

NEVAC **BLAD**

jaargang 53 / nummer 1 – maart 2015

Real-time afbeelden van dunne-filmgroei

Comparing graphene growth on
Cu(111) versus oxidized Cu(111)

Elektrolytisch polijsten



NEDERLANDSE
VACUÛMVERENIGING

NEVAC-dag
vrijdag 17 april
Het Kasteel Groningen



VACUUM SOLUTIONS FROM A SINGLE SOURCE

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

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

Are you looking for a perfect vacuum solution? Please contact us:
Pfeiffer Vacuum Benelux B.V. · T +31 345 478 400 · F +31 345 531 076
office@pfeiffer-vacuum.nl · www.pfeiffer-vacuum.com



Colofon

Redactie

Claud Biemans, eindredacteur
 Bas Dielissen
 Hans van Eck, hoofdredacteur
 Ad Ettema
 Erwin Kessels
 Fred Schenkel

Web-adres

www.nevac.nl

Redactiesecretariaat

NEVAC
 Delftechpark 26
 2628 XH Delft
 redactie@nevac.nl

Abonnementenadministratie

NEVAC
 Delftechpark 26
 2628 XH Delft

Abonnementen

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

Advertentie-exploitatie

NEVAC
 Delftechpark 26
 2628 XH Delft

Grafische vormgeving

Claud Biemans
 www.frontlinie.nl

Verschijningstijdstippen 2015

Maart
 Juni
 December

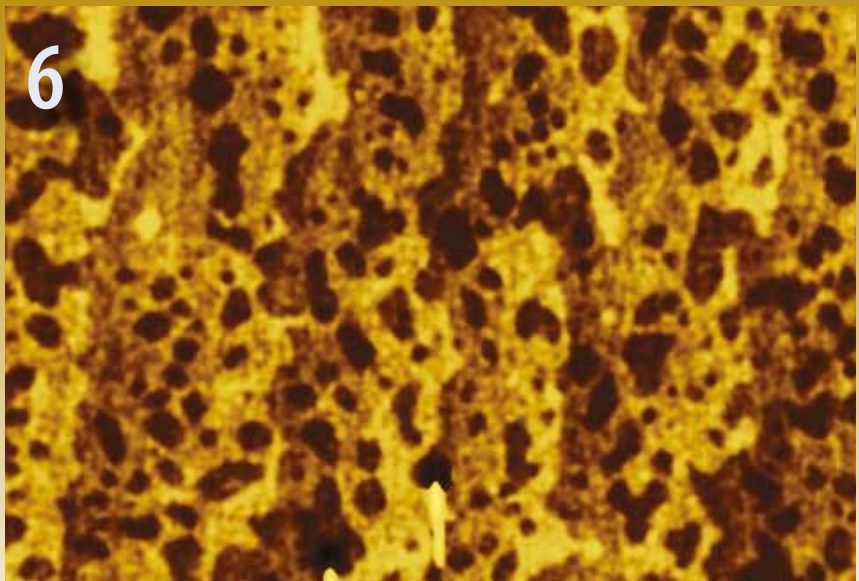
Kopij inzenden naar het redactiesecretariaat. Lidmaatschap opgeven bij de ledenadministratie. Abonnementen opgeven bij abonnementenadministratie.

Vergoeding kopij

Artikelen in het Nederlands over vacuümtechniek en haar toepassingen in de wetenschap en industrie worden door de redactie zeer op prijs gesteld. Voor studenten en promovendi is een vergoeding van € 250,- per gepubliceerd artikel beschikbaar.

ISSN 0169-9431

Bij de omslag



Op de voorpagina staat een hoge-snelheid-AFM-afbeelding van een SrTiO₃ oppervlak.

- 5 **Van de redactie:** Wetenschap en industrie *Ad Ettema*
- 6 **Real-time afbeelden van dunne-filmgroei** *W.A. Wessels, T.R.J. Bollmann, G. Koster, G. Rijnders*
- 10 **Uitslag NEVAC-prijs 2015** *Hans van Eck*
- 11 **De NEVAC-buitenlandexcursie naar San José en Silicon Valley in de VS (Westkust)**
- 12 **Vacuümtechniek:** Nor-Cal, elektrolytisch polijsten
- 14 **Comparing graphene growth on Cu(111) versus oxidized Cu(111)** *Stefano Gottardi, Kathrin Müller, Luca Bignardi, Juan Carlos Moreno-López, Tuan Anh Pham, Oleksii Ivashenko, Mikhail Yablonskikh, Alexei Barinov, Jonas Björk, Petra Rudolf, Meike Stöhr*
- 19 **NEVAC day 2015**
- 20 **Programme and abstracts NEVAC day 2015**
- 26 **Concept notulen NEVAC ALV 2014**
- 27 **Agenda ALV 2015**
- 28 **Financieel jaarverslag 2014**
- 29 **Mededeling van de Commissie Opleidingen**
- 30 **Resultaten enquête bedrijfsleden NEVAC** *Ron van Vossen*
- 31 **Richtlijnen bedrijfsrubrieken**
- 32 **Agenda**
- 33 **Viewport:** Specs Surface Nano Analysis GmbH
- 35 **Nieuw product:** NanoESCA

De sluitingsdatum van kopij voor het tweede nummer van het *NEVAC blad* 2015 is 15 mei 2015.

UNIVERSITY OF **WORLD CHANGING EXPERIMENTS.**



DUNNE FILM TECHNOLOGIEËN MAKEN EEN SPECTACULAIRE ONTWIKKELING DOOR: WE BEHALEN ATOMAIRE PRECISIE EN WE BREKEN WERELDRECORDS IN REFLECTIE VAN XUV-STRALING. DE ONDERZOEKERS VAN HET MESA+- INSTITUUT, BINNEN DE UNIVERSITY OF TWENTE, ZIJN GEDREVEN DOOR INDUSTRIËLE INNOVATIE. EN ZIJ BESCHIKKEN OVER EEN STATE-OF-THE-ART DUNNE FILM LABORATORIUM MET UNIEKE ONDERZOEKSMOGELIJKHEDEN. OM HET TEAM TE VERSTERKEN ZOEKEN WIJ EEN

RESEARCH ENGINEER M/V

ALS RESEARCH ENGINEER:

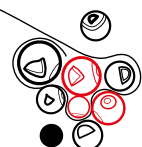
- BENT U VERANTWOORDELIJK VOOR DE ONTWIKKELING EN HET ONDERHOUD VAN HET PARK VAN HIGHTECH DEPOSITIE- EN ANALYSEAPPARATUUR.
- BENT U BETROKKEN BIJ HET UITVOEREN EN COÛRDINEREN VAN EXPERIMENTEN.
- MAAKT EN KARAKTERISEERT U COMPLEXE DUNNE FILM SYSTEMEN.
- PAST U COMPLEXE DUNNE FILM SYSTEMEN TOE.
- BEHEERT U EEN CLUSTER VAN GEAVANCEERDE APPARATUUR. U VULT DIT ZO NODIG AAN EN U BENT VERANTWOORDELIJK VOOR HET ONDERHOUD.

GEÏNTERESSEERD?

GA VOOR MEER INFORMATIE ZOALS FUNCTIEPROFIEL EN SOLLICITATIEPROCEDURE NAAR UTWENTE.NL/VACATURES

UNIVERSITY OF TWENTE.

HIGH TECH HUMAN TOUCH





Verenigingsgegevens

Ereleden

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

Bestuur

Dr. A.F. Otte, voorzitter
Dr. I. Swart, vice-voorzitter
J.W.M. van Kessel, secretaris
Dr. A.R.H.F. Ettema, penningmeester

Verenigingssecretariaat

Jan W.M. van Kessel
jwmvankessel@gmail.com of
secretaris@nevac.nl

Adres ledenadministratie

p/a Dr. A.R.H.F. Ettema
NEVAC, Delftechpark 26,
2628 XH Delft, The Netherlands
Telefoon: +31 15 2600406
Fax: +31 15 2600405
e-mail: penningmeester@nevac.nl

Inlichtingen over opleidingen en examens

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

Penningmeester NEVAC

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

Contributies

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

Wetenschap en industrie

Deze eerste editie van *het NEVAC blad* in 2015 laat zien dat de Nederlandse vereniging voor vacuüm en vacuüm gerelateerde technologieën een beroepsvereniging is die reikt van hoogstaande wetenschap tot diverse industriesectoren. De vereniging kent daarom, naast het gewone persoonlijke lidmaatschap, het bedrijfslidmaatschap voor rechtspersonen.



Onder deze leden is eind vorig jaar een enquête gehouden met als doel het lidmaatschap van de vereniging voor deze doelgroep ook in de komende jaren aantrekkelijk te houden. De uitslag van deze enquête treft u in dit nummer aan, waarbij we tevens twee nieuwe, korte *highlight*-rubrieken in het leven roepen om, naast de wetenschappelijke artikelen, aandacht te besteden aan technische aspecten van producten en een bedrijfslid. In deze editie aandacht voor het nieuwe bedrijfslid Specs Nano Surface Analysis GmbH in Berlijn en een elektronenanalysator van Omicron Nanotechnology GmbH.

De NEVAC-prijs bestaat sinds 2011 en dit jaar wordt de vijfde NEVAC-prijs in Groningen uitgereikt. In de afgelopen vijf jaar hebben we zowel het aantal als de kwaliteit van de inzendingen sterk zien stijgen. Dit jaar zijn er maar liefst zeven inzendingen. De winnende inzending van Jaap Kautz en Johannes Jobst uit Leiden mocht hierbij rekenen op een unaniem oordeel van de jury. Ze hebben experimenten gedaan met een LEEM-instrument aan zeer dunne films waarbij de elektrische stromen door de dunne structuren zichtbaar worden gemaakt met behulp van potentiometrietechniek. Een uniek resultaat en zeer belangrijk voor in situ studies van elektrische stromen in devices op nanoschaal. Door omstandigheden zullen we het winnende artikel in een komend nummer opnemen.

Een van de belangrijkste evenementen van de vereniging is de jaarlijkse NEVAC-dag. Deze wordt dit jaar op 17 april door Meike Stöhr in Groningen georganiseerd. Met sprekers uit binnen- en buitenland – van wetenschap tot industrie – die het vacuüm vanuit verschillende oogpunten benadrukken. Een zeer interessant programma dat de reis naar Groningen zeker rechtvaardigt.

Tot slot vinden we in dit nummer de gebruikelijke notulen en jaarverslagen voor de jaarvergadering en een oproep voor een zeer interessante excursie naar de Verenigde Staten later dit jaar.

Ad Ettema

Real-time afbeelden van dunne-filmgroei

De groei van dunne films heeft al tot de ontwikkeling van vele actieve en passieve componenten in elektronica en optica geleid. Een veelbelovende techniek voor de groei van zulke dunne films is gepulste laserdepositie (PLD), waarmee films met de precisie van één enkele atoomlaag op substraten worden gegroeid. Het begrijpen van deze groei is noodzakelijk om fysische eigenschappen en toepassingen te kunnen controleren. De ontwikkeling van de reflectie hoge-energie elektrondiffractie (RHEED), een oppervlak-tegevoelige meettechniek, maakte het al mogelijk om de condities voor groei te bestuderen. Maar doordat RHEED niet gevoelig is voor lokale dichtheidsveranderingen is het onmogelijk om de kinetiek van atomen en de clusters die ze vormen te bepalen tijdens de groei. Door gebruik te maken van atoomkrachtmicroscopie (AFM) is het mogelijk de evolutie van eilanden op het oppervlak gedurende de groei af te beelden. Hier beschrijven we de ontwikkeling van een *in situ* AFM om de dunne-filmgroei tijdens PLD af te beelden in een vacuüm met een 10^{-1} tot 10^{-6} mbar O_2 achtergronddruk.

W.A. Wessels, T.R.J. Bollmann, G. Koster, G. Rijnders

*Inorganic Materials Science, MESA+ Institute for Nanotechnology, Universiteit Twente,
P.O. Box 217, 7500 AE Enschede
E-mail: w.a.wessels@utwente.nl*

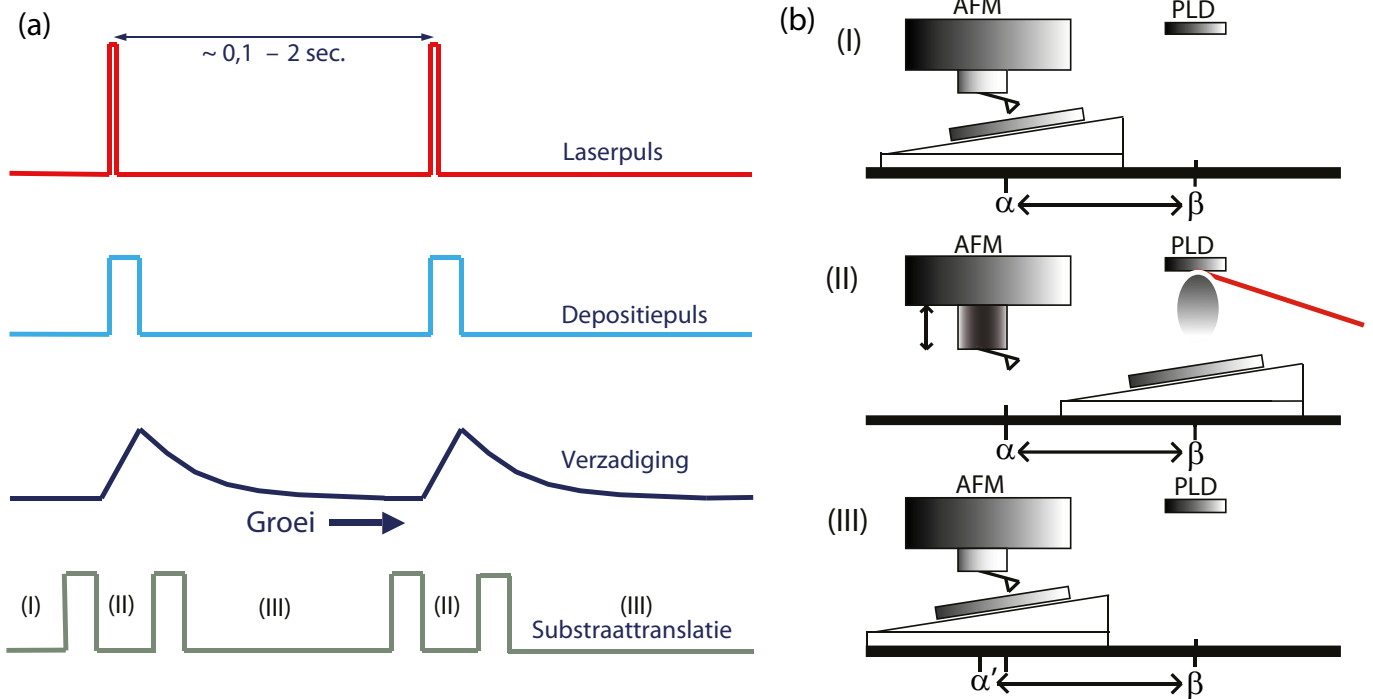
Na de ontdekking van het hoge-temperatuursupergeleidende LaBaCuO materiaal, ontstond er een grote interesse in de mogelijkheden voor de groei van nieuwe materialen met behulp van de PLD-techniek [1]. PLD onderscheidt zich onder andere van andere opdamptechnieken door de hoge depositieflux van materiaal, een parameter die het groeikarakter van de dunne film en daarmee de uiteindelijke fysische eigenschappen en toepassingen sterk beïnvloedt. Daarnaast is het met deze depositietechniek mogelijk laag voor laag films te groeien in een regime waar normaal atomair ruwe groei plaatsvindt. De ontwikkeling van RHEED, gecombineerd met een PLD vacuümsysteem [2], leidde al tot vele nieuwe mogelijkheden en ontdekkingen. Daarbij

wordt RHEED met name gebruikt om oppervlaktereconstructies te bepalen en het groeikarakter te meten en te controleren gebaseerd op de kristalliniteit en ruwheid van het oppervlak, die sterk kunnen veranderen tijdens de groei. Eén van de belangrijke observaties leerde dat de terminatie van het substraatoppervlak in complexe oxiden bepalend is voor het groeikarakter van de dunne laag [3]. De groei van niet-atomair gladde films is lastig met RHEED te volgen. Door een meettechniek te gebruiken die, in tegenstelling tot RHEED, zeer lokaal (op de nanoschaal) meet, is het mogelijk om de dichtheid en groei van eilanden op het oppervlak direct te volgen en die te relateren aan de diffusie van atomen tussen de depositiepulsen.

