssysteem. Dit heeft geresulteerd in een substraat-houder waarop enkele tientallen substraten, verdeeld over een groot oppervlak, homogeen binnen een afwijking van 100C kunnen worden verhit tot temperaturen van op zijn minst 10000C. Voor de productie van grafeen met de beoogde, hoge kwaliteit zal een verdere ontwikkeling noodzakelijk zijn van het depositieproces, waarbij de atomaire details van dit proces worden opgehelderd met behulp van scanning tunneling microscopie.

Dankbetuigingen

Dit project is tot stand gekomen met steun van de Stichting FOM en van de ERC. De auteurs bedanken Gijsbert Verdoes en voor zijn bijdrage aan het installeren van de benodigde infrastructuur en Peter van der Tuin voor het kritisch lezen van het verhaal.

(Endnotes)

- 1 Kim K, Choi J.Y, Kim T, Cho S.H. and Chung H.J, *Nature*, 479 (2011) 737
- 2 "The Nobel Prize in Physics 2010", [Nobelprize.org](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2010/), zie http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2010/
- 3 Zie: http://en.wikipedia.org/wiki/Harold_R._Kaufman
- 4 Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Ramanspectroscopie>
- 5 "Design and performance of a programmable-temperature scanning tunneling microscope", M.S. Hoogeman, D. Glastra van Loon, R.W.M. Loos, H.G. Ficke, E. de Haas, J.J. van der Linden, H. Zeijlemaker, L. Kuipers, M.F. Chang, M.A.J. Klink and J.W.M. Frenken, *Rev. Sci. Instrum.* 69 (1998) 2072.

Order our new catalog on info@hositrad.com

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@hositrad.com - www.hositrad.com

Nevac dag 2012



Op vrijdag 13 april 2012 vierde de NEVAC haar 50ste verjaardag tijdens de jaarlijkse NEVAC dag. Precies vijftig jaar eerder op 13 april 1962 (ook een vrijdag de 13^e) werd de Nederlandse vereniging voor vacuüm gerelateerde technieken opgericht. Vacuüm begon in de jaren zestig zowel wetenschappelijk als industrieel steeds belangrijker te worden op het terrein van de chemie en de fysica. In de chemie speelt vacuüm een belangrijke rol in de studie naar de werking van katalytische processen. Depositie van dunne films in halfgeleiderprocessen is een belangrijke toepassing van vacuüm in de fysica. Sinds haar oprichting is de NEVAC een ontmoetingsplek geweest voor zowel wetenschappers als technici die werkzaam zijn in deze gebieden.

Het jubileum van de NEVAC werd uitgebreid gevierd met een speciale editie van de jaarlijkse NEVAC dag in het Boerhaave Museum. Het Boerhaave museum is in het bezit van de grootste collectie historische vacuümpompen

van Europa. Mede dankzij de grote collectie pompen van Kamerlingh Onnes die bewaard zijn gebleven in Leiden, vormt het Boerhaave museum een prachtig decor voor de viering van het vijftig jarig bestaan van de vereniging.



De aftrap van de dag werd genomen door erelid Theo Mulder met een historisch overzicht van vacuüm en vacuümpompen door de eeuwen heen. In de zeventiende eeuw maakte vacuümtechniek een belangrijke ontwikkeling door dankzij de experimenten van o.a. Torricelli

en Pascal. Door middel van barometers gevuld met water en later kwik toonden zij aan dat er een behoorlijke kracht schuilging in vacuüm. Maar was het een zuigende kracht uitgaande van het vacuüm, of toch een duwende kracht van de lucht er omheen...?

De bijdrage van Dirk van Delft, directeur van het Boerhaave museum, legde een duidelijke link tussen het werk van Kamerlingh Onnes en vacuüm. De grote collectie vacuümpompen van het museum vindt voor een groot aandeel zijn oorsprong in het laboratorium van Heike Kamerlingh Onnes. Aan het begin van de vorige eeuw was voor de wedloop naar lage temperaturen vacuüm een essentieel onderdeel, zowel als isolatie alsmede om de diverse gassen vloeibaar te maken.

