

NEVAC

jaargang 62 nummer 2 september 2024



NEDERLANDSE
VACUÛMVERENIGING

blad

Strategieën voor
contaminatiebeheer
van space-hardware

Jan Verhoeven's
loopbaan in vacuüm:
Nog altijd leren in het lab

Verslag van NEVAC-dag 2024
bij Leidse instrumentmakers School



Verenigingsgegevens

Ereleden

L.G.J.M. Hassink
† G. Ikkink
† Prof.dr. J. Kistemaker
† Ir. J.H. Makkink
Th. Mulder
Dr.ir. E.P.Th.M. Suurmeijer
Prof. dr. J.F. van der Veen
Dr.ir. J. Verhoeven

Bestuur

Freek Molkenboer, voorzitter
Sense Jan van der Molen, vicevoorzitter
René Erkelens, penningmeester
Pieter Heidema, secretaris

Verenigingssecretariaat

Pieter Heidema
secretaris@nevac.nl

Ledenadministratie

René Erkelens
penningmeester@nevac.nl

Penningmeester NEVAC

IBAN: NL50 INGB 0001 8515 29
o.v.v. penningmeester NEVAC
René Erkelens
penningmeester@nevac.nl

Contributies

Contributie € 30,- per jaar
Studenten/promovendi € 5,- per jaar
Bedrijfsleden € 175,- per jaar

Inlichtingen over opleidingen en examens

Dr. Gesa Welker
g.welker@gmx.net

Vacuümboeken uitgegeven onder
auspiciën van de NEVAC:



De toekomst

Op 16 mei hadden we onze jaarlijkse NEVAC-dag, dit jaar in samenwerking met de Leidse instrumentmakers School (LiS) en de alumnivereniging van de LiS. We kunnen terugkijken op een geslaagde dag met meer dan 100 bezoekers, mooie presentaties en rondleidingen. Het uitgebreide verslag staat natuurlijk in dit nummer. Voor mij was het een speciale dag, omdat ik na twee jaar vicevoorzitterschap de voorzittershamer heb mogen overnemen van Sense Jan van der Molen.



Als bestuur kijken we terug op een periode waarin we veel achter de schermen hebben veranderd. Dit werk is nu grotendeels afgerond, denk aan de nieuwe statuten, het tijdens de ALV goedgekeurde huishoudelijk reglement en de nieuwe structuur van de opleidingen die onder auspiciën van de NEVAC worden georganiseerd. Ik verwacht dat er nog meer van dit soort taken zullen komen, maar in dit stuk wil ik vooral naar de toekomst van de vereniging kijken.

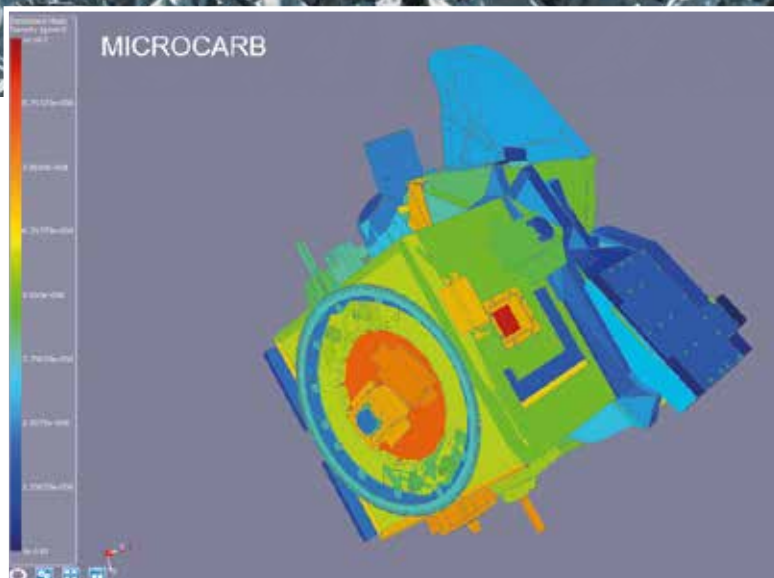
Vacuüm is extreem belangrijk in veel technologische domeinen, maar dit wordt soms vergeten. Wij moeten deze boodschap nog beter naar voren brengen. Als bestuur doen we dit door verbindingen aan te gaan met zusterorganisaties in Nederland, zoals DSPE, VCCN en Mikrocentrum. Een nieuwe verbinding die we zijn aangegaan, is met de Nederlandse Natuurkundige Vereniging (NNV). De novembereditie van het Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde zal drie artikelen over vacuüm bevatten. Ook organiseren we een 'NNV ontmoet de NEVAC'-middag eind november om het belang van vacuüm in de wetenschap in de schijnwerpers te zetten. De details van deze middag worden op zowel onze website als de NNV-website gepubliceerd.

Nog een paar praktische punten. We zoeken nog één lid voor de kascommissie; dit vergt slechts een paar uur werk per jaar en is een belangrijk onderdeel van goed bestuur. En een verzoek om met iedereen die je kent te delen dat er een mooie Nederlandse Vacuümvereniging is waarvan het zeer de moeite waard is om lid te worden.

Freek Molkenboer
Voorzitter NEVAC

Inhoud

- 2 Van de redactie
De toekomst
- 4 Contaminatiebeheersing
Schoon op de grond en
in de ruimte
- 11 Verslag NEVAC-dag 2024
Vacuüm, research-
instrumenten en
natuurkunde
- 16 Van het bestuur
Onder meer: Update
IUVSTA-workshop 2025
- 18 Loopbaan in vacuüm
Jan Verhoeven (AMOLF,
NEVAC, AMC, DIFFER,
ARCNL, ...)
- 22 Verslag Dutch Fusion
Day 2024
Fusie in Nederland



- 26 Verslag Clean Event 2024
Maak het schoon

31 Nieuws

- 34 Stel je voor
Thom Bijsterbosch

35 Agenda

- 4 Contaminatiemodellering op
satellietniveau: afgezette massadichtheden
voor de externe oppervlakken van de
Microcarb-satelliet.

Cover

De opstelling waarmee Jan Verhoeven bij ARNCL onderzoek doet aan secundaire elektronenemissie gedurende een bombardement met energetische elektronen. (Foto: Arend-Jan van Calcar)

Colofon

Redactie

Rients de Groot
Aart Kleyn
René Koops
Ronald Sheriff
Hans van Eerden (eindredacteur)
redactie@nevac.nl

Grafische vormgeving

Snep

Druk

Drukkerij Tienen

Verschijningsdata 2024

April / September / December

Web-adres

www.nevac.nl

Abonnementen (voor niet-leden)

Binnenland € 100,- per jaar
Buitenland € 150,- per jaar

Advertentie-exploitatie

NEVAC
René Erkelens
penningmeester@nevac.nl

Kopij inzenden naar redactie@nevac.nl.
Lidmaatschap en abonnementen
opgeven bij de ledenadministratie,
penningmeester@nevac.nl.

Vergoeding kopij

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

ISSN 0169-9431

Sluitingsdatum kopij

NEVAC blad 2024 nr. 3:
1 november

Schoon op de grond en in de ruimte

Voor de materiaalselectie voor space-toepassingen gelden zeer strikte regels. Toch kunnen sommige polymeren nog steeds moleculaire stoffen uitgassen die mogelijk condenseren op gevoelige oppervlakken van satellieten. Dit blijkt zelfs het geval na thermische voorbehandeling die onder ultrahoogvacuüm wordt uitgevoerd tijdens de hardware-assemblage. Contaminatie met dergelijke residuen kan in de ruimte de nominale prestaties van een satelliet negatief beïnvloeden. Daarom moeten mitigerende maatregelen en met name strategieën voor contaminatiebeheersing ('contamination control') worden ontwikkeld en uitgevoerd. Deze zijn van toepassing zowel op de grond, voor de lancering, als in de ruimte, wanneer er tijdens gebruik een storing optreedt. Hiervoor bestaan conventionele reinigingsprocessen, maar er worden ook interessante alternatieven onderzocht, zoals contactloze technieken of het gebruik van 'contamination traps'.

Delphine Faye

Over de auteur

Delphine Faye is contaminatie-expert bij het Centre National d'Etudes Spatiales in Toulouse (Frankrijk). Dit artikel is een bewerking en vertaling van een uitgebreidere bijdrage van haar hand.

www.cnes.fr

Inleiding

Satellieten bestaan uit een technisch platform met alle functies voor operatie in de ruimte (elektrische stroomvoorziening, temperatuurbeheersing, voortstuwing, enz.) en een lading ('payload') met specifieke instrumenten voor bijvoorbeeld wetenschappelijk onderzoek of aardobservatie. In de ruimte zijn de omstandigheden zwaar, met vacuüm, straling en thermische cycli. Daarom gelden er veel beperkingen en vereisten, onder meer voor materialen, die strikt moeten worden toegepast, met name voor contaminatiebeheersing. Want dit is een belangrijke succesfactor voor geavanceerde missies met steeds striktere kwaliteits- en betrouwbaarheidsniveaus en een langere levensduur.

Lessen uit het verleden bevestigden de noodzaak om te anticiperen op mogelijk falen tijdens een missie in ruimtevaartuigapparatuur. Dit falen kan worden veroorzaakt door deeltjes of chemische verontreinigingen die voornamelijk het gevolg zijn van het uitgasen van polymeermaterialen onder vacuüm. Om optimale prestaties van alle apparatuur te behouden tot het einde van een missie, moet het risico op degradatie worden beperkt tijdens de verschillende fasen van ontwikkeling en operatie van een ruimtevaartuig. Dit vereist veel voorzorgsmaatregelen, niet alleen bij het ontwerp en de productie, maar ook en vooral tijdens de stappen van integratie en testen, waarbij een schone omgeving sterk is aanbevolen. Echter, nul risico kan niet volledig worden bereikt...

Contaminatieproblemen in de ruimtevaart

Een verontreiniging wordt over het algemeen gedefinieerd als ongewenste moleculaire of deeltjesvormige materie op het oppervlak of in de relevante omgeving die de prestaties of levensduur kan beïnvloeden of verslechteren. Er kunnen drie categorieën worden onderscheiden (Figuur 1):

- deeltjesvormige verontreinigingen zoals stofdeeltjes of vezels die door luchtstromingen worden meegevoerd en die zich ophopen op de oppervlakken (voor-

namelijk op de grond, 'on-ground');

- moleculaire verontreinigingen, meestal residuen, min of meer homogene films of afzettingen van druppels (op de grond maar voornamelijk in de ruimte, 'in-orbit');
- microbiologische verontreinigingen zoals levensvatbare in de lucht zwevende deeltjes of oppervlakte-deeltjes (levende micro-organismen zoals bacteriën en schimmels die op de grond voorkomen); dit type verontreiniging wordt alleen aangepakt wanneer planetaire beschermingsmaatregelen van toepassing zijn op ruimteverkenningprogramma's.

De overdrachtsmechanismen voor deze verontreinigingen door contact met een oppervlak of door emissie in de omgeving kunnen zeer complex zijn. In het geval van moleculaire verontreiniging van polymeren die onder vacuüm uitgassen, is het pad dat de flux van uitgestoten chemische stoffen volgt niet altijd direct. De verontreinigingen kunnen ook op een spiegelende of diffuse manier worden gereflecteerd, afhankelijk van de kleefcoëfficiënt op het ontvangende oppervlak. Maar ze kunnen ook worden verstrooid door andere in de lucht zwevende verontreinigingen of door de resterende gasvormige omgeving, zoals weergegeven in Figuur 2. Hierbij zal het risico op verontreiniging niet alleen direct zichtbare gevoe-



Figuur 1. Enkele voorbeelden van verontreinigingen.

lige oppervlakken betreffen, maar ook – via meervoudige reflecties of diffusie – andere oppervlakken die min of meer dicht bij het emitterende oppervlak liggen.

De impact hangt af van het type verontreiniging en op welk oppervlak de verontreiniging terechtkomt. De gevolgen van de verontreiniging zijn divers, omdat verschillende subsystemen er elk op hun eigen manier gevoelig voor zijn, zoals optica, coatings voor temperatuurbereiding, zonnepanelen, enz. Hun fysische kenmerken (zoals

optische en thermo-optische eigenschappen) kunnen op de (middel)lange termijn meer of minder veranderen door absorptie, oppervlakte-afscherming of verstrooiings-effecten. Moleculaire afzettingen komen meestal voor op de koudste oppervlakken van een ruimtevaartuig, maar deze verontreinigingen kunnen opnieuw worden uitgestoten als gevolg van temperatuurvariatie (opwarmen en afkoelen) tijdens de missie. Bovendien kunnen zelfs hete oppervlakken worden beïnvloed door synergetische effecten van UV-zonnestraling met verontrei-

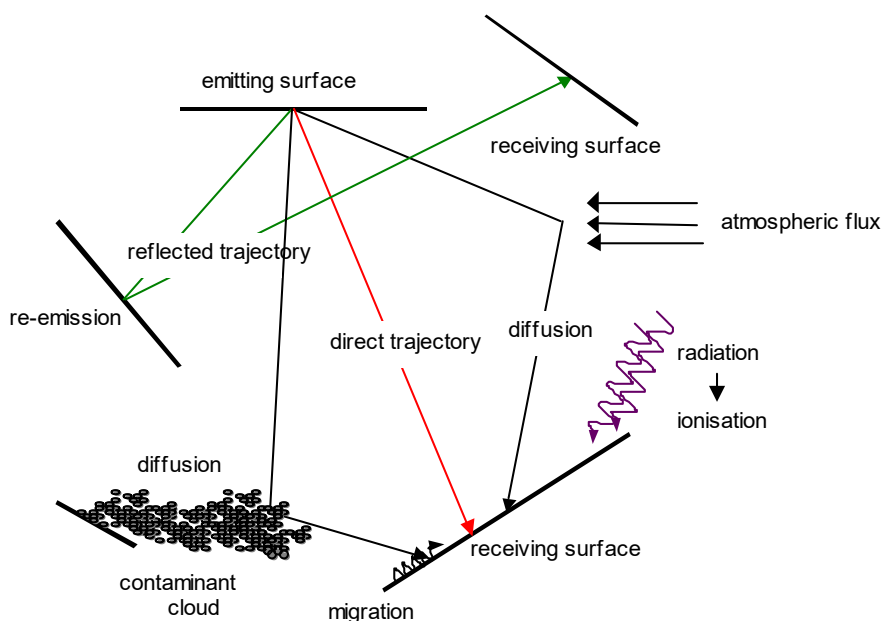
nigde oppervlakken via een fotochemisch afzettingsproces. Dat kan leiden tot fotolyse of fotofixatie van de moleculaire afzettingen.

Voor het garanderen van een succesvolle missie zijn daarom specifieke inspanningen vereist om de verontreinigingsniveaus en bijgevolg het prestatieverlies van ruimtevaartuiginstrumenten tijdens hun levensduur te bepalen en te minimaliseren.

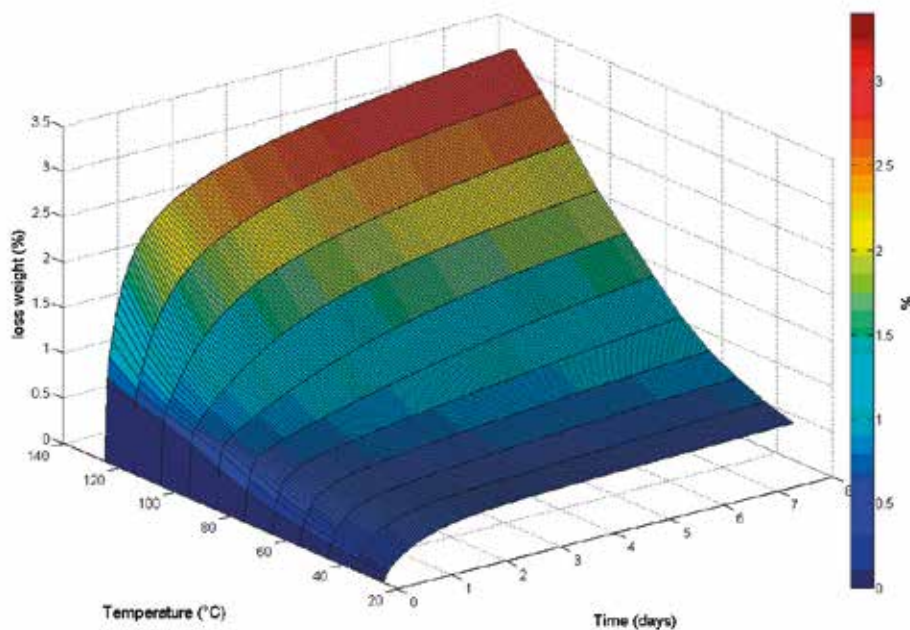
Huidige aanpak moleculaire contaminatiebeheersing

Het wordt sterk aanbevolen om zo vroeg mogelijk een effectief Cleanliness and Contamination Control Plan (C&CCP) op te stellen. Daarbij dient rekening te worden gehouden met alle specifieke randvoorwaarden van een ruimtevaartproject en contaminatiegevoeligheden van boordinstrumenten. Die kunnen sterk verschillen tussen bijvoorbeeld een telecommunicatiesatelliet en een wetenschappelijke zonnepaneel. Het C&CCP moet worden geïmplementeerd tijdens de ontwikkeling van het ruimtevaartuig (van instrumentniveau tot in-flight-operaties) [1].

Contaminatiebeheersing is de enige manier om risico's voor activiteiten op de grond en metingen in de ruimte te beheersen. In principe houdt dit in:



Figuur 2. Overdrachtsmechanismen voor moleculen.