Groeidiagnostiek

AFM is zo'n lokale microscopietechniek voor het meten van topografische eigenschappen op de nanoschaal in condities variërend van vacuüm en lucht tot in vloeistoffen. De sensor van de microscoop bestaat uit een veer (*cantilever*) met een atomair scherpe naald (*tip*) die dichtbij het substraatoppervlak wordt gepositioneerd. De topografie van het oppervlak wordt gemeten met een piëzolengteverandering door de interactie (en dus afstand) tussen het oppervlak en de naald constant te houden.

Om de groeikinetiek tussen de PLD-pulsen te kunnen afbeelden met een AFM, moeten PLD en AFM geometrisch in positie gescheiden zijn (zie figuur 1), de tijd tussen de depositie puls en de start



Figuur 1 In PLD zijn depositie en groei gescheiden in tijd. (a) De hoge verzadiging vindt plaats tijdens de depositiepus. Na de puls kan de groeikinetiek worden gemeten aan de hand van de afname van eilanddichtheid op het oppervlak. (b) het substraat wordt verplaatst tussen AFM (I) en PLD (II) en terug (III).

van de AFM-meting geminimaliseerd worden ($< 0,5$ s), de scansnelheid van de AFM moet worden gemaximaliseerd (in de orde van seconden/frame) en het trillingsniveau voldoende laag (< 1 Å) zijn. Doordat PLD veelal wordt toegepast met een typische achtergronddruk van zuurstof variërend van 10^{-1} tot 10^{-6} mbar, resulteert dit in een gereduceerde meetsnelheid en instabiliteit in *tapping mode* of amplitudemodulatie AFM (AM-AFM). Door gebruik te maken van een terugkoppeling op de frequentie van de veer in plaats van zijn amplitude, is de meetsnelheid onafhankelijk van het gebruikte vacuüm en stabiel in *non-contact* of frequentiemodulatie AFM (FM-AFM).

Bij de huidige commercieel verkrijgbare AFM duurt het vaak minuten om één enkele afbeelding te verkrijgen. In deze tijd hebben zich de meeste groeiprocessen in de dunne film al voltrokken en is de evolutie van eilanden dus niet te volgen. Om sneller het oppervlak af te kunnen beelden, dienen met name de snelheid van aansturing en data-acquisitie van de elektronica, de bandbreedte van het de-

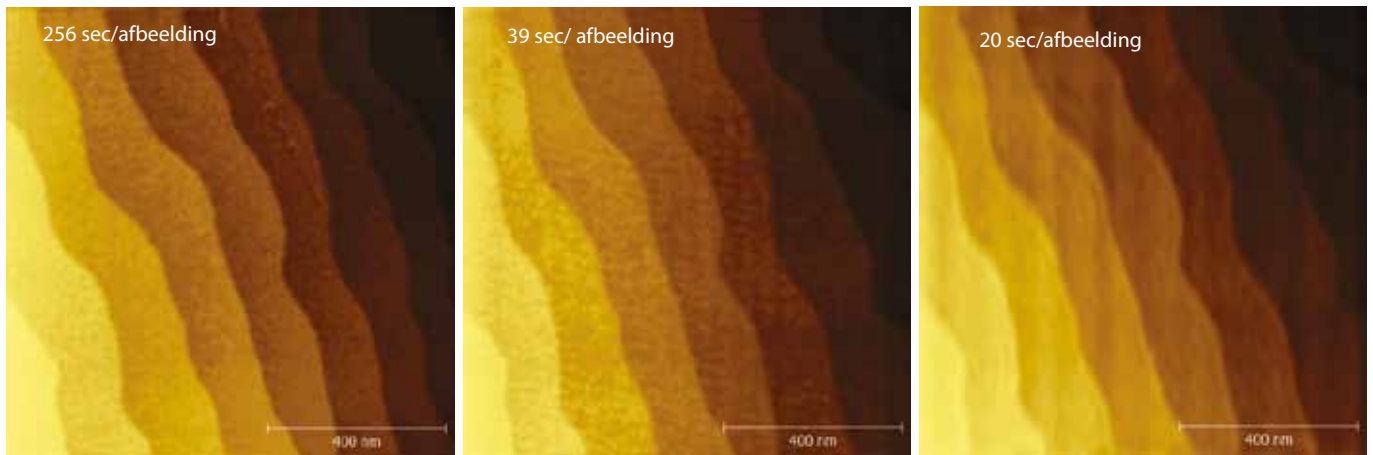
tectiesysteem en de resonantiefrequenties van de krachtsensor en de scankop (zie figuur 3) [4] geoptimaliseerd te worden. De scansnelheid van AM-AFM in vacuüm is mechanisch gelimiteerd, terwijl in FM-AFM de bandbreedte van de demodulatie van de frequentieverschuiving juist limiterend is. Deze bandbreedte is met de huidige elektronicaontwikkeling (50 kHz in onze huidige opstelling) erg verbeterd zodat FM-AFM de potentie heeft om veel sneller te scannen in het vacuüm dan AM-AFM.

De elektronica van de beschreven opstelling is ontwikkeld in samenwerking met Leiden Probe Microscopy BV [5]. Daarbij is gekozen om gebruik te maken van een AFM-*flexure*-scankop, waarbij de beweging in het vlak is ontkoppeld van de beweging loodrecht daarop, om zo de resonantiefrequentie van de scanner te verhogen. De laagste resonantiefrequentie van de AFM-scankop ligt rond 19 kHz wat betekent dat deze AFM-scankop minimaal 200 lijnen per seconde kan scannen zonder te resoneren. Deze elektronica is geïntegreerd met een interferometer die gebruikt wordt voor de

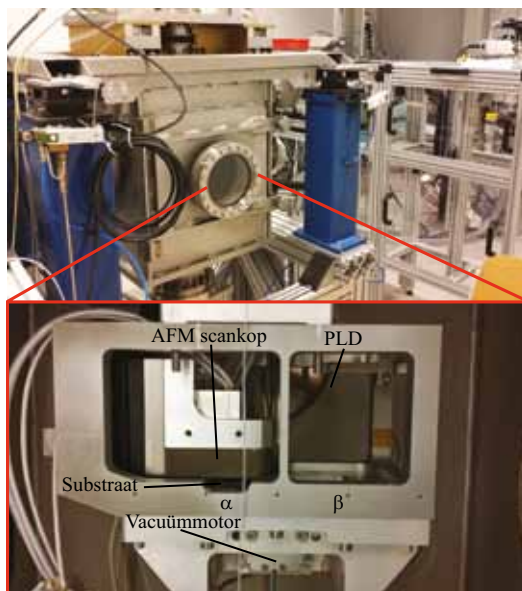
optische detectie van het oscilleren van de veer.

AFM 'gelijktijdig' met PLD

Het PLD-target en scankop van de AFM worden geometrisch gescheiden (zie figuur 1 en 3) om de groei te kunnen bestuderen en het depositieproces niet te verstoren. Dit betekent dat het verwarmingselement met substraat in vacuüm verplaatst moet worden met behulp van een vacuümmotor van PLD-positie (zie markering β in figuur 1 en 3) naar de AFM-positie (zie markering α in figuur 1 en 3) wat zorgt voor tijdsverschil tussen aanvang van de groei en start van de meting. Om het resulterende dataverlies te minimaliseren moet de AFM zo snel mogelijk starten met het afbeelden van het oppervlak na de PLD-puls. Dit houdt in dat de AFM-scankop zo dicht mogelijk bij de PLD-positie wordt geplaatst, de translatiesnelheid van het sample tussen de PLD-positie en AFM-positie moet worden gemaximaliseerd en de naald zo snel mogelijk in interactie met het oppervlak moet komen. Het zo dichtbij mogelijk plaatsen van de AFM-scankop bij het



Figuur 2 1,2*1,2 μm^2 opname met de ontwikkelde in situ-AFM. De opname laat afbeeldingen zien van een SrTiO_3 oppervlak in lucht op verschillende lijnsnelheden waarbij de snelheid wordt gelimiteerd door de resonantiefrequentie van de veer.



Figuur 3 Ontworpen PLD-AFM-vacuümpopstelling in het Nanolab van de Universiteit Twente. De bovenste foto is een vooraanzicht van de vacuümkamer, geplaatst in passieve demping. De onderste foto is een vooraanzicht van het AFM-PLD-frame, links is de AFM-scankop te zien en rechts de PLD-ruimte.

target wordt designtechnisch gelimiteerd door de straal van het plasma als gevolg van de laserpuls, een afschermingschild tussen PLD plasma en de AFM scankop en de dimensies van de AFM scankop (zie figuur 1 en 3). Het maximaliseren van de translatiesnelheid wordt gelimiteerd door de vacuümmotor.

Het met de naald naderen van het oppervlak is normaal erg tijdrovend en kost minstens een halve minuut. Om de groei af te kunnen beelden, zou deze tijd minimaal gereduceerd moeten worden tot minder dan een seconde. In een conventionele AFM wordt de naald loodrecht naar het oppervlak bewogen met een pi-

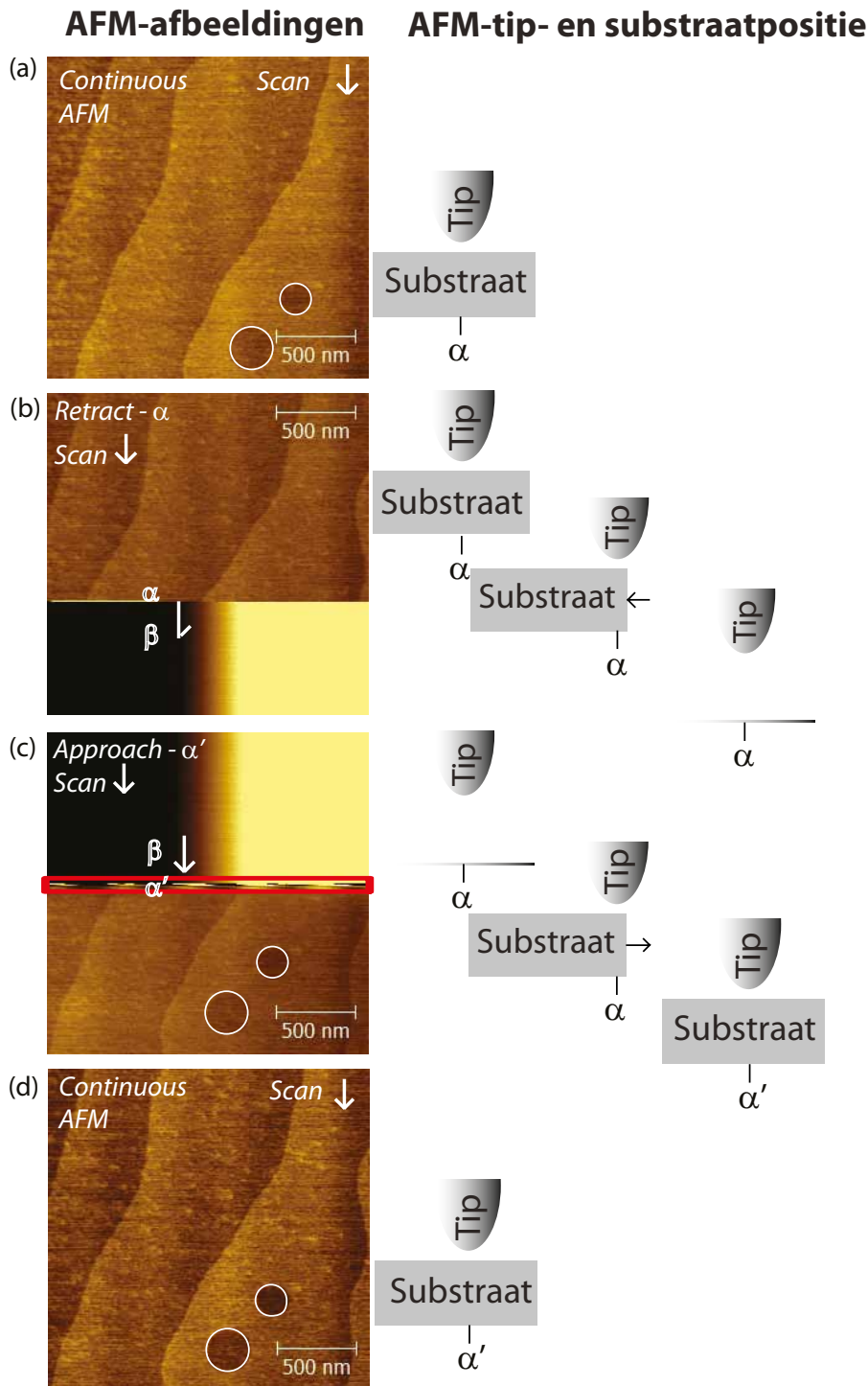
ezomotor tot deze in interactie met het oppervlak is waarna het scannen wordt gestart. Om deze tijdrovende benadering te omzeilen maken we gebruik van een door ons ontwikkelde en gepatenteerde *side approach*-techniek [6,7]. Deze naderingstechniek maakt gebruik van de horizontale translatie van het substraat tussen de PLD- (β) en AFM-positie (α) en de terugkoppelingsslus van de AFM door het substraat onder een zeer kleine hoek te plaatsen (zie figuur 1b). De hoek in het sample kan worden gezien als oppervlakterutheid waarbij het laagste punt van het substraat is gericht in de richting van de AFM. Op het moment dat het

substraat onder de AFM wordt bewogen richting de PLD-positie (beweging start bij A in figuur 4b), zal de afbeelding verdwijnen doordat de interactie tussen naald en oppervlak verdwijnt. Eenmaal terugbewegend richting de AFM-positie (zie figuur 1b) ondervindt de naald opnieuw weer interactie met het oppervlak waardoor het oppervlak weer wordt afgebeeld (halverwege figuur 4c). Wanneer de vacuümmotor de translatie beëindigt, wordt het oppervlak door de AFM verder afgebeeld doordat de naald continu blijft scannen, zowel tijdens aan- als afwezigheid van het substraatoppervlak.

Merk hierbij op dat bij het plaatsen van het substraatoppervlak onder een kleine hoek, de snelheid van naderen in verticale richting veel langzamer is dan de horizontale substraattranslatie. Uit meer dan honderd opeenvolgende *side approach*-metingen blijkt dat de veer niet merkbaar (gemeten aan de hand van de kwadratisch gemiddelde oppervlakterutheid) aan afbeeldingskwaliteit (resolutie) verliest. De herpositionering van het substraat is binnen 100 nm nauwkeurig met correctie voor thermische drift. Bij een afstand van 57 mm tussen AFM en PLD blijkt dat binnen 0,5 s het afbeelden van het oppervlak weer kan beginnen.