Vanuit zijn jeugd in Groningen kreeg Heike, als zoon van de directeur van een dakpannenfabriek, mee dat resultaat vooral afhankelijk was van een goede organisatie en de inzet van de beste vaklieden. Na zijn studie scheikunde was hij kortstondig verbonden aan de TU Delft (destijds de Polytechnische School), en werd op 29 jarige leeftijd benoemd tot hoogleraar in de experimentele Natuurkunde in Leiden. Hier bouwde hij een groot laboratorium met veel medewerkers en instrumentmakers. De oprichting van een speciale instrumentmakerschool geeft aan dat de inzet van instrumentmakers voor de experimentele natuurkunde

essentieel was. Na het vloeibaar maken van helium werd het onderzoek naar lage temperaturen voortgezet naar de geleiding in zuivere metalen dat leidde tot de ontdekking van supergeleiding. Een ontdekking die onmogelijk geweest zou zijn indien er onvoldoende kennis van de vacuümtechniek zou zijn geweest.



Voor het eerst dit jaar gaf de NEVAC twee prijzen van €1000,- uit voor wetenschappelijke én technische ontwikkelingen op het gebied van vacuümtechnologie. De eer voor de wetenschappelijke prijs komt Bas Dielissen van de TU Eindhoven toe (zie ook de bijdrage in deze editie van het NEVAC blad). De dunne film depositie met ALD is chemisch selectief en daardoor kunnen dunne laagjes heel precies en met een hoge chemische zuiverheid atoomlaag voor atoomlaag worden aangebracht. Echter de methode heeft geen mogelijkheden om lokaal patronen aan te brengen. Electron beam induced deposition heeft de mogelijkheid om met nanometer precisie materiaal aan te brengen, maar de beperkte materiaalzuiverheid is een erg zwakke eigenschap. In de methode ontwikkeld door Bas worden kleine structuren van EBID verder gegroeid met ALD zodat de materiaaldepositie kan worden gecontroleerd met nanometer precisie in zowel de dikte als laterale dimensies met bovendien een hoge materiaalzuiverheid.

Fred Schenkel van de instrumentmakerij van de Universiteit Leiden won de technische prijs voor zijn werk aan de ontwikkeling van een instrument om hoge kwaliteit grafen te maken op grote oppervlakken. Door gebruik te maken van een koper oppervlak en ethyleen



gas bij temperaturen van ca 1000C kunnen er grafeenlagen van 1 atoomlaag dik en enkele millimeters in diameter worden gegroeid. Essentieel hierbij is echter om het relatief grote substraatoppervlak bij hoge en homogene tem-



peraturen te kunnen controleren. De warmtehuishouding, het vacuüm en de procesbeheersing zijn hier de technische uitdagingen. Fred heeft in zijn bijdrage duidelijk aangegeven deze uitdagingen te kunnen beantwoorden met een bijzonder innovatief instrument.

Als intermezzo tijdens de lunch was het Otto von

Guericke Gesellschaft uit Maagdenburg uitgenodigd om een demonstratie te geven van het beroemde experiment van de Maagdenburger halve bollen. Otto von Guericke was fysicus en burgemeester van Maagdenburg. In zijn experiment liet hij twee halve bollen tegen elkaar onder vacuüm brengen en toonde aan dat een tweetal paarden deze halve bollen niet van elkaar zouden krijgen. Na beluchten van de halve bollen vielen de halve bollen spontaan uit elkaar. Het Otto von Guericke Gesellschaft uit Maagdenburg deed de tijd en het experiment weer herleven op het plein voor het Boerhaave museum. In plaats van paarden werden leden van de vereniging gevraagd de halve bollen met een diameter van 20 cm uit elkaar te trekken. Ondanks de fysieke trekkracht van onze leden, lukte dit echter pas nadat de halve bollen werden belucht.

Na een lunch werden alle aanwezige leden

getrakteerd op een lidmaatschap van de vriendenorganisatie van het museum Boerhaave. Het middagprogramma betrof lezingen van Jose Miguel Jimenez van het CERN en Hans Niemantsverdriet van de TU Eindhoven. In beide lezingen kwam de breedte van de NEVAC naar voren. Er werd verteld over grote fysische installaties voor onderzoek naar elementaire deeltjes en vacuüm systemen voor chemisch onderzoek naar katalytische processen van de chemische industrie.

De dag werd in stijl afgesloten met een rondleiding door het museum, een borrel en een walking dinner met een muzikale omlijsting van live jazz muziek.