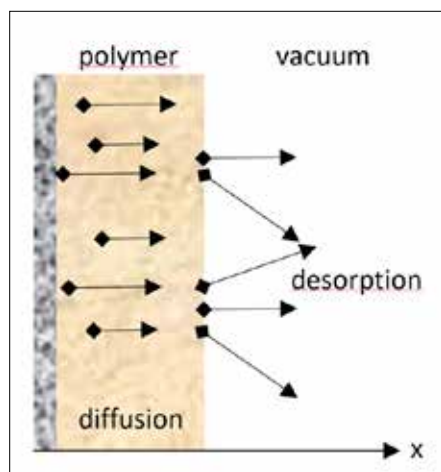


Figuur 3. Isothermisch uitgassingsprofiel van Dynaloy 325-lijm tussen 25 en 125 °C.

- de gevoelige functionele oppervlakken en hun variabele thermische omgeving identificeren;
- de kritische items als bronnen van contaminatie identificeren;
- strikte criteria voor materiaalselectie definiëren;
- geschikte hulpmiddelen voor contaminatiemodelleren gebruiken;
- een cleanroomomgeving voor assemblage en integratie gebruiken en testfaciliteiten reinigen;
- contaminatieniveaus bewaken tijdens het gehele proces;
- de on-ground bake-out-strategie aanpassen (voor faciliteiten en space-hardware);

- een strategie voor in-orbit contaminatiebeheersing (decontaminatiestrategie) overwegen.

De meeste richtlijnen die de Europese ruimtevaartindustrie volgt, zijn vervat in de Europese ruimtevaartnorm ECSS-Q-ST-70-01C [1]. Dit complete normdocument beschrijft het volledige contaminatiebeheersingsproces met veel nuttige verwijzingen naar andere normen, zoals die van de ISO 14644 serie voor cleanrooms en andere gecontroleerde omgevingen. Bepalingen, activiteiten en verificatiemethoden die nodig zijn om de vooraf gedefinieerde reinheidseisen te bereiken, moeten worden geïdentificeerd door het projectteam dat werkt aan een instrument. Bovendien moeten corrigerende maatregelen worden bedacht om eventuele problemen bij latere stappen op te lossen.



Figuur 4. Uitgassingsproces: diffusie gevolgd door desorptie.

In de vroege fasen van de realisatie van een nieuw instrument zijn risicoanalyse en -voorspelling van het grootste belang. Dat geldt bijvoorbeeld voor de polymeren die worden gebruikt bij de fabricage van ruimtevaartuigen en bijbehorende apparatuur; denk aan harsen, verf, plakband, structurele elementen en smeermiddelen. Een geschikte selectie kan worden gebaseerd op de resultaten van een gestandaardiseerde thermische vacuümtest zoals beschreven in ECSS-Q-ST-70-02C voor

het bepalen van de uitgassingseigenschappen van materialen. Acceptatielimieten zijn gedefinieerd voor toepassing van een materiaal en de volgende parameters worden gemeten:

- totaal massaverlies (% TML, total mass loss);
- teruggewonnen massaverlies (% RML, recovered mass loss), uitgezonderd water;
- verzameld vluchtig condenseerbaar materiaal (% CVCM, collected volatile condensable material).

De klassieke acceptatievereiste is voor RML < 1% en voor CVCM < 0,1%. Als materialen zich echter in een cryogene omgeving bevinden, geldt TML < 1%, aangezien water daar als een verontreiniging kan worden beschouwd. Bovendien, als er bijvoorbeeld een risico is voor optische oppervlakken, kunnen de klassieke vereisten worden gedeeld door een factor 10.

Lage uitgassing wordt als een belangrijke eigenschap gezien wanneer de andere fysische eigenschappen van het betreffende materiaal zijn geaccepteerd voor het beoogde gebruik. Als er echter een specifiek materiaal vereist is en de uitgassing van dit materiaal boven de algemene vereisten ligt, dan moeten er corrigerende maatregelen worden genomen. Daarom wordt er vaak een thermische bake-out uitgevoerd, in een vacuümketel, om op de laagst mogelijke uitgassing van het product te komen, en om hiermee het uitgassingspotentieel in de ruimte te verminderen. Om de beste omstandigheden (temperatuur, druk, tijd) te creëren voor de bake-out van een kritisch item, is een voorspellende modelberekening nodig voor het samenstellen van een 2D/3D-overzicht van isothermen. De parameters worden berekend op basis van dynamische uitgassingstestgegevens (Figuur 3) met behulp van al dan niet vereenvoudigde natuurkundige wetten. Zo is voor een bepaald materiaal een coherente set van coëfficiënten voor de uitgassingskinetiek te bepalen.

Het model kan ook worden gebruikt om de uitgassing van het ruimtevaartuig te simuleren. Dit is bijvoorbeeld belangrijk wanneer boordapparatuur op onderdelen zeer ge-

voelig is voor moleculaire verontreiniging, zoals optische componenten, gekoelde detectoren of thermische coatings. Voor een wetenschappelijke missie is het namelijk erg nuttig om het tijdsverloop van de resterende uitgassing van materialen en, als gevolg daarvan, de afzetting van verontreinigingen te voorspellen.

Voor een nauwkeurige beoordeling van de afzettingen is het noodzakelijk om rekening te houden met de geometrie van het ruimtevaartuig via een 3D-model, dat de soort en dikte van de materialen, hun kinetische parameters en de thermische variaties tijdens de missie omvat. De standaard ECSS-Q-ST-70-52A beschrijft gedetailleerd testmethoden, natuurkundige vergelijkingen en modelleringstools met bijbehorende invoer- en uitvoerparameters. Daarmee worden de verschillende stappen van de fysische aanpak van verontreiniging afgedekt [2]:

- emissie van chemische stoffen naar vacuümomgeving (diffusie door het bulkmateriaal beschreven door de wet van Fick gevolgd door desorptie met Arrhenius-achtig gedrag; zie Figuur 4);
- moleculaire transportmechanismen (directe flux, gereflecteerde flux van andere

oppervlakken, botsingen met verontreinigingen en omgevingsgas, respectievelijk zelf- en omgevingsverstrooiing);

- fysica van de afzetting (vastplakken en mogelijke heremissie).

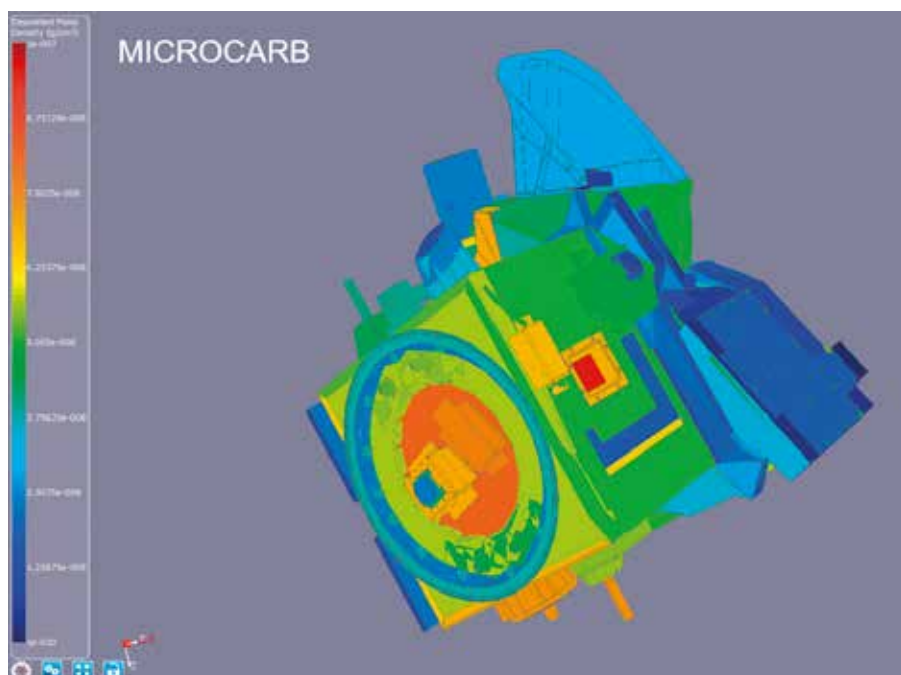
De huidige Europese modelleringstools zijn COMOVA en SYSTEMA software, respectievelijk ontwikkeld door ONERA onder ESA-contract en door Airbus Defence and Space. Een voorbeeld van een contaminatieberekening met SYSTEMA wordt getoond in Figuur 5, waar de afgezette massadichtheden worden weergegeven voor de externe oppervlakken van de Microcarb-satelliet.

Deze tools kunnen gesloten of halfgesloten holttes modelleren en er kunnen ontluchtingsposities worden toegevoegd. Slechte ontluchting is onderdeel van een ander belangrijk risico, het ontstaan van overdruk als gevolg van materiaaluitgassing. Aangezien er veel holttes en labirinten in een satelliet zitten, moet er inderdaad een drukverlagingsanalyse worden uitgevoerd. Daarmee zijn geoptimaliseerde afmetingen van de ontluchtingspaden te ontwerpen voor een snelle afvoer van lucht en andere ingesloten gasvormige stoffen uit een beperkt volume of een blind gat.

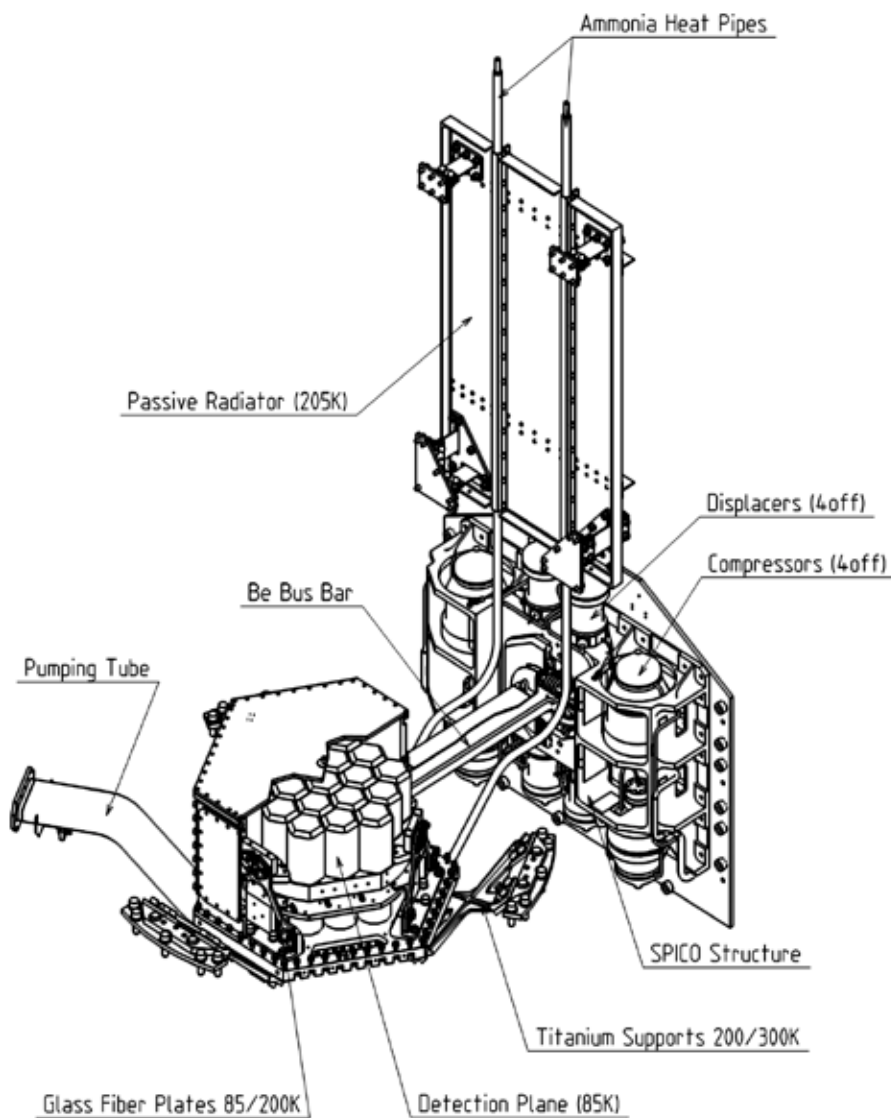
Op weg naar in-orbit decontaminatiestrategieën

Deze aanpak voor contaminatiebeheersing, die experimentele tests en modellering combineert, is nuttig voor alle missiefasen. Het maakt het mogelijk om een op reinheid gericht ontwerp van de hardware te garanderen met een effectieve ontluchting, die bijvoorbeeld nodig is om hoogspanningsapparatuur veilig te kunnen inschakelen. Andere opties zijn de implementatie van verwarmde oppervlakken, met name aan het begin van de operatie in de ruimte tijdens de inbedrijfstellingsfase, of de afvoer van verontreinigingen in geval van een onacceptabel verontreinigingsniveau. Ontdooien of opnieuw uitstoten van andere verontreinigingen wordt vaak gepland in verschillende stappen van de missie. Vervolgens moeten de omstandigheden van deze operaties, zoals temperatuur en duur, op de juiste manier worden gedefinieerd om snel en efficiënt te werken met de laagste impact op de beschikbaarheid van het instrument.

Een voorbeeld van een missie met in-flight decontaminatiestrategieën is de INTEGRAL-satelliet (INTERNational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory). Deze satelliet is ontwikkeld door ESA in samenwerking met de VS en Rusland en gelanceerd in 2002. Het was de eerste ruimtetelescoop die objecten tegelijkertijd in gammastraling, röntgenstraling en zichtbaar licht kon observeren. Het wetenschappelijke doel was om de eigenschappen van astronomische objecten zoals zwarte gaten en supernovae te bestuderen met vier complementaire instrumenten aan boord: een imager (IBIS), een spectrometer (SPI), een röntgenmonitor en een optische monitoringcamera. De kern van het instrument bestond uit 19 high-purity germanium-detectoren gemonteerd op een berylliumbasisplaat gekoeld tot 80 K (zie Figuren 6 en 7). Het belangrijkste contaminatieprobleem was de achteruitgang van het koelrendement van de spectrometercryostaat tijdens zijn geplande lange levensduur.



Figuur 5. Voorbeeld van contaminatiemodellering op satellietniveau met de SYSTEMA-software: de afgezette massadichtheden voor de externe oppervlakken van de Microcarb-satelliet.



Figuur 6. Overzicht van de cryostaat van INTEGRAL.



Figuur 7. Integratie van thermische stralers op het kwalificatiemodel van de SPI-spectrometer.

De risicoanalyse bevestigde de noodzaak om verwarmingselementen te implementeren en de gloeisequentie te definiëren om de afzetting van ijs op de thermische isolatoren te verminderen. Vervolgens werd besloten om de verwarmingsoperaties ongeveer elke zes maanden uit te voeren, elk met een geoptimaliseerde duur van ongeveer 200 uur – ondanks de fysische stress die deze operaties op de detectoren zouden veroorzaken door het grote temperatuurbereik dat werd doorlopen. Dit herstelde de kwaliteit van het kristalrooster van het isolatormateriaal, die werd beïnvloed door de afzetting van ijs, en beperkte de verslechtering van de effectieve gemiddelde energieresolutie tot $\approx 15\%$ tussen 2002 en 2019, zoals Figuur 8 toont. De gloeistrategie slaagde

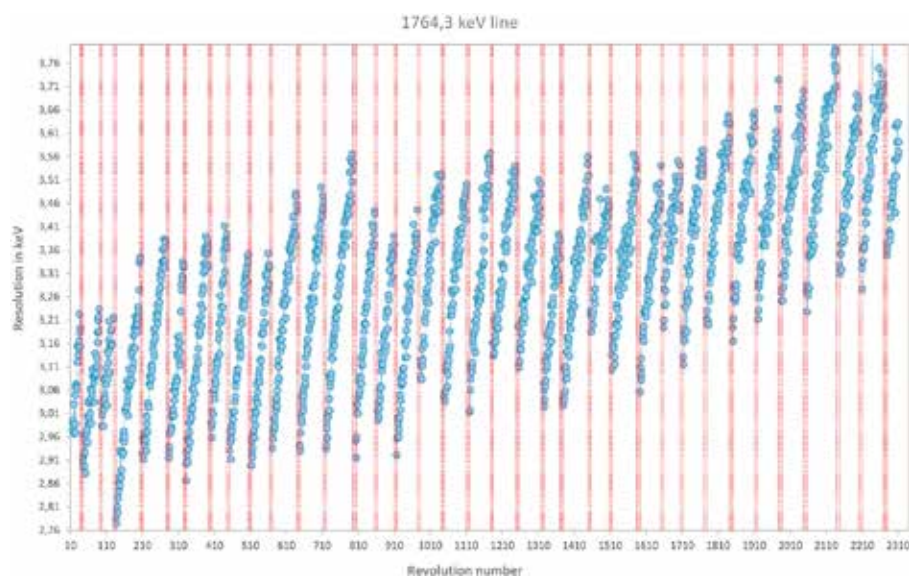
en de wetenschappelijke prestaties van de spectrometer bleven uitstekend.

Andere recente missies met cryogene instrumenten voorzien van een cryopomp zijn bijvoorbeeld EUCLID en JWST. Ook daar zijn decontaminatiefasen en met name de-icing-campagnes nodig om het vereiste prestatieniveau te herstellen en te behouden.

Andere in-orbit decontaminatieoplossingen

Conventionele methoden zoals bake-out kosten tijd en kunnen relatief duur zijn. Dan lijkt het gebruik van moleculaire adsorbers een interessant alternatief om water, koolwaterstoffen, enz., op te vangen, vanwege hun gecontroleerde adsorptie-eigenschappen in kanalen met moleculaire afmetingen [4]. Dankzij hun fijn afstembare microporeuze structuur en hun hoge specifieke oppervlak worden zeolieten beschouwd als interessante, goedkope materialen om verontreinigende moleculen op te vangen en zo het niveau van moleculaire verontreiniging te minimaliseren. Door hun eigenschappen aan te passen, kunnen zeer efficiënte kandidaten worden gesynthetiseerd. Die hebben goede selectieve sorptie-eigenschappen en bovenal retentiecapaciteit om een grote verscheidenheid aan moleculaire verontreinigingen op te vangen, waaronder die welke uit polymeren worden uitgegast. Als uitkomst van R&D bij CNES zijn drie structurele typen als de meest efficiënte geselecteerd die verschillend kunnen worden gevormd (korrels, films, coatings). Er zijn verschillende manieren om ze te implementeren in een gevoelige lading of instrument: dit kan één lokale ‘val’ zijn, een verdeling van meerdere vallen of de bedekking van een groot oppervlak.