Conclusies

Onze in situ AFM is een nieuw diagnostisch instrument om de groei van dunne films in real-time te bestuderen. Dit ap-



Figuur 4 Hoge-snelheid-AFM-afbeeldingen van een SrTiO_3 oppervlak voor (a), tijdens (b,c) en na voltooiing van (d) de *side approach*. Meer achtergrondinformatie staat beschreven in [7].

paraat is uniek doordat het substraat-oppervlak tijdens groei lokaal wordt afgebeeld, in tegenstelling tot diffractietechnieken. PLD-gegroeide films kunnen daardoor bestudeerd worden door de evolutie van eilanden af te beelden tussen de depositiepulsen. Met het instrument kan de groei van dunne films

in detail bestudeerd, geoptimaliseerd en uiteindelijk zelfs gemanipuleerd worden, zodanig dat er controle is over de fysieke eigenschappen voor toekomstige materiaaltoepassingen. Met de AFM-meettechniek is het bovendien mogelijk om zowel elektrisch isolerende als ook geleidende oppervlakken af te beelden in

tegenstelling tot elektronenmicroscopietechnieken. Daardoor is het mogelijk om de groei van zeer diverse materialen af te beelden zoals bijvoorbeeld oxiden, metalen en nitriden. In de vacuümcondities, opgelegd door PLD, blijkt dat FM-AFM de beste scanmodus oplevert voor wat betreft scansnelheid en stabiliteit. Door gebruikmaking van de *side approach*-techniek kan de tijd tussen de depositiepulsen en het afbeelden van het oppervlak gereduceerd worden tot minder dan 0,5 s zonder verlies aan resolutie. Daarnaast heeft de *side approach*-techniek potentie om toegepast te worden in andere processen waarbij het oppervlak wordt gemodificeerd in vacuüm waarbij monitoring zoals hier beschreven een vereiste is om de voortgang van de modificatie te controleren.

Dankwoord

Dit onderzoek is onderdeel van het onderzoeksprogramma Nanonext 9A Nanoinspectie en karakterisering. De auteurs bedanken Leiden Probe Microscopy voor de samenwerking met betrekking tot de ontwikkeling van de hoge-snelheid-AFM in vacuüm, Imotec voor de ontwikkeling en advies van het substraattranslatiesysteem, Dominic Post voor het ontwerpen van de vacuümkamer.

Referenties:

- 1 J.G. Bednorz and K.A. Muller, *Z. Phys.* **B.64** (1986) 189.
- 2 G. Rijnders, G. Koster, D.H.A. Blank and H. Rogalla, *Appl. Phys. Lett.* **70** (1997) 1888.
- 3 G. Koster, B. Kropman, G. Rijnders, D.H.A. Blank and H. Rogalla, *Appl. Phys. Lett.* **73** (1998) 2920.
- 4 T. Ando, T. Uchihashi and T. Fukuma, *Prog. Surf. Sci.* **83** (2008) 337.
- 5 European Patent EP, 06076925.4, 2006 and US 8438661.
- 6 M.J. Rost et al., *Rev. Sci. Instr.* **76** (2005) 053710.
- 7 W.A. Wessels, J.J. Broekmaat, R.J.L. Beenders, G. Koster and G. Rijnders, *Rev. Sci. Instr.* **84** (2013) 123704.

Uitslag NEVAC-prijs 2015

Na enkele jaren ervaring met de NEVAC-prijs weet ik dat de standaardvergoeding van 250 euro per geplaatst artikel, en een kans op maar liefst 1000 euro voor het beste artikel, niet zomaar voldoende inzendingen oplevert. Gelukkig ligt de deadline een paar weken na het jaarlijkse congres Physics@FOM, wat ons de kans geeft om actief te lobbyen. Daarna is het wachten tot een paar uur voor de deadline de artikelen binnenkomen. Dit jaar kwamen er maar liefst zeven artikelen. Een mooi resultaat dat interessante inhoud belooft voor het NEVAC blad in heel 2015.

We zien steeds vaker dat ingezonden artikelen bewerkingen zijn van al gepubliceerde papers. Op zich geen probleem, vooral als de schrijvers het artikel op een mooie manier naar het Nederlands vertaald hebben, of het artikel geschikter hebben gemaakt voor een groot NEVAC-publiek door bijvoorbeeld de

meetopstelling uitgebreid te beschrijven. We willen echter voorkomen dat mensen hun gepubliceerde artikelen vrijwel 1-op-1 inzenden. Indien de schrijvers de rechten voor het artikel bezitten zullen we plaatsing in het blad overwegen, maar dit artikel wordt niet beoordeeld voor de prijsvraag.

De beoordelingscommissie – bestaande uit Pedro Zeijlmans van Emmichoven, Bas Dielissen en ondergetekende – was dit jaar wederom blij verrast door de hoge kwaliteit van de inzendingen. Vooral de top 3 bestond uit prima artikelen, waaruit we toch een duidelijke winnaar konden aanwijzen. In het winnende artikel van Jaap Kautz en Johannes Jobst (Universiteit Leiden) beschrijven ze een nieuwe potentiometrietechniek voor de elektrische karakterisering van tweedimensionele systemen, een interessante nieuwe technische uitbreiding van een lage-energie-elektronenmicroscop

(LEEM) met lage-energie-elektronenpotentiometrie (LEEP). Het artikel leest erg prettig en is goed te begrijpen, mede door de goede illustraties en het goed gebruik van kaders. In de top 3 staan verder de artikelen geschreven door Werner Wessels (Universiteit Twente) en Matthijs van Spronsen (Universiteit Leiden). De commissie wil Jaap Kautz en Johannes Jobst dan ook van harte feliciteren en hoopt hen de prijs persoonlijk te kunnen overhandigen op de komende NEVAC dag op 17 april in Groningen. Aangezien het originele (Engelstalige) artikel momenteel gereviewd wordt voor publicatie in een wetenschappelijk blad, stellen wij de publicatie nog even uit. Jullie houden het van ons tegoed. In deze editie plaatsen we de mooie bijdrage van Werner Wessels.

Hans van Eck

Voorzitter beoordelingscommissie 2015

Aluminum vacuum gate valves

For vacuum isolation applications in research and industry

Series 08.1, DN 50–100 (2"–4")

Series 12.1, DN 63–320 (2½"–12")



www.vatvalve.com

- Low cost
 - Mechanically locked in the closed position without compressed air
 - Low particle count and low shock
 - Series 08.1 with DIN centering insert to save space
- Series 12.1 with flanges

De NEVAC-buitenlandexcursie naar San José en Silicon Valley in de VS (Westkust)

17-24 oktober 2015

aanmelding via het formulier op www.nevac.nl

De American Vacuum Society organiseert in San José de *AVS 62nd International Symposium & Exhibition* van 18 tot 23 oktober volgend jaar. We hebben het volgende voorlopige programma voor de excursie in gedachten:

Zaterdag 17 oktober:

Vertrek naar San Francisco, aankomst in de loop van de middag in het hotel in San José, in het hart van Silicon Valley. Gelegenheid om bij te komen van de vlucht.

17:00 uur: Welkomstborrel aangeboden door de NEVAC en vroeg naar bed.

Zondag 18 oktober:

Vroeg op en excursie naar San Francisco.

Maandag 19 oktober:

Bezoek aan het AVS-symposium.

Dinsdag 20 oktober:

Bezoek aan de AVS-Vacuümbeurs.

Woensdag, donderdag, vrijdag:

Bedrijfsbezoeken in Silicon Valley en bezoeken aan wetenschappelijke laboratoria in Berkeley en Stanford.

Vrijdagavond 23 oktober:

Afscheidsdiner aangeboden door de NEVAC.

Zaterdag 24 oktober:

Terugvlucht van de eerste groep, begin toeristisch programma van de achterblijvers.

Het streven is om de eigen bijdrage voor de eerste week onder de €1250,- per persoon te houden exclusief lunch en diner.

Voor belangstellenden voor een tweede week wordt een gezamenlijk arrangement gemaakt als er voldoende interesse is.

Als je overweegt om mee te gaan en op de hoogte gehouden wil worden meld dat dan via de NEVAC-website, dan sturen we je als er nieuws is een mail. Als er meer dan 50 deelnemers zijn, dan is de volgorde van opgave bepalend voor wie meekan.

De San José buitenlandexcursiecommissie:

Rob Klöpping,
Martin Smit,
Norbert Koster
Erwin Kessels

Nor-Cal, elektrolytisch polijsten

Dit artikel is gebaseerd op 'Vacuum Tips and Solutions' uit het *Vacuum Technology & Coating Magazine*, geschreven door Jan-Olof Forsell, Senior Research Engineer, Uppsala University Physics Department, Zweden. Hij omschrijft het proces van optimalisatie van RVS-oppervlakken voor vacuümtechnische doeleinden.

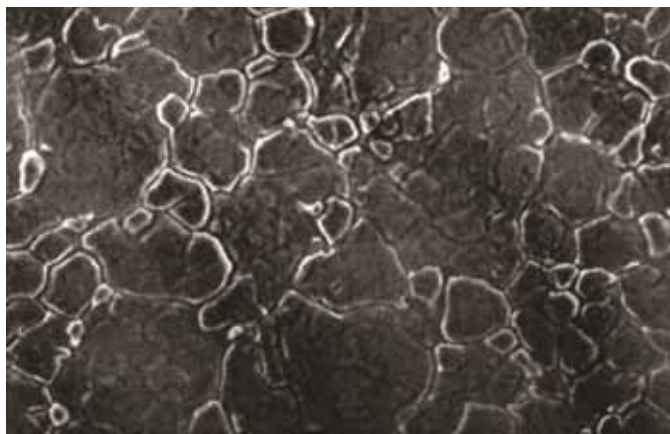
Voor vacuümkamers en overige hardware biedt Nor-Cal Products de afwerking van elektrolytisch polijsten aan. Elektrolytisch polijsten wordt gezien als de meest wenselijke methode van reiniging en conditionering van oppervlakken van RVS-vacuümkamers. Het is een elektrochemisch proces, waarmee het materiaal gelijktijdig op een aantal manieren behandeld wordt. Ontbramen, passiveren en vermindering van materiaalstress vindt plaats, terwijl de ruwheid van machinaal geproduceerde oppervlakken verminderd wordt. Zonder de nauw luisterende afmetingen van het materiaal te beïnvloeden, werkt elektrolytisch polijsten eerst – en veel sneller – op de microscopisch kleine 'pieken' aan een oppervlak, dan pas op de 'dalen'. Normaliter wordt met elektrolytisch polijsten 8 tot 10 µm verwijderd, om de 'micro finish' van 32 naar 8 RMS (zie kader) terug te brengen. Het elektrolytisch polijsten van een 2B koud gerolde plaat

RVS levert een reductie van ongeveer 90 % van het oppervlak op. Dit is uiterst belangrijk voor het verkrijgen van een veel kortere afpomptijd en een lagere vacuümdruk van vacuümkamers. Naast de verbeterde oppervlakte-eigenschappen wordt op dat moment ook ijzer elektrochemisch verwijderd. Daarmee wordt het oppervlak rijk aan chroom en nikkel. Deze beide materialen hebben een extreem lage dampdruk. Dit resulteert in de laagst mogelijke ontgassingswaarde voor RVS. Bij Nor-Cal Products hebben wij de mogelijkheid om ook vacuümkamers met moeilijke geometrieën te voorzien van gelijkmatig gladde oppervlakken. De tanks voor de elektrolytische behandeling kunnen vacuümkamers tot 1524 × 1270 × 1651 mm bewerken.

Procedure

Met behulp van een rastelektronenmicroscop (Scanning Electron Microscope, SEM) en een profielmeter heeft Jan-

Olof Forsell de ruwheid van het oppervlak onderzocht na een aantal verschillende RVS-oppervlaktebehandelingen. De samples waren steeds afkomstig van een koud gerolde plaat RVS, die uitsluitend onder toevoeging van isopropanol ultrasoon gereinigd was. De gemiddeld gemeten oppervlakteruwheid (R_a) was 0,36 µm met een cutoff van 0,8 mm, en 0,27 µm met een cutoff van 0,08 mm. De oppervlakteprofielmetingen van alle monsters zijn onder een vergroting van horizontaal 5000 × en verticaal 100 × uitgevoerd. De SEM-afbeelding van het materiaal met een vergroting van 300 × wordt getoond in afbeelding 1. Om het globale (driedimensionale) oppervlaktegebied te bereiken, heeft Forsell de werkelijke profiellengte van het materiaal (0,8 mm cutoff) gemeten en deze waarde in het kwadraat genomen. Gelijkwaardige resultaten werden verkregen uit metingen van anderen, zoals het bedrijf Calamo AB, in Molkom, Zweden.



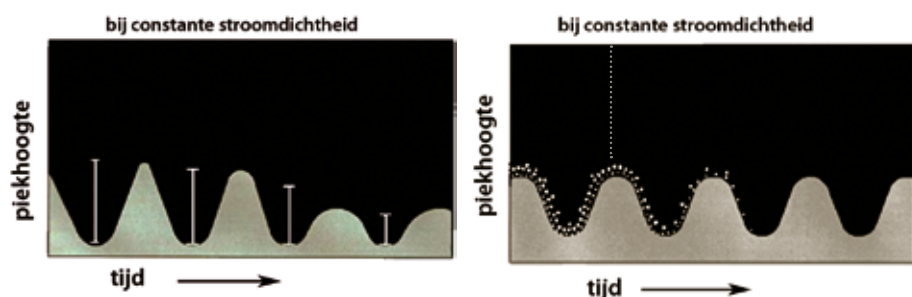
RVS-oppervlak 1000 x vergroot, vóór elektrolytisch polijsten.



Na elektrolytisch polijsten.

Gemiddelde ruwheid en cutoff

Gemiddelde ruwheid van een oppervlak (R_a , *Roughness average*) is het rekenkundige gemiddelde van de absolute waarden van een gemeten profielhoogte-afwijkingen, genomen binnen een bepaalde lengte en gemeten vanuit de grafische middenlijn. R_a wordt uitgedrukt in micrometers, oftewel miljoenste van een meter. Profielmeters van het Stylus-type zijn ontworpen om alleen op onregelmatige afstanden, kleiner dan een opgegeven waarde, te reageren, wat de *cutoff* genoemd wordt. Met andere woorden, alle onregelmatige afstanden, kleiner dan de waarde van de cutoff, zijn onderdeel van de meting. RMS (*Root Mean Square* van R_a), wordt uitgedrukt in micro-inches en staat voor het kwadratisch gemiddelde van de ruwheid.



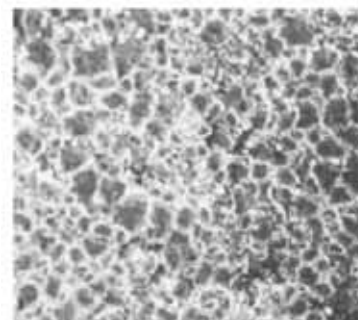
De eerste 30 seconden van *macro polishing* waarbij het oppervlak kleiner wordt (links) en *micro polishing* (rechts).

Het schuren van een plaat met 320 grit schuurmateriaal gaf $R_a = 1,30 \mu\text{m}$ (0,8 mm cutoff) en $R_a = 0,35 \mu\text{m}$ (0,08 mm cutoff). De SEM-afbeelding hiervan bij $300 \times$ vergroting (afbeelding 2) laat een relatief ruw oppervlak zien. Een derde plaat, geschuurd met een fijner, 400 grit, schuurmateriaal gaf $R_a = 0,40 \mu\text{m}$ (0,8 mm cutoff) en $R_a = 0,38 \mu\text{m}$ (0,08 mm cutoff). De SEM-afbeelding, ook bij $300 \times$ vergroting (afbeelding 3), laat min of meer hetzelfde resultaat zien als het vorige sample. Het 400 grit sample werd daarna bij 200 ampère · minuut elektrolytisch gepolijst. Het resultaat daarvan was $R_a = 0,30 \mu\text{m}$ (0,8 mm cutoff) en $R_a = 0,16 \mu\text{m}$ (0,08 mm cutoff). De SEM-afbeelding (afbeelding 4) laat een meer open profiel zien. Het elektrolytisch polijsten heeft de krassen van het schuren weliswaar verzacht, maar stukjes van het schuurmateriaal zijn nog steeds zichtbaar en liggen ingebed in het oppervlak. Dit is natuurlijk niet wenselijk omdat het schuurmateriaal verontreinigd kan zijn en onder vacuüm zal uitgassen.