Quality Control



Oerlikon Leybold's PHOENIXL 300 Helium Leak Detection systems are best-in-class. These mobile units are best selling because they combine portability with rugged design, precise measurement and unmatched operating efficiency. Available with oil-sealed rotary vane pumps, oil-free diaphragm pumps, or scroll pumps, our leak detectors are ideal for quality assurance programs and production environments that support:

- Power engineering, e.g. power turbines and condensers
- Process industry, e.g. furnaces, soldering ovens
- R&D, e.g. ion beam accelerators, UHV/XHV systems, Helium transfer lines
- Analytical, e.g. mass spectrometers, electron beam microscopes
- Automotive, e.g. evaporators, fuel tanks, brake tubings
- Air Conditioning & Refrigeration

Best-in-class Helium Leak Detection Systems

Oerlikon Leybold Vacuum Nederland B.V.
Proostwetering 24 N
3543 AE Utrecht
T +31 30 24 26 330
F +31 30 24 26 331
sales.vacuum.ut@oerlikon.com
www.oerlikon.com/leyboldvacuum



oerlikon
leybold vacuum

Verslag van de Lustrumexcursie in 2012 naar Zuid-Korea.

Op eind van de middag die zondag de 10 juni, had het gezelschap zich verzameld op Schiphol bij de incheck balie. We konden meteen door naar de vertrekhal waar nog ruimschoots gelegenheid was om te shoppen. Ondergetekende maakte van die gelegenheid gebruik om nog wat extra cadeautjes in te slaan voor de gastheren van de ons ontvangende bedrijven en instituten. Na een vlotte en behouden vlucht vanuit Amsterdam stond op luchthaven Incheon de hotelbus op ons te wachten. Het was prima weer, zonnetje en droog, een beetje zoals het in Nederland had moeten zijn.

Incheon ligt op een eiland vlak voor de Westkust van het schiereiland waar de beide Korea's op gevestigd zijn. De reis naar Seoul duurt ongeveer drie kwartier via onder andere een lange brug die de verbinding vormt met het vasteland.

Het was onze eerste kennismaking met Zuid-Korea. Het landschap heeft veel weg van dat van Spanje en ook bij onze tochten later in de week bleek dat wel te kloppen. Ook de breedtegraad komt overeen: Seoul ligt ter hoogte van Madrid. Het klimaat is door die ligging een typisch zuidelijk zee-klimaat, gematigd, met 's-zomers kans op flinke buien. Onze reisperiode was daarop uitgezocht, net vóór het regenseizoen.

Het hele gezelschap, werd naar het hotel gereden waar we begin van de maandagmiddag aankwamen. Een deel van onze reisgenoten was op eigen gelegenheid gekomen en had er hun intrek al genomen. De rest van de dag was gereserveerd om van de lange reis bij te komen en om vijf uur spaken we af in de hotellobby om een groot café te zoeken voor een welkomstdrankje. Het werd onze stamkroeg voor die week en de organisatie bood iedereen namens de NEVAC iedereen een rondje aan. Na een tweede ronde verlieten wat kleine groepjes de bar om een eetgelegenheden op te zoeken. Het gezelschap waarmee ondergetekende als laatste de bar verliet belandde in een typisch Koreaans restaurant even lopen

verderop. In Korea eet je aan een lage tafel terwijl je op de grond plaats neemt. Bij het betreden van het restaurant doe je je schoenen uit en ga je op een matje zitten. De tafels zijn voorzien van een gat in het midden waar een houtskool vuurtje in wordt gestookt. Daar bovenop komt een bakplaat



Figuur 2 Het enige betaalbare merk

waarop gemarineerd vlees gegaard wordt. Zodra de plaat zwart gebakerd is wordt het vlees er naast gegooid en komt er een nieuwe schone plaat waar het garen verder gaat. De hele tafel staat vol met allemaal kleine schaaltes voorzien van sauzen en bijgerechten. Niet vragen wat het is, maar gewoon proeven en eten.

Dinsdag was onze eerste echte werkdag. Een gehuurde bus stond al vroeg klaar op het plein van het hotel om ons naar de pompfabriek te brengen. Onze begeleider, Heejong Roh directeur van de fabriek, had naast dit bezoek ook veel andere praktische zaken voor ons geregeld waar we de hele week plezier van hadden. Als er een probleem was hoefden we hem maar te bellen en hij loste het op. Zoiets is bijna onontbeerlijk in een land waar je de taal niet spreekt en alleen hoger opgeleiden enigszins het Engels meester zijn.