Toentertijd waren er enkele toepassingen van dergelijke zeolieten voor missies waarbij CNES direct betrokken was bij de ontwikkeling. Deze oplossing is bijvoorbeeld gekozen om het risico op verontreiniging te beperken in de laserholte van zowel de ChemCam- als de Super-



Figuur 8. Evolutie van energieresolutie (verticale as, 2,76-3,76 keV) van de INTEGRAL SPI-spectrometer tijdens de missie voor de ^{205}Bi -achtergrondlijn bij 1764,3 keV, tot december 2020 (revolution 2312). Rode verticale lijnen geven de gloeiperioden aan [3].

Cam-instrumenten, op respectievelijk de Curiosity en de Perseverance Mars-rover. Inmiddels worden poreuze, op een metaal-organisch raamwerk gebaseerde materialen bestudeerd om het aanbod van moleculaire adsorbers te completeren.

Reinigingspraktijken op de grond

Om terug te komen op activiteiten op de grond, reiniging kan soms nodig zijn om een bepaald oppervlaktereïningsniveau te bereiken bij verschillende integratiefasen van het instrument of de satelliet, of als corrigerende maatregel voor decontaminatie in geval van een afwijking. De meest gebruikte technieken zijn:

- natte reiniging met detergents of oplosmiddelen, die echter lastig kunnen zijn bij kwetsbare materiaalcoatings of grote, moeilijk toegankelijke oppervlakken;
- UV-lichtreiniging, over het algemeen als laatste stap in het precisereinigingsproces;
- desorptie onder thermisch vacuüm.

Het wordt echter ten zeerste aanbevolen om reinigingstechnieken toe te passen zonder direct contact met het gevoelige oppervlak om schade na behandeling te voorkomen. Naast desorptie onder thermisch vacuüm kunnen andere processen of technieken worden overwogen, zoals

beschreven in bijlage E van de ECSS-norm die is gewijd aan ultrareiniging van vluchthardware (ECSS-Q-ST-70-54C). Reiniging met laserstralen, CO_2 -sneeuw, superkritisch CO_2 en atmosferisch plasma is geëvalueerd tijdens een testcampagne. Daarin is de doeltreffendheid beoordeeld op representatieve monsters van gevoelige optische onderdelen, zoals lenzen, spiegels en coatings, die opzettelijk waren verontreinigd met een mengsel van typische chemische verontreinigingen. Het doel van deze studie was om iets van een leidraad te bieden bij het kiezen van een of meerdere contactloze processen die geschikt zijn voor het reinigen van gevoelige space-hardware. Dit om verontreinigingsvrije oppervlakken te garanderen vóór de vlucht en elk risico op falen tijdens de vlucht te beperken. Resultaten zijn te vinden in [5]. Globaal heeft superkritisch- CO_2 -behandeling de beste reinigingsprestaties laten zien in vergelijking met de andere geëvalueerde processen. De rangschikking op prestatie, in termen van reinigingseffectiviteit, is als volgt: superkritisch CO_2 > vacuüm-desorptie \approx CO_2 -spray > atmosferisch plasma.

Conclusie

Er vindt een strenge selectie plaats op materialen die worden gebruikt in de

ruimte en deze materialen ondergaan thermische voorbehandelingen onder hoogvacuüm tijdens verschillende stappen van de instrument- of satelliet-assemblage. Toch blijft er een risico van mogelijke resterende uitgassing van water of andere vluchtige stoffen tijdens de missie in de ruimte. Dit kan echt een punt van zorg zijn, afhankelijk van hun kleeftemperatuur, voor gevoelige oppervlakken die verontreinigd kunnen worden. Dit moet zo vroeg mogelijk worden opgepakt door middel van mitigatiestrategieën die rekening houden met alle bijbehorende beperkingen, zoals het beschikbare verwarmingsvermogen voor decontaminatie of de duur van de missieonderbreking.

Als er verontreiniging optreedt tijdens integratieactiviteiten op de grond, zijn er verschillende reinigingstechnieken, afhankelijk van het type verontreiniging. Hun compatibiliteit met vluchthardware en hun reinigingsefficiëntie moeten echter worden gevalideerd.

Referenties

- [1] R. Rampini & D. Faye (2010), "Spacecraft contamination control policy: The European approach", ICCCS, Tokio.
- [2] Roussel, *et al.* (2018), "Progress in a physical approach to contamination in Europe", *Proc. SPIE*, vol. 10748.
- [3] E. Kuulkers, *et al.* (2021), "INTEGRAL reloaded: spacecraft, instruments and ground system", *New Astronomy Review*, vol. 93.
- [4] D. Faye, *et al.* (2010), "Zeolite adsorbers for molecular contamination control in spacecraft", *Proc. SPIE*, vol. 7794.
- [5] D. Cheung & D. Faye (2023), "Evaluation of advanced cleaning processes for sensitive surfaces in optical instrumentation", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 1287 012019.



ECODRY plus & SCROLLVAC plus

Complete vacuum solutions

We understand the importance of high reliable performance combined with low cost of ownership and minimal environmental impact, and have developed products such as the **SCROLLVAC** plus and **ECODRY** plus which bring real value to our customers processes and applications.

Leybold Nederland B.V.

Floridadreef 102, NL-3565 AM Utrecht
sales.ut@leybold.com
www.leybold.com



SCROLLVAC 15 plus
Ultimate pressure 0.009 mbar



ECODRY 25 plus
Ultimate pressure 0.01 mbar



Vacuüm, researchinstrumenten en natuurkunde

Op donderdag 16 mei vond de NEVAC-dag 2024 plaats bij de Leidse instrumentmakers School (LiS) in Leiden. De dag stond in het teken van vacuüm, researchinstrumenten en (Leidse) natuurkunde. Eens te meer werd de alomtegenwoordigheid van vacuüm in research geïllustreerd door de inspirerende presentaties over grensverleggend onderzoek. Tegelijk klonk er een waarschuwing. Het aanstaande verbod op PFAS-materialen, die tal van vacuümtechnische toepassingen kennen, stelt de vacuümgemeenschap voor een grote uitdaging.

NEVAC-voorzitter Sense Jan van der Molen, hoogleraar Fysica van de gecondenseerde materie aan Universiteit Leiden, opende de dag (Figuur 1). Hij sprak over het belang van samenwerking tussen de LiS en de Leidse natuurkunde. “Die verbinding willen we met deze dag vieren. Er zullen vandaag ook LiS-studenten aanschuiven, want voor de vacuümwereld is de verbinding met

jonge mensen belangrijk. Als NEVAC dragen we hieraan bij doordat we richting techniek zijn gaan bewegen en daarbij ook het MBO betrekken. Nederlands is weer onze voertaal geworden, we willen de vacuümtechniek toegankelijker maken.”

Researchinstrumenten

Stef Vink, directeur van de LiS, nam het stokje over voor een introductie van de

LiS. Hij was vereerd dat de LiS gastheer voor de NEVAC-dag mocht zijn, maar vond het ook spannend, mede gelet op de hoge opkomst (Figuur 2). “De LiS is namelijk geen evenementenbureau. Wij leiden instrumentmakers op die researchinstrumenten ontwikkelen en maken. Daarbij werken we volgens het meester-gezelprincipe. Studenten kunnen zich breed oriënteren of juist specialiseren in cryogene techniek, optiek of glasinstrumentatie. Onze uitstroom gaat voor 50% naar bedrijven in de ASML-toeleveringsketen, 30% naar onderzoeksinstituten en 20% naar een vervolgopleiding. We groeien in studentenaantal richting de 400 en werken aan een nieuw, meer projectgebaseerd curriculum.”

Van top-down naar bottom-up

De eerste inhoudelijke bijdrage kwam van Adrie Mackus, associate professor in de vakgroep Plasma & Materials Processing aan de TU Eindhoven (TU/e). Hij sprak over plaats-selectieve depositie voor ‘bottom-up’ fabricage van nano-elektronica. Traditioneel wordt nano-elektronica ‘top-down’ gefabriceerd, met een opeenvolging van depositie-, lithografie- en etsstappen. Vanwege de steeds complexere 3D-structuren loopt dit tegen een grens aan. Tot wel 100 of meer lagen worden op elkaar gestapeld en de uitlijning van al die lagen is een grote uitdaging. Een opkomend alternatief is ‘bottom-up’ fabricage met plaats-



Figuur 1. NEVAC-voorzitter Sense Jan van der Molen (links) en LiS-directeur Stef Vink verzorgden samen de opening van de NEVAC-dag.



Figuur 2. De NEVAC-dag 2024 kende een mooie opkomst, met 135 aanmeldingen.

selectieve depositie (Figuur 3). Dat kan bijvoorbeeld met atoomlaagdepositie (ALD), een proces dat onder vacuüm plaatsvindt. Voor deze toepassing is het ALD-proces zodanig aangepast dat de groei enkel plaatsvindt op bepaalde materialen in een halffabricaat van een computerchip. Door die selectieve groei vindt uitlijning van de verschillende lagen ‘als vanzelf’ plaats.

De selectiviteit kan worden verkregen met kleine inhibitormoleculen. Dat zijn organische moleculen die bijvoorbeeld selectief adsorberen op een metaaloppervlak om daar de ALD-groei te blokkeren, zodat depositie enkel plaatsvindt op een aanliggend oxideoppervlak.

De inhibitormoleculen kunnen als gas in het vacuümvat worden gedoseerd, reden waarom deze methode relatief eenvoudig in een industrieel proces is te integreren. Voor fundamenteel onderzoek aan het onderliggende reactiemechanisme, met onder meer infraroodspectroscopie, heeft de TU/e-vakgroep een uitgebreide opstelling met diverse ALD-reactors gebouwd (Figuur 4). Geavanceerde vacuümapparatuur is een cruciaal onderdeel van deze opstelling.

Het PFAS-probleem

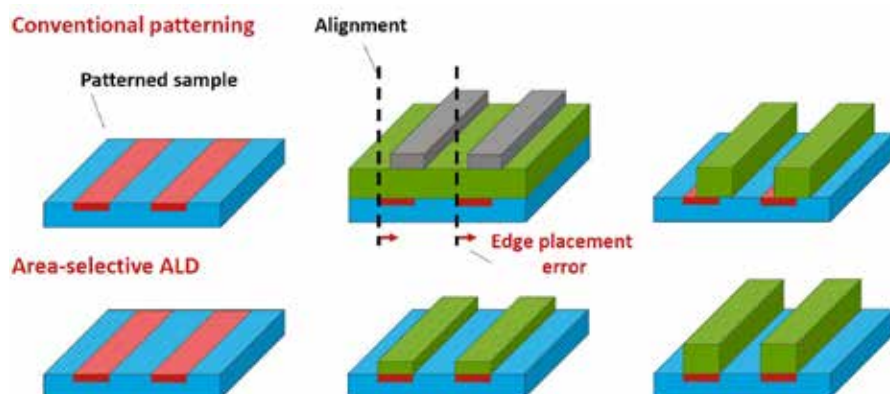
Wereldmarktleider voor de lithografiestap in de top-down-wereld is ASML. De nieuwste machines van het Veldhovense bedrijf werken met EUV (extreem ultraviolet). Met deze straling kunnen

zulke kleine details worden geproduceerd dat elke verontreiniging, hoe klein ook, funest is voor de werking van de betreffende chip(s). Bovendien wordt EUV-straling door bijna alles geabsorbeerd. Alle reden om gedeeltes van deze machines onder verlaagde drukken en/of in een vacuümomgeving te laten opereren.

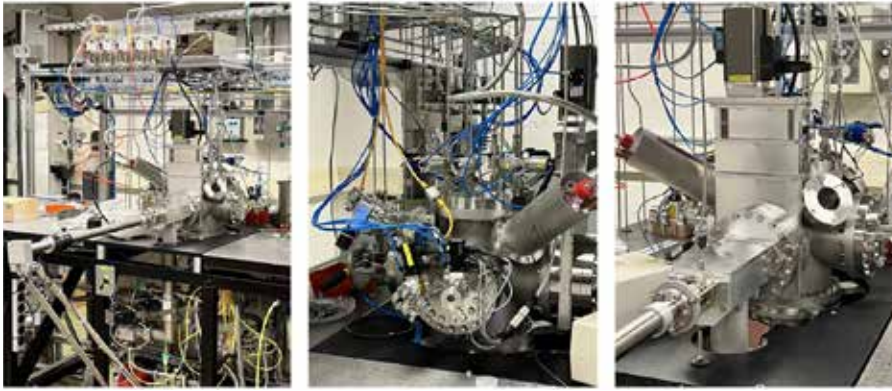
Plastic-materialen spelen een belangrijke rol in deze vacuümomgeving, bijvoorbeeld als afdichtingen of dempers. Veel van deze plastics vallen onder de klasse PFAS (per- en polyfluoralkylstoffen); denk aan teflon en viton. Deze PFAS-materialen hebben zich bewezen als geschikte materialen voor een vacuümomgeving, omdat ze een lange levensduur hebben, een lage wrijving kennen en hydrofoob, chemisch en thermisch resistent, elektrisch en thermisch isolerend en schoon qua ontgassing zijn. Ze staan echter onder druk, omdat ze toxisch en persistent zijn – ‘forever chemicals’. De Nederlandse overheid werkt mee aan een Europees voorstel voor een verbod op alle PFAS.

Karel Wilsens, materials and conditioning engineer bij ASML, ging dieper in op de achtergrond van dit voorstel. Hij verwacht komend jaar besluitvorming, waarna een verbod 18 maanden later zou kunnen ingaan. Eerst zal de feedback gegeven in de afgelopen consultatieronde moeten worden verwerkt, waaruit voor bepaalde sectoren wellicht uitstel kan voortvloeien. Dat zou voor de halfgeleiderindustrie kunnen gelden vanwege haar strategische belang (zeker in het huidige geopolitieke tijdsgewricht) en grote afhankelijkheid van PFAS-materialen.

Vooruitlopend op een eventueel verbod werkt ASML wel aan een oplossing. Het bedrijf heeft al uitgesproken dat nieuwe designs per 2027 PFAS-vrij moeten zijn. De motivatie daarvoor ligt naast de aanstaande regelgeving in het eigen streven naar duurzaamheid en in het feit dat sommige toeleveranciers stoppen met de productie van PFAS-substanties,



Figuur 3. Fabricage van nano-elektronica, top-down (boven) of bottom-up (onder). De uitlijning van de verschillende lagen gaat respectievelijk niet of wel vanzelf goed.



Figuur 4. De TU/e-onderzoekopstelling voor infraroodspectroscopie aan plaats-selectieve depositie met behulp van een aangepast ALD-proces.

zoals 3M per 2025. Uiteraard betreft ASML zijn supply chain bij het PFAS-vrij maken van de producten. Daar liggen volgens Wilsens zeker mogelijkheden en alternatieven kunnen zelfs ook voordelen hebben. Daar is echter nog niet goed naar gekeken, omdat er tot nu toe geen driver was om naar alternatieven te zoeken. Het begint – was de conclusie uit de discussie aan het eind van Wilsens’ presentatie – met een kritische blik: is PFAS in een bepaalde toepassing eigenlijk wel nodig?

Bestuursaangelegenheden

Vervolgens nam het NEVAC-bestuur de vloer voor diverse bestuurs-aangelegenheden. NEVAC-secretaris Pieter Heidema, die ook bestuurslid is van de LiS-alumnivereniging, meldde dat de verbinding tussen de twee verenigingen hechter wordt. “De vacuümwereld heeft makers nodig.”

Sense Jan van der Molen gedacht twee NEVAC-prominenten die de afgelopen

tijd waren overleden. Dat waren erelid G. Ikkink en emeritus-hoogleraar Jo Hermans, die rond de eeuwwisseling (vice)voorzitter van de NEVAC was en zich tevens inzette voor de popularisatie van wetenschap en techniek.

Gesa Welker, de nieuwe voorzitter van de NEVAC-commissie Opleidingen als opvolger van Dick van Langeveld, nam afscheid van enkele docenten en verwelkomde nieuwe aanwas. Ze vertelde ook dat de commissie bezig is met een vernieuwde opzet en dat input daarvoor nog welkom is.

Tot slot gaf vicevoorzitter Freek Molkenboer een update over de IUVSTA-workshop die NEVAC en TNO begin 2025 organiseren (zie ook de rubriek Van het bestuur, elders in dit blad). Hij deed een oproep aan bedrijven om het event te sponsoren.

Na de lunch en een facultatief bezoek aan de bedrijvenmarkt in de wandelgangen



Figuur 5. Welkom bij de NEVAC-dag met bijbehorende bedrijvenmarkt in de wandelgangen van de LiS.

van de LiS (Figuur 5), was het tijd voor de Algemene Ledenvergadering (ALV) van de NEVAC. Niet-leden en niet-vergadertijgers konden deelnemen aan een rondleiding bij de LiS. De ALV werd afgesloten met de overdracht van de NEVAC-voorzittershamer door Sense Jan van der Molen aan Freek Molkenboer (Figuur 6). Van der Molen blijft als vicevoorzitter nog verbonden aan het bestuur.

Onder 5 mK

Projectmanager Salim Erfanifam van Leiden Cryogenics pakte de inhoudelijke draad weer op. Het bedrijf ontwikkelt en bouwt al meer dan dertig jaar koelers voor extreem lage temperaturen, voor toepassing in onder meer quantum-onderzoek en ontwikkeling van quantumcomputers. Koelers voor dat temperatuurbereik werken met eenmalige koelpulsen (‘single shot’) of continu. Van de continue koelers kan de verdunningskoeler (‘dilution refrigerator’) de laagste temperatuur bereiken, tot onder de 5 milliKelvin. Belangrijke aspecten in het ontwerp van een verdunningskoeler voor quantumtoepassingen zijn onder meer trillingsisolatie, kabeldichtheid en vacuümeisen (specificaties voor pompen).