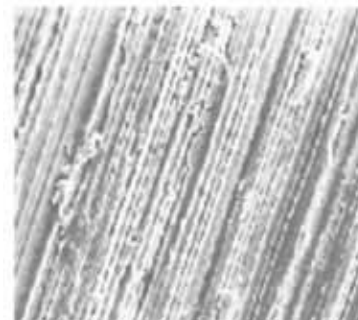
Tenslotte werd een onbehandeld stuk koud gerolde plaat elektrolytisch gepolijst met als resultaat $R_a = 0,15 \mu\text{m}$ (0,8 mm cutoff) en $R_a = 0,08 \mu\text{m}$ (0,08 mm cutoff). De SEM-afbeelding (afbeelding 5) laat zien dat het oppervlak ook hier zacht en vrij van zichtbare krassen is. Het berekende werkelijke oppervlak van dit sample is circa $10 \times$ kleiner dan het oppervlak van het referentiemateriaal.

Conclusie

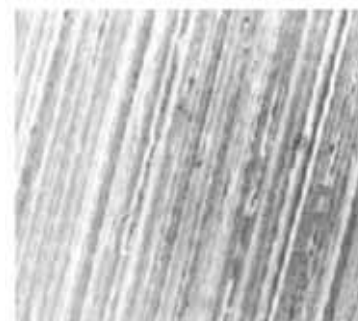
Het is belangrijk om het oppervlaktegebied van RVS-vacuümkamers zo veel mogelijk te verkleinen, om uitdampen maximaal te reduceren. Het toepassen van elektrolytisch gepolijste, koud gerolde plaat – ongeschuurd en zonder andere mechanische behandeling – geeft het kleinste mogelijke oppervlak en komt de vacuümprestaties zeer ten goede. Mechanisch schuren van koud gerolde plaat zal altijd voor een groter oppervlak zorgen. Andere voordelen van een glad oppervlak zijn het eenvoudig reinigen en een snellere afpomptijd.



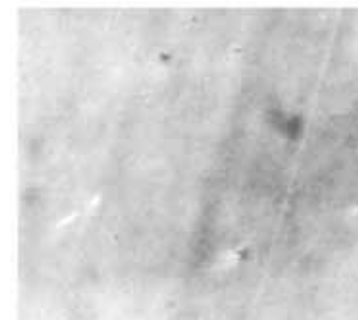
Afbeelding 1.



Afbeelding 2.



Afbeelding 3.



Afbeelding 4.



Afbeelding 5.

Comparing graphene growth on Cu(111) versus oxidized Cu(111)

The epitaxial growth of graphene on catalytically active metallic surfaces via chemical vapor deposition (CVD) is known to be one of the most reliable routes towards high-quality large-area graphene. This CVD-grown graphene is generally coupled to its metallic support resulting in a modification of its intrinsic properties. Growth on oxides is a promising alternative that might lead to a decoupled graphene layer. Here, we compare graphene on a pure metallic to graphene on an oxidized copper surface, in both cases grown by a single step CVD process under similar conditions. Remarkably, the growth on copper oxide – a high- k dielectric material – preserves the intrinsic properties of graphene; it is not doped and a linear dispersion is observed close to the Fermi energy. Density functional theory calculations give additional insight into the reaction processes and help explaining the catalytic activity of the copper oxide surface.

Stefano Gottardi^{1*}, Kathrin Müller¹, Luca Bignardi¹, Juan Carlos Moreno-López¹, Tuan Anh Pham¹, Oleksii Ivashenko¹, Mikhail Yablonskikh², Alexei Barinov², Jonas Björk³, Petra Rudolf¹, Meike Stöhr¹

¹ Zernike Institute for Advanced Materials, University of Groningen, Nijenborgh 4, 9747 AG Groningen

² Sincrotrone Trieste s.c.p.a., 34149 Basovizza, Trieste, Italy

³ Department of Physics, Chemistry and Biology, IFM, Linköping University, 58183 Linköping, Sweden

* s.gottardi@rug.nl.

Graphene – a single layer of carbon atoms – is supposed to transcend conventional silicon-based electronics, because of its overwhelming electronic properties [1-3]. However, a scalable and versatile route to obtain high quality graphene on non-interacting substrates that also preserves graphene's intrinsic properties – a prerequisite for graphene electronic devices [3] – has not been developed yet. In comparison to the established chemical vapor deposition (CVD) growth on metals [4], the epitaxial growth of graphene on both non-interacting and high- k dielectric substrates like oxides, is a significant challenge that is gaining increasing interest [5-9]. Direct growth on a dielectric material will eliminate the transfer step otherwise required to obtain freestanding-like graphene [2] on a (nearly) non-interacting substrate. The transfer step is not easily scalable

and often reduces the graphene quality by introducing defects and contaminations. For this reason, various alternative routes have been developed [10-15]. However, the desired but still most challenging fabrication route is a single-step and self-limiting growth process directly on high- k dielectric substrates that preserves the intrinsic properties of graphene.

Metal oxides are promising candidates in this respect due to their good dielectric and catalytic properties [16]. In general, graphene grown on non-metallic surfaces like oxides exhibits reduced quality in comparison to graphene grown on metals [5] and, in some cases, graphene was even found to be either p- or n-doped [6,17]. Only very recently, high quality graphene growth on SrTiO₃ was achieved [7] demonstrating that this is a viable and promising alternative.

Here we compare the growth of graphene on a high purity oxide-free Cu(111) single crystal with the growth on a Cu(111) single crystal after the creation of a thin oxide layer. For both cases, we studied the structural properties as well as the electronic band structure (Box 1). We also performed density functional theory (DFT) calculations (Box 2) to get insight into the reaction processes and help explaining the catalytic activity of copper oxide. The work presented here is reprinted with permission from reference 18.

Sample preparation

The growth of graphene was performed in a vacuum oven. For graphene growth on Cu(111), Cu single crystals were pre-annealed at 1200 K in a hydrogen atmosphere (0.5 mbar H₂ + 0.1 mbar Ar) for 4 hours to guarantee an oxide-free metallic surface. Graphene was grown by

Box 1: Electronic properties

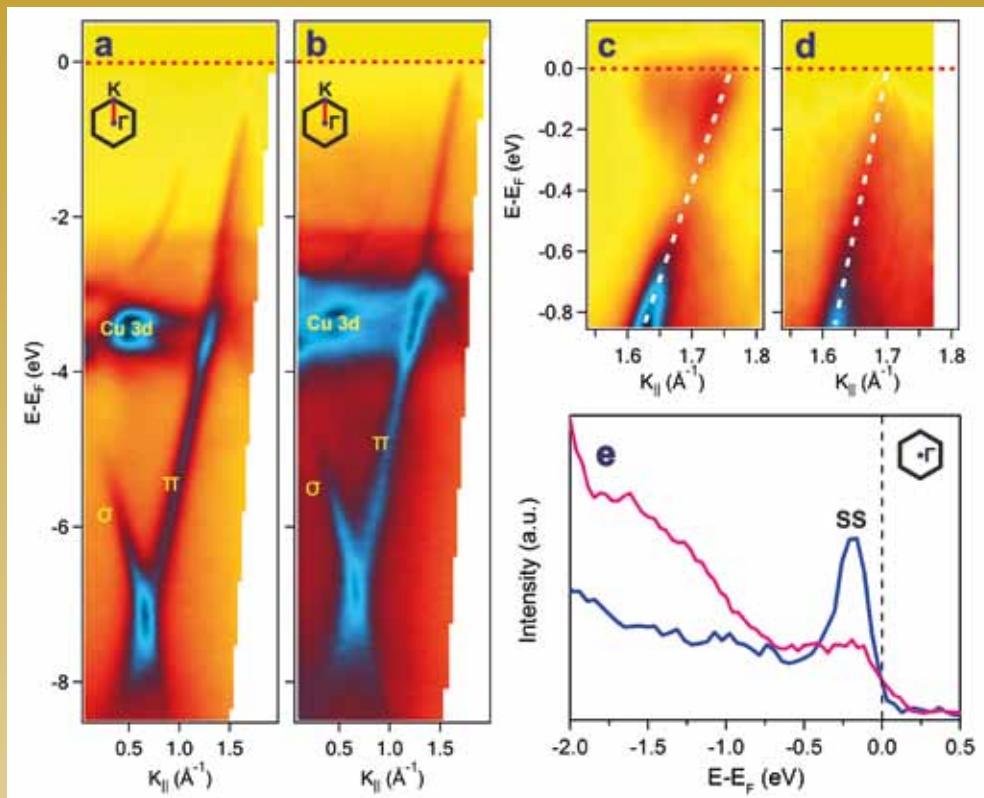


Figure 1 Energy dispersion curves for graphene grown on Cu(111) (a) and oxidized Cu(111) (b), respectively. Detail of the Dirac cone for graphene grown on Cu(111) (c), and on oxidized Cu(111) (d), respectively. (e): Normal emission spectra for graphene on Cu(111) (blue) and on oxidized Cu(111) (pink), respectively.

ARPES spectra were acquired along the direction of the graphene Brillouin zone with a photon energy of 27 eV. Figure 1 shows the comparison of the ARPES measurements for graphene grown on metallic (a, c) and on oxidized (b, d) Cu(111). The 3d-bands of copper are visible between 2 eV and 4 eV below the Fermi energy, E_F , while the π band of graphene is present between E_F and ~ 8.5 eV below E_F (figure 1a, 1b). Graphene grown on metallic copper is n-type doped, with the Dirac energy residing at about 0.38 eV below E_F (figure 1c). Such n-type doping is in agreement with theoretical predictions and previous experimental reports [19,26,27]. On the other hand, for graphene grown on oxidized Cu(111), the σ and π bands are located closer to E_F than for graphene on metallic Cu(111) (figure 1b). This becomes more evident when inspecting the Dirac cone (figure 1d). Notably, within the limit of our experimental resolution (~ 25 meV), the Dirac points reside at E_F , which means that graphene grown on oxidized Cu(111) is not doped and the oxide effectively decouples graphene from its metallic support.

For weakly interacting graphene, the Fermi velocity can be approximated by fitting the dispersion of the π band

close to the Dirac points with a Dirac-like linear dispersion [1]. Graphene grown on copper oxide is found to have a Fermi velocity of $\sim 1.4 \cdot 10^6$ m/s, which is in agreement with the theoretically predicted value of freestanding graphene [1]. For graphene grown on metallic Cu(111), a nearly three times smaller Fermi velocity of $\sim 0.5 \cdot 10^6$ m/s is obtained. The presence of electronic coupling for graphene on Cu(111) is also evidenced by a shift of the Shockley surface state of Cu(111) towards the Fermi energy (figure 1e). This is in agreement with previous studies [19,26] for graphene on Cu(111) and can be explained by charge transfer from the Cu surface state to graphene contributing to the observed n-type doping. Instead, for graphene on oxidized Cu(111), the surface state is absent due to the presence of the surface oxide layer on top of Cu(111). The ARPES measurements therefore demonstrate that graphene grown directly on copper oxide is electronically decoupled from the substrate and exhibits comparable properties as freestanding graphene.

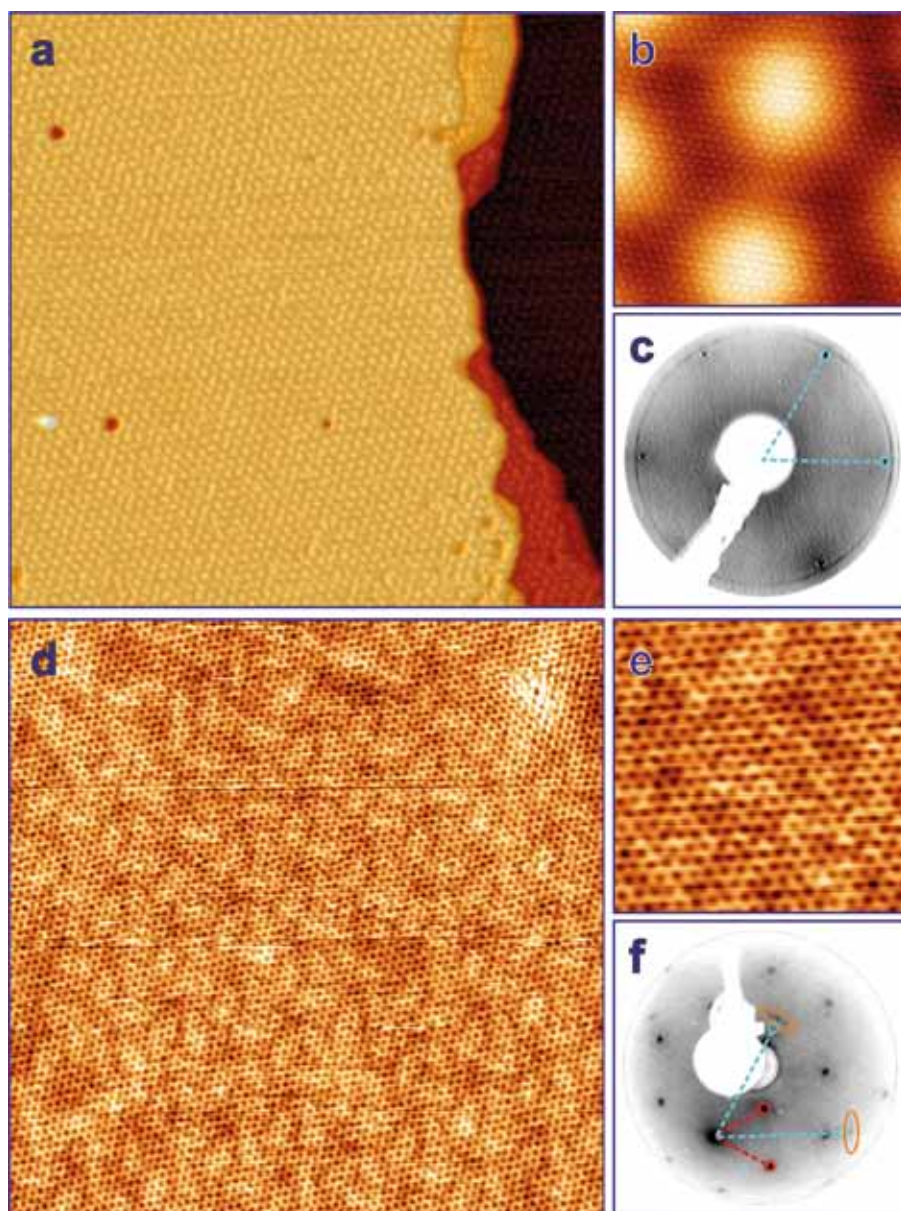


Figure 2 (a) STM image (170 nm²) for graphene grown on Cu(111). (b) STM image (6.8 nm²) showing atomic resolution and the Moiré pattern present in the background. (c) LEED pattern of graphene grown on Cu(111). (d) STM image (17 nm²) of graphene grown on oxidized Cu(111). (e) STM image for graphene grown on oxidized Cu(111) (4.3 nm²). (f) LEED pattern of graphene grown on oxidized Cu(111).

shown. On Cu(111), graphene grows over the Cu step edges, which is confirmed by the absence of changes in the Moiré patterns [22] originating from the lattice mismatch between graphene and Cu(111) (figure 2a). A close-up view of graphene on Cu(111) is reported in figure 2b, where in addition to the Moiré pattern the graphene lattice is visible. In different areas of the sample diverse periodicities for the Moiré patterns were observed depending on the specific angles between the principal directions of graphene and Cu(111). In the LEED pattern (figure 2c) this polycrystalline character of graphene is mirrored in a circle around the first order Cu(111) diffraction spots.

