

Strategic Plan, Self-evaluation and SEP

In preparation for the SEP evaluation, an in-depth evaluation to which all NWO institutes are subjected every six years, ARCNL composed two important documents: the [ARCNL Strategic Plan 2017-2022](#) and the [ARCNL Self-evaluation 2014-2016](#). In the self-evaluation, we look back and review the conception, organization and achievements of ARCNL over the first three years of its existence. The strategic plan looks ahead and shows the plans that the ARCNL staff has for the future. Both documents can be found on our website: [Strategic Plan](#), [Self-evaluation](#).



ARCNL wishes you a wonderful Christmas and a happy new year



From 20 to 22 September 2017 the ARCNL SEP committee, chaired by prof. Ellen Williams, was in Amsterdam for an extensive site visit to ARCNL. The outcome of the evaluation will be formulated in a report that will become (publicly) available in March 2018. We are very pleased that we are able to share with you that the committee is very positive about the setup, the achievements and the future direction of ARCNL!

Update Matrix VII building

Construction work on the Matrix VII building entered a new phase. After weeks of driving piles in the ground, the focus shifted upwards. At the present rate of construction, the building grows by one floor in less than a month. It should reach its final size already early 2018 and ARCNL is getting ready to move in the second half of next year.



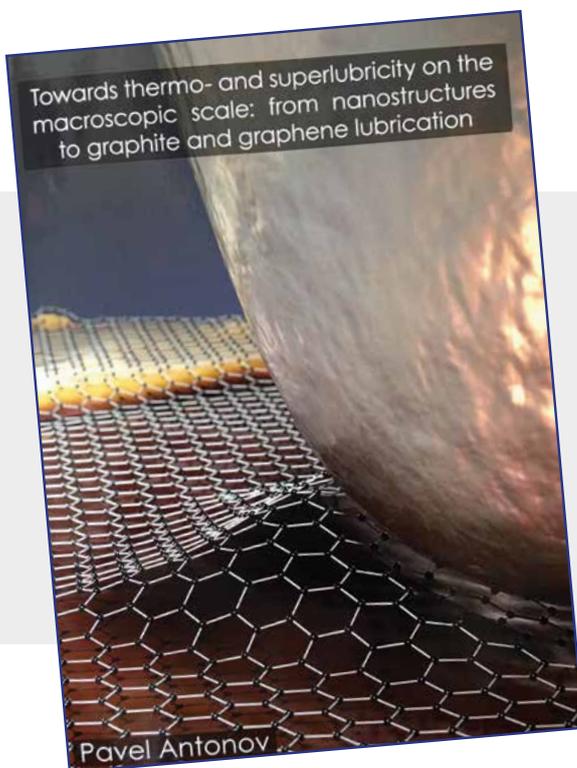
Future housing ARCNL, Matrix VII

New research group

A new research group started at ARCNL: the **Contact Dynamics** group led by Prof. Steve Franklin. The research activities of the new group focus on developing a fundamental understanding of friction mechanisms and on how to manipulate them. Franklin works for ARCNL and for ASML. He is an expert in the field of tribology, which is devoted to contact formation, friction and wear phenomena, down to the atomic scale. These topics are all relevant to the manufacture of semiconductor devices. [Read more.](#)



Steve Franklin



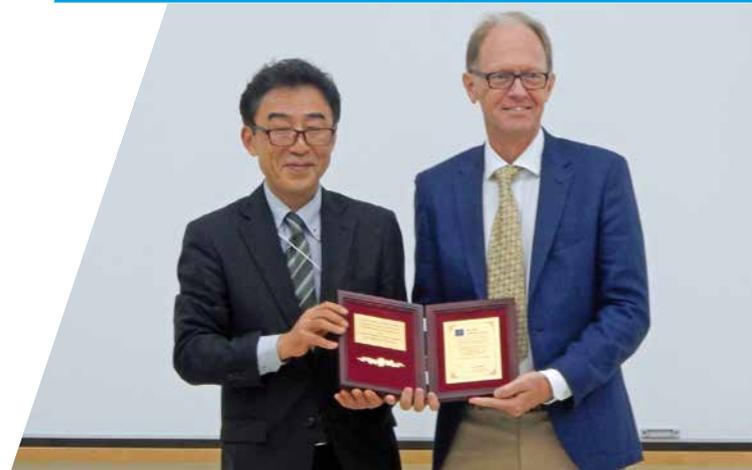
ARCNL delivers its first doctor

On Wednesday, 18 October, ARCNL PhD student Pavlo Antonov defended his PhD thesis on new methods to drastically lower friction and wear by the use of advanced materials and nanostructures. This makes Antonov the first ARCNL PhD student to earn a doctor's degree. He started his research at Leiden University and moved to Amsterdam at the start of ARCNL. The defense took place at Leiden University with Joost Frenken as promotor. [Download thesis.](#)