Als het grootste model verdunningskoeler van Leiden Cryogenics, de XXL-2500M (Figuur 7), wordt gebruikt om een quantumcomputer te koelen, kunnen meer dan 1.500 kabels van verschillende typen worden gelegd. Bij de cryogene toepassing van dergelijke kabels spelen aspecten als thermische en elektrische geleiding en ‘aarding’, en thermo- en tribo-elektrische effecten. Aan die kabels zitten vaak probes, die warm of koud in het gekoelde systeem kunnen worden ingebracht. Voor ‘cold-insertable’ probes zijn speciale voorzieningen nodig. Trillingen zijn vaak inherent aan koelsystemen, maar moeten zoveel mogelijk worden gereduceerd of geïsoleerd om verstoring van gevoelige metingen te voorkomen. Dat kan door de koeler een grote massa te geven, actieve dempers in te zetten en/of softwaregebaseerde demping toe te passen.



Figuur 6. Sense Jan van der Molen (links) overhandigt de NEVAC-voorzittersshamer aan Freek Molkenboer.

Deeltjesgedrag in vacuüm

Tweede spreker in het middagprogramma was Han Velthuis, onderzoeker bij TNO, over een gezamenlijk project van TNO en ASML voor onderzoek naar het gedrag van deeltjes in vacuüm. Aanleiding vormde de introductie van ASML's nieuwste lithografiemachines, die deeltjesvrij moeten opereren, met vacuüm rond de belichtingsoptiek. Gasdouches worden ingezet om eventueel nog resterende deeltjes weg te houden van spiegel- en andere oppervlakken.

Voor het ontwerp van efficiënte gasdouches worden stromingssimulaties ingezet, gekoppeld met een deeltjes-transportmodel. Bij TNO is een Particle Test Rig (PTR) gebouwd om dit model te testen bij operationele condities en eventueel aan te passen. In het PTR kan één enkel deeltje per keer worden afgeschoten in een gasstroming, waarna een camera de baan van het deeltje volgt. Uit de deeltjesbaan kan de sleepkracht op het deeltje worden afgeleid en vergeleken met het model. Velthuis presenteerde het ontwerp van de PTR en eerste voorbeelden van deeltjesbanen.

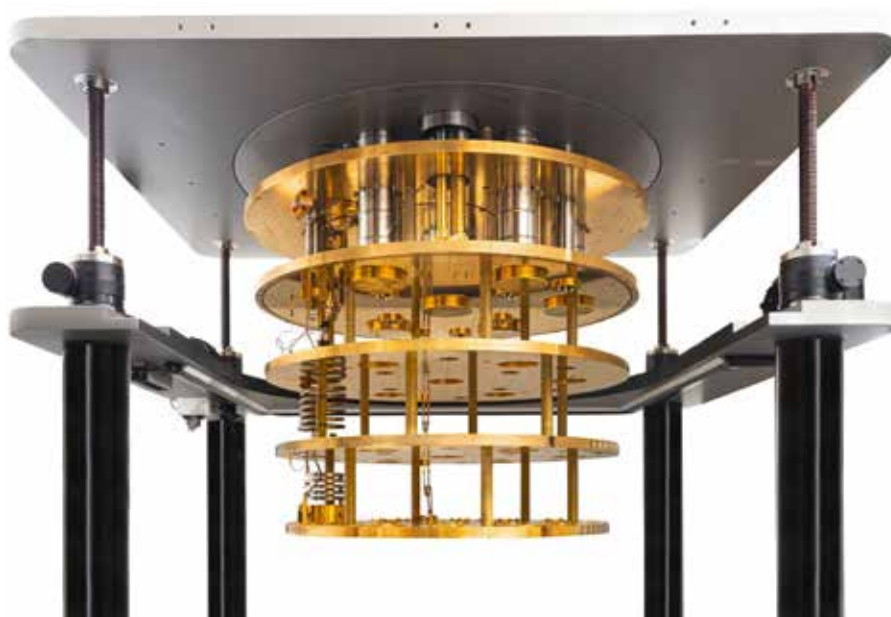
Trillingsvrij koelen

Uitsmijter van het inhoudelijke programma was Kees van Oosten, ontwikkelingstechnicus bij de Fijnmechanische Dienst van de Leidse universiteit. Die staat al lang bekend om haar onderzoek naar lage temperaturen waar ooit hoogleraar Heiko Kamerlingh Onnes mee begon. Cryogeen onderzoek

heeft tegenwoordig echter een budgettair probleem vanwege de hoge kosten van vloeibaar helium. Een populair alternatief zijn pulse-tube koelers, die geen vloeistof verbruiken omdat ze met een circulerend koelsysteem werken. Dit type koelers heeft echter het nadeel dat ze trillingen veroorzaken, wat uit den boze is bij bepaald onderzoek.

Onderzoeksinstituut Nikhef heeft een oplossing ontwikkeld met trillingsisolatie-filters, genaamd GAS-filters (geometric anti-spring), oorspronkelijk voor gravitatiegolvenonderzoek. Deze filters kunnen trillingen sterk verminderen. De Leidse onderzoeker Milan Allan is erin geïnteresseerd voor zijn onderzoek naar supergeleiding; om dit verschijnsel naar hogere temperaturen te kunnen brengen wil hij het eerst begrijpen bij vloeibaar-heliumtemperaturen. Met zijn team van het STM Ultra Microscopie Lab heeft hij een proefopstelling gebouwd. Daarmee konden ze testen of deze filters de trillingsproblemen bij pulse-tube cryostaten kunnen oplossen.

Terzijde: de groep van Allan verhuist naar de Ludwig-Maximilians-Universität München (D), maar het onderwerp blijft in Leiden belangrijk; andere vakgroepen willen het systeem doorontwikkelen.



Figuur 7. Het grootste model verdunningskoeler dat Leiden Cryogenics nu levert, de XXL-2500M, is in zijn soort de grootste ter wereld en heeft vijf dagen aan (voor)koelen nodig om zijn laagste werktemperatuur te bereiken.

Van Oosten liet zien hoe de GAS-filters werken met pulse-tube koelers om een stillere en trillingsvrije omgeving voor cryogeen onderzoek te bieden. De grote uitdaging was dat deze filters bij kamertemperatuur worden gebouwd en getest maar dicht bij het absolute nulpunt moeten werken, waar de mechanische en thermische eigenschappen heel anders zijn. Ook bekabeling is bij deze extreem lage temperaturen een probleem. Met een hamer demonstreerde Van Oosten tot slot dat er wat betreft trillingsoverdracht al veel was gewonnen (Figuur 8).

Borrel, buurman en buffet

Zo kwam de NEVAC-dag met een klap tot een eind. Bij de afsluiting nam LiS-directeur Vink de gelegenheid nog even te baat om bedrijven op te roepen tot samenwerking met de LiS, bijvoorbeeld in de vorm van gastcolleges en projecten voor studenten. Vink en kersverse NEVAC-voorzitter Molkenboer bedankten elkaar over en weer voor de samenwerking in de organisatie en waren het erover eens dat het geslaagde en inspirerende dag was geweest met een mooie opkomst.

Daarna was het tijd om te borrelen of eerst nog een rondleiding te volgen bij de buurman, de Leidse faculteit Wiskunde en Natuurwetenschappen. Daar bouwen natuurkundigen nog steeds voort op de erfenis van Kamerlingh Onnes, die meer dan 100 jaar geleden helium vloeibaar wist te maken en het verschijnsel supergeleiding ontdekte. Voor het



Figuur 8. Kees van Oosten onderweg met een hamer voor het demonstreren van de verminderde trillingsoverdracht van een pulse-tube koeler voorzien van een GAS-filter.

laten maken van de instrumentatie die Kamerlingh Onnes nodig had, richtte hij de LiS op. Anno 2024 zijn er nog steeds warme banden tussen de LiS en de Leidse natuurkunde.

De dag liep naadloos door in de avond met een buffet en een inspiratieavond, zoals de LiS die regelmatig organiseert voor alumni en dit keer ook voor NEVAC-leden. Freek Molkenboer verzorgde een inleiding in vacuüm, gebaseerd op een introductie cursus van TNO, waar hij werkzaam is als senior systems engineer.

Introductie en expositie

Molkenboer liet zien dat de hele halfgeleiderindustrie vacuüm nodig heeft

nu ASML zijn EUV-lithografiemachines in de markt heeft gezet. De noodzaak van vacuüm voor EUV was eerder deze dag al aangestipt door zijn TNO-collega Velthuis. Maar ook bij productie van lampen, van gloei tot LED, was/is vacuüm nodig, terwijl big science drijft op vacuüm, van onderzoek aan elementaire deeltjes bij CERN of detectie van zwaartekrachtgolven tot de ontwikkeling van een kernfusiereactor of een quantumcomputer.

Kortom, de introductie was een mooie expositie van wat vacuüm vermag. Vacuüm leeft en de NEVAC-dag 2024 vormde daar weer een mooi bewijs van.

Update IUVSTA-workshop 2025

In het laatste half jaar is het science committee druk bezig geweest met het selecteren en uitnodigen van sprekers. Het idee van de workshop was altijd om verschillende technologiedomeinen bij elkaar te brengen, en ook industrie en wetenschap. We vonden het verder belangrijk dat de verschillende sprekers in hun technologiedomeinen extra aandacht geven aan waarom het nodig is (why), hoe je dit voor elkaar krijgt (how) en hoe je controleert of het gestelde doel is behaald (how to measure). Binnen het science committee zijn we dit 'the matrix story' gaan noemen en we zijn oprecht heel tevreden over hoe dit verhaal nu staat.



Inmiddels is ruim twee derde van de sprekers bekend en deze namen staan op de workshopwebsite. Voor de laatste sprekers hebben we concrete ideeën wie, of welk bedrijf of instituut we gaan aanschrijven. In totaal zullen we 15 nationale en internationale sprekers hebben.

Voorlopig kunnen we het volgende concluderen:

- Uit het semiconductor domein hebben we vier sprekers en uit de andere technologiedomeinen elk drie.
- Omdat sommige sprekers op meerdere aspecten van de why-how-how_to_measure-matrix zullen ingaan, ziet die verdeling er zo uit: acht sprekers over 'why', zes over 'how' en vijf over 'how to measure'.
- Er is nu een gelijke verdeling tussen man en vrouw en een gelijke verdeling tussen sprekers uit de industrie en de research.
- Op dit moment hebben we zes sprekers uit Nederland, de andere sprekers komen uit de EU.

De sprekers van de workshop krijgen 45 minuten spreektijd, daaropvolgend is er een Q&A van 15 minuten.

Bevestigde sprekers zijn:

- Nicole Smits (ASML),
- Delphine Faye (CNES),
- Stefan Hanke (KIT),
- Christian Schelle (VAT),
- Paul Blom (VDL ETG),
- Valerie Derpmann (Inficon),
- Klaus Bergner (Vacom),
- Veronique de Rooij (TNO),
- Luisa Spallino (INFN),
- Rients de Groot (Thermo Fisher Scientific),
- Eleonie van Schreven (TNO),
- Antoine Kempfen (ASML).

We hopen nog enkele sprekers te strikken.

Het programma van de week

De workshop vindt plaats van 3 tot 6 februari in Theater De Veste, Delft. Naast het inhoudelijke programma zijn er sociale onderdelen. Dit begint op zondag 2 februari met een rondleiding door het museum van Royal Delft. Direct aansluitend hebben we een workshop Delfts blauw tegelschilderen. We sluiten de zondag af met een kleine borrel in Royal Delft. Dit programmaonderdeel is vooral bedoeld voor onze internationale bezoekers, die waarschijnlijk al op zondag aankomen. Op maandag- en woensdagavond verzorgen we een diner, en op woensdagmiddag hebben we een excursie; de bestemming is nog niet bekend.



De workshop vindt plaats in Delft: het inhoudelijke programma in Theater De Veste (boven), het sociale openingsprogramma in het Royal Delft Museum (rechts).

Op maandag begint de registratie voor de deelnemers om 8 uur, om 9 uur zal de workshop beginnen met een welkomstwoord en uitleg van het programma voor de komende dagen. Op dinsdag en woensdag zullen er naast de plenaire presentaties ook twee break-out sessies zijn, waarin de deelnemers in kleine groepjes elk een topic over ultra-schoon vacuüm bespreken. Donderdag is de laatste dag van de workshop, we sluiten af na de lunch.

Op vrijdag 7 februari geeft de VCCN een optionele cursus over hoe je ervoor zorgt dat de ruimte om je ultra-schoon vacuümsysteem schoon is. Wij denken dat dit heel goed aansluit op de workshop. Op dit moment hebben wij met vier partijen sponsorafspraken gemaakt. We zijn deze sponsoren heel dankbaar, omdat het organiseren van een workshop veel tijd en geld kost. Zonder sponsoren is het organiseren niet mogelijk. Hierbij dus de vraag of additionele partijen willen overwegen om ook sponsor te worden van deze workshop.



Eind september verwachten we de inschrijving te openen. Deelname aan de workshop kost 600 euro, alles inbegrepen: eten en drinken tijdens de dagen, twee keer een diner en de excursie.

Meer informatie

- Hans van Dijk, projectleider workshoporganisatie, hans.vandijk@tno.nl, 06 42 24 31 45
- Freek Molkenboer, freek.molkenboer@tno.nl
- www.tno.to/ucv

Word een expert!



De NEVAC staat ook dit jaar met de "Ask the expert" booth op de Precisiebeurs, op 13 en 14 november (www.precisiebeurs.nl).

Meld je aan als vrijwilliger om de booth te bemensen door een mail te sturen aan secretaris@nevac.nl

Daarvoor kun je de bijgaande QR-code gebruiken.



Nog altijd leren in het lab

In 1970 treedt Jan Verhoeven bij AMOLF in dienst als hoofd van het vacuümlab. Daar doet hij ook eigen onderzoek, eerst in de oppervlaktefysica, later dunne lagen en uiteindelijk nanofabricage van multilaagspiegels. Hij maakt zich hard voor het vacuümonderwijs en wordt medeauteur van de standaardboeken op dit gebied. Dat levert hem het erelidmaatschap van de NEVAC op. Na zijn pensionering, bij AMOLF, in 2007 gaat hij gewoon door, in deeltijd bij diverse instellingen. “Ik leer nog steeds in het lab.”

Jan Verhoeven (1942, Den Haag) komt al jong met techniek in aanraking. “Mijn vader was elektrotechnisch installateur en had een eigen bedrijfje. Mijn allereerste experiment deed ik toen ik zes jaar oud was. Toen mijn vader een stekker moest vervangen, knipte hij gewoon de draad vlak bij de oude stekker door. Ik beschikte dus over een stekker met twee losse draadjes, verwijderde een stukje isolatiemantel, twistte de kale uiteinden samen en stak de stekker in het stopcontact; het resultaat laat zich raden. De 6-kV trafo die hij had, voor neonverlichting, vond ik prachtig; daar kon ik mooi een TL-buis op aansluiten. Gaf trouwens ook mooie vonken in lucht.” Op de middelbare school is het dan weer de optica die hem triggert. “Met een lens iets afbeelden, dat vond ik bijzonder. Ik maakte een voorzetlens voor mijn camera, om heel dichtbij te kunnen fotograferen.” Zijn technische interesse is breed, dus valt de studiekeuze op natuurkunde in het naburige Delft.

Hoofd vacuümlab

Na zijn afstuderen in 1970 wil Verhoeven bij het FOM-Instituut voor Plasmafysica Rijnhuizen in Nieuwegein werken, maar daar hebben ze geen positie vrij. Dan ziet hij een vacature voor hoofd van het Vacuüm Technisch Laboratorium bij FOM-instituut AMOLF (Atoom- en Molecuulfysica) in Amsterdam. “Dat wilde ik wel doen, als ik zelf ook experimenten mocht



Jan Verhoeven begint zijn loopbaan als hoofd vacuümlab bij AMOLF, waar hij ook een eigen onderzoeksgroep gaat leiden. Hij blijft AMOLF trouw tot aan zijn pensionering in 2007.

uitvoeren. Jacob Kistemaker (de toenmalige directeur en pionier in uraniumverrijking, red.) vond dat prima. AMOLF toen was een instituut waar vacuüm bepalend was voor alles. Ze gebruikten er bijvoorbeeld een massascheidingsysteem als versneller om onderzoek te doen aan de interactie tussen ionen en elektronen in gassen. Ik ben eerst het land ingegaan om te kijken wat mensen deden die met vacuüm werkten. Die ruimte om te leren kreeg ik en zo had ik vrij snel een beeld van de vacuümtechniek. De oude Kistemaker had er vertrouwen in.”

Bij AMOLF komen onderzoekers voor alle vacuümtoepassingen bij Verhoeven als ze een experiment willen starten, om te praten over een oplossing en er aan te rekenen, of voor het testen van vacuümpompsystemen. “We hebben bijvoorbeeld voor experimenten een 5.000-liter turbopomp gekocht, voor het verpompen van helium; die loeide als een gek en moesten we met M12-bouten op de grond vastzetten. We hadden de keuze tussen een diffusie- en een turbopomp; de turbo was duurder, maar de diffusiepomp gebruikte zeven keer zoveel energie – die overweging maakten we toen ook al. Vaak ging het om het verpompen van waterstof of helium. Leybold hebben we nog een speciale cryopomp voor het verpompen van waterstof laten bouwen, met extra koolstof voor het adsorberen van de waterstof.”

Midden jaren zeventig wordt een systeem gebouwd dat tot 10^{-12} mbar gaat. Dat vacuüm wordt verkregen met behulp van een getter-ionenpomp gecombineerd met een titaansublimatiepomp. Eerst zijn alle vacuümcomponenten uitgestookt op 400 °C en na assemblage het systeem nog eens op 250 °C. Het ultrahoge vacuüm wordt gemeten met de Extractor meetbuis, die Leybold Heraeus speciaal hiervoor heeft ontwikkeld. “Dat was een heel robuust ding. Leybold is er later mee gestopt, maar ik zou er nog graag een willen gebruiken.”

