

Juryrapport

Shell Afstudeerprijzen voor Natuurkunde 2018

Dit jaar werden elf studenten genomineerd voor de Shell Afstudeerprijzen voor Natuurkunde, waarbij de meeste Nederlandse universiteiten met een Natuurkunde opleiding waren gerepresenteerd.

De voordrachten werden ondersteund door sterke en informatieve nominatiebrieven, die goed inzicht gaven in het uitstekende afstudeerwerk en de buitengewone prestaties van de genomineerden. Meestal ging het niet alleen om een uitblinkend afstudeerwerk, maar ook om gemiddeldes van 9 of hoger voor de vakken in het master studieprogramma. Uiteraard was het *judicium Cum Laude* eerder regel dan uitzondering bij de genomineerden. Het was duidelijk dat men in den lande erg goed het prestige van de Shell Afstudeerprijzen onderkent, en het kaliber dat nodig is om deze prijs te winnen.

De jury was dan ook zeer onder de indruk van de afstudeerprojecten en de verslaglegging daarvan. Veelal oversteeg het niveau zowel in kwalitatieve als kwantitatieve zin ver dat van de gemiddelde masterstudent. In verscheidene gevallen vormt het afstudeerwerk de basis voor een wetenschappelijke publicatie, met de betreffende student als leidende auteur.

De jury heeft met veel genoegen kennisgenomen van al dit talent en wenst alle genomineerden veel succes met hun verdere carrières.

A.S. (Anouk) Goossens MSc (Rijksuniversiteit Groningen)

Investigating Nb-doped SrTiO₃ Schottky Junctions as a Platform for Bio-inspired Computing

Informatietechnologie neemt in onze maatschappij een steeds centralere plaats in. De alsmaar krachtiger wordende computers maken vele toepassingen mogelijk. Waar in de afgelopen decennia vooral het steeds sneller worden van de processoren in de computers en het uitbreiden van de geheugencapaciteit centraal stonden, gerealiseerd door de elektronische componenten zoals de transistors steeds kleiner te maken volgens de bekende 'wet van Moore', is in de afgelopen jaren de aandacht gaan verschuiven naar het energieverbruik van de computerchips. Naast het aspect van duurzaamheid – het energieverbruik in informatietechnologie draagt al voor een significant deel bij aan de opwarming van de aarde – is ook het in toom houden van de temperatuur op de chip zelf een belangrijk probleem.

In de speurtocht naar nieuwe materialen en concepten voor de gewenste energiezuinige elektronica vinden Goossens en haar collega-onderzoekers inspiratie in de natuur. De hersenen zijn ongelooflijk energie-efficiënt en de uitdaging is om de kenmerken die dit mogelijk maken ook in de vorm van kunstmatige computertechnologie te realiseren.

Eén van die eigenschappen is het lerend vermogen van de hersenen. In ons brein gebeurt dit door middel van het steeds sterker worden van de elektrische verbindingen in de synapsen, naarmate ze vaker worden aangesproken. Goossens is erin geslaagd deze eigenschap op voortreffelijke wijze na te bootsen in elektrische contacten tussen de magnetische metalen nikkel of kobalt aan de ene kant en de halfgeleider strontium-titaan-oxide SrTiO₃ aan de

andere kant. Daarbij werd het laatste materiaal verrijkt met een klein beetje van het chemische element niobium.

In haar studies combineert Goossens op briljante wijze de instelbare magnetische eigenschappen van de magnetische contacten met de daardoor variërende geleidingseigenschappen van de elektrische barrière tussen het metaal en het strontium-titaan-oxide. Daarbij heeft Goossens niet alleen de lerende functie gerealiseerd, als een belangrijke *holy grail* voor hersengeïnspireerde informatietechnologie, maar ze heeft zelfs laten zien dat de door haar gerealiseerde structuren ook weer kunnen ‘vergeten’, afleren dus als het ware. Dit klinkt wellicht ongewenst, maar is juist een heel belangrijke toevoeging voor de realisatie van allerlei functies met een tijdelijk karakter.

Goossens beschrijft haar onderzoek in een uitermate helder en plezierig leesbaar afstudeerverslag, dat door de afstudeercommissie van de Groningse Nanoscience opleiding met een 9,5 werd beoordeeld. Het verslag reflecteert een zeer zorgvuldige onderzoeksopzet en de efficiënte en hoogkwalitatieve uitvoering daarvan. Het omvat een volwassen, kritische analyse van de onderzoeksdata, met daarin onder andere een gedegen vergelijk tussen de schakelingen gebaseerd op nikkel en die op kobalt. Gecombineerd met de andere zeer hoge cijfers in haar masters programma is Goossens Cum Laude afgestudeerd.