Professor Hiroshi Miyasaka, president of the Japanese Photochemistry Association (left) and Fred Brouwer (right)

Fred Brouwer receives prestigious award

At this year's Conference of the Japanese Photochemistry Association in Sendai, Fred Brouwer received the prestigious Honda-Fujishima Lectureship Award. This award is handed out each year to a foreign photochemist who has made significant contributions to the research field. Brouwer's lecture was about 'Molecular fluorescent probes in materials science'.



‘Perspectief’ program on lensless imaging

Six new ‘Perspectief’ programs have been given the green light by NWO. Stefan Witte and Kjeld Eikema (ARCNL/VU) are co-initiators of the program on ‘Lensless Imaging of 3D Nanostructures with Soft X-Rays (LINX)’. In the context of this program, the ARCNL/VU group will lead the project on experimental implementation of new soft-X-ray measurement schemes. [Read more.](#)



Ronnie Hoekstra

EU H2020-INFRADEV funding for Ronnie Hoekstra

ARCNL group leader Ronnie Hoekstra received EU funding for his work on the dynamics of the electron beam that drives a Free Electron Laser with wavelengths into the X-ray regime. The grant was awarded to the consortium CompactLight of which ARCNL and VU are partners. CompactLight aims to advance the development of X-ray FEL sources across Europe and beyond by making the sources more cost efficient. They intend to achieve this by combining new and innovative accelerator technologies.

Recently published

All ARCNL publications can be downloaded on [website](#).

- A. Thete, D. Geelen, S.J. van der Molen and R.M. Tromp, *Charge catastrophe and dielectric breakdown during exposure of organic thin films to low-energy electron radiation*, Phys. Rev. Lett. [just accepted](#), (2017).
- J. Haitjema, Yu Zhang, M. Vockenhuber, D. Kazazis, Y. Ekinici and F. Brouwer, *Extreme ultraviolet patterning of tin-oxo cages*, J. Micro Nanolithogr. MEMS MOEMS 16, 033510: 1-7 (2017).
- Yu Zhang, J. Haitjema, X. Liu, F. Johansson, A. Lindblad, S. Castellanos, N. Ottosson and F. Brouwer, *Photochemical conversion of tin-oxo cage compounds studied using hard x-ray photoelectron spectroscopy*, J. Micro Nanolith. MEMS MOEMS 16, 023510: 1-7 (2017).
- R.A. Meijer, A.S. Stodolna, K.S.E. Eikema and S. Witte, *High-energy Nd:YAG laser system with arbitrary sub-nanosecond pulse shaping capability*, Opt. Lett. **42**, 2758-2761 (2017).
- J.W.M. Frenken and I.M.N. Groot, *Seeing dynamic phenomena with live scanning tunneling microscopy*, MRS Bulletin **42**, 834-841 (2017).

Prof meets CTO

On Friday, October 13th ARCNL hosted the successful event ‘Prof meets CTO’ organized by Holland Instrumentation. Representatives of academia and industry exchanged the latest developments in their field and explored ways in which they can collaborate. The participants focused on two topics that play a major role in high tech development: nanophotonics and plant and seed technology.

Oscar Versolato in 'Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde'

Laserschieten op tindruppels

Een laserpulss versnelt een microscopisch tindruppeltje met een miljard keer de zwaartekrachtversnelling, waardoor de druppel vervormt. Een eerste laserpuls zorgt voor een dunne pannenkoek en een volgende zorgt voor de volledige desintegratie van het druppeltje tot in een plasma. Dit tinplasma wordt in de nieuwste generatie chipmachines van ASML gebruikt om extreem ultraviolet licht op te wekken om daarmee de kleinste structuren te 'printen' op plakken halfgeleidermateriaal en zo geïntegreerde schakelingen mogelijk te maken. Belangrijk in dit proces is een tindruppeltje te vervormen tot een dunne pannenkoek zonder dat deze uiteenspat. Onderzoekers van het Advanced Research Center for Nanolithography (ARCNL) en de vakgroep Physics of Fluids aan de Universiteit Twente werken samen met ASML aan een beter begrip van de onderliggende plasma- en vloeistoffysica. *Hanneke Gelderblom en Oscar Versolato*