Oppervlaktestructuur

Voor zijn eigen experimenten in de oppervlaktestructuur bouwt Verhoeven opstellingen voor elektronenspectroscopie. Zo nodig haalt hij spullen van elders (zoals een telbuis bij SRON) of bouwt ze na (zoals het LEED-Auger-systeem van een Delftse onderzoeker). Later verschuift zijn onderzoeksfocus naar dunne lagen en raakt hij in de multilagen verzeild; nanofabricage, met opdampen en sputterdepositie, is dan het toverwoord. Een belangrijke vinding in die tijd is de mogelijkheid om met energetische ionen de ruwheid van het oppervlak van een aangegroeide laag te verlagen. “Vacuüm werd toen minder belangrijk voor het overige onderzoek bij AMOLF, al was het natuurlijk nog wel nodig bij het aanbrengen van dunne lagen.”

Op z'n 62e promoveert Verhoeven nog aan de TU Eindhoven op onderzoek aan multilagen. Het gaat over molybdeen/silicium-multilagen voor de spiegels ten behoeve van de nieuwste lithografietechnologie, gebruikmakend van EUV-straling (extreem ultraviolet). EUV wordt geabsorbeerd door glas en allerlei andere stoffen en dus zijn spiegels in plaats van

lenzen nodig in de litho-optiek, die zich ook nog eens in vacuüm moet bevinden. De grote uitdaging daar is de reflectiviteit te vergroten, want de EUV-optiek bevat een groot aantal spiegels, dus elke procent reflectiewinst tikt aan in de uiteindelijk lichtopbrengst. Een promovendus in de groep van Verhoeven die het onderzoek uitvoert, toont aan dat een ionenbombardement om het siliciumoppervlak te ‘smoothen’ resulteert in een verhoging van de reflectiviteit. Daarmee geeft hij de aanzet tot de reflectieve optiek die in de nieuwste ASML-machines zit. “De groep van Fred Bijkerk (FOM Plasmafysica/DIFFER en later Universiteit Twente, red.) heeft het proces opgeschaald; zij hebben aangetoond dat je zo niet alleen kleine samples maar ook grote spiegels kunt maken. Zijn groep heeft via Zeiss ook de eerste optieken aan ASML geleverd.”

Verder heeft Verhoeven een project gerealiseerd in samenwerking met de groep van Marnix van der Wiel in Eindhoven, voor onderzoek naar de emissie van Cerenkov-straling in het kortegolflengtegebied. Deze vorm van straling ontstaat als elektronen met grote snelheid worden geschoten door een folie van materialen die een brekingsindex hebben van boven de 1. Dat is bij silicium het geval, net rond de absorptiekant van de L-schil. “Een masterstudent had aan overgangsstraling voor Mo/Si-multilagen gerekend en wees me op dat effect. De golflengte van die straling (12,4 nm) was interessant voor ASML. De promovendus die het onderzoek uitvoerde toonde het effect aan; de opbrengst bleek echter te laag voor toepassing. Maar het was wel gewoon leuk om dit soort onderzoek te doen.”

Docent en auteur

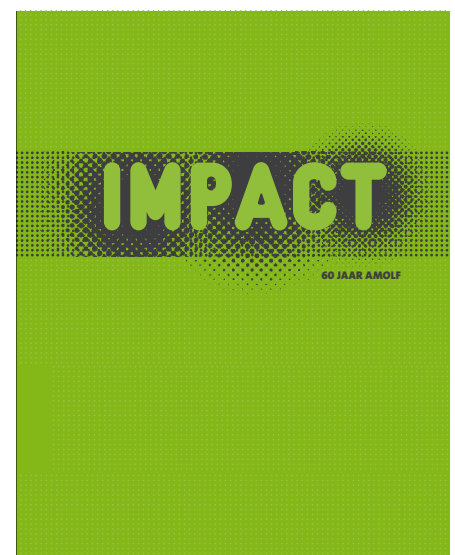
Als hoofd van het vacuümlab is Verhoeven snel betrokken geraakt bij vacuüm-onderwijs. “Er was een AMOLF-cursus, met een dun boekje van Piet Rol, Elementaire Vacuümtechniek, en er werden elders ook vacuümcursussen gegeven, op

verschillende niveaus, maar het was wat duister wie daar achter zaten. Er moest iets beters komen en zo kwam ik in de onderwijscommissie van de NEVAC. Met Bert Suurmeijer en later ook Theo Mulder ben ik een boek gaan maken.” Dat wordt *Vacuümtechniek* (1989), op MBO-niveau, waaraan Verhoeven stukken over de theorie en over opslagpompen, meetbuizen, restgasanalyse en lektesten bijdraagt. Later komt er meer theorie in en volgen *Basisboek Vacuümtechniek* (2000) en *Vacuum Science and Technology* (2016), beiden op HBO/academisch niveau.

De auteurs gaan cursussen geven en er komt een centraal examen onder NEVAC-vlag. Dat wordt erkend door de vacuümgemeenschap. “Ik heb een keer contact gezocht met het ministerie van Onderwijs om onze cursus officieel te maken. Kreeg ik de vraag of de cursus al erkend werd, ook door bedrijven. ‘Ja? Dan moet u niet met ons in zee gaan, want dat wordt alleen maar een ramp.’” Vanwege zijn inzet voor het vacuüm-



Vacuümtechniek, het eerste van drie boeken die Jan Verhoeven samen met Bert Suurmeijer en Theo Mulder schrijft om het vacuüm-onderwijs op niveau te brengen.



In “Impact – 60 jaar AMOLF”, dat in 2010 verschijnt, krijgt Jan Verhoeven meerdere vermeldingen, onder meer voor het bereiken van ultrahog vacuüm in 1975, zijn bijdragen aan het vacuüm-onderwijs en zijn onderzoek aan röntgenspiegels met ultragladde multilagen.

onderwijs – in de jaren tachtig is hij ook voorzitter van de NEVAC-onderwijscommissie – wordt Verhoeven, samen met Suurmeijer en Mulder, in 2002 benoemd tot erelid van de NEVAC.

Ook in de internationale vacuümwereld is Verhoeven actief. Zo is hij voorzitter van de Thin Film Division van IUVSTA (International Union for Vacuum Science, Technique, and Applications) en mede-organisator van internationale vacuüm- en dunnefilmcongressen. Van 1994 tot 1998 is hij coördinator van het netwerk “Nano-scale Structures of Multilayer systems for X-Ray Optics”, dat bestaat uit elf groepen uit Europa.

Respectvolle chef

Verhoeven hecht altijd veel waarde aan de technici die de onderzoeksgroepen ondersteunen. “Ik heb eerbied voor jongens die de Leidse instrumentmakers School hebben gedaan. Die kunnen echt wat.” Hij heeft oog voor hun positie. “Toen een van onze technici met vervroegd pensioen ging, had ik een discussie met onze directeur. Die snapte er niets van. ‘Hij mag toch mooie dingen maken.’ Dat klopt, zei ik, maar wij kunnen doen wat we willen, ons eigen programma bedenken en reizen naar het buitenland maken. Zij maken die mooie dingen in opdracht van ons en dat is een heel verschil. Ze moeten de apparatuur aan de praat houden en als ze ouder worden krijgen ze moeite met studentjes die instellingen veranderen aan de betreffende apparatuur zonder dat te melden. Ik weet van een technicus op AMOLF die van een promovendus een A4'tje kreeg met wat ie allemaal moest doen, zonder verder overleg. Die technicus ging naar de groepsleider en samen konden ze erom lachen: ‘Bekijk het maar.’ Dat gaf soms een wat merkwaardige sfeer.”

Een technicus waar Verhoeven jaren mee samenwerkt is Hans Zeijlemaker, inmiddels hoofd van het Nanolab bij AMOLF. In een interview uit 2020 haalt hij herinneringen op als het gaat over

de voortgang in de techniek. “Jan Verhoeven, mijn vroegere chef, had twee opstellingen die we Kleine Jan en Dikke Jan noemden. Kleine Jan was voor enkele laagjes en met Dikke Jan werd onderzoek gedaan om dunne lagen en röntgenspiegels te maken. Dikke Jan, een fantasieus systeem, werd twee jaar geleden ingeruild voor een opdampert waarmee je binnen een uur een laag kan maken, terwijl Dikke Jan er een paar dagen over deed. Dat kun je jammer vinden, maar het is wel logisch.”

Experimenteel pensionado

Ook Verhoeven's ontwikkeling staat niet stil. Na zijn pensionering in 2007 bij AMOLF blijft hij – in deeltijd – actief, bij AMOLF, maar ook bij Universiteit Leiden, AMC en DIFFER, de opvolger van FOM Rijnhuizen. Zo is cirkel rond, want juist daar wilde hij ooit zijn loopbaan beginnen. Voor het AMC werkt hij aan een kleine Röntgenbron, gemonteerd recht onder een microscoop, voor het real time waarnemen van vorming en herstel van dubbele DNA-breuken als gevolg van bestraling. Bij DIFFER (Dutch Institute for Fundamental Energy Research) komt hij in de groep van Fred Bijkerk, waar hij kan voortborduren op zijn eigen onderzoek uit de jaren negentig.

De reden dat hij doorgaat is belangstelling, verklaart Verhoeven. “Ik word graag uitgedaagd en doe graag dingen waar ik over moet nadenken. Na vakantie ben ik altijd blij dat ik terug ben op het lab en weer iets heb om over na te denken.” Een soort ‘horror vacui’ misschien?

Visiting scientist

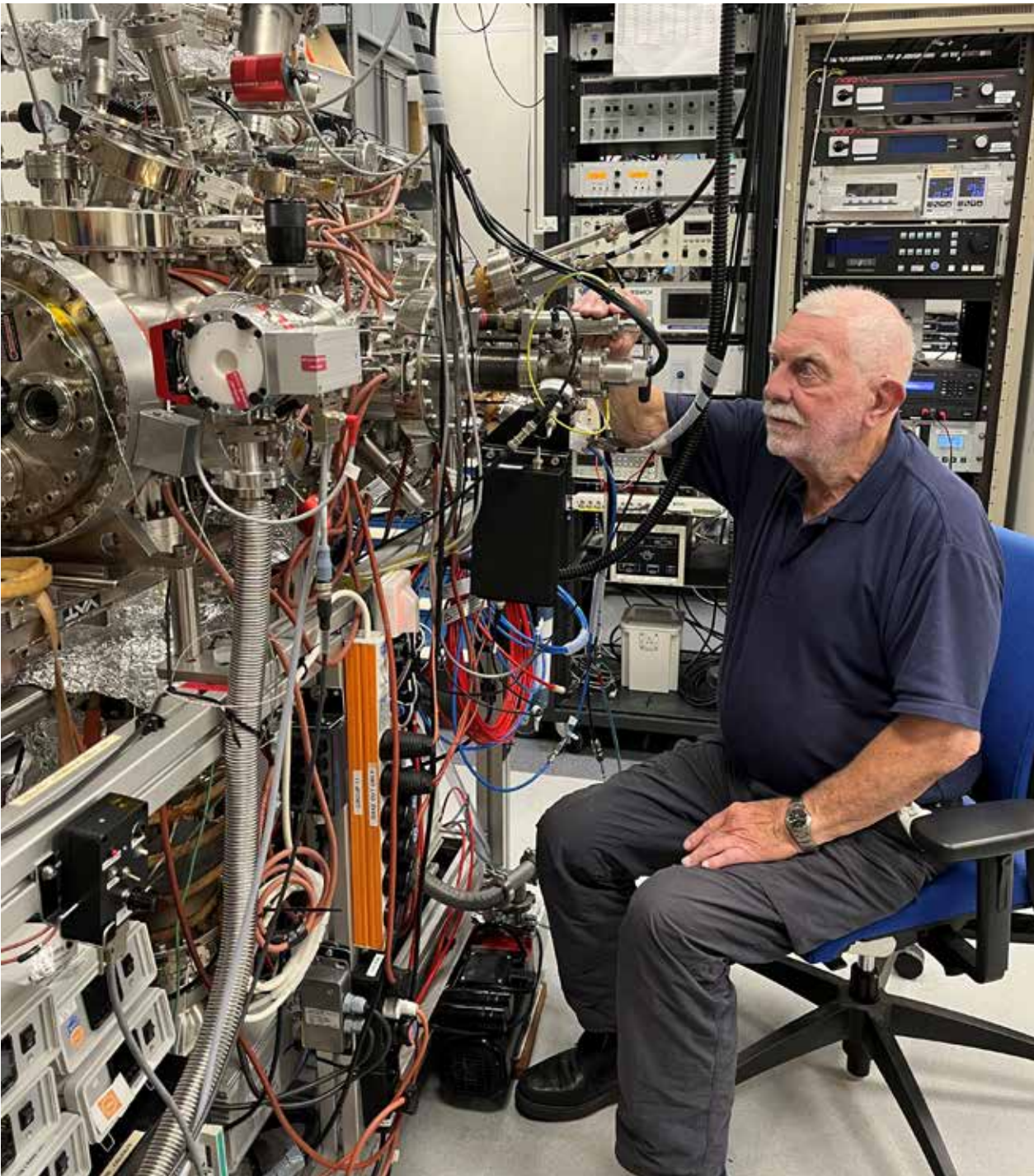
Sinds 2014 is Verhoeven als visiting scientist verbonden aan ARCNL (Advanced Research Center for Nano Lithography), de onderzoekssamenwerking van ASML met de twee Amsterdamse universiteiten en de Rijksuniversiteit Groningen. “Ik ben hier nu bezig met secundaire elektronenemissie als gevolg van een bombardement met energetische elektronen. Het is duidelijk dat laag-energetische

elektronen die een oppervlak verlaten nog wel eens iets doen aan de oppervlakchemie. Zo'n elektron kan worden opgepikt door iets dat er op ligt en dan kan een paar elektronvolt al rare dingen doen. Dat is eigenlijk een heel complex gebeuren. Ik weet er nu vrij veel van, maar weet ook dat ik van heel veel dingen niks weet; ik leer nog altijd in het lab. Ik heb m'n eigen opstelling gebouwd en kan daar allerlei experimenten aan bouwen, zoals Auger-elektronenspectroscopie, maar ook STM en XPS.”

Publieke pleitbezorger

Van tijd tot tijd maakt Verhoeven zich ook hard voor het bredere vacuümbelang, buiten de vacuümgemeenschap. Zo organiseert hij bij het 25-jarig bestaan van de NEVAC in 1987 een demonstratie van de befaamde proef met de Maagdenburger halve bollen. “Bij twee boeren had ik twee keer drie werkpaarden gevonden en Balzers had ik de halve bollen van koper laten maken. Die halve bollen waren gezekerd met touwen opdat de paarden niet ongecontroleerd zouden doorschieten als de bollen toch loslieten. De schooltelevisie was erbij; die wilden eerder weg en vroegen of wij de proef alvast konden uitvoeren. Dat liep niet helemaal goed af, want met hun enorme kracht hadden de paarden (slechts drie aan weerszijden) de bollen (buiten verwachting) uit elkaar getrokken. Helaas had de zekering met het touw geresulteerd in vervorming van de bolhelften, zodat de proef op het angekondigde tijdstip niet kon worden herhaald; de persmensen die toen kwamen, gingen uit hun dak van woede.”

De Telegraaf besteedt er toch uitgebreid aandacht aan: “Acht trekpaarden overwinnen vacuüm”. Jan Verhoeven komt uitgebreid aan het woord en geeft uiteenlopende voorbeelden van de toepassing van vacuüm, van tv-elektronenbuis tot kernfusiereactor. “Je komt het eigenlijk overal om je heen tegen. Je kunt het echter niet zien en daarom hebben we het beroemde experiment met de Maagdenburger Halve Bollen



Jan Verhoeven bij zijn opstelling bij ARNCL in Amsterdam, waarmee hij onderzoek doet aan secundaire elektronenemissie gedurende een bombardement met energetische elektronen. (Foto: Arend-Jan van Calcar)

maar eens van stal gehaald om onze vacuümtechniek een voor iedereen herkenbaar gezicht te geven.”

Van geheel andere orde is Verhoeven's pleidooi voor fundamenteel onderzoek, dat hij in 2016 in een ingezonden brief in het magazine van de European Physical Society houdt. Dat onderzoek lijkt misschien niet van nut, maar kan on-

verwachte, vaak extreem nuttige toepassingen opleveren. Die boodschap moet volgens Verhoeven niet aan collega-onderzoekers worden gericht, maar aan politici, andere besluitvormers en het grote publiek.

Aanpakker

Zo blijft Verhoeven actief en betrokken. Zijn loopbaan overziend, wil hij tot slot

de lezer nog meegeven: “Ik heb geleerd dat alles wat je aanpakt leuk kan zijn.” En dat aanpakken heeft hij niet alleen gedaan. “Ik heb veel te danken aan Gerrit Frijlink, Hans Zeijlemaker en Arend-Jan van Calcar. Gedurende mijn carrière in mijn groep hebben zij een belangrijke technische bijdrage geleverd aan het realiseren van mijn vaak wilde ideeën.”

Fusie in Nederland

De internationale interesse in kernfusie groeit, ook in het bedrijfsleven. Om de Nederlandse industrie daarvan te laten profiteren, werd begin mei de Dutch Fusion Day georganiseerd bij DIFFER (Dutch Institute for Fundamental Energy Research) in Eindhoven. Het doel was de industriële en wetenschappelijke gemeenschap samen te brengen om de uitdagingen te bespreken op het gebied van kernfusie en de rol die Nederland kan spelen. Dat is gelukt, de dag trok zo'n 200 deelnemers uit industrie, kennisinstututen, universiteiten en overheid.