Haar werk is gepubliceerd in een speciale focus-editie over nieuwe fysica en materialen voor neuromorfische computers in het Journal of Applied Physics, met Anouk Goossens als eerste auteur. Daarnaast was ze ook co-auteur van een tweede wetenschappelijke publicatie, over studies aan de magnetoweerstand in de door haar gerealiseerde elektrische contacten. Als onderdeel van haar masterprogramma schreef ze een PhD onderzoeksvorstel ‘Nanoscale memristors for new computing paradigms’ dat eveneens met een 9,5 werd beoordeeld. Dit voorstel is gehonoreerd en de jury van deze Shell Afstudeerprijs is ervan uit overtuigd dat Anouk Goossens via dit onderzoek, dat uitstekend is ingebed in het nieuwe Groningse ‘CogniGron’ initiatief, nog veel aansprekende ontwikkelingen zal weten te bewerkstelligen.

De jury is zeer onder de indruk van het door Goossens uitgevoerde onderzoek, het afstudeerverslag en haar verdere studieprestaties en beschouwt op basis daarvan Anouk Goossens een waardige ontvanger van de Shell Afstudeerprijs voor Natuurkunde 2018.

N. (Nikolas-Olivier) Kavadias MSc (Technische Universiteit Delft)

Solvent effects on low-bias molecular conductance

The influence of a water environment on the conductance through OPE3-diamene molecules

De duizelingwekkende ontwikkelingen in de halfgeleiderindustrie van de afgelopen decennia zijn gedreven door de ‘Wet van Moore’. Deze stelt dat elke twee jaar het aantal transistoren, de elektronische bouwstenen van computers, dat per chip kan worden gerealiseerd verdubbelt. Van een beschrijving van de technologische ontwikkelingen in de beginjaren werd de wet van Moore een *self-fulfilling prophecy*, omdat de industrie er zijn doelstellingen op ging baseren. Met het bereiken van de nanometer-schaal, waarbij de reproduceerbaarheid van de transistors negatief kan worden beïnvloed door enkele atomaire defecten, excessieve energie-dissipatie optreedt die de temperatuur van de chips doet oplopen en er nadelige effecten om de hoek komen kijken gerelateerd aan de

quantumfysica, is onlangs het einde uitgeroepen van de Wet van Moore. In plaats hiervan is er een grote interesse opgekomen in nieuwe concepten, zoals moleculaire elektronica, waarbij de elektrische bouwstenen worden gevormd door individuele schakelbare moleculen, zoals het door Nikolas-Olivier Kavadias onderzochte OPE3 diamine.

Voor toepassingen van deze materialen zijn de atomaire en elektronische structuur van de moleculen van essentieel belang. Theoretische berekeningen hieraan gaan vaak uit van geïdealiseerde, geïsoleerde moleculen. Voor praktische toepassingen is het echter minstens zo belangrijk welke invloed moleculen in de directe omgeving, zoals bijvoorbeeld water, kunnen hebben op de elektrische geleiding door het OPE3 diamine.

Het berekenen van deze invloed is buitengewoon complex, waarbij verschillende fysische mechanismen een rol kunnen spelen. Op een briljante en zeer gestructureerde wijze heeft Kavadias dit probleem aangepakt. Hij identificeerde zes mogelijke mechanismen, die alle op zichzelf zeer uitdagende onderzoeksvragen opleverden. Via geavanceerde rekenmethoden, uitgaande van de zogeheten Density Functional Theory met gebruikmaking van Niet-Evenwicht Greense Functies, heeft hij de invloed van watermoleculen via de verschillende mechanismen doorgerekend. Dit heeft hij op zeer toegankelijke wijze beschreven in zijn afstudeerverslag, verhelderd door aansprekende figuren. Kavadias werk vormt hiermee een prachtig staaltje *computational science* en zijn berekeningen zullen in een vergelijk met experimentele resultaten, eveneens afkomstig uit Delft, worden gepubliceerd.

Door de Delftse Applied Physics masteropleiding is het afstudeerwerk van Kavadias gewaardeerd met een 9,5. Tezamen met een gemiddelde van meer dan 9,0 voor zijn vakken, is hem het diploma met het judicium Cum Laude verleend. Zeer indrukwekkend is daarbij dat hij naast zijn studie Applied Physics in Delft ook een volledige studie Psychologie in Leiden heeft gevolgd, die eveneens met een Cum Laude is bekroond. Inmiddels heeft Kavadias al de Casimir Prijs gewonnen voor de beste student in de vakgebieden gerepresenteerd in de Delft-Leidse Casimir graduate school.

Het is duidelijk dat we hier te maken hebben met een buitengewoon getalenteerde student. De jury van de Shell Prijs is dan ook zeer onder de indruk van de prestaties van Nikolas-Olivier Kavadias en beschouwt hem een waardige ontvanger van de Shell Afstudeerprijs voor Natuurkunde 2018.