For graphene grown on oxidized Cu(111), in addition to the clearly visible atomic honeycomb lattice of graphene, a background due to the thin oxide layer is observed (figures 2d-e). A change of the tunneling or tip conditions sometimes results in contrast variations (see reference 18 for details). Importantly, the STM images show that high quality (defect-free) graphene can be grown on the oxidized copper surface. As compared to graphene on the pure metal surface, the LEED pattern of graphene on oxidized Cu(111) (figure 2f) shows additional diffraction spots (marked in red) due to the presence of the Cu surface oxide. Analysis of the LEED pattern yields that the surface oxide is mainly arranged in a Cu₂O lattice [23,24] which is known to reconstruct by removing the under-coordinated Cu atoms of the top atomic layer [18,23]. The circular feature observed in LEED patterns for graphene on metallic Cu(111) is replaced by individual diffraction spots, mainly located along the principal Cu directions (orange ovals in figure 2f). This indicates a substantial decrease of rotational disorder of the graphene domains. There is also evidence for a long-range ordered structure with a periodicity of about 3.1 nm, which is attributed to a reconstruction due to the lattice mismatch of the oxide layer with

exposing the substrates to a mixture of CH₄ (0.5 mbar), H₂ (0.5 mbar) and Ar (0.1 mbar) at 1200 K for 2 min. Gas lines were equipped with liquid nitrogen cold traps to avoid potential water contamination. For graphene growth on oxidized Cu(111), clean copper single crystals were exposed to air for approximately 12 hours to obtain an oxidized surface onto which graphene was grown subsequently without any hydrogen treatment. The growth was performed by exposing the substrates to a mixture of CH₄ (0.5 mbar) and Ar (0.1 mbar) at 1200 K for 2 min. In both cases the growth was followed by 30 min post-annealing in CH₄-

free atmosphere. The cooling was done in Ar (0.1 mbar) at approximately 5 K/min. Samples were transferred to UHV avoiding long exposure to air and annealed to T > 520 K prior characterization. For more details see reference 18.

Structural properties of graphene on Cu(111) and oxidized Cu(111)

The structural properties of graphene were characterized by scanning tunneling microscopy (STM) as well as by low energy electron diffraction (LEED). In figure 2, STM images and LEED patterns of graphene on both metallic Cu(111) and oxidized Cu(111) are

Box 2: Reaction mechanism by DFT

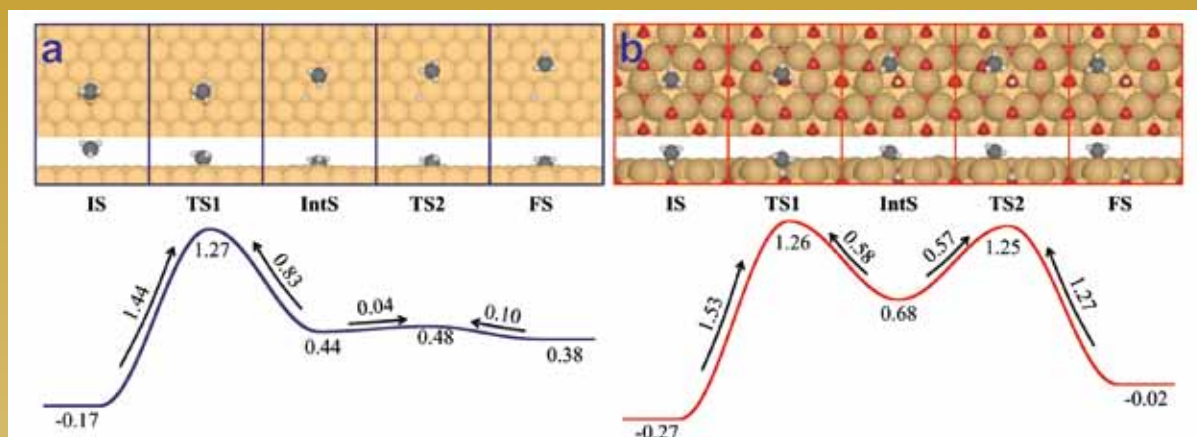


Figure 3 Mechanism of methane dissociation on Cu(111) (a) and Cu₂O(111) (b) from DFT-based transition state calculations. The energies are given with respect to the reference system of the free surface and methane in gas phase, in units of eV. Transition state TS1 is associated with dehydrogenation, while TS2 with CH₃ diffusion.

Before going into the details of how graphene grows on the oxidized Cu surface, we recall that dehydrogenation of the carbon precursor (in our case methane) is the rate limiting step for graphene growth by CVD [25], and that it was recently shown that small amounts of oxygen on the copper surface can enhance the dehydrogenation [21]. To understand how the dehydrogenation proceeds on the copper oxide surface compared to metallic Cu(111), we calculated the energy barrier for methane dehydrogenation on both Cu(111) and Cu₂O(111) within the framework of DFT including van der Waals interactions. The reaction energy profiles, along with side- and top-views of the optimized adsorption geometries, are reported in figure 3. Surprisingly, the energy barrier for methane dehydrogenation on the Cu₂O(111) surface is only slightly higher (1.53 eV) than on a metallic Cu(111) surface (1.44 eV). Furthermore, as methane binds slightly stronger to Cu₂O(111) than to Cu(111) by 0.10 eV, the relative ratio between methane dissociation and desorption (given by the Boltzmann factor) becomes very similar on both surfaces. This elucidates why graphene can form on both surfaces under similar growth conditions.

Reaction dynamics

According to our DFT calculations, methane is trapped at a Cu vacancy on top of an under-coordinated oxygen atom, which catalyzes the dehydrogenation to form an -OH and a CH₃ group. The CH₃ then diffuses to a free oxygen atom in the top layer or reacts with other molecules forming graphene. Notably, the DFT results indicate that CH₃ diffusion is considerably slower on Cu₂O(111) than on Cu(111). This

may be the rate-limiting factor for the growth on the oxidized surface. Assuming that the same growth conditions are used, fewer graphene domains should be obtained on Cu₂O(111) as compared to Cu(111). These results are consistent with recent studies, which have shown that small amounts of oxygen on a copper surface alter the growth from an edge-attachment-limited to a diffusion-limited process, reducing the graphene nucleation density [20,21]. Our DFT calculations give an overview of the main steps involved in the methane dehydrogenation process. However, to fully model the complex kinetics of graphene growth at high temperatures a more comprehensive theoretical study would be required, taking into account many other processes, such as the recombination of two CH₃ molecules and the attachment of CH₃ to the graphene domains at elevated temperatures. However, this would require a significant additional computational effort, beyond the scope of this study. Since local defects and vacancies are expected to only enhance the surface reactivity with respect to the model presented here, this will not change our main conclusion.

Due to the relatively high oxygen mobility in copper oxides, especially at the high growth temperatures (1200 K), vacancies can be easily created and may act as additional catalytic centers for dehydrogenation of the carbon precursors. At the same time, oxygen ions from deeper layers can migrate to the surface and compensate for the surface reduction that might happen during the growth. We speculate that this remarkable flexibility of the oxide layer may be the key factor for obtaining high-quality (defect-free) graphene on copper oxide.

the Cu(111) surface and with graphene. Among the ordered oxide structures observed in LEED and STM, Cu₂O was by far the most abundant [18]. For this reason we performed density functional theory (DFT) calculations (Box 2) using this Cu oxide as a model surface.

The oxide layer has a dramatic effect not only on the growth mechanisms of graphene but also on the electronic coupling between graphene and the substrate. Angle resolved photoemission spectroscopy (ARPES) measurements were performed (Box 1) to investigate the electronic band structure of graphene grown on both metallic and oxidized Cu(111).

In conclusion

Our results demonstrate the feasibility of growing high-quality monolayer graphene by a one-step growth process on a pre-oxidized Cu(111) surface. In contrast to graphene on Cu(111), where a weak interaction and doping are found, graphene grown on the oxidized Cu surface is effectively decoupled from its substrate and thereby its intrinsic properties are preserved (see Box 1). Importantly, this implies that the band structure of freestanding graphene is retained, where doping is absent. Since copper oxide is a high-*k* dielectric material, these findings constitute an important contribution towards the realization of graphene-based electronic devices establishing the growth of graphene on metal oxides surfaces by CVD as a promising route for the fabrication of graphene, as well as of graphene nanostructures, via industrially scalable and versatile methods.

Funding Sources

This work was supported by the Foundation for Fundamental Research on Matter (FOM), part of the Netherlands Organization for Scientific Research (NWO), by the European Research Council (ERC-2012-StG 307760-SURFPRO), and by NWO (Chemical Sciences, VIDI-grant No. 700.10.424 and VENI-grant No. 722.012.010).

Acknowledgment

We thank Fei Song, Victor Kandyba, Wesley R. Browne, Mihaela Enache and Luc Venema for their help during the experiments as well as for discussions.

References

- Castro Neto, H.; Guinea, F.; Peres, N.M.R.; Novoselov, K.S.; Geim, A.K. *Rev. Mod. Phys.* **81** (2009) 109-162.
- Geim, A.K. *Science* **324** (2009) 1530.
- Han, S.-J.; Garcia, A.V.; Oida, S.; Jenkins, K.A.; Haensch, W. *Nat. Commun.* **5** (2014) 3086.
- Batzill, M. *Surf. Sci. Rep.* **67** (2012) 83-115.
- Rümmeli, M.H.; Bachmatiuk, A.; Scott, A.; Börrnert, F.; Warner, J.H.; Hoffman, V.; Lin, J.-H.; Cuniberti, G.; Büchner, B. *ACS Nano* **4** (2010) 4206.
- Hwang, J.; Kim, M.; Campbell, D.; Alsalman, H. A.; Kwak, J. Y.; Shivaraman, S.; Woll, A. R.; Singh, A. K.; Hennig, R. G.; Gorantla, S.; Rümmeli, M. H.; Spencer, M. G. *ACS Nano* **7** (2013) 385.
- Sun, J.; Gao, T.; Song, X.; Zhao, Y.; Lin, Y.; Wang, H.; Ma, D.; Chen, Y.; Xiang, W.; Wang, J.; Zhang, Y.; Liu, Z. *J. Am. Chem. Soc.* **136** (2014) 6574.
- Reckinger, N.; Hooijdonk, E. V.; Joucken, F.; Tyurnina, A. V.; Lucas, S.; Colomer, J.-F. *Nano Res.* **7** (2014) 154.
- Robinson, Z.R.; Ong, E.W.; Mowll, T.R.; Tyagi, P.; Gaskill, D.K.; Geisler, H.; Ventrice, Carl A. *J. Phys. Chem. C* **117** (2013) 23919.
- Emtsev, K.V.; Bostwick, A.; Horn, K.; Jobst, J.; Kellogg, G.L.; Ley, L.; McChesney, J.L.; Ohta, T.; Reshanov, S. A.; Röhrl, J.; Rotenberg, E.; Schmid, A.K.; Waldmann, D.; Weber, H.B.; Seyller, T. *Nat. Mater.* **8** (2009) 203.
- Tejeda, A.; Taleb-Ibrahimi, A.; de Heer, W.; Berger, C.; Conrad, E.H. *New J. Phys.* **14** (2012) 125007.
- Varykhalov, A.; Sánchez-Barriga, J.; Shikin, A.M.; Biswas, C.; Vescovo, E.; Rybkin, A.; Marchenko, D.; Rader, O. *Phys. Rev. Lett.* **101** (2008) 157601.
- Grånäs, E.; Knudsen, J.; Schröder, U.A.; Gerber, T.; Busse, C.; Arman, M.A.; Schulte, K.; Andersen, J.N.; Michely, T. *ACS Nano* **6** (2012) 9951.
- Lizzit, S.; Larciprete, R.; Lacovig, P.; Dalmiglio, M.; Orlando, F.; Baraldi, A.; Gammelgaard, L.; Barreto, L.; Bianchi, M.; Perkins, E.; Hofmann, P. *Nano Lett.* **12** (2012) 4503.
- Ismach, A.; Druzgalski, C.; Penwell, S.; Schwartzberg, A.; Zheng, M.; Javey, A.; Bokor, J.; Zhang, Y. *Nano Lett.* **10** (2010) 1542.
- Zabeti, M.; Wan Daud, W.M.A.; Aroua, M.K. *Fuel Processing Technology* **90** (2009) 770-777.
- Bansal, T.; Durcan, C.A.; Jain, N.; Jacobs-Gedrim, R.B.; Xu, Y.; Yu, B. *Carbon* **55** (2013) 168.
- Gottardi, S.; Müller, K.; Bignardi, L.; Moreno-López, J.C.; Pham, T.A.; Ivashenko, O.; Yablonskikh, M.; Barinov, A.; Björk, J.; Rudolf, P.; Stöhr, M. *Nano Letters* **15** (2) (2015) 917-922, DOI: 10.1021/nl5036463. Copyright 2015 American Chemical Society.
- Jeon, C.; Hwang, H.-N.; Lee, W.-G.; Jung, Y. G.; Kim, K.S.; Park, C.-Y.; Hwang, C.-C. *Nanoscale* **5** (2013) 8210.
- Zhou, H.; Yu, W. J.; Liu, L.; Cheng, R.; Chen, Y.; Huang, X.; Liu, Y.; Wang, Y.; Huang, Y.; Duan, X. *Nat. Commun.* **4** (2013) 2096.
- Hao, Y.; Bharathi, M.S.; Wang, L.; Liu, Y.; Chen, H.; Nie, S.; Wang, X.; Chou, H.; Tan, C.; Fallahazad, B.; Ramanarayan, H.; Magnuson, C.W.; Tutuc, E.; Yakobson, B.I.; McCarty, K.F.; Zhang, Y.-W.; Kim, P.; Hone, J.; Colombo, L.; Ruoff, R.S. *Science* **342** (2013) 720.
- Gao, L.; Guest, J.R.; Guisinger, N.P. *Nano Lett.* **10** (2010) 3512-3516.
- Soon, A.; Todorova, M.; Delley, B.; Stampfl, C. *Surf. Sci.* **601** (2007) 5809-5813.
- Onsten, A.; Göthelid, M.; Karlsson, U.O. *Surf. Sci.* **603** (2009) 257-264.
- Choi, J.-H.; Li, Z.; Cui, P.; Fan, X.; Zhang, H.; Zeng, C.; Zhang, Z. *Sci. Rep.* **3** (2013) DOI 10.1038/srep01925.
- Khomyakov, P.A.; Giovannetti, G.; Rusu, P.C.; Brocks, G.; van den Brink, J.; Kelly, P.J. *Phys. Rev. B* **79** (2009) 195425.
- Walter, A.L.; Nie, S.; Bostwick, A.; Kim, K.S.; Moreschini, L.; Chang, Y.J.; Innocenti, D.; Horn, K.; McCarty, K.F.; Rotenberg, E. *Phys. Rev. B* **84** (2011) 195443.