Wonchang maakt hoofdzakelijk twee typen pompen, natte en droge in kleine series maar in iedere variant die de klant wenst. Men doet ook ontwikkeling voor de klant onder meer om pompen stiller te maken. Kwaliteit en vakmanschap staan hoog in het vaandel. De fabriek is uitgerust met CNC-machines en moderne testfaciliteiten. De mechanisatiegraad is niet groot en door



Figuur 1 Ons fraaie luxe onderkomen



Vacuum Valves



Leader in Vacuum Valves

- Largest Selection
- Ultimate Quality
- Short Delivery Times

Hoofdkantoor in Zwitserland
 VAT Vakuumventile AG
 CH-9469 Haag
 Tel +41 81 771 61 61
 Fax +41 81 771 48 30
 Email CH@vatvalve.com

Contactadres in Nederland
 Zuiderstraat 30
 NL-3434 BH Nieuwegein
 Tel 030 601 8251
 Fax 030 601 8252
 Email NL@vatvalve.com

www.vatvalve.com



Figuur 3 Won Chang Vacuüm

het vele handwerk en echte vaklui is de kleine fabriek zeer flexibel bij het inspelen op klantenwensen. De pompen worden in de eigen assemblage afdeling afgemonteerd en verzendklaar gemaakt voor verschepping naar vele landen van de wereld. Het gezelschap van Nevac-kers was onder de indruk van dit bezoek.

Dinsdagmiddag was geschikt voor het bezoek aan JeonDeongSa een van de oudste boeddhistische tempels gebouwd in 374 NC, vlak na de komst van het Boeddhisme. Even verderop gelegen was KwhangSung-Bo, een oude versterking op een strategische plaats aan de rivier. De verlate lunch werd ons aangeboden door de Won Chang Vacuüm fabriek in een typisch Koreaans restaurant waar we per persoon een complete kip te verorberen kregen. Een unieke ervaring voor ons allemaal. Na de terugkomst in Seoul hoefden de meesten niet meer te dineren en koos iedereen meteen voor de bar, het bleef er nog lang gezellig.

Woensdag brachten we eerst een bezoek aan de Edwards vacuümpompen fabriek ruim een uur reizen buiten Seoul. De fabriek is pas een paar maanden in gebruik en bijna volledig gemechaniseerd. Alle droge pompen van Edwards worden in Zuid-Korea centraal geproduceerd. Toch leidt de hoge mechanisatiegraad niet tot inflexibiliteit. Alle typen pompen groot

en klein worden door elkaar gemaakt met volautomatische machines die batchgewijs de pomponderdelen fabriceren. De fabriek blinkt uit door reinheid, er heerst overdruk in de hele productiehal. De kwaliteitscontrole vindt plaats op de werkvloer. De fabriek is geklimatiseerd en de temperatuur wordt op 0,1 °C geregeld zodat er onderdelen met hoge nauwkeurigheid gemaakt en

nagemeten kunnen worden. De productieorganisatie is op moderne leest geschoeid: lean, kanban en geen onderhandenwerk voorraad.

Voorafgaand aan het bezoek werden we voorbereid met een aantal presentaties die de filosofie achter de nieuwgebouwde fabriek onthulden. Edwards heeft het klant



Figuur 4 De moderne fabriek van Edwards



Figuur 5 Het Kriss-Instituut

centraal zetten geleerd van ons eigen Nederlandse Philips dat in de negentiger jaren Edward's belangrijkste klant was. Men heeft de 3 p's: Product, Prijs, Plaats, vertaald naar praktische oplossingen. Kwaliteit en veiligheid van het personeel zijn belangrijke waarden en komen tot uitdrukking in de drie T's: Technologie, Teamwork, verTrouwden.

De klant wordt bedient door het inzetten op innovatie met als belangrijkste unieke combinatie van technologie: precisiebewerking, warmtehuishouding en gasstroommodellering.

De R&D is in U.K. gebleven, maar de argumenten om voor de productie deze vestigingsplaats te kiezen waren:

- vlak bij de belangrijkste klant (Samsung)
- goedkope grond, geen gezeur met vergunningen
- toegewijd personeel met de juiste ervaring (uit de toenmalige fabriek)

En tenslotte de zogenaamde groene weide politiek. In 9 maanden een gebouw, 15 maanden later een draaiende fabriek.

De lunch genoten we in het ruime bedrijfsrestaurant van Edwards vergezeld van onze rondleiders aan wie we nog vele vragen kwijt konden.