M.T. (Martina) Tsvetanova MSc (Universiteit Twente)

Searching for resistive switching in LaMnO₃ films grown with pulsed laser deposition

Als samenleving zijn we volledig gewend geraakt aan en ingespeeld op steeds krachtigere processorchips in allerlei gedaanten, in computers, smartphones, tablets, slimme horloges en een keur aan andere apparaten die voortdurend groeien in intelligentie en adaptievermogen. Hand in hand met de rekenkracht neemt ook de behoefte toe aan opslagcapaciteit. De groei in geheugen en dataverkeer is explosief en zet onze samenleving voortdurend in een hogere, technologische versnelling. We leven inmiddels in wat je met recht een 'data-maatschappij' zou kunnen noemen. De onderliggende technologie stevent in hoog tempo af op natuurlijke begrenzingsen, die het steeds moeilijker maken om gegevens nog compacter en energiezuiniger op te slaan en uit te wisselen. Vandaar dat er op

laboratoriumschaal druk wordt geëxperimenteerd met alternatieve materialen en compleet nieuwe manieren om gegevens op te slaan. Daarbij wordt vaak ook met een schuin oog gekeken naar de verbluffend krachtige architectuur van het menselijk brein. Een van de hieruit voortvloeiende nieuwe structuren staat bekend als een 'memristor', die door middel van een kortstondig, elektrisch stroompje van elektrische weerstand kan worden veranderd. In het door Tsvetanova beschreven onderzoek, werd het materiaal lanthaanmangaanaat, afgekort als LMO, bestudeerd als kandidaat voor het hierbij benodigde schakelgedrag. Dit complexe oxide wordt gekenmerkt door een vervormde perovskietstructuur en vertoont, mede vanwege deze structuur, bijzonder elektrisch en magnetisch gedrag. Enkele recente publicaties van andere onderzoeksgroepen suggereerden dat dit materiaal geschikt zou zijn als weerstandsschakelaar, hetgeen Tsvetanova op het spoor zette van haar onderzoek. Dat onderzoek vereiste een zeer brede aanpak. Deze begon met de fabricage van de schakelementen, waarbij de nadruk uiteraard lag op de gecontroleerde depositie van dunne mono-kristallijne LMO laagjes. Hiervoor werd een speciale methode ingezet, depositie met laserpulsen, waarin de Universiteit Twente wereldwijd een van de expertisecentra is. Zowel tijdens als na depositie werden de laagjes onderworpen aan een grondige analyse van hun structuur, waarbij gebruik werd gemaakt van uiteenlopende experimentele technieken, zoals elektronendiffractie, atomaire krachtmicroscopie, röntgendiffractie, röntgenreflectiviteit en fotoelektronenspectroscopie. Vervolgens werden de laagjes voorzien van elektrodenstructuren, waarmee elektrische stroomspanningsmetingen konden worden verricht, op jacht naar het schakelgedrag. Er werd in deze metingen inderdaad schakelgedrag waargenomen, met name voor de wat dikkere laagjes, maar toch was de uitkomst van deze experimenten verre van triviaal. De details van de preparatie hadden een groot effect en in sommige gevallen schakelde het laagje eigenlijk maar één keer. Het getuigt van grote kracht dat Tsvetanova juist ook dit niet-ideale, variabele gedrag zo nauwkeurig mogelijk in kaart heeft weten te brengen en het, voor zover mogelijk, heeft voorzien van een gedegen verklaring. Martina Tsvetanova heeft haar scriptie zeer toegankelijk geschreven, ook voor de niet-expert; deze kan in haar uitgebreidheid zelfs worden gebruikt als handboek voor een aantal fysische verschijnselen en meetmethoden. Tsvetanova heeft haar studie Toegepaste Natuurkunde in Twente eind 2017 met extreem hoge cijfers (louter negens en tiens in de masterfase) en het judicium Cum Laude afgesloten en is sindsdien in een andere, Twentse onderzoeksgroep als promovenda aan de slag.

De jury is onder de indruk van de door Tsvetanova uitgevoerde studie, de ermee bereikte resultaten en de manier waarop er verslag over wordt gedaan in de bovengenoemde scriptie en beschouwt op basis daarvan Martina Tsvetanova een waardige ontvanger van de Shell Afstudeerprijs voor Natuurkunde 2018.

Prof. dr. J.W.M. (Joost) Frenken, directeur Advanced Research Center for Nanolithography
Prof. dr. ir. J.W.M. (Hans) Hilgenkamp, hoogleraar technische natuurkunde Universiteit Twente

De jury vergaderde op 26 oktober 2018 onder leiding van Jhr. mr. Th.S. Röell, directeur KHMW. Daarnaast waren ter vergadering aanwezig Prof. dr. A.P. IJzerman, secretaris natuurwetenschappen, en Drs. S. van Manen, secretaris.