NEVAC DAY 2015

Vacuum related science and
technology



rijksuniversiteit
groningen



Speakers: Beatriz Noheda (RUG) – Christian Bobisch (University of Duisburg-Essen) – Mark Golden (UvA) – Thomas Jung (PSI, Switzerland) – Pieter Heidema (Pfeiffer Vacuum Benelux) – Dirk Pootjes (Demaco Vacuum Technology) – Bene Poelsema (UT)

Student poster session – NEVAC prize winner Jaap Kautz (UL) – Industrial exhibition – NEVAC meeting – Lunch and drinks

Registration (until 7 April): www.nevac.nl

Student and postdoc poster session registration: use the form at www.nevac.nl

Industrial exhibition contact: pieter.heidema@pfeiffer-vacuum.nl

Organisation: Meike Stöhr, m.a.stohr@rug.nl

Friday April 17
Het Kasteel, Melkweg 1, Groningen



Programme NEVAC day 2015

17th April 2015, Het Kasteel, Groningen



9.30 **Arrival and registration (coffee and tea will be served)**

Morning session

10.00 **Welcome and opening**

10.05 **Beatriz Noheda**

(Zernike Institute for Advanced Materials, University of Groningen):

Novel phases at domain walls

10.40 **Christian Bobisch** (Department of Physics, University of Duisburg-Essen, Germany):

Revealing elementary contributions to the resistivity on the atomic scale

11.15 **NEVAC prize presentation: Jaap Kautz** (Leiden)

11.35-12.00 **General meeting NEVAC**

11.35-13.30 **Student and postdoc poster session, exhibition, lunch**

Afternoon session I

13.30 **Mark Golden** (Van der Waals - Zeeman Institute, University of Amsterdam):

Shining light on topological insulators and their surface states

14.05 **Thomas Jung** (Laboratory for Micro- and Nanotechnology, PSI, Switzerland):

Supramolecular architectures at surfaces: Structure, electron and spin states

14.40 **Pieter Heidema** (Pfeiffer Vacuum Benelux BV):

Leak detection and impurity control in pharmaceutical liophilization processes

15.05 **Coffee break**

Afternoon session II

15.20 **Dirk Pootjes** (Demaco Vacuum Technology):

Vacuum in the cryogenic industry

15.45 **Bene Poelsema** (LEEM, University of Twente):

The basics of quantum size effects in nano-epitaxy: a LEEM study

16.20 **Conclusion**

From 16.25 on **Reception, drinks**

Registration

Please register (and announce your poster) by filling out the online form (until 7 April) at

www.nevac.nl

NEVAC day lectures

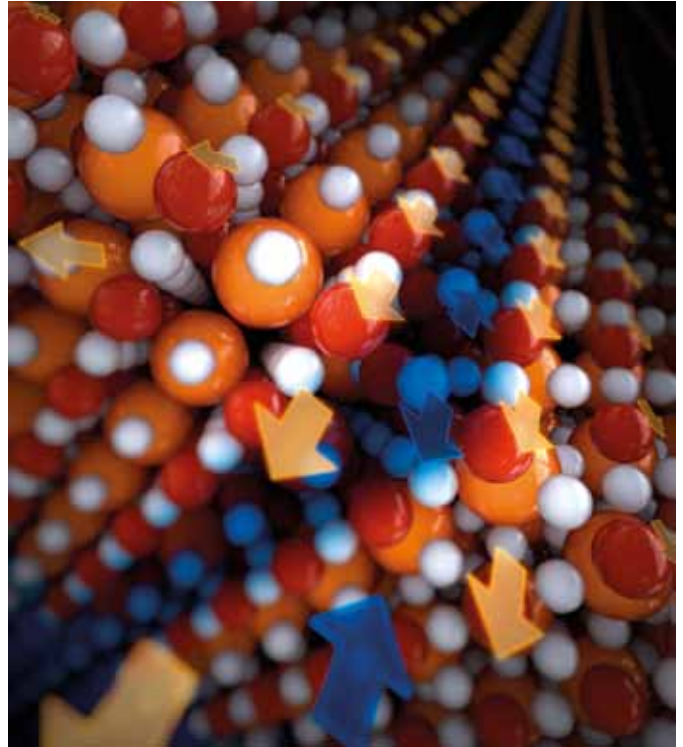
Novel phases at domain walls

Beatriz Noheda, Zernike Institute for Advanced Materials, University of Groningen

Among the unique possibilities that thin film growth offers, strain engineering is probably the most popular. It refers to the control of the deformation state or the crystal lattice by choosing a suitable crystal substrate on top of which the aimed material can be grown with control down to one atomic layer. It is very well known that, since the strain energy density accumulated on the layer grows linearly with its thickness, there is a critical thickness above which the strain will relax by forming dislocations or other defects. Interestingly, in ferroelastic oxides, the prime mechanism to release the epitaxial strain is *domain wall* formation. It is, nowadays, possible to manipulate the density of domain walls by strain engineering to an extent that was unthinkable a few years ago. The reason why this is important is because domain walls are unique topological features that break a discrete symmetry. As symmetry breaking is associated to novel physical properties in the system, there is an increasing interest in using domain walls as distinct 2D objects with still unexplored responses. Recently we have shown that the unique properties at domain walls also give rise to novel chemistry [1], holding the promise to an even broader range of possibilities for future nanoscale materials with possible applications in spintronics and electronics.

Reference

1 S. Farokhipoor et al. *Nature* 515, 379 (2014).

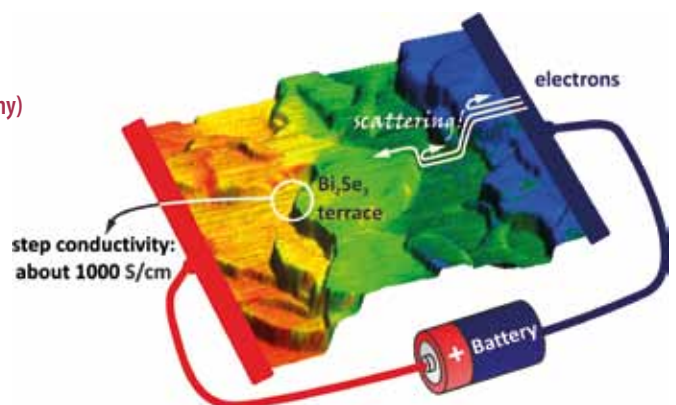


Artist impression of the atomically sharp domain walls (shaded in blue) in thin films of TbMnO_3 epitaxially grown on SrTiO_3 . The arrows represent the magnetic moments. A new chemical structure at the wall induces net magnetic moment in the adjacent layers.

Revealing elementary contributions to the resistivity on the atomic scale

Christian Bobisch (Department of Physics, University of Duisburg-Essen, Germany)

To track down the elementary contributions to macroscopic properties such as the the resistance, nanoscale electron transport measurements are essential. In my talk I will discuss that this can be achieved by combining scanning tunneling microscopy (STM) with transport measurements. We use a four probe STM to perform scanning tunneling potentiometry (STP)[1] which gives direct access to the electrochemical surface potential μeV under realistic conditions while a lateral current flows through the surface. Thereby, we can simultaneously analyze the topography and the electrochemical potential with nm resolution. In particular, we study the interaction of conduction electrons with defect sites, e.g. atomic step edges.



Scanning Tunneling Potentiometry of the Bi_2Se_3 surface. If a transverse current flows through the surface, the electrochemical potential, illustrated by the color, exhibits step wise variations at step edges. To enhance the small variations a linear background given by the sheet conductance of the Bi_2Se_3 film has been subtracted.

We analyze the spatial variations of μ_{ec} at the surface of the two dimensional electron gas (2DEG) system of Si(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$:Ag and on the surface of a 14.5 QL (quintuple layer) thick Bi_2Se_3 film. In both cases, we find a step-like variation of μ_{ec} in the vicinity of step edges which is a fingerprint of electron scattering [2,3]. In the case of Bi_2Se_3 , which is a 3D topological insulator, this appears surprising since its surface states are protected from direct backscattering by time reversal symmetry. However, step edges on the Bi_2Se_3 surface are predicted to scatter electrons for scattering angles other than 180° .

For both types of samples, the electrical resistivity of single steps, multi steps and grain boundaries is evaluated [2,3]. Those are elementary contributions to the resistivity as macroscopically observed.

References

- 1 P. Murali, D. W. Pohl, *Appl. Phys. Lett.* **48**, 514 (1986).
- 2 J. Homoth, et al., *Nano Letters* **9**, 1588 (2009).
- 3 S. Bauer, R. Möller, and C.A. Bobisch (in revision).

Shining light on topological insulators and their surface states

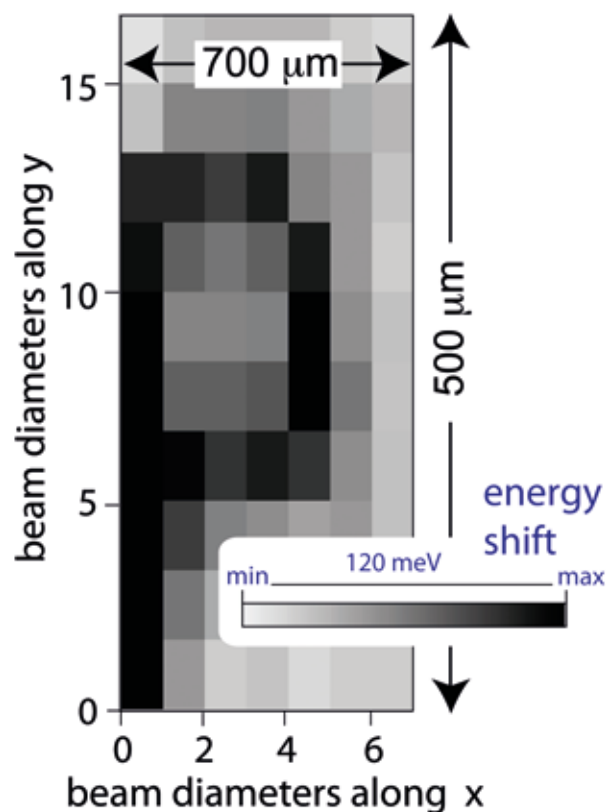
Mark Golden, Van der Waals-Zeeman Institute, IOP, University of Amsterdam

What are topological insulators? Theory tells us they have an insulating interior and that they must have special, metallic surface states. The electrons in these surface states should show the linear E,\mathbf{k} -dispersion relation we are more used to seeing from massless particles like photons, and their peculiar properties are of great interest for spintronics and even for topological quantum computation.

After a brief introduction to the twists and turns of topological condensed matter, I'll illustrate how angle-resolved photoelectron spectroscopy – carried out in ultrahigh vacuum – is an ideal tool with which to examine the properties of real-life topological insulators (TIs). The storyline will include how we worked hard to succeed in making real bulk insulators of our TI crystals, only to see band bending at the surface re-populate the bulk conduction band with electrons.

In the *denouement* I'll show how we found we could use a light beam to cancel the band bending at the surface, thus erasing the bulk conduction bands from the landscape of occupied electronic states. With the NEVAC in mind, we even managed to use our light beam to write a microscopic 'P' for pressure in the topological electronic states at the surface of a TI, illustrating the level of control our investigations have given us over the energy of the topological surface states and their topologically trivial bulk counterparts.

Without the following people, this work would not have happened:
 Amsterdam: Emmanouil Frantzeskakis, Nick de Jong, Berend Zwartsenberg, Erik van Heumen, Anne de Visser, Yingkai Huang, Yu Pan, Dong Wu, Tran Van Bay, Shira Hollanders, Huib Luigjes.
 Twente: Marieke Snelder, Alexander Brinkman.
 Synchrotron collaborators: Ming Shi, Milan Radovic, Nick Plumb, Nan Xu, Elia Razolli, Cosmin Lupulescu, T. Arion, Ruslan Ovsyanikov, Wolfgang Eberhardt & Andrei Varykhalov.
 Funding: our thanks to FOM/NWO and the EU.



Micro-metric electronic patterning of a topological band structure using a photon beam.

Emmanouil Frantzeskakis, Nick de Jong, Berend Zwartsenberg, Yingkai Huang, Tran V. Bay, Pieter Pronk, Erik van Heumen, Dong Wu, Yu Pan, Milan Radovic, Nicholas C. Plumb, Nan Xu, Ming Shi, Anne de Visser, Mark S. Golden, arXiv:1412.0822.

Reference

- 'Low Carrier Concentration Crystals of the Topological Insulator $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$: A Magnetotransport Study', Y. Pan, D. Wu, J. R. Angevaere, H. Luigjes, E. Frantzeskakis, N. de Jong, E. van Heumen, T.V. Bay, B. Zwartsenberg, Y.-K. Huang, M. Snelder, A. Brinkman, M.S. Golden and A. de Visser, *New Journal of Physics* **16**, 123035 (2014).

Supramolecular architectures at surfaces: Structure, electron and spin states

N. Ballav¹, M. Stöhr^{2,7}, J. Lobo-Checa^{2,8}, P. M. Oppeneer³, L. H. Gade,⁴ S. Decurtins,⁵ F. Diederich,⁶ C. Thilgen,⁶ A. Kleibert¹, T. A. Jung¹

¹ Department of Synchrotron Radiation, Paul Scherrer Institute, Switzerland, E-mail: thomas.jung@psi.ch

² Department of Physics, University of Basel, Switzerland

³ Dept. of Physics and Astronomy, Uppsala University, Sweden

⁴ University of Heidelberg, Germany

⁵ University of Bern, Switzerland

⁶ Departments of Chemistry ETH Zürich, Switzerland,

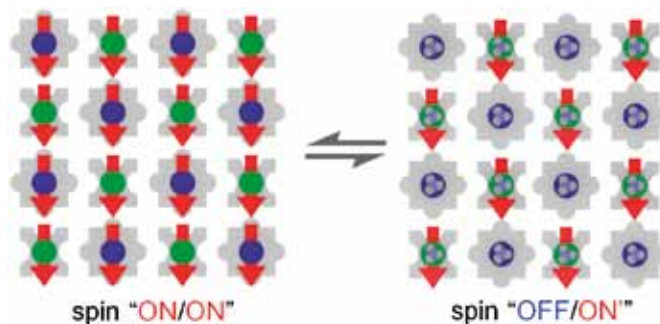
⁷ Zernike Institute for Advanced Materials, University of Groningen, Netherlands

⁸ Centro de Física de Materiales (CSIC-UPV/EHU), San Sebastián, Spain

Well defined electronic and spintronic interfaces can be architected by combining self-assembly and surface science. The atomically clean metal surface in the ultra-high vacuum provides a very specific environment affecting the behaviour of the ad-molecules as well as the adsorbent-adsorbate interaction. Depending on the bonding at the interface, complex electronic and magnetic interactions can occur which can be explored by spectro-microscopy correlation, in this case photoemission and X-ray photoabsorption spectroscopy (PES, XAS) and scanning tunnelling microscopy (STM).

The emergence of quantum dot states from the interaction of a porous network with the 2D (Shockley) surface state of Cu(111) exhibits sufficient residual coupling to show the onset of a band-like structure in angle resolved photoemission [1]. Selected surface-supported molecules have been shown to exhibit ferromagnetic [2] or anti-ferromagnetic [3] exchange interaction, and their spin systems have been shown to be tunable by physical parameters and / or chemical stimuli [4]. Supramolecular chemistry can be combined with on-surface coordination chemistry to reversibly switch the spin of self-assembled bi-molecular arrays [5].

All these examples have in common that the substrate-molecular interfaces are well defined by their production from ato-



mically clean substrates and molecular building blocks. The physics and chemistry of these unprecedented systems, which are addressable by scanning probes, provide insight into novel materials in their assembly, their electronic and spintronic properties which emerge from the interaction of their components down to the scale of single atoms, molecules and bonds.

References

- 1 J. Lobo-Checa et al. *Science* **325** (2009) 300.
 - 2 A. Scheybal et al. *Chem. Phys. Lett.* **411** (2005) 214.
 - 3 D. Chylarecka et al. *J. Phys. Chem. Lett.* **1** (2010) 1408-1413.
 - 4 C. Wäckerlin et al. *Nature Communications* (2010) 1:61 DOI: 10.1038/ncomms1057
 - 5 C. Wäckerlin et al. *Advanced Materials* **25** (2013) 2404-2408.
- For a complete list of contributing authors refer to the individual publications.

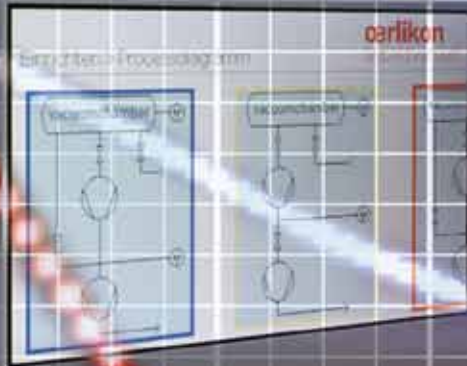
Leak detection and impurity control in pharmaceutical liophilization processes

Pieter Heidema, Pfeiffer Vacuum Benelux B. V.

More and more valuable drugs get developed. Long term and highly costly development processes are involved until a drug can be released to the market. Therefore, quality standards become more demanding, which is the reason that contamination control and leak detection during manufacturing become highly important.



High Vacuum Monitoring and Control



Smart technology you can rely on

Monitor and control your vacuum systems with the most reliable technology from Oerlikon Leybold Vacuum. Precision vacuum measurement is crucial for the success of vacuum processes and research. Vacuum transmitters, controller, as well as passive sensors and their operating instruments help to maintain the parameters of your manufacturing processes in the pressure range from 10^{-12} to 1000 mbar, some even under radiation and bakeable conditions. For professional leak detection, our new PHOENIX L500i and L300i helium leak detectors represent an innovative and pioneering solution for leak testing of all kinds of components. These leak detectors improve speed and reliability of your testing operations, providing immediate cost savings.