's-Middags brachten we een bezoek aan Kriss, een meetinstituut dat standaarden zet en beheert voor vacuüm. Het bezoek werd wisselend ervaren, sommigen vonden het

niet heel interessant, maar de echte liefhebber van apparatuur kon er zijn hart ophalen. Men had apparatuur in gebruik voor speciale toepassingen die je niet vaak ziet. Duidelijk was dat het instituut zeer hoge eisen stelt aan de technische kwaliteiten en de operationabiliteit.

We waren toch wel een flink eind uit de buurt van Seoul geraakt zo bleek. De terugreis duurde ruim twee uur. Dat Zuid-Korea een echt modern land is bleek wel uit de enorme files die we op de terugreis tegenkwamen. Richting Seoul stond de snelweg, met voor elke richting 6 rijstroken, kilome-

ters lang vol. Bussen, waaronder de onze mogen op een eigen vrije rijstrook op volle snelheid langs de files rijden. Maar terug in de stad kregen we onze eigen portie oponthoud. Halverwege de avond konden we pas terugkeren in ons hotel.

Donderdagmorgen was ruim een uur beschikbaar voor een bezichtiging van het researchcentrum van de Hanyang Universiteit in Seoul zelf. De Universiteit was een beetje een teleurstelling. We kregen geen goede uitleg over het onderzoek dat er wordt gedaan aan magnetische data opslag. Toch is dit onderzoek de moeite waard, na enig doorvragen werd verteld dat het gaat over toepassing van elektronspin om via magnetische geheugenmodules te beschrijven en uit te lezen. Dat zal binnen drie jaar leiden tot een nieuwe toepassing ter vervanging van flash geheugens die een doorbraak zal betekenen in miniaturisering en uit uiteindelijk ook in kostprijs. Verdere details werden tijdens het bezoek niet duidelijk. Het onderzoek is een samenwerking met twee andere, elkaar normaliter op leven en dood beconcurrerende partijen: LG en Samsung. De universiteit is privaat gefinancierd en beschikt over het neusje van de zalm op het gebied van apparatuur. Diverse cleanrooms bijzondere sputterinstallaties en analyse apparatuur zoals TEM en SEM. Er was te weinig tijd om uitgebreid te smullen van de unieke verzameling van apparaten die de ware specialist doet watertanden. Na afloop bracht de hotelbus die ons naar de universiteit had gebracht en dankzij het flink tippen van de chauffeur op ons was



Figuur 6 De Universiteit

blijven wachten, naar een enorme paleistuyn, tevens tempelcomplex uit een lang vervlogen dynastie, net buiten de stad aan de voet van de heuvels. Na bezichtiging wandelden we terug naar het hotel begeleid door Heejong Roh van de Won Chang fabriek die ons die hele week voortdurend bijstond in onze escapades.



Figuur 7 An Italian in Seoul

Onderweg laat hij als een doorgewinterde stadsgids de speciale plekje zien. Seoul is een echte wereldstad met zo'n 12 miljoen inwoners. Een kwart van de Zuid-Koreanen woont in de regio. Er zijn in de stad natuurlijk de onvermijdelijke wolkenkrabbers om te kunnen meetellen op het wereldtoneel, maar de laagbouw domineert net als de kleinschaligheid op straat. Verder is de sfeer precies zoals die in de bekende Aziatische hoofdsteden, alleen de zo kenmerkende dooreen krioelende chaos is hier slechts ogenschijnlijk aanwezig. Er is een duidelijke structuur voelbaar en een bepaalde rust. Ook de luchtvervuiling ontbreekt net als rommel op straat. Kortom een in veel opzichte aangename stad om te zijn. Je zou kunnen zeggen dat Zuid Korea het Zwitserland van Azië is. Er is duidelijke een hoge levensstandaard, de bevolking oogt gelukkig en is vriendelijk en de stad opgeruimd. De auto's van eigen makelij zijn nieuw en luxe, de infrastructuur tip top in orde. De lange wandeling was toch wel wat zwaar en voor het laatste stukje werd de metro gekozen.

Het galadiner donderdagavond, aangeboden door de NEVAC, was nog een heel

probleem omdat we een eetgelegenheden moesten vinden voor maar liefst 36 gasten. In de buurt van het hotel konden we uiteindelijk alleen bij een luxe ingericht Italiaans restaurant terecht, waar men zich voor ons strikte budget waarover flink onderhandeld moest worden, toch reusachtig had uitgesloofd.