Verslag

Shobhit Yadav, business developer bij TNO.

www.tno.nl

December 2022 presenteerde de National Ignition Facility in Lawrence Livermore National Laboratory, Californië (VS), (<https://lasers.llnl.gov>) voor kernfusie een versterkingsfactor van $Q > 1$, voor het eerst op aarde. In een rapport van de Fusion Industry Association uit 2023 meldden ongeveer 25 bedrijven dat de eerste fusiecentrale vóór 2035 elektriciteit aan het net zou leveren.

Onlangs erkende Duitsland het potentieel van kernfusie en kondigde zijn eigen Fusion Roadmap aan, met een nieuw financieringsprogramma voor kernfusieonderzoek via het Bundesministerium für Bildung und Forschung. Nu fusie steeds meer richting commercialisering gaat, hebben andere landen soortgelijke nationale strategieën geformuleerd.



Brede opkomst

De Dutch Fusion Day trok vertegenwoordigers van Nederlandse universiteiten en kennisinstututen, internationale samenwerkingsverbanden, zoals FIA, Fusion for Energy, The Fusion Cluster en EUROfusion, en de industrie, met bedrijven als Trinomics en Gauss Fusion. Een poll onder de deelnemers van de dag resulteerde verrassend genoeg in een vergelijkbare prognose als in het FIA-rapport over wanneer fusie energie naar het net zal brengen. De eerste presentatie werd gegeven door Josefine Proll (TU/e).

Zij stelde dat het nu tijd is voor Nederland om zijn positie op fusiegebied te bepalen en presenteerde tal aan mogelijkheden voor interdisciplinair onderzoek waarin ons land met recht een rol kan spelen.

De lezing van de ceo van Gauss Fusion, Milena Roveda, was zeer inspirerend en een mooi voorbeeld van de private en publieke sector die samenkomen om te werken aan fusie. Hun succesrecept ligt wellicht in het management, dat een combinatie is van industriële en wetenschappelijke excellentie, het partnerschap met toonaangevende Europese instellingen en de trainingsprogramma's voor ondersteuning van het talent dat complete Europese technologie moet ontwikkelen.

Europese roadmap

EUROfusion presenteerde haar visie op de voortgang in de Europese roadmap voor kernfusie, met een focus op DEMO, de opvolger van ITER als internationale onderzoeks- en demonstratie-fusiereactor. Fusion for Energy presenteerde de komende plannen van ITER. Het mag geen verrassing zijn dat de vereisten voor DEMO nog uitdagender zullen zijn; de wetenschappelijke gemeenschap is al in actie gekomen.

Enkele van de belangrijkste technische uitdagingen die werden vastgesteld voor DEMO, zijn onderhoud op afstand, veiligheid en afval, geïntegreerde plasmascenario's, materialen en tritium



Een overzicht van de belangrijkste uitdagingen voor het realiseren van kernfusie en de rol die Nederland kan spelen. (Bron: Josefine Proll, TU/e)

blanket'-technologieën. Gelukkig zijn er diverse maatregelen die kunnen helpen om het DEMO-programma te versnellen. Denk aan een grotere inspanning op het gebied van plasmasimulaties en digitalisering inclusief innovatieve AI-benaderingen, meer focus op talentontwikkeling, internationale samenwerkingen en kennismanagement, en parallelisatie van activiteiten, dat wil zeggen minder sequentiële koppeling van mijlpalen zoals bij ITER.

Twee dingen werden duidelijk: fusie is complex en vereist een krachtige samenwerking tussen de industrie en de wetenschappelijke gemeenschap met structurele financiële ondersteuning via een gefocuste roadmap. Een van de vragen in de poll was: "Wat heeft uw organisatie nodig om (verder) bij te dragen aan de realisatie van kernfusie?" Het populairste antwoord was duidelijk 'Financiering'. Het panel met vertegenwoordigers van het ministerie van Economische Zaken en Klimaatbeleid, het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, en NWO (NWO-I) onderschreef dit (impliciete) verzoek van de wetenschappelijke gemeenschap aan de overheid.

Rol van vacuüm in fusie

Kernfusie is het principe dat de zon en andere sterren van energie voorziet. Onderzoek voor aardse toepassing vereist integratie van talrijke wetenschappelijke en technische disciplines, die elk

bijdragen aan het begrip, de ontwikkeling en de praktische realisatie van kernfusie. Vacuümtechnologie speelt een cruciale rol in de werking van een kernfusiereactor. Plasma-opsluiting is een van de grootste uitdagingen en extreem hoog vacuüm is vereist om een plasma te creëren en te behouden.

De vacuümomgeving helpt verontreiniging door externe bronnen te voorkomen. Dat is cruciaal, omdat plasmaverontreinigingen kunnen leiden tot verlies van stralingsenergie en afkoeling van het plasma en zo de efficiëntie van de fusiereactie verminderen. In het geval van fusie met inertieële opsluiting werken de

krachtige lasers die worden gebruikt om brandstofpellets samen te persen in vacuümkamers; dit om verliezen ten gevolge van verstrooiing door verontreinigingen te voorkomen. Veel diagnostische tools vereisen ook vacuümomstandigheden om een betrouwbare meting van plasma-eigenschappen te kunnen bieden.

Samenvattend is vacuümtechnologie een integraal aspect van de werking van fusiereactoren. Het zorgt onder meer voor een effectieve plasma-opsluiting, bewaakt de integriteit van materialen en componenten en de veilige verwerking van tritium, en ondersteunt kritische diagnosesystemen.

Fusiediagnostiek

TNO-vertegenwoordiger Kees Buijsrogge sprak als directeur Space & Scientific Instrumentation (inmiddels directeur High Tech for Civil and Military Space) over generieke fusiediagnostiek. ITER, het grootste fusieproject ter wereld in aanbouw, kiest hier voor het pad van modulariteit om kennis te recyclen en de ontwikkeling van fusieapparatuur efficiënt te maken. TNO is al meer dan tien jaar betrokken bij fusiediagnostiek, sinds de oprichting van ITER-NL.



Paneldiscussie met vertegenwoordigers van ILO-net, NWO (NWO-I) en de ministeries van OCW en EZK. (Foto: DIFFER/Elwin Rijken Productions)



Kees Buijsrogge van TNO sprak over generieke fusiediagnostiek. TNO werkt daar voor ITER al jaren aan en vindt dat het nu tijd is de Nederlandse hightech-industrie in te schakelen om de vereiste volwassenheid te bereiken.

TNO werkt samen met zijn industriële partners aan plasmareinigingstechnologie, waarbij vacuümtechniek een cruciale rol speelt. Van veel diagnostische systemen bij ITER wordt verwacht dat ze plasmareinigingsvoorzieningen hebben om verontreinigingen te verwijderen die zich tijdens hun functioneren ophopen. Een voorbeeld is plasmareiniging op basis van een lagedrukradiofrequentieontlading. TNO maakt gebruik van zijn lange geschiedenis in de halfgeleiderindustrie om deze technologie voor fusie toe te passen.

TNO beschikt over een vacuümtestfaciliteit waar eerste spiegels die rechtstreeks in het fusieplasma kijken kunnen worden gevalideerd op hun robuustheid en levensduur. Deze FMU's (first mirror units) zijn een

van de meest cruciale componenten van een fusiediagnostisch systeem en bevinden zich in de vacuümkamer van de reactor (de tokamak). De gehele plasmareinigingsopstelling moet daarom worden ontworpen en getest voor een vacuümomgeving. TNO zit nu in een vergevorderd stadium van de vroege onderzoeksactiviteiten voor enkele ITER-diagnostische systemen en vindt dat het tijd is om de expertise van de Nederlandse hightech-industrie in te schakelen om de vereiste volwassenheid te bereiken.

Conclusie

De organiserende partijen TU/e, ILO-net/BigScience.NL en DIFFER brachten op de eerste Dutch Fusion Day alle relevante partijen bijeen om vrijuit te praten over fusie in Nederland. Ook boden ze netwerkmogelijkheden om

diverse organisaties uit te nodigen te gaan samenwerken. Een van de belangrijkste boodschappen was dat Nederland een belangrijke bijdrage kan leveren aan verdere ontwikkeling van de wereldwijde expertise op het gebied van kernfusie, maar dat hiervoor wel nauwe samenwerking tussen de industrie en de academische wereld vereist is. Het evenement was bedoeld als de eerste editie van een reeks Dutch Fusion Days.

www.dutchfusionday.nl



Paul Hieltjes (ILO-net): "De eerste Dutch Fusion Day was een groot succes. Er was een grote opkomst vanuit zowel de industrie als de wetenschap. We staan nu op een keerpunt voor Nederland wat betreft kernfusie. Er was een duidelijke behoefte bij de deelnemers dat dit geen eenmalig evenement zou zijn, maar de start van een Fusion Energy Innovation Cluster. Wij als organisatie, samen met de enthousiaste deelnemers, gaan hier zeker een vervolg aan geven."



**DOOR INNOVATIE
OP WEG NAAR EEN
DUURZAME
TOEKOMST**



Persoonlijk inruilvoorstel
“**Nieuw voor Oud**” Scan en lees verder



Maak het schoon

Dit voorjaar werden de vijfde editie van het Clean Event en de tweede editie van de Manufacturing Technology Conference voor het eerst samen gehouden in de Koningshof in Veldhoven. Tegenwoordig kent het ontwikkelen van een kwalitatief hoogstaand product steeds meer uitdagingen voor het productieproces, van het bepalen van de meest geschikte productietechniek tot het voldoen aan reinheidseisen. Om bedrijven beter inzicht in en beheersing van deze uitdagingen te bieden, bundelden de twee evenementen hun krachten.

Verantwoording

Dit verslag is een verkorte overname van het Engelstalige event report in de Mikroniek van juni.

www.dspe.nl/mikroniek

Bepaalde verontreinigingen en moleculaire onzuiverheden, zelfs op de schaal van enkele nanometers, kunnen desastreuze gevolgen hebben voor de werking van een systeem of machine. Daarom stellen steeds meer bedrijven strengere eisen aan de reinheid van producten, omdat onvoldoende reinheid een nadelige invloed kan hebben op de productprestaties. Dit betekent dat het hele proces onder controle moet zijn, een eis die geldt voor zowel OEM'ers als leveranciers.

Het jaarlijkse Clean Event, georganiseerd door Mikrocentrum, richt zich op de beheersing van reinheid en contaminatie door het gehele productieproces, op slim productontwerp dat reinheid

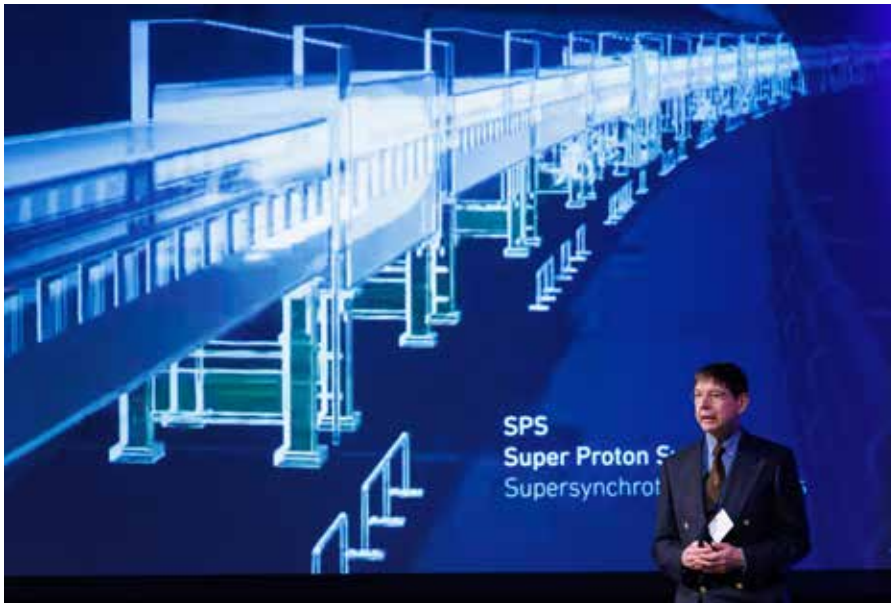


Figuur 1. Impressie van de beursvloer van het Clean Event. (Foto: Bram Saeys)

faciliteert en op het beperken van contaminatierisico's tijdens assemblage en verpakking. Dit jaar telde de vijfde editie zeventig exposanten en trok het zo'n 800 bezoekers (Figuur 1).

De Manufacturing Technology Conference brengt ingenieurs uit de ontwerp- en maakindustrie samen om kennis te delen over maakbaarheid.

Het doel is om de relevante kennis van ontwikkelaars te vergroten en hen te helpen zoeken naar mogelijkheden die ze voorheen niet kenden. De conferentie wordt georganiseerd door het Knowledge Sharing Centre (tijdens het event omgedoopt in Manufacturing Knowledge Centre), vertegenwoordigd door ASML en Thermo Fisher, in samenwerking met Mikrocentrum.



Figuur 2. Stefano Sgobba van CERN vertelt over materialen voor hoogvacuümtoepassingen in nucleaire onderzoeksfaciliteiten zoals LHC (Large Hadron Collider) en SPS (Super Proton Synchrotron). (Foto: Bram Saeys)

Dit jaar, voor de tweede editie, was de conferentie volledig uitverkocht, met 100 gespecialiseerde bedrijven die op de beursvloer exposeerden. 3D-printen op industriële schaal was er een hot topic.

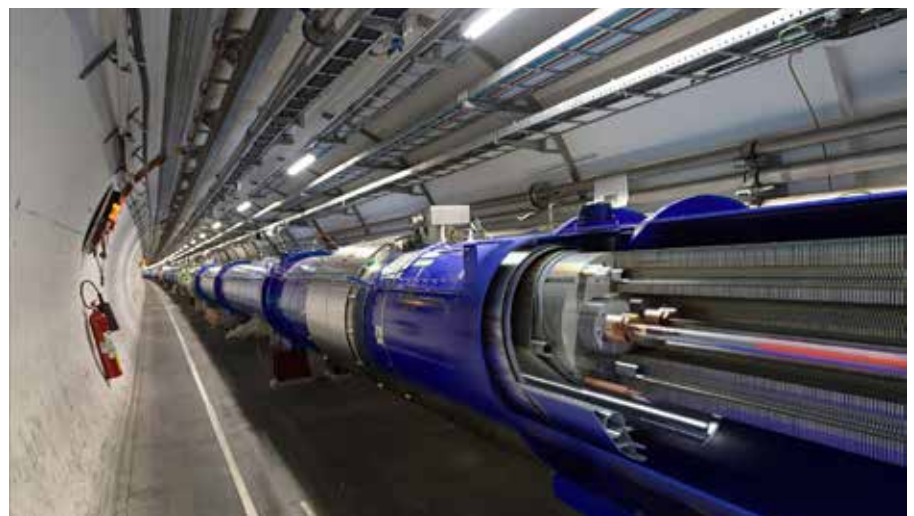
Materialen voor hoogvacuümtoepassingen

De twee evenementen deelden de openingskeynote van Stefano Sgobba, hoofd Materials, Metrology and NDT (niet-destructief testen) bij CERN, de Europese organisatie voor nucleair onderzoek (Figuur 2). Hij gaf een indrukwekkende presentatie over materialen voor hoogvacuümtoepassingen. In moderne deeltjesversnellers gelden strenge eisen aan de materialen die worden gebruikt voor de componenten in het vacuümsysteem, zoals de versnellers (Figuur 3). Hun fysische en mechanische eigenschappen, bewerkbaarheid, lasbaarheid en soldeerbaarheid zijn belangrijke parameters.

Adequate sterkte en ductiliteit en de magnetische eigenschappen bij zowel kamer- als lage temperaturen zijn belangrijke factoren voor de vacuümsystemen van versnellers die werken bij cryogene temperaturen. Bovendien is

voor componenten die een (thermische) voorbehandeling krijgen of direct worden blootgesteld aan de bundel, de materiaalkeuze beperkt met het oog op de eisen aan ontgassing en mechanische eigenschappen in een groot temperatuurbereik.

Tegenwoordig is roestvaststaal de dominante materiaalsoort in vacuümsystemen. Specifieke vereisten in termen van metallurgische processen zijn noodzakelijk om voldoende zuiverheid, insluitingsreinheid en fijnheid van de



Figuur 3. 3D-uitsnede van de LHC-dipool bij CERN. Voor ultrahogvacuüm- en cryogene toepassingen moesten geschikte materialen worden geselecteerd voor bijvoorbeeld bundelpijpen, warmtewisselaarbuizen, ijzermagneetstukken en supergeleidende spoelen. (Beeld: Daniel Dominguez, CERN)

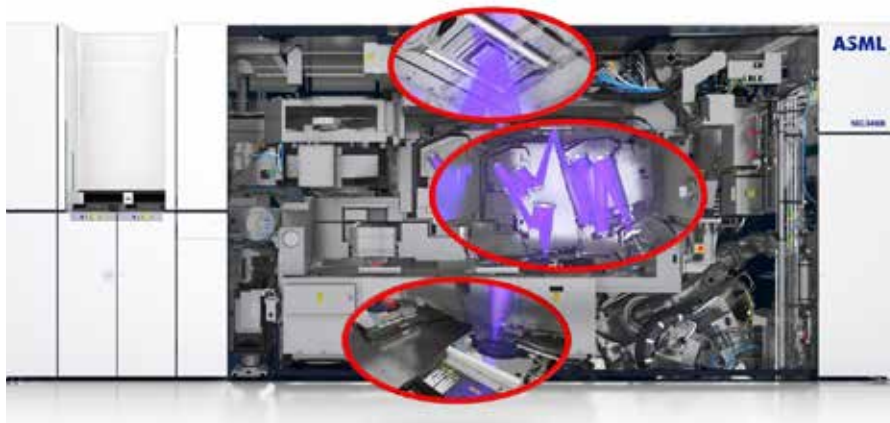
microstructuur te verkrijgen. In veel gevallen zijn deze vereisten cruciaal om de uiteindelijke lektheid van de vacuümcomponenten te kunnen garanderen.