Get the details at www.oerlikon.com/leyboldvacuum

Oerlikon Leybold Vacuum Nederland BV
Floridadreef 102
NL-3565 AM Utrecht
T +31 (30) 242 63 30
F +31 (30) 242 63 31
sales.vacuum.ut@oerlikon.com
www.oerlikon.com/leyboldvacuum

Please contact
your local sales office.
Scan for direct reach



oerlikon
leybold vacuum

Vacuum in the cryogenic industry

Dirk Pootjes, Demaco Vacuum Technology

In physics, cryogenics is the study of the production and behaviour of materials at very low temperatures (below $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, or 123 K). These low temperatures require cryogenic gasses like liquid nitrogen (LN_2), liquid oxygen (LO_2), liquid argon (LAr), liquid hydrogen (LH_2), liquid helium (LHe) or liquefied natural gas (LNG) (predominantly methane, CH_4)*. These liquid gases are used in the following fields: automotive, food, pharmaceutical, energy, medical and space industries and in basic research.

If you do not want cryogenic gases to lose their cooling capacity, you would need to insulate these gases with a proper insulation. The ultimate insulation for cryogenic gases is vacuum. This means that these cryogenic gases should be transported and stored inside a vacuum insulated environment. Cryogenic transfer lines are inserted in vacuum tubes. If we take a close look at the production of these transfer lines we will see a lot of challenges. How do we prevent heat leaking from the outer transfer line to the cryogenic and cold process line? Direct contact of the inner to the outer line must be avoided. Also we need to make sure that the vacuum quality will be steady and guaranteed for a long time of operation. These cryogenic systems are used for years and should require a minimum of main-



tenance. Another challenge is to offer these cryogenic systems with 'static vacuum'. Static vacuum means that there will not be any vacuum pump connected to the cryogenic system after installation on site. Vacuum pumps need to be serviced and some harsh applications are not suitable for these vacuum pumps. All this means that producing cryogenic systems require ultra clean, low outgassing materials, and vacuum expertise from engineering to production, installation and maintenance.

*Typical boiling points:

LN_2 : $-169\text{ }^{\circ}\text{C}$

LAr : $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$

LH_2 : $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$

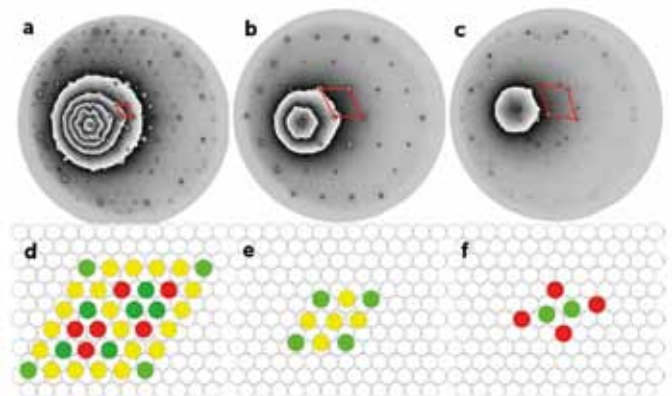
LHe : $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$

LNG : $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$

The basics of quantum size effects in nano-epitaxy: a LEEM study

Bene Poelsema, Physics of Interfaces and Nanomaterials, MESA+ Institute for Nanotechnology and Faculty of Science and Technology, University of Twente

Standing waves of Fermi electrons in thin films between their two interfaces lead to a stabilization of films with certain thicknesses. Due to a favorable ratio between the interlayer spacing and their Fermi wavelength, $\text{Pb}(111)$ -films are strong candidates to show such Quantum Size Effects (QSE). The first reported system is the growth of ultrathin lead layers on $\text{Cu}(111)$. Indeed initially, the preferred film thicknesses correspond to odd layers ((3),5,7,9) followed by a crossover to even layers (12,14,..), etc. A non-perfect match of the Fermi wavelength and the interlayer spacing is responsible for the crossovers between odd and even layers and vice versa. Surprisingly, QSE can even be sufficiently strong to not only prescribe the height of the films, but also to impose the crystalline structure of ultrathin films, as we recently demonstrated for $\text{Bi}/\text{Ni}(111)$. In this case the crystalline structure of the Bi-film is modified to change the electron density and thus the Fermi wavelength demonstrating for the first time quantum well driven allotropism of Bi.



Quantum well states are not restricted to two dimensions. They can play an important role in one dimension too. Supported nanowires of $\text{Ir}/\text{Ge}(001)$ show distinct length preferences caused by QSE.

Conceptnotulen NEVAC ALV 2014

4 juni 2014, Academiegebouw, Domplein 29 Utrecht

Aanwezig: voorzitter Sander Otte, vice-voorzitter Erwin Kessels, beoogd vice-voorzitter Ingmar Swart, penningmeester Ad Ettema (notulist) en circa 30 leden.

1. Opening

Voorzitter Sander Otte opent de vergadering en heet alle aanwezige leden van harte welkom.

2. Vaststellen van de agenda

De agenda wordt unaniem aangenomen. Er vinden geen wijzigingen plaats met betrekking tot de voorgestelde agendapunten.

3. Mededelingen

Het bestuur vraagt de aanwezige leden aandacht voor:

- de European Workshop on Epitaxial Graphene (EWEG/2D 2014) die van 15 tot 19 juni gehouden wordt in Primosten (Kroatië).
- de 4de ITG International Vacuum Electronics Workshop in Bad Honnef (Duitsland).

4. Notulen Algemene Leden Vergadering 2013

De conceptnotulen van de algemene ledenvergadering van 2013 in Amsterdam worden zonder wijzigingen aangenomen.

5. Jaarverslagen van werkgroepen en commissies

Van de werkgroep constructies is geen jaarverslag ontvangen. Tevens zijn er geen leden van deze werkgroep aanwezig om mondeling verslag uit te brengen aangaande de activiteiten in het afgelopen jaar.

Van de werkgroep excursies is een kort verslag over 2013 opgenomen, tevens is

Rob Klöpping aanwezig. De geplande excursie naar Parijs heeft in 2013 geen doorgang gevonden in verband met te weinig belangstelling. Geopperd wordt daarom om weer een grotere excursie te organiseren. De excursie naar Korea in 2012 was zeer populair, snel volgeboekt en succesvol verlopen. Mogelijk wordt een bestemming in de Verenigde Staten gezocht.

Van de commissie opleidingen is een kort schriftelijk verslag betreffende de verzorgde examens EVT, VT en VT+.

Naar aanleiding van dit verslag wordt de vraag gesteld of de examens op internet kunnen worden gepubliceerd. Dit is echter geheel in handen van de commissie opleidingen en zal naar inzicht van de commissie opleidingen al dan niet openbaar worden gemaakt.

Omdat er in 2013 geen examens VT+ zijn afgenomen maar er wel een vraag uit de zaal komt voor dit examen zal het bestuur dit onderzoeken of het wellicht mogelijk is een examen VT+ in 2014 te faciliteren.

NEVAC blad / NEVAC-website

Van de redactie van het *NEVAC blad* is hoofdredacteur Hans van Eck aanwezig. Dit jaar zijn er weinig inzendingen geweest voor de NEVAC-prijs of als reguliere bijdrage. De redactie zal komend jaar meer energie aanwenden om de NEVAC-prijs en de aantrekkelijke regeling voor studenten en promovendi beter onder de aandacht te brengen.

De winnaar van de NEVAC-prijs van 2014 is Ronald van Leeuwen (TU Delft).

6. Financieel overzicht 2013 en begroting 2014

De penningmeester geeft de leden uitleg over de inkomsten en uitgaven betref-

fende het jaar 2013. Er is geen sprake van opmerkelijke inkomsten of uitgaven. Het batig saldo van 2013 wordt aan de reserves toegevoegd. Voor de begroting van 2014 wordt er expliciet een post bestuurskosten opgenomen om de relatie met de opleidingscommissie aan te halen vanwege het belang van deze commissie voor de vereniging.

7. Kascommissie en decharge bestuur

a) Het verslag van de kascommissie geeft een akkoord betreffende de financiën en de gevoerde administratie. Wel wordt er een opmerking gemaakt over de hoogte van de vrijwilligersvergoeding binnen de commissie opleidingen.

b) De kascommissie wordt voor een nieuwe termijn door de leden benoemd.

c) Decharge bestuur. De leden gaan unaniem akkoord met het decharge van het bestuur over het boekjaar 2013.

8. Bestuursmutaties

De termijn van drie jaar loopt ten einde voor de vice-voorzitter, penningmeester en de secretaris. Voor de positie van vice-voorzitter heeft Ingmar Swart zich bereid verklaard. Ingmar wordt met applaus door de leden benoemd in zijn nieuwe functie. Erwin Kessels wordt bedankt voor zijn periode van zes jaar binnen het bestuur.

Voor de posities van penningmeester en secretaris zijn geen tegenkandidaten gesteld. De penningmeester en secretaris worden voor een nieuwe termijn van drie jaar benoemd.

9. Rondvraag

Er worden geen vragen gesteld.

10. Sluiting

De voorzitter sluit om 11:30 uur de vergadering.

Agenda ALV 2015

1. Opening.
2. Vaststellen van de agenda.
3. Mededelingen.
4. Concept notulen van de Algemene Ledenvergadering 2014.
5. Jaarverslagen van de Werkgroepen en Commissies.
 - Constructies
 - Excursies
 - Opleidingen
 - *NEVAC blad* / Website
6. Financieel overzicht 2014 en begroting 2015.
7. Verslag van de kascommissie.
8. Decharge van het bestuur en benoeming nieuwe kascommissie.
9. Bestuursmutaties.
10. Rondvraag.
11. Sluiting.

Excursiecommissie

Er is in 2014 geen buitenlandexcursie geweest.

Rob Klöpping

Jaarverslag 2014 Commissie Opleidingen NEVAC

Commissieleden:

A.D. van Langeveld (voorzitter), C.W. Hagen (TUD), J.W.M. van Kessel, Th. Mulder, H.J.M. Oerbekke (UT), D. Schijve (Vactec), E.P.T.M. Suurmeijer, en J.B.A. van Zon (Philips Nat.Lab.).

NEVAC-examens:

De schriftelijke examens 2014 werden op maandag 14 april op twee niveaus afgenomen, t.w. Elementaire Vacuümtechniek (EVT) en Vacuümtechniek (VT). Voor het examen EVT verschenen 27 kandidaten; hiervan zijn er 21 geslaagd. Van de 18 kandidaten voor het examen VT zijn er 15 geslaagd.

De schriftelijke NEVAC-examens EVT en VT 2015 zijn gepland op maandag 20 april. Er worden in 2015 geen examens VTPlus afgenomen.

A.D. van Langeveld
Voorzitter



All-metal variable leak valve

Gas inlet valve for smallest gas flows
to control the process pressure

Series 59.0, DN 16 (5/8")

- Fast and stable pressure adjustment
- Precise and reproducible over ten orders of magnitude
- Closed control loop with extremely short response time
- Pressure mode operation automatically compensates for environmental influences

**Stepper motor
with integrated pressure
controller**

Financieel jaarverslag 2014

Resultaatrekening

Inkomsten		Uitgaven	
Contributies		Bestuurskosten	€ 2.719,75
<i>studentleden</i>	7 € 35,00	Bank- en administratiekosten	€ 713,65
<i>gewone leden</i>	181 € 3.618,15	IUVSTA	€ 750,00
<i>bedrijfsleden</i>	55 € 8.250,00	NEVAC blad	€ 11.210,81
BBVT	50 € 3.378,00	BBVT	€ 544,25
Advertenties NEVAC blad	€ 7.000,00	Website	€ 624,84
NEVAC-dag	€ 3.500,00	NEVAC-dag	€ 5.127,34
Commissie opleidingen	€ 3.545,15	NEVAC-prijs	€ 1.000,00
Diverse inkomsten	€ -	Diverse uitgaven	€ -
Renten	€ 1.219,35	Saldo	€ 6.289,55
Inkomsten totaal	€ 30.545,65	Uitgaven totaal	€ 30.545,65

Balans per 31 december 2014

Activa		Passiva	
Kas	€ -	Crediteuren	€ 1.762,26
Betaalrekeningen			
<i>ING</i>	€ 2.118,00		
<i>ABN AMRO</i>	€ 650,48		
Spaartegoeden	€ 95.000,00		
Kas Cie Opleidingen	€ 6.887,59		
Debiteuren	€ 5.960,68		
BBVT in voorraad	465	Eigen vermogen	€ 102.564,94
Totaal Activa	€ 110.616,75	Saldo resultaat 2013	€ 6.289,55
		Totaal passiva	€ 110.616,75

Nieuwegein 5 februari 2015

Aan de leden van de NEVAC

De kascommissie heeft de financiële administratie van de NEVAC in goede staat aangetroffen.

Het jaar 2014 is afgesloten met een positief saldo waarmee het vermogen van de vereniging verder is gegroeid. Het positieve saldo is vooral ontstaan door lagere uitgaven dan begroot voor NEVAC -dag en NEVAC blad. De bestuurskosten voor 2014 waren weliswaar hoger dan begroot, maar dit is het gevolg van een zeer nuttige en succesvolle 'get together' campagne. Voor 2015 staat er een buitenlandse excursie op de begroting waarvoor een deel van het NEVAC-vermogen zal worden aangesproken.

Onder verantwoordelijkheid van het bestuur van de NEVAC wordt door de commissie opleidingen een eigen financiële administratie gevoerd. Deze administratie maakt onderdeel uit van het financieel verslag van de vereniging en geeft duidelijk inkomsten en uitgaven weer. De commissie heeft een positief saldo dat onderdeel uitmaakt van de inkomsten van de vereniging, hetgeen ook in de begroting voor 2015 is opgenomen. De uitgekeerde vergoedingen binnen de commissie opleidingen zijn nu meer in balans met de toegestane belastingvrije vergoedingen voor vrijwilligerswerk dan in voorgaande jaren.

De kascommissie constateert dat er nog slechts één NEVAC-prijs in de begroting is opgenomen.

De kascommissie adviseert om de financiële afrekening vast te stellen en het bestuur decharge te verlenen van zijn verantwoordelijkheid over het boekjaar 2014.

De Kascommissie

Paul Smeets

Pedro Zeijlmans van Emmichoven

Begroting 2014

Inkomsten				Uitgaven			
Contributies				Bestuurskosten			
<i>studentleden</i>	10	€	50,00	Bank- en administratiekosten	€	750,00	1.000,00
<i>gewone leden</i>	225	€	4.500,00	IUVSTA	€	750,00	
<i>bedrijfsleden</i>	60	€	9.000,00	BBVT	€	1.000,00	
BBVT	60	€	4.200,00	NEVAC blad	€	15.000,00	
NEVAC blad		€	8.500,00	NEVAC-dag	€	10.000,00	
NEVAC-dag		€	3.500,00	Excursies	€	500,00	
				NEVAC-prijs	€	1.000,00	
Renten		€	1.750,00	Website	€	1.500,00	
				Saldo	€	-	
Inkomsten totaal		€	31.500,00	Uitgaven totaal	€	31.500,00	

Begroting 2015

Inkomsten				Uitgaven			
Contributies				Bestuurskosten			
<i>studentleden</i>	10	€	50,00	Bank- en administratiekosten	€	750,00	2.000,00
<i>gewone leden</i>	225	€	4.500,00	IUVSTA	€	750,00	
<i>bedrijfsleden</i>	60	€	9.000,00	BBVT	€	500,00	
BBVT	50	€	3.500,00	NEVAC blad	€	12.000,00	
NEVAC blad		€	7.000,00	NEVAC-dag	€	7.500,00	
NEVAC-dag		€	3.500,00	Excursies	€	10.000,00	
Cie opleidingen		€	3.500,00	NEVAC-prijs	€	1.000,00	
Renten		€	1.250,00	Website	€	500,00	
				Saldo	€	-2.700,00	
Inkomsten totaal		€	32.300,00	Uitgaven totaal	€	32.300,00	

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 derde editie van dit boek.