Figuur 8 Licht voor de toekomst

vier uur en bij aankomst werden we hartelijk ontvangen met een warme lunch, waar we hard aan toe waren. Het er op volgende bezoek, na een inleidende film over het Instituut, overtrof alle verwachtingen. PAL exploiteert een synchrotron dat geheel door de Zuid-Koreaanse regering is gefinancierd en niet onderdoet voor andere bekende internationaal gefinancierde light sources. Het bijzondere van dit synchrotron geschikt voor 36 beamlines, is dat het monochromatische bundels van infrarood tot harde röntgen produceert. Eerst bezochten we het synchrotron zelf waarbij we in de cirkelvormige tunnel vrijuit konden rondlopen. Het bezoek was zo gepland dat de versneller voor servicewerkzaamheden was uitgeschakeld waardoor we onder afwezigheid van straling naar binnen konden. Vervolgens kregen we nog een kans om de Linac te zien. De Linac is de lineaire versneller die het synchrotron aandrijft. Vooral de elektronenbron was een prachtig staaltje van precisie mechanica in UHV waardoor ook van menig Nevac lid de hartslag versneld raakte. Het bezoek werd afgesloten met een rondgang door de service afdelingen, waar interessante apparatuur te vinden was. Het hele laboratorium maakte een verzorgde en professionele indruk. We kregen nog te horen over de zeer ambitieuze toekomstplannen van het Instituut. Ze hadden namelijk net ruim 200 miljoen (Euro) gekregen om een eigen X/FEL te bouwen, voorwaar een bijzonder project voor een klein land als Zuid Korea, waar we in Europa bijna alle landen hebben laten meebetalen aan een vergelijkbare faciliteit.

JO HERMANS
With illustrations by Wiebke Drenckhan

Physics in Daily Life

This is a book for curious minds: these pages hold the wonders of a candle flame, the secret of surviving the sauna heat, and the mysteries of bubbles and balloons. Find answers to questions like 'Why is water blue? How do we localize sound? Why is ice so slippery?' and 'What is the speed of falling raindrops?'

Written by Jo Hermans and illustrated by Wiebke Drenckhan, this book represents science at its most accessible and satisfying. To quote Sir Arnold Wolfendale FRS (Past-President of the EPS) in his foreword: "The present volume is a feast of erudition and humour, by way of the excellent accompanying cartoons as well as the subject matter".

For everybody with a bit of physics background this book playfully reveals insights into everyday conundrums. This is science at its most accessible and satisfying.

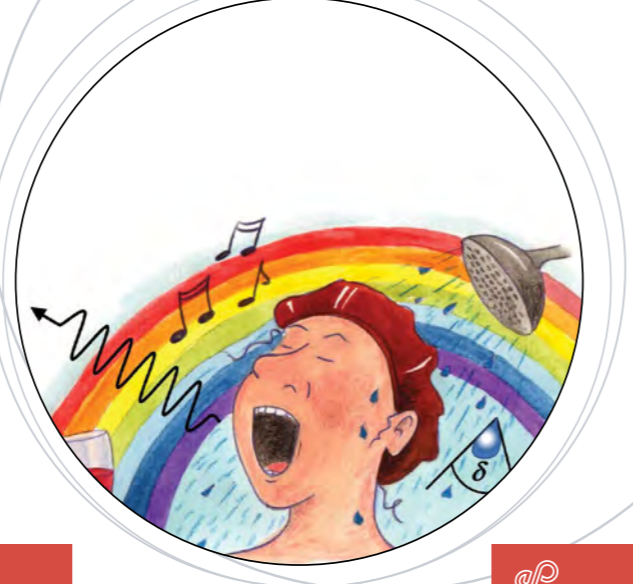
Prof. L.J.F. Hermans is Emeritus Professor of Physics at Leiden University, The Netherlands. In addition to his academic teaching and research career he was quite active in promoting and explaining science for the general public.