Tindruppels als bron voor euv-licht
In de nieuwste generatie apparaten van lithografiemachinesfabrikant ASML wordt extreem ultraviolet (euv) straling gebruikt met een golflengte van 13,5 nanometer (1,3 x 10⁻⁸ m) in plaats van de nu standaard diep ultraviolette 193 nm. Met deze korte golflengte kunnen minuscule structuren vervaardigd worden 'geprint'. Voor het opwekken van de euv-licht wordt een plasma van tin gebruikt. Het licht is afkomstig van atomaire overgangen in hooggediende tinionen (Sn¹⁰⁺-Sn⁹⁺) in dit zeer hete (~10⁸ Kelvin) en dichte (~10²⁰ elektronen/cm³) plasma. Dit plasma wordt opgewekt door een tindruppeltje te beschieten met laserpulsen. Het vormen van dit laser-geproduceerde plasma gebeurt in twee stappen. In de eerste stap dreft een laserpuls een klap uit die de druppel versnelt en vervormt tot een pannenkoek (figuur 1). Deze stap op-

imaliseert de vorm voor de interactie met een tweede, krachtigere laserpuls, die ervoor zorgt dat de vervormde druppel wordt ontgret in een euv-licht stralend plasma. De wadiging is om binnen enkele microseconden een stabiele pannenkoek te maken, zonder dat deze uiteenspat in kleinere druppeltjes. Het gevolg van de eerste stoot op de druppel wordt beschreven door de wetten van de plasma- en vloeistoffysica.

Laser-druppelinteractie
In onze experimenten [1] gebruiken we infrarood laserlicht met een golflengte van 1 micrometer. De laser zendt een lichtpuls van 10 nanoseconden uit, met een variërende energie. In een vacuümpostelling focuseren we de laser op een microdruppeltje, met een radius R₀ van ongeveer 25 micrometers. Maar tin gebruiken we ook indium-tin, dat vergelijkbaar is met tin, maar dankzij een lager smeltpunt

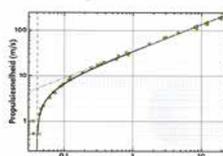
experimenteel handiger is. We gebruiken een laserfocuser met een diameter van 15 micrometer (uitgedrukt in volle breedte bij halve amplitude). Daar waar de laser het druppeltje raakt ontstaat een heet en dicht plasma. Dit plasma zet uit met een uitbreidingsnelheid tot tientallen duizenden kilometers per seconde, afhankelijk van de laserpulsenergie. De reactiekracht greift het druppeltje een harde stoot. De massa m van het weggaande plasma staat de snelheid v van dit plasma bepaald de stoot F, die gelijk is aan de snelheid v van het druppeltje met massa M:

$$mv = P_{0,1} M v \quad (1)$$

De plasmamassa m is veel kleiner dan de massa van het druppeltje. Maar, zelfs als er maar één procent van de massa wordt omgezet in een plasma, veroorzaakt dit druppelversnelling van wel honderd meter per seconde. Als de laserpuls stopt, houdt ook de



Figuur 1 De laserpuls produceert een thin plasma op de plek waar de druppel gezakt is. De druppel krijgt daardoor snellheid en wordt in een plate pannenkoek. De vervormde druppel is hier te zien op verschillende tijdstippen na de laserpuls. Rechts een voorzetstuk (zonder een hoek van 30 graden) van de laatste druppel. Het plasma is te zien als een witte vlak in deze stereoscopische opnamen.



Figuur 2 Snelheid van het druppeltje als functie van de laserpulsenergie E. De eerste doorgetrokken lijn is een fit van de machtwet van formule 1 van alle data. De verticale stippen geven de minimale energie E₀ aan waar besloten geen plasma-overspanning plaatsvindt. De diagonale streep-volgende geeft de machtwet E ∝ v^{2/3} weer.

verandering op. Het druppeltje wordt dus in ongeveer 10 nanoseconden versneld tot 100 m/s een versnelling van 10¹⁰ m/s², een enorme optogert!