Overzicht inhoud:

Compressie, Zijkanaalverdichter, Rootspomp, Klauwpomp, Schroefpomp, MDP/zijkanaalpompe, Getterionpompe, Bourdonmanometer (elektronische uitvoering), Capsuleveermanometer, Mechanische membraanmanometer, Kwartzkristal frictiemano-meter, Ionbronnen, Spectrumanalyse, Lekdetectiemethoden, Atmosfeermethode versus 'Bombing', Snuffelsystemen, Ontgassing van oppervlakken, Verontreinigingen aan oppervlakken.

Een uitgave van de Commissie Opleidingen der Nederlandse Vacuümvereniging. Ringbanduitvoering, A4 formaat in zwart/wit met full colour omslag in de kleur van het BBVT. Prijs € 20 (België € 24) inclusief verzendkosten.

U kunt het *Supplement* bestellen, door € 20 (België € 27) over te maken naar:

IBAN: NL39 INGB 000 3362114, BIC: INGBNL2A

t.n.v. Nevac Commissie Opleidingen, Peize.

o.v.v. 'Supplement BBVT' én het verzendadres.

Na ontvangst van uw betaling wordt het *Supplement* naar u opgestuurd.



Resultaten enquête bedrijfsleden

NEVAC

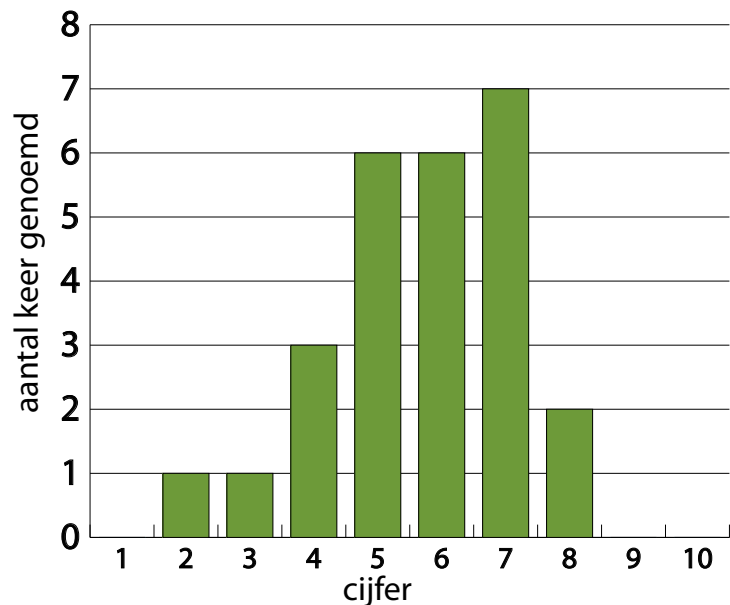
De NEVAC is een vereniging met een groot aantal leden. De lidmaatschappen kunnen verdeeld worden in twee vormen: persoonlijke lidmaatschappen en bedrijfslidmaatschappen.

Vanuit de bedrijfsleden zijn er signalen afgegeven die duidelijk maakten dat er een hogere verwachting is met betrekking tot de belangenbehartiging door de NEVAC. Het is erg moeilijk om dit soort signalen te toetsen, daarom is er een initiatief genomen om, door middel van het rondsturen van een kleine enquête, een beter inzicht te krijgen over wat er leeft bij de bedrijfsleden.

Namens de bedrijfsleden is het initiatief voor deze enquête genomen door Ron van Vossen (Pfeiffer Vacuum Benelux BV), Dirk Pootjes (Demaco Holland BV) en Ad Ettema (Oxford Instruments/penningmeester NEVAC).

Op 21 november 2014 is er een enquête uitgestuurd naar alle bedrijfsleden. Hiervoor zijn de bij de NEVAC bekende e-mailadressen gebruikt. In totaal zijn er 63 mails verstuurd. Hierop hebben 27 bedrijfsleden gereageerd. Dit komt overeen met 42,9 %. We mogen stellen dat dit ruim voldoende is om conclusies te mogen trekken.

De eerste vraag van de enquête was bedoeld om na te gaan of de reacties van actieve of inactieve bedrijfsleden afkomstig zijn. Het was goed om te constateren dat veel reacties afkomstig zijn van bedrijfsleden die op de NEVAC-dag aanwezig zijn en/of die adverteren in het NEVAC-blad en/of een artikel schrijven in het NEVAC-blad. Ook zijn er reacties geweest van inactieve leden. Diverse malen werd door deze inactieve leden aangegeven dat er onvoldoende tijd beschikbaar is om zich actief bezig te kunnen houden met de mogelijkheden die de NEVAC kan bieden.



In de tweede vraag werd gevraagd om de specifieke belangenbehartiging voor de bedrijfsleden te waarderen in de vorm van een cijfer tussen 0 en 10. (0 = zeer slecht, 10 = uitmuntend). In totaal hebben 26 deelnemers een cijfer gegeven. Het gemiddelde van deze cijfers was 5,7. De onderstaande grafiek laat een overzicht zien van de gegeven cijfers. Gezien de spreiding mag geconcludeerd worden dat er zowel tevreden als ontevreden bedrijfsleden zijn. Het gemiddelde laat echter zien dat er nog voldoende ruimte voor verbetering is.

Bij vraag drie en vier was er voor de bedrijfsleden de mogelijkheid om met opmerkingen, ideeën en wensen te komen. Hierop is uitgebreid gereageerd. Opvallend daarbij is dat veel reacties over dezelfde onderwerpen gaan. De vijf hoofdonderwerpen zijn:

NEVAC-blad

Meer ruimte voor technische artikelen, nieuwe producten, bedrijfsprofielen en industriële toepassingen.

NEVAC-dag

De bedrijfsstands een centralere plaats geven, meer technische en/of productpresentaties.

Contactmomenten

Wat kan er naast de NEVAC-dag nog meer georganiseerd worden zodat leden en bedrijfsleden elkaar kunnen ontmoeten?

Exposure

Bedrijfsbezoeken, seminars, workshops.
[Meer business versus wetenschap](#)
Meer technische artikelen, meer aandacht voor de industrie.

Conclusie

Het gemiddelde van het gegeven cijfer voor de belangenbehartiging door de NEVAC (een 5,7) laat zien dat de bedrijfsleden vinden dat er ruimte voor verbetering is. Er zijn vijf hoofdonderwerpen genoemd waar die verbetering wenselijk is. Het geven van meer aandacht aan techniek, in welke vorm dan ook, loopt als een rode draad door alle onderwerpen heen.

Een aantal leden zijn bereid om actief mee te denken met het bestuur van de NEVAC. Dit laat zien dat de bedrijfsleden zich betrokken voelen, en dat zij het belang van de NEVAC inzien.

Ron van Vossen
Pfeiffer Vacuum Benelux BV

Richtlijnen bedrijfsrubrieken

Vacuümtechniek

2-5 pagina's

Tekst van maximaal 2000 woorden, max. 12 afbeeldingen

In dit uitgebreide artikel worden nieuwe producten/technieken/processen beschreven die ontwikkeld zijn door een bedrijf. In de inleiding van maximaal 150 woorden, wordt in het kort beschreven waar het artikel over gaat. Begin daarna met het in perspectief zetten van het nieuwe aan het/de product/techniek/proces. Wat bestond er al en wat was nog niet mogelijk met de oude technieken. Vervolgens, bijvoorbeeld: Wie hebben er gewerkt aan de vernieuwing en wat hebben ze bereikt. Eventueel de problemen die er tijdens de productontwikkeling waren en die nu opgelost zijn. Wat zijn nieuwe eigenschappen en waarvoor kunnen die gebruikt worden. Beschrijving van tests/experimenten met nieuwe producten/technieken/processen. Tenslotte: iets over verwachte verdere ontwikkelingen en conclusie.

Niveau:

Ga ervan uit dat een technicus dit artikel kan begrijpen. Werk ingewikkelde concepten/technische details uit in een informa-

tief kader en gebruik waar mogelijk afbeeldingen van opstellingen/resultaten/metingen/details om dingen uit te leggen.

Nieuw product

Maximaal 1 pagina

Tekst max. 300 woorden, 1-3 afbeeldingen

De tekst gaat over wat er nieuw is aan het product en waarvoor het gebruikt kan worden. Het heeft een informatieve toon, geen 'verkooppraatje'. Een technicus moet kunnen begrijpen wat er staat. Eventueel een kader toevoegen met technische informatie (max. 75 woorden).

Viewport

Maximaal 1 pagina

Tekst max. 400 woorden incl. een kader met contactinformatie en webadres voor meer informatie, 1-2 afbeeldingen

In deze tekst gaat stelt een bedrijf zich voor aan de leden van de NEVAC. Wat is de core business van het bedrijf en wat is speciaal interessant om te weten voor de leden van onze vereniging. Het heeft een informatieve toon, geen 'verkooppraatje'.



TiTan™ Ion Pumps 0.2 - 1200 liters/second



Digitel™ Ion Pump and TSP Controllers Small, Large, and Multiple Pump Controllers

Titanium Sublimation & Non-Evaporable Getter Pumps

Acclon Technologies BV

Nijverheidsweg 34
3274 KJ Heinenoord - The Netherlands
+31 (0) 85 273 7267 T
+31 (0) 84 883 0382 F

gammavacuum.com | info@acclontechnologies.com

Agenda

10 april 2015
Fysica 2015, TU Eindhoven
www.fysica.nl

17 april 2015
NEVAC-dag 2015, Het Kasteel, Groningen

25 - 30 april 2015
Society of Vacuum Coaters 58th Annual Technical Conference
Santa Clara, California, VS

17 - 21 mei 2015
The 13th IUVSTA School on Vacuum Gas Dynamics: Theory, Experiments and Applications, Hotel Philipion - Thessaloniki, Greece

16 - 19 juni 2015
Physical Electronics Conference (PEC 2015), Rutgers University, New Brunswick, NJ, VS

6 - 10 juli 2015
76th IUVSTA Workshop
Structure of ultra thin films of oxides on metal surfaces
Avila, Spain

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

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

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

22-26 augustus 2016
IVC20, Busan, Korea



KNOWLEDGE



SOLUTIONS



INNOVATION

➔ CERAMIC ON THE RIGHT SPOT!

customized products
cost-effective
engineering

ceratec[®]
TECHNICAL CERAMICS BV

CERATEC.NL

Specs Surface Nano Analysis GmbH



SPECS™

Near Ambient Pressure XPS System.

SPECS Surface Nano Analysis GmbH is a leading manufacturer of the components and individually designed systems for surface analysis, being an expert in photoelectron spectroscopy for chemical analysis, surface spectroscopy and microscopy, surface preparation, characterization and thin films deposition.

We provide our users with versatile product portfolio:

- ◇ Electron Spectrometers with modular detectors for XPS, UPS, ARPES, Spin Resolved-PES and ISS;
- ◇ Advanced instrumentation for SPM technique and atoms manipulation realized under UHV conditions including variable temperature solution;
- ◇ Integration of SPM and SEM/SIM techniques;
- ◇ Strongest and flexible Nanonis control system compatible with any SPM machines;
- ◇ Complete range of the components for structural analysis of the surfaces, thin films growing and deposition;

◇ FlexMod System concept - customized solutions as stand-alone systems, but also for integration of several techniques into versatile multimethod analysis systems;

◇ Near Ambient Pressure components and systems for PES and SPM analysis in-situ and in-operando;

◇ Low Energy and Photoemission Electron Microscopes.

We are pleased to announce our new Liaison office in Benelux!

Please contact us:

SPECS Surface Nano Analysis GmbH

T. +31 631 78 74 37;

F +49 30 46 42 083;

E Yulia.Alekseeva@specs.com

www.specs.com



FE-LEEM System.



Aarhus SPM System.

Your European Vacuum supplier



VACUUM TECHNOLOGY
Hositrad

De Wel 44
3871 MV Hoevelaken
Holland

Postbus 114
3870 CC Hoevelaken
Holland

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

Nieuw product:

NanoESCA

Leverancier: Oxford Instruments Omicron Nanotechnology GmbH

De eerste Nobelprijs voor Albert Einstein was voor het fotoelektrisch effect: Fotonen met voldoende energie kunnen elektronen uit atomen vrijmaken. Door de energie van de uittredende elektronen te analyseren kan de energie van de begintoestand van het elektron worden herleid. Dit is specifieke informatie voor verschillende elementen die vaak ook afhankelijk is van de valentietoestand van het element.

Hoe werkt het:

De analyse van elektronen vindt plaats door middel van elektrostatische afbuiging in een halve bol. Door middel van spleten kan gefilterd worden op een bepaalde elektronen-energie en het aantal elektronen van een bepaalde energie kan worden geteld.

Door de afbuiging gaat in een richting de informatie over plaats of impuls verloren. Door de elektronen twee keer door een halve bol te leiden kan de aberratie uit de eerste halve bol worden gecompenseerd en kunnen de elektronen met hoge plaats- of impulsresolutie worden afgebeeld op de detector.



De eerste lens, met een grote openingshoek, focuseert elektronen in het lenzensysteem, dat zo kan worden afgesteld dat het de plaatsverdeling of de impulsverdeling van de elektronen uit het monster op de detector afbeeldt.

Afhankelijk van de helderheid van de excitatiebron kan een plaatsoplossend vermogen van ongeveer 150 nm worden bereikt in XPS (foto-elektronspectroscopie met röntgenstralen) en 30 nm in PEEM (foto-emissie-elektronenmicroscopie)-modus. In de impuls modus kan vanwege de grote openingshoek met UPS (ultraviolet foto-elektronspectroscopie) de complete Brillouinzone als functie van de energie in een keer worden afgebeeld. Het opmeten van een complete bandenstructuur van een vaste stof duurt hierbij nog maar een uurtje.



Wordt nu NEVAC-lid

en ontvang drie maal per jaar het
NEVAC blad

Andere voordelen

Contact met vakgenoten

Vakexcursies

Symposia

Voor bedrijfsleden:

vermelding op de NEVAC-website

Kosten per jaar

Gewone leden € 20,-

Studenten en promovendi € 5,-

Bedrijfsleden € 150,-

U kunt zich aanmelden met het formulier op

www.nevac.nl

Oproep aan bedrijfsleden

Het NEVAC blad heeft drie nieuwe rubrieken:

- **Vacuümtechniek**
- **Nieuw product**
- **Viewport**

Uw bijdrage voor deze rubrieken kunt u sturen naar:

redactie@nevac.nl

NanoTech

Forging Links with Nanoscience - For Decades



*Triton[®]DR -
Dry Dilution
Refrigerator*



*SpectromagPT Cryofree
optical split pair magnet system*



Combined SPM, PVD, ALD & Sputtering System



*R&D 100 winner
LT NANOPROBE*



Ultimate iXPS & μARUPS with NanoESCA

PLD CVD **SPM** Plasma
Cryofree[®] **ULT** PVD
GIS Nanotools Deposition iXPS
Superconducting Magnets ALD **ESCA**
3D-Magnet LEED EFM IoN Beam
Nanotechnology
FIB HE³ SAM Nanoprobng EBSD
UPS XPS Thin Film Dilution Cryostat
Graphene High Field & Custom Magnets
AES Process Techniques PEEM Etch
Combined Environments
AFM MFM Nanomechanics μK
Optical Cryostat SEM
MBE STM EDS
Vector Rotating Magnets nc-AFM
Flow Crvostat

OXFORD
INSTRUMENTS

The Business of Science[®]

For further information:
omicron.nanoscience@oxinst.com
www.oxford-instruments.com

Your contact in NL:
Dr. Ad Ettema
Tel.: +31 (0) 15 2600 406
Mail: ad.ettema@oxinst.com