ISBN : 978-2-7598-0705-5
18 € TTC - France
www.edpsciences.org

JO HERMANS
With illustrations by Wiebke Drenckhan

Physics in Daily Life

Foreword by Sir Arnold Wolfendale



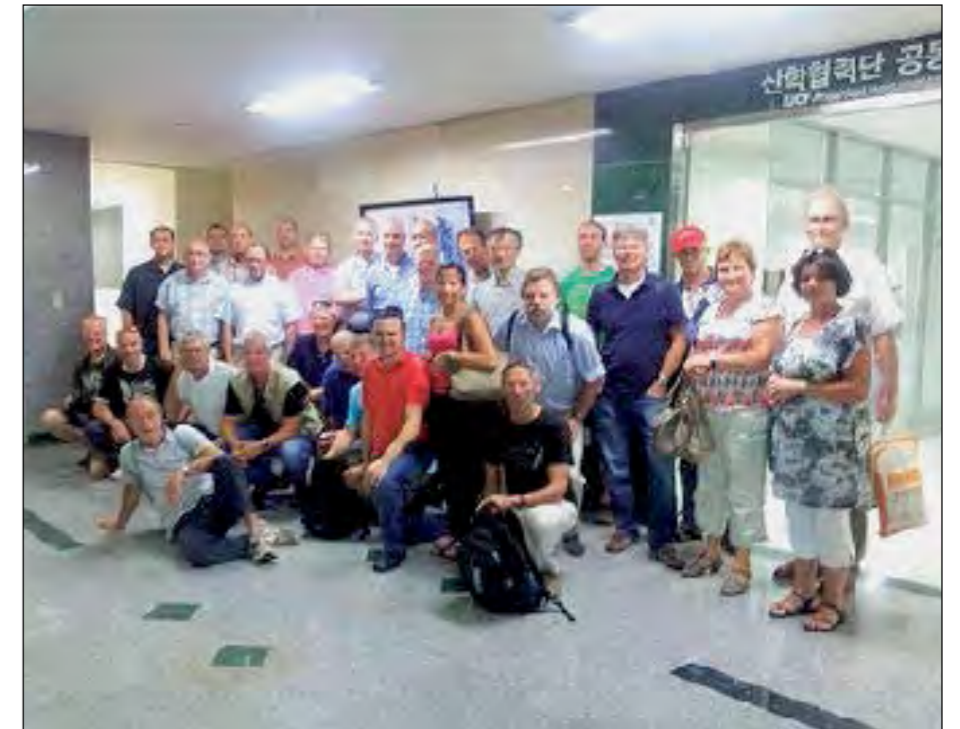
Physics in Daily Life - JO HERMANS

EDP
SCIENCES

Dit en eigenlijk alle bezoeken, doordringen ons er van dat Zuid Korea grote ambities heeft en zich steeds sneller opstuwt in de vaart der volkeren. Een land dat klaar is voor de toekomst en de klap van de Azië-crisis van eind vorige eeuw heeft weten om te zetten in een duidelijke voorsprong op veel andere landen en zich zeker niet zal laten weerhouden om in de komende decennia alle grote industriële mogelijkheden naar de kroon te gaan steken.

Op zaterdag lukt het nog op het nippertje om een bezoek aan de grens met Noord Korea te regelen. Onze buschauffeurs heeft het weekend vrij maar Heejong weet raad en beweegt de busmaatschappij er toe om ons er voor een zacht prijsje naar toe te brengen. Dat komt de chauffeur die ons ook de volgende dag naar het vliegveld moet brengen op een mooie tip te staan en zo is iedereen tevreden. De reis naar huis verloopt net zo voorspoedig als de heenreis. Een klein gezelschap blijft achter om op eigen gelegenheid nog wat rond te reizen in dit mooie land.

Juli 2012, Rob Klöpping



Figuur 9 Bofkonten!



Vacuüm Specials B.V.

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

Specialist voor Vacuum- and Cryogene toepassingen

Vacuümtechniek:

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



Cryotechniek:

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

VS
VACUÛM SPECIALS

Rosmolenlaan 3, 3447 GL Woerden - Postbus 314, 3440 AH Woerden - Telefoon: +31 (0)348 436 080 Fax: +31 (0)348 436 089
E-mail: vs@vacuumspecials.nl www.vacuumspecials.nl



Figuur 10 North is North and South is South, will they ever meet?



NEVAC prijs

Deel je onderzoek of kennis op het gebied van vacuümtechniek en

WIN €1000,-

De NEVAC belooft zowel het beste **wetenschappelijke*** als het beste **technische** verhaal met €1000,-.

Stuur voor 15 januari 2013 een duidelijk en helder wetenschappelijk of technisch artikel voor een breed fysisch en chemisch publiek naar het NEVAC blad.