Sgobba presenteerde casestudies van materiaalgerelateerde storingen in versnellersmagneten en andere componenten, met de nadruk op lassen. Voor de eliminatie en preventie van deze storingen besprak hij innovatieve productie- en materiaalonderzoekstechnologieën. Daarnaast ging hij in op gerelateerde uitdagingen voor de ITER-kernfusiereactor, die de grootste magneet ter wereld zal bevatten.

Tot slot deelde Sgobba enkele opmerkelijke conclusies: het voorkomen van vacuümstoringen bij CERN vereist tientallen jaren van voorbereiding; materialen kunnen zelden ‘kant-en-klaar’ zijn; staalsoorten met een hoge sterkte kunnen onvergeeflijk zijn en vereisen een foutloze productie en follow-up, te beginnen bij de staalproductie; en roestvaststaal is niet altijd roestvast is.

Contaminatie-uitdagingen

Naast deze keynote van big-science-gigant CERN werden er op beide evenementen verschillende presentaties gegeven door de lokale hightech-gigant



Figuur 4. Kritieke contaminatiegebieden in een ASML EUV-lithografiemachine, van boven naar beneden: masker, optiek, wafer.

ASML. Een praktisch voorbeeld betrof de contaminatie-uitdagingen in de ASML-toeleveringsketen. Nadat hij de oorsprong en impact van contaminatie in het lithografieproces (Figuur 4) had besproken, ging supply chain cleanliness/standardisation engineer Steffijn de Koning dieper in op de vertaling van deze inzichten naar specificaties. Hiervoor maakte hij twee relevante onderscheiden.

Het eerste onderscheid is tussen deeltjes- en moleculaire contaminatie. Deeltjes zijn voornamelijk een probleem rond het masker en de wafer, waar ze defecten kunnen veroorzaken in de chips die met behulp van deze modules worden geproduceerd. Moleculaire contaminatie kan daarentegen een negatieve invloed hebben op de optiek, wat leidt tot

degradatie van de spiegels en uiteindelijk tot een afname van de levensduur van de optiek. Voor de machineonderdelen waar verontreiniging moet worden voorkomen (of verwijderd), kan een ander relevant onderscheid worden gemaakt, namelijk tussen binnen- en buitenoppervlakken. Buitenoppervlakken kunnen worden onderworpen aan visuele inspectie en RGA (restgasanalyse), terwijl binnenoppervlakken alleen kunnen worden geïnspecteerd via indirecte metingen.

Om de almaar groeiende verontreinigingsuitdagingen in zijn toeleveringsketen aan te pakken, heeft ASML in 2020 een nieuw GSA-framework (General Standards of ASML) vastgesteld. Dat omvat een 'handleiding' voor leveranciers, GSA 07 9001 ('General

Information Cleanliness'), en een aantal sub-GSA's die verwijzen naar de verschillende categorieën in de matrix van Figuur 5. Deze GSA's definiëren de verificatiemethoden (zoals visueel, bright light, UV-A, RGA en XPS) en aanvaardbare verontreinigingsniveaus voor de verschillende soorten deeltjes- en moleculaire verontreiniging, uitgesplitst over de ASML cleanliness grades (1 tot 5).

De Koning liet zien hoe de GSA's vanuit het perspectief van een toeleverancier kunnen worden gebruikt. Hij sloot af met de uitdagingen in de toeleveringsketen waarmee ASML te maken heeft bij de voortdurende miniaturisering in de halfgeleiderproductie, gedreven door de wet van Moore. Volgens hem is samenwerking de sleutel. "Onderdelen moeten 'gereed voor reiniging' zijn. Om dit te bereiken, moet de hele toeleveringsgemeenschap, tot in de n^{de} lijn, eigenaarschap nemen."

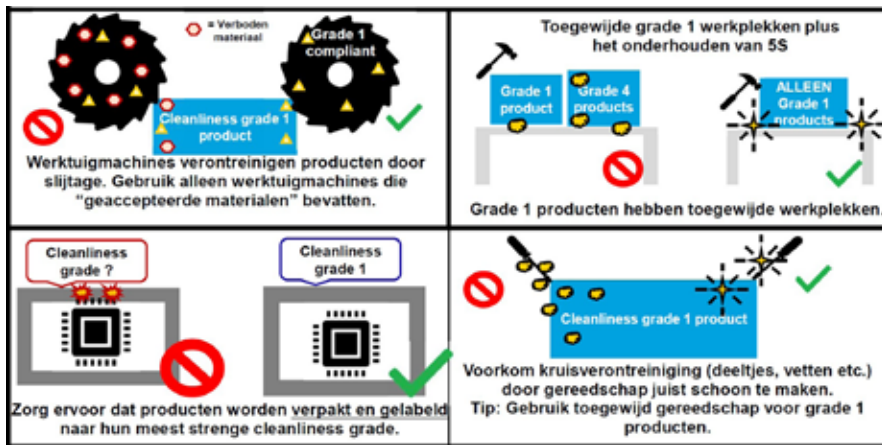
Hij illustreerde dit met het concrete geval van een eerstelijnstoeleverancier die problemen had met het verwijderen van vlekken van onderdelen die waren ingekocht. Een onderzoek naar de grondoorzaak wees uit dat de vlekken diep in de toeleverketen waren ontstaan. Daar waren freesvloeistoffen niet onmiddellijk verwijderd en de resulterende vlekken vervolgens niet eerder gedetecteerd vanwege een verkeerde interpretatie van de relevante GSA.

Betere communicatie en verbetering van het begrip van de GSA's kunnen dergelijke problemen oplossen, concludeerde De Koning. ASML kan helpen met training, vereenvoudiging en vertaling van documentatie en het aanbieden van n^{de}-lijnstoeleverancierscontact via de betrokken eerstelijnstoeleverancier. Als voorbeeld liet hij de quick reference cards zien die ASML heeft samengesteld voor schone productie en schone assemblage (Figuur 6). Na zijn presentatie waren deze referentiekaarten erg in trek bij het publiek.

Combining specifications into a matrix
Clear separation between categories

	Particles	VS	Molecular	
Measured directly on surface	Cleanliness – Particles <ul style="list-style-type: none"> • Particles (including fibers) • Visible stains • Gate oxide degrading particles 		Cleanliness – Molecular <ul style="list-style-type: none"> • Outgassing • Organic stains • HIO elements 	OUTSIDE SURFACE
Measured indirectly in gas	Gas Supply Cleanliness – Particles <ul style="list-style-type: none"> • Particles in gas flow 		Gas Supply Cleanliness – Molecular <ul style="list-style-type: none"> • TOC • Refractories 	INSIDE SURFACE
Measured indirectly in water	Water Supply Cleanliness <ul style="list-style-type: none"> • TOCw • Resistivity • Particles in water 			INSIDE SURFACE

Figuur 5. Specificaties van de verschillende verontreinigingstypen en hun meting. (HIO = waterstof-geïnduceerde uitgassing; TOC = totale organische verontreiniging)



Figuur 6. Gedeeltelijke weergave van de ASML quick reference card voor schone assemblage.

Oppervlakteruwheid versus reinheid

Over de toeleverketen gesproken, Hans Cools, manager operations bij Meilink Precision Cleaning, besprak de relatie tussen oppervlakteruwheid en reinheid. Daarmee legde hij de verbinding tussen 'productie' en 'schoon', de thema's van de twee events. Hij presenteerde de resultaten van een onderzoek uitgevoerd door Projectteam Verspanen 4.0. Dit initiatief van het Mikrocentrum High Tech Platform wil het bewerkingsproces naar een hoger niveau tillen door de factoren te onderzoeken die van invloed zijn op de uitkomst van het proces.

Oppervlakteruwheid, gedefinieerd als de afwijking van het werkelijke profiel van een oppervlak ten opzichte van een rechte lijn, kan worden weergegeven door verschillende grootheden, zoals R_a (gemiddelde), R_p (piek), R_v (dal) en R_z

(gemiddelde van de vijf hoogste pieken en vijf diepste dalen). De grootheden worden berekend uit het ruwheidsprofiel zoals gemeten met een profiometer. In het onderzoek werd de PMC (particle measurement card) gebruikt. Deze 'sticker' wordt eerst op een oppervlak geplakt en vervolgens geanalyseerd met de Fastmicro Sample Scanner (Figuur 7) om het aantal opgepikte deeltjes te bepalen, als indicatie voor de reinheid van het oppervlak.

Een van de meest opvallende uitkomsten was dat de R_a van de geanalyseerde oppervlakken gemiddeld 7,3 keer beter was dan de R_a -waarde die de TPD (technische productdocumentatie) van de betreffende onderdelen voorschreef (zie Figuur 8). Toeleveranciers van bewerkte onderdelen presteren boven verwachting, was de logische conclusie.



Figuur 7. Reinheid werd gemeten met de Fastmicro Sample Scanner met behulp van PMC-kaarten (rechts).

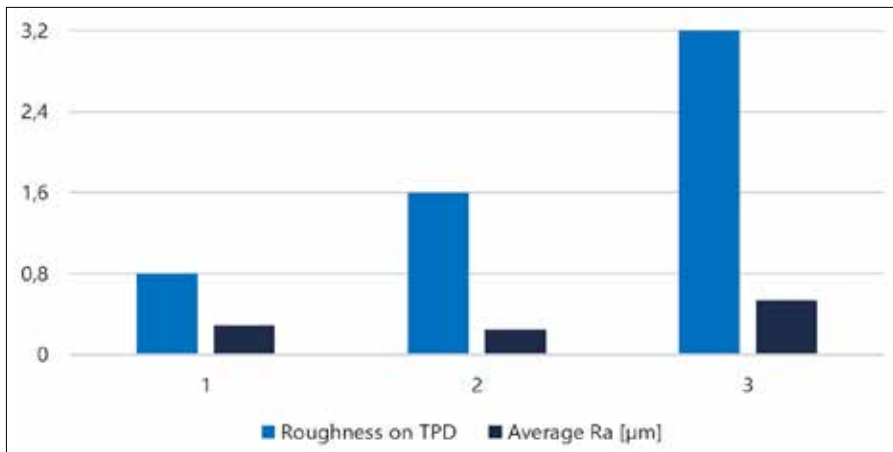
Bij het onderscheid tussen de verschillende relevante deeltjesgroottes (0,5 / 1 / 5 / 10 μm) werd een licht negatieve correlatie gevonden tussen het aantal kleinere deeltjes (0,5 / 1 μm) en de grootste deeltjesgrootte (10 μm). Dit werd weerspiegeld in de – relevantere – correlatie tussen R_a en PMC-score. Voor de kleinere deeltjes was die negatief, terwijl die voor de grotere deeltjes positief was. Dit kan een soort meetartefact zijn: bij een hogere oppervlakteruwheid kan het moeilijker zijn om de kleinere deeltjes op te pikken met behulp van de PMC.

Nadere beschouwing van de resultaten voor de verschillende onderdelen en de manier waarop deze werden geproduceerd, leidde tot de suggestie dat de gevolgde freestراتيجية de relatie tussen R_a en reinheid kan beïnvloeden. Bovendien werd, ondanks de waargenomen (verwachte) sterke correlatie tussen R_a en R_z , enige indicatie gevonden dat voor de strengste reinheidsklassen de R_z -waarde een geschiktere vereiste kan zijn dan de R_a om het bewerkingsproces te sturen.

Analyse en controle van verontreiniging

Meting was ook het onderwerp van de presentatie van Thom Bijsterbosch, cleanliness engineer bij Settels Savenije in Eindhoven. Hij stelde dat RGA niet alleen een hulpmiddel is om de reinheid van vacuüm te beoordelen, maar ook kan worden gebruikt voor proces- en technische verbetering. Nadat hij had laten zien hoe bijvoorbeeld koolwaterstofverontreiniging is te identificeren op basis van het massagetal uit gemeten spectra, richtte hij zich op de potentiële bronnen van verontreiniging. Voorbeelden zijn operators, gereedschap, reiniging, koelmiddelen, verpakkingen en handschoenen.

Hun impact kan worden bepaald in experimenten, bijvoorbeeld door de koel- of reinigingsvloeistoffen te veranderen of reinigingsstappen toe te voegen of over te slaan. Bovendien kan RGA in de flow



Figuur 8. Gemiddelde behaalde R_a zoals gemeten versus de vereiste R_a zoals gespecificeerd in de TPD.

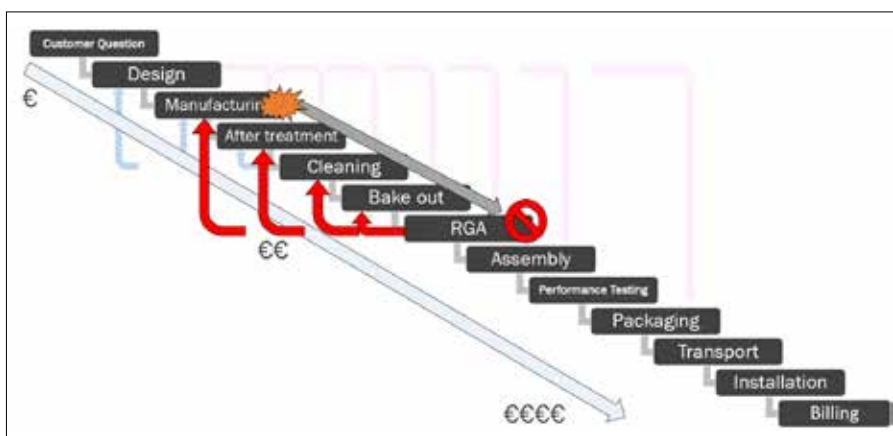
van het productcreatieproces (Figuur 9) feedback geven voor schone productie en de daaropvolgende nabehandlungs-, reinigings- en bake-out-stappen. Door parameters in het productie- en reinigingsproces te veranderen en de RGA-resultaten te vergelijken, kan de uitkomst worden geoptimaliseerd. “Het is beter om onderzoek te doen voordat je product buiten de specificaties valt”, concludeerde Bijsterbosch.

Kasper van den Broek, contamination control architect bij VDL ETG in Eindhoven, had het over vergelijkbare onderwerpen toen hij sprak over het leren beheersen van contaminatie om hightech-toepassingen mogelijk te maken (Figuur 10). Contaminatie kan worden voorkomen door geschikte materialen en schone gassen te gebruiken en ervoor te zorgen dat onderdelen

op de juiste manier worden gereinigd, geproduceerd, geassembleerd en geïnspecteerd. Met andere woorden, voor optimale contaminatiebeheersing moet de hele lifecycle worden beschouwd. Hij presenteerde verschillende interessante voorbeelden van toepassingen uit de



Figuur 10. Kasper van den Broek spreekt voor een volle zaal over het leren beheersen van contaminatie om hightech-toepassingen mogelijk te maken.



Figuur 9. RGA kan worden gebruikt als een engineering- en procesverbetertool in de flow van het productcreatieproces. RGA-resultaten kunnen feedback geven voor schone productie en de daaropvolgende nabehandlungs-, reinigings- en bake-out-stappen.

halfgeleider- en analytical industrie in de verschillende fasen van de product-lifecycle.

Van den Broek presenteerde ook de resultaten van het lopende onderzoek van VDL ETG, in samenwerking met de Technische Universiteit Eindhoven, in het ACCESS-project: Active Contamination Control for Equipment and SubstrateS. Het doel is om fundamenteel inzicht te krijgen in ontstaan, transport en verwijdering van deeltjesverontreiniging, om zo te voldoen aan de steeds strengere eisen.

Volgend jaar is het Clean Event op 17 april.

www.mikrocentrum.nl/nl/cleanliness/clean-event

www.ksscconference.nl

www.asml.com

www.mikrocentrum.nl/nl/verspanen/projectteam-verspanen-4-0

Demaco nu onderdeel van Amerikaanse OPW

Deze zomer is Demaco, expert op het gebied van cryogene technologie, overgenomen door het Amerikaanse OPW. Demaco (Noord-Scharwoude, 150 medewerkers) bouwt infrastructuren voor het transport en de toepassing van industriële gassen bij extreem lage temperaturen. Daarnaast heeft het interna-

tionaal opererende bedrijf een webshop voor onder meer vacuümcomponenten, vacuümpompen en drukmeters.

“Van het benutten van de huidige operationele schaal en capaciteit van OPW wordt verwacht dat dit een aanzienlijke groei zal opleveren en voordelen zal bieden aan zowel OPW- als Demaco-

klanten”, aldus een persbericht van OPW. “De producten en diensten van Demaco zijn zeer complementair aan de bestaande business unit OPW Clean Energy Solutions.”

www.demaco.nl

www.opwces.com

Serieproductie cryopompen voor ITER gestart

Dit voorjaar is bij Research Instruments (RI) in Duitsland de eerste cryopomp vrijgegeven voor levering aan ITER, de Europese kernfusiereactor die in Cadarache, Frankrijk, wordt gebouwd. Eind dit jaar zal RI nog een zeven cryopompen leveren in opdracht van het Europese agentschap Fusion for Energy, dat inkoopverantwoordelijk voor ITER is. Om ultrahoog vacuüm in de torus van de ITER-reactor te creëren, zijn cryopompen onmisbaar. Zes van deze

pompen helpen om ongewenste deeltjes te ‘vangen’ op extreem koude oppervlakken. Twee andere cryopompen zullen het isolerende vacuüm leveren voor de cryostaat. Die gaat de supergeleidende magneten koelen die het fusieplasma in bedwang moeten houden. Met een volume van respectievelijk bijna 1.400 m³ en 8.500 m³ behoren het vacuümvat en de cryostaat van ITER tot de grootste vacuümsystemen die ooit zijn gebouwd.



www.iter.org

www.research-instruments.de

ACCLON
TECHNOLOGIES

Dé professional voor
vacuümpompen &
gloveboxen

**DOOR INNOVATIE OP WEG
NAAR EEN DUURZAME
TOEKOMST**

Persoonlijk inruilvoorstel
“Nieuw voor Oud”
Scan en lees verder

Nijverheidsweg 34 | NL-3274 KJ HEINENOORD | +31 (0) 85 273 7267 | www.acclon.nl | info@acclon.com

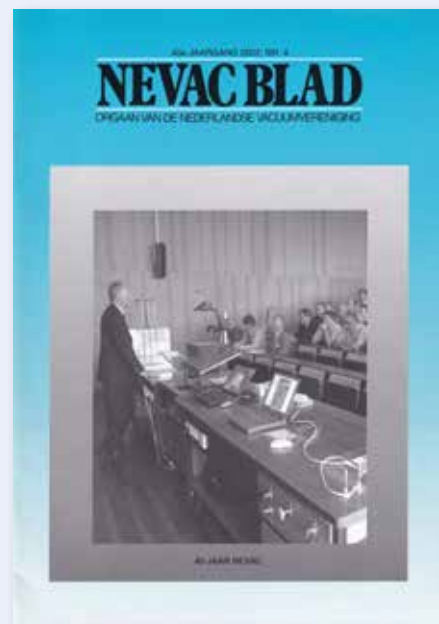
Oud nieuws: 40 jaar NEVAC (1962-2002)

Op de NEVAC-website, in de Nieuwssectie, staat het verslag van de voordracht die erelid Theo Mulder in 2002 hield over de eerste 40 jaar NEVAC. Natuurlijk had hij het ook over de ontwikkeling van de vacuümtechnologie in die periode en het belang daarvan op allerlei vlak.