Laserenergie bepaalt druppelversnelling
Omdat de plasmamassa m uitbreidingsnelheid afhankelijk zijn van de laserpulsenergie, verwachten we ook een energieafhankelijkheid van de druppelversnelling. In figuur 2 laten we zien dat deze snelheid inderdaad een functie is van de laserpulsenergie E. Het valt direct op dat boven ongeveer 0,1 mJ alle datapunten op één rechte lijn liggen (de stippen zijn in figuur 2). Van deze dubbellogaritmische figuur leren we dat E een machtwet is van v, dus E ∝ v^{2/3}, over meer dan twee or-

den van grootte in laserpulsenergie! Om deze machtwet en de grootte van de exponent β (ongeveer 0,6) te duiden werden we ons tot de plasmafysica. Een precieze beschrijving komt uit recente plasma-analyses en analytische theorie.

Om een plasma te ontsteken en de druppel in gang te zetten blijft een hoeveelheid laserenergie van tenminste E₀ ≈ 0,4 mJ nodig (verticale lijn in figuur 2). In korte tijd moet er voldoende laserenergie worden overgedragen aan een dun laagje vloeistof om deze zodanig te verhitten dat het verdamp. De dikte δ van deze laag wordt bepaald door thermische diffusie: δ ≈ √(κt), κ is hierin de thermische diffusiviteitscoëfficiënt en t de laserpulsduur. Voor verdamping van de laag is een geabsorbeerde energie per oppervlak nodig van ~αM²/κt, waarbij α de dichtheid van het tin en M de dichtheid van de vloeistof is.

Als we de initiële reflectiviteit van het tinoppervlak meten en de geometrie hier even voor het gemak negeren, kunnen we uit op een ruwe afschatting voor de minimale laserenergie van 0,1 mJ, beregen redelijk accuraat alle data goed beschrijft [1].

Druppels vervormen tot pannenkoeken
Het doel van de hele exercitie

is niet om de tindruppels te versnellen, maar om ze te vervormen tot een dunne, plate schijf, de pannenkoek. Zoals hierboven beschreven ervaren druppel door de irrisagie van het uitbreidende plasma een stoot, een druk op het oppervlak gedurende een bepaalde tijd. Met behulp van een wiskundig model [5] kunnen we de resulterende drukverdeling binnen in de druppel uitrekenen. In figuur 3a is een dergelijk irrisagie getoond. Deze druisverdeling zet de vloeistof in de druppel in beweging; de druppel zoukt het resultaat als we met het massamiddelpunt van de druppel meer be-

Hanneke Gelderblom is projectleider van het NWO-Initiatief 'Programma Fundamenteel Basiswetenschappelijk onderzoek' van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Ze werkt aan de vakgroep Physics of Fluids aan de Universiteit Twente en aan de vakgroep Plasmafysica aan de Universiteit van Amsterdam. Ze is ook lid van de vakgroep Plasmafysica aan de Universiteit van Amsterdam.

Oscar Versolato is projectleider van de groep EUV Plasma Physics en het Advanced Research Center for Nanolithography (ARCNL) aan de Universiteit Twente. Hij werkt aan de vakgroep Physics of Fluids aan de Universiteit Twente en aan de vakgroep Plasmafysica aan de Universiteit van Amsterdam. Hij is ook lid van de vakgroep Plasmafysica aan de Universiteit van Amsterdam.

Hanneke Gelderblom is projectleider van het NWO-Initiatief 'Programma Fundamenteel Basiswetenschappelijk onderzoek' van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Ze werkt aan de vakgroep Physics of Fluids aan de Universiteit Twente en aan de vakgroep Plasmafysica aan de Universiteit van Amsterdam. Ze is ook lid van de vakgroep Plasmafysica aan de Universiteit van Amsterdam.

Oscar Versolato is projectleider van de groep EUV Plasma Physics en het Advanced Research Center for Nanolithography (ARCNL) aan de Universiteit Twente. Hij werkt aan de vakgroep Physics of Fluids aan de Universiteit Twente en aan de vakgroep Plasmafysica aan de Universiteit van Amsterdam. Hij is ook lid van de vakgroep Plasmafysica aan de Universiteit van Amsterdam.

Open Day

ARCNL participated in the annual Amsterdam Science Park Open Day on October 7th. Despite the rain, many visitors found their way to ARCNL. A popular activity for families was the home-built Magnetic Canon that demonstrated the conversion of energy. The instructive lecture on nanolithography by Wim van der Zande (ASML) was well appreciated, as evidenced by the survey carried out by Amsterdam Science Park. In the ARCNL canteen, ASML's demo machine proved useful to explain the lithography process, after which visitors were invited to join the lab tour.