Het artikel kan per email worden verzonden aan secretaris@nevac.nl

Kijk voor meer informatie op de website van de NEVAC:

www.nevac.nl

* Nevac prijs is uitsluitend voor studenten, promovendi en technici

QUADRUPOLES FOR ADVANCED SCIENCE

PRECISION GAS ANALYSIS

- Instruments for residual gas analysis (RGA)
- Evolved gas analysis
- TPD/TPR
- Vacuum process monitoring



UHV SURFACE SCIENCE

- UHV specific pulse counting detector
- Photon and electron stimulated desorption
- Molecular beam studies
- Temperature programmed desorption
- SIMS - high sensitivity surface analysis



PLASMA CHARACTERISATION

- EQP ion mass and energy analyser
- RF, DC, ECR and pulsed plasma
- Neutrals and neutral radicals
- Time resolved analysis



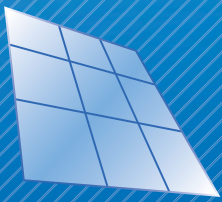
for further details of Hiden Analytical products contact:



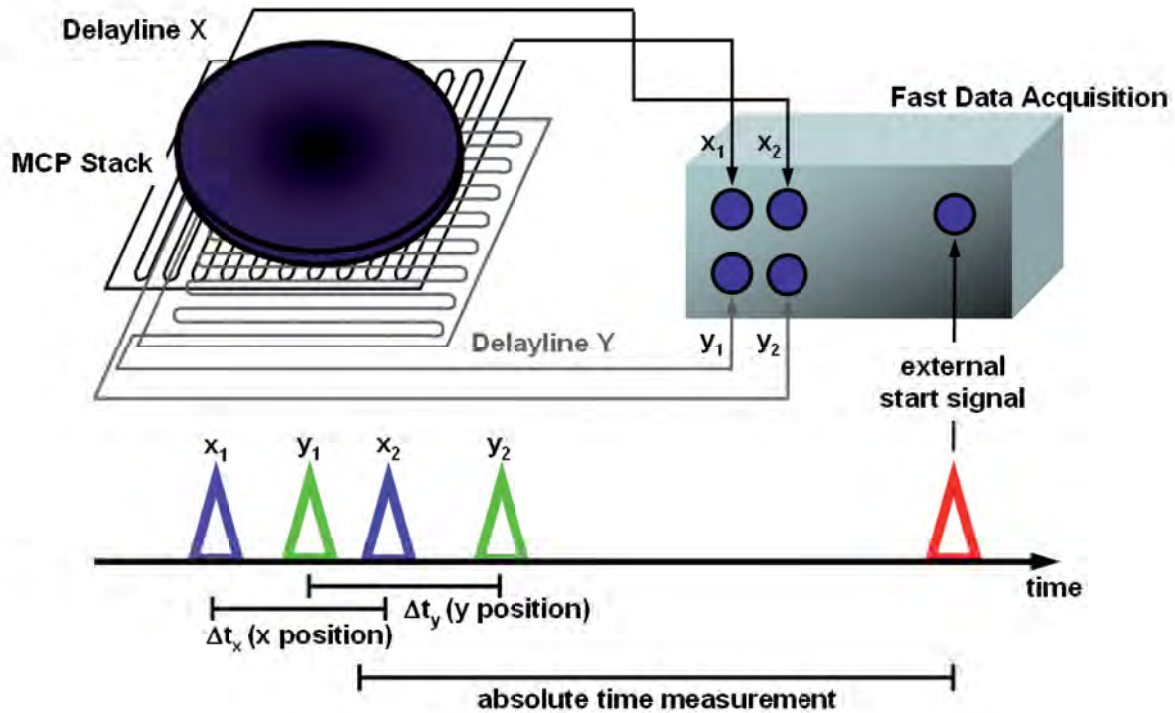
info@hiden.co.uk
www.HidenAnalytical.com

wolfgang.kerschbaum@benelux-process.com
www.benelux-process.com

Quadrupoles for advanced science



Principle of the 3D (x, y, t) delayline operation



Delay Line Detector Systems

Strengths

- No read out noise
- High time resolution
- High sensitivity in low signal levels
- Counting electrons, ions, x-rays and UV
- Position and time information in single event counting

Benefits

- Imaging with high contrast at low source intensities
- Imaging of electrons, ions, X-rays, UV
- High time resolution in TOF experiments
- Long measurement times in TOF experiments

Applications

- Analysis techniques like XPS, TOF
- Synchrotron experiments
- Electron microscopy
- Particle imaging