“Als we heden ten dage eens om ons heen kijken naar de huidige stand van de techniek, dan beseffen we nauwelijks, welke rol de vacuümtechniek daarin heeft gespeeld. De computer heeft enorm in ons leven ingegrepen, vele mensen willen of kunnen niet meer zonder hun gsm leven, tv’s met platte beeldschermen, zelfs buigbare

displays zo dun als een folie zijn er al. En wat te denken van de vele soorten verlichtingslampen, ontspiegelde brillenglazen, lang houdbare medicamenten en digitale horloges, om nog maar enkele willekeurige voorbeelden te noemen. Zonder de ontwikkelingen in de vacuümtechniek was dit alles niet mogelijk geweest. En dat in een tijdsbestek van nauwelijks een halve eeuw. De NEVAC heeft in deze ontwikkelingen zeker een grote rol gespeeld. Als gemeenschappelijke vraagbaak en plaats van samenkomen voor zowel de gebruikers als de leveranciers van het vacuüm.”

www.nevac.nl



You Want More?




Efficient Solution for Gas Analysis with OmniStar GSD 350


Your added value

- Low detection limit (< 100 ppb), even for condensable gases
- Fast, reliable and precise measurement of non-polar and noble gases
- Compact and portable unit
- Heated capillary inlet, up to 350 °C
- Complete solution for gas analysis, especially in chemical processes, fermentation, catalysis and environmental analysis

Pfeiffer Vacuum Benelux B.V.
Newtonweg 11
4104 BK Culemborg
The Netherlands

PFEIFFER VACUUM
Your Success. Our Passion.




www.pfeiffer-vacuum.com

Vacuümtechnologie in R&D-regeling voor Einstein Telescope

Voor de Einstein Telescope (ET) is vorig najaar een R&D-regeling gelanceerd met ruim twaalf miljoen euro uit het Nationaal Groeifonds. Het geld is bedoeld om innovatie en versnelde ontwikkeling van nieuwe technologieën te stimuleren voor een ondergronds geavanceerd observatorium voor zwaartekrachtgolven. De regeling staat open voor individuele hightech bedrijven en consortia rondom vijf technologiedomeinen, waaronder vacuümtechnologie. De call hiervoor, oorspronkelijk gepland voor februari 2024, gaat op 18 oktober open. Centraal hierin staan kostenbesparingen op het vacuümsysteem en het ontwerp van productiefaciliteit en installatiescenario.

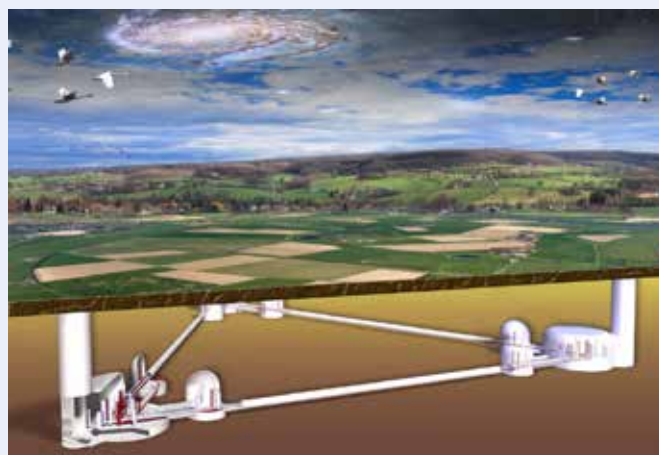
ET wordt een geavanceerd ondergronds observatorium met drie armen van elk 10 km lengte in een driehoek. Een kansrijke locatie voor ET is het grensgebied van Nederland, België en Duitsland. Detectie van zwaartekrachtgolven vindt plaats met laserinterferometrie in deze armen, in feite vacuümbuizen. De vacuümbuizen en -systemen hebben een totaal volume in de orde van 10^5 m³. Met 10^{-10} hPa moet het vacuüm weer een factor tien beter zijn dan dat in het huidige Europese observatorium Virgo in Italië. Vacuüm is natuurlijk nodig

om de spiegels schoon te houden. Maar ook voor het zoveel mogelijk beperken van verstoringen (door thermische en akoestische effecten en restgasfluctuaties) op de verschillende componenten, waaronder de spiegels en hun ophanging.

www.et-gw.eu

www.einsteintelelescope.nl

www.einsteintelelescopeforbusiness.nl



VACUUBRAND®

VACUU·PURE® 10C

Screw pump

For aggressive gases and vapours

- 10^{-3} mbar vacuum range
- 100% oil-free
- Chemically resistant
- No wear parts

www.vacuubrand.com



VACUUBRAND GMBH + CO KG
Contact Benelux:

Pieter Heidema | +31 621 17 48 14
pieter.heidema@vacuubrand.com

Stel je voor: Thom Bijsterbosch

Hij werkt als cleanliness engineer bij Settels Savenije in Eindhoven. De vacuümtechniek trekt hem aan omdat er allerlei verschillende fysische principes worden gebruikt voor vacuümpompen en drukmeting, en er een grote verscheidenheid aan toepassingen is. Bij Settels was hij al betrokken bij de bouw van zo'n tien hoogvacuümsystemen. "Ze zijn allemaal anders en ieder keer mogen we weer een mooie nieuwe vacuümplossing ontwerpen." Thom Bijsterbosch stelt zich voor.

"Settels Savenije is van oudsher een ingenieursbureau en sinds een jaar of tien een total solutions provider. Dat betekent dat we binnen Settels het hele proces van idee of probleem tot en met het leveren van een machine of product in eigen huis kunnen realiseren. We hebben voornamelijk klanten in de halfgeleider- en de analytical industrie. Veel van de oplossingen die we maken, van meet- tot depositiesysteem en alles daartussen, bevindt zich vaak in een vacuümomgeving en/of een cleanroom. Binnen Settels houd ik mij als cleanliness engineer bezig met alle drie divisies. Ik begeleid onze engineers in Research & Development met vraagstukken omtrent het ontwerp en materiaalgebruik voor HV- en UHV-applicaties. In onze machinebouwdivisie (Advanced Systems, red.) houd ik mij bezig met RGA- en andere reinheidsmetingen en -processen. En in de machinefabriek (Precision Parts, red.) werk ik mee aan de productieprocessen voor schone onderdelen."

Drukopnemers en RGA-metingen

"Ik heb de opleiding Technische Natuurkunde aan Fontys Hogeschool in Eindhoven gevolgd. Tijdens mijn studie heb ik bij D&M Vacuümsystemen gewerkt aan de revisie en kalibratie van drukopnemers. Vervolgens heb ik daar nog anderhalf jaar fulltime gewerkt als RGA-engineer aan het organiseren en begeleiden van RGA-metingen voor derden. Daarna ben ik bij Settels Savenije aan de slag gegaan als cleanliness engineer."

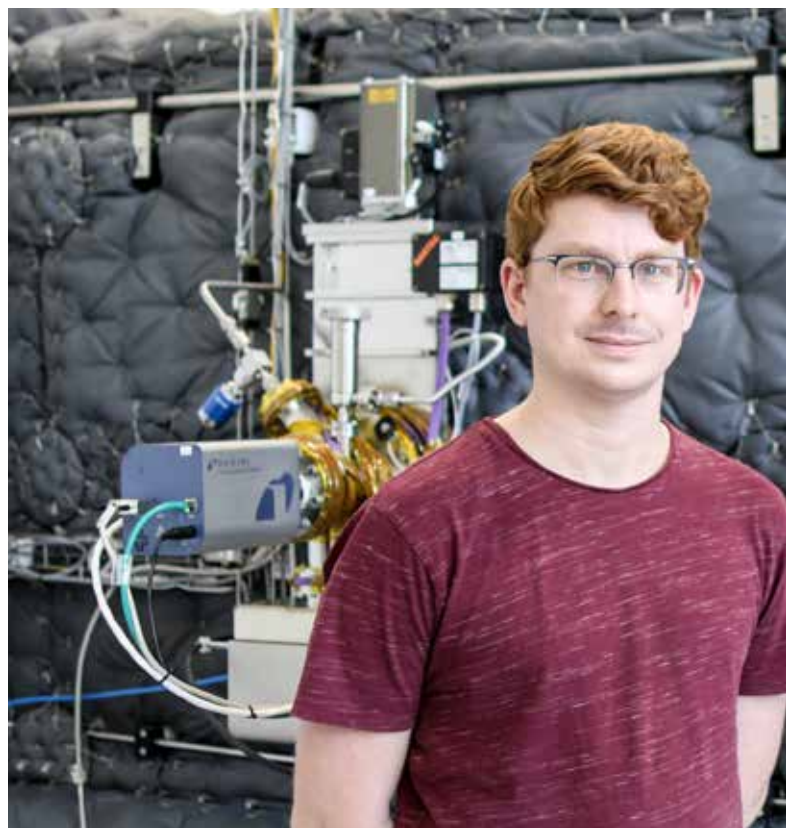
Verskillende fysische principes

"Tijdens mijn HBO-opleiding stond in een hoek van een van onze laboratoriumzalen een kleine verzameling RVS-ka-

mers, pompen, drukmeters en andere vacuümattributen. Ik vond het erg interessant om te uit te vinden wat het was en hoe het allemaal werkte. Daarna heb ik een keuzepracticum gedaan met een van de opstellingen en zo is de fascinatie voor de vacuümtechniek geboren. Wat mij als natuurkundige vooral aantrok is dat alle allerlei verschillende fysische principes worden gebruikt om te pompen of druk te meten: thermisch, mechanisch, chemisch, met ionisatie."

Mooie nieuwe vacuümplossingen

"Wij bouwen voor diverse klanten vacuümsystemen. Eigenlijk is het vacuüm altijd faciliterend aan het proces dat we ontwikkelen, of dat nu een depositieproces is, een meetstelsel of een andersoortige proceskamer. Bij Settels zijn we



Cleanliness engineer Thom Bijsterbosch bij het grote RGA-systeem van Settels Savenije: "Wat mij als natuurkundige vooral aantrok in de vacuümtechniek is dat allerlei verschillende fysische principes worden gebruikt om te pompen of druk te meten: thermisch, mechanisch, chemisch, met ionisatie."

Agenda

3-8 november 2024

AVS 70th International Symposium & Exhibition
Tampa, Florida, VS

6 november 2024

Contamination Control Congres 2024
Den Bosch

13-14 november 2024

Precisiebeurs
Den Bosch

3-6 februari 2025

IUVSTA Workshop Ultra-clean Vacuum
Delft

17 april 2025

Clean Event 2025
Veldhoven

15-19 september 2025

IVC-23, 23rd International Vacuum Congress
Sydney, Australië

Links naar event-websites:
Agenda op www.nevac.nl

goed in het maken van oplossingen op het snijvlak van hoge precisie (typisch nanometers), zeer schoon (UHV, cleanroom, HIO (hydrogen induced outgassing), moleculaire vervuiling) en zeer complexe fysicadisciplines die bij elkaar moeten ko-

men: thermisch, dynamica, hoogspanning, optisch. Bij Settels bouwen we bijna alleen maar specials, prototypes en kleine series. In de zes jaar dat ik nu bij Settels zit, hebben we ongeveer tien hoogvacuümsystemen gebouwd, van enkele liters tot aan 10 kuub. Het leuke is dat ze allemaal anders zijn en dat we ieder keer weer een mooie nieuwe vacuümplossing mogen ontwerpen. Daarnaast geeft ik een aantal keer per jaar vacuümtraining bij het High Tech Institute."

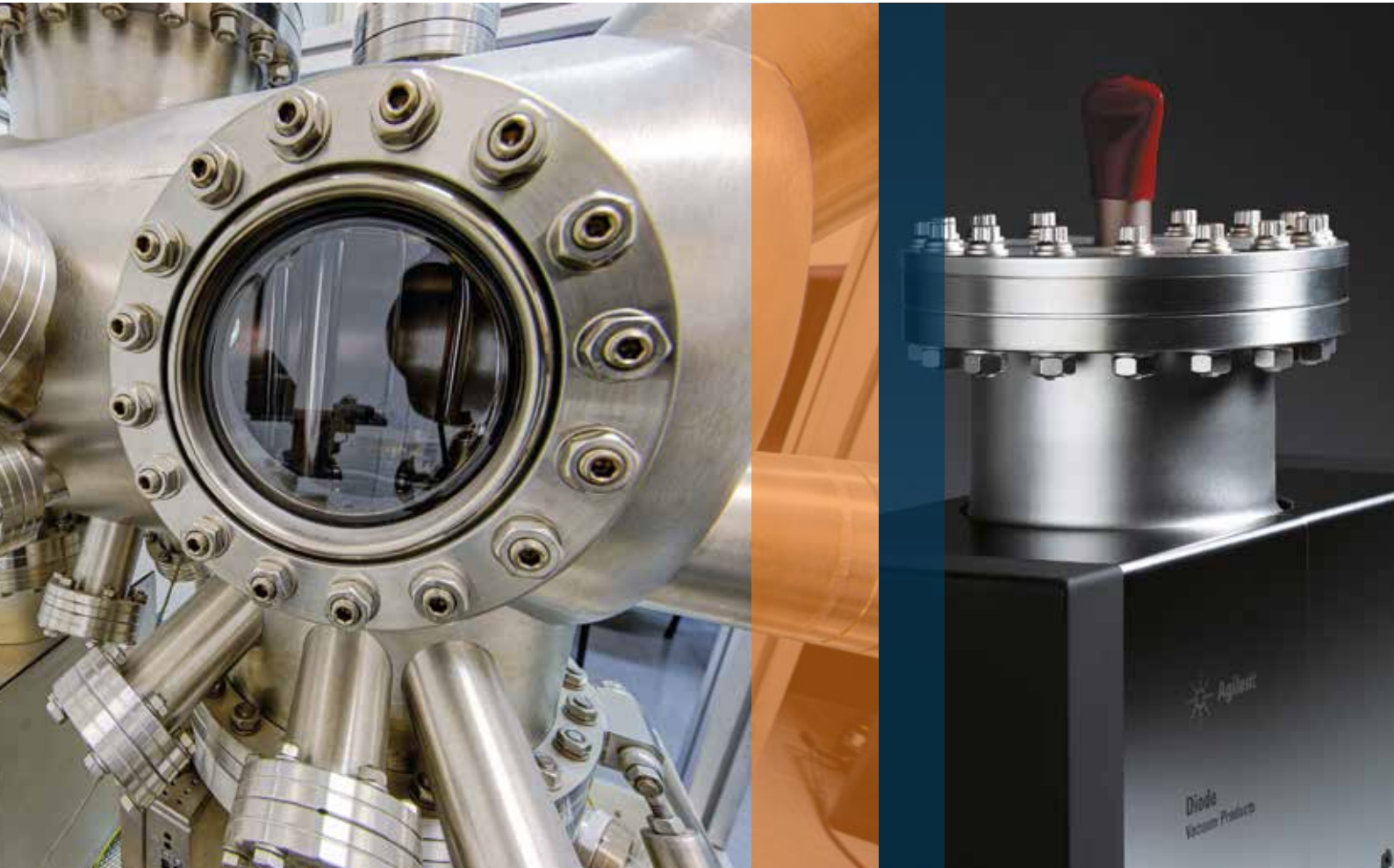
Diversiteit aan toepassingen

"Wat mij aanspreekt is de grote diversiteit aan toepassingen van vacuüm. Van het vriesdrogen van aardappels of het opdampen van de binnenkanten van melkpakken, tot het sputteren van lagen op spiegels en van elektronenemitters voor sterilisatie, tot elektronenmicroscopie en EUV-lithografie. En nog veel meer toepassingen waar ik helaas niet over mag praten in verband met geheimhouding."

Themadagen gewenst

"Ik ben lid van de NEVAC om de nieuwste ontwikkelingen in de vacuümtechniek te volgen, onder meer via dit blad en door kennis te maken met andere experts in het vakgebied. Daarvoor zou de NEVAC wat mij betreft nog meer mogen organiseren naast de reguliere NEVAC-dag. Ik zou themadagen interessant vinden over subgebieden van de vacuümtechniek, zoals RGA, dunnelaagtechnieken of industriële vacuümtoepassingen. Zelf ben ik sinds afgelopen jaar actief als lid van de NEVAC-opleidingscommissie, om een bijdrage te leveren aan de vacuümtechniek in Nederland en de opleiding van de specialisten van morgen."





The Definitive Guide to UHV and XHV

Discover Agilent solutions for ultra and extreme-high vacuum through the brand new ion pumps catalog.

