

Kennisoverdracht via korte lijntjes

1 Sub-nanometer interferometrie

Laserinterferometers en lineaire meetsystemen hebben een resolutie op nanometer- of zelfs subnanometer-niveau. Waarschijnlijk is hun werkelijke nauwkeurigheid zelfs een factor tien hoger, maar dat kon tot nu toe niet worden bepaald. Het IOP-project Sub-nanometer interferometrie heeft dat probleem opgelost. Met de resultaten zijn zowel bedrijven als onderzoekers zeer tevreden.

Het onderzoek vond plaats tussen 2000 en 2004 in de sectie Precision Engineering van de Technische Universiteit Eindhoven. Daar ontwikkelde promovenda Suzanne Cosijns allereerst een model dat de afwijking van lasermeetsystemen beschrijft en deze kan voorspellen. "Simpel gezegd bestaat een laserinterferometer uit drie onderdelen: een laser, optiek en elektronica. Alle drie bevatten ze componenten die zich niet ideaal gedragen", legt zij uit. "In het lasergedeelte doen zich bijvoorbeeld allerlei niet-lineaire fysische effecten voor en bij de gebruikte optische componenten treden polarisatieverschijnselen op. Die veroorzaken allemaal afwijkingen in

het meetsysteem. Door simpelweg de fouten in de losse componenten bij elkaar op te tellen, kun je de resulterende onnauwkeurigheid van het totale systeem niet voorspellen. Het ligt veel ingewikkelder, dus ik ben begonnen met het ontwikkelen van een model." Dat model is het eerste resultaat van dit succesvolle IOP-project. Aan de hand van het model kan het effect van de individuele afwijkingen worden bepaald zodat de meetresultaten overeenkomstig kunnen worden gecorrigeerd.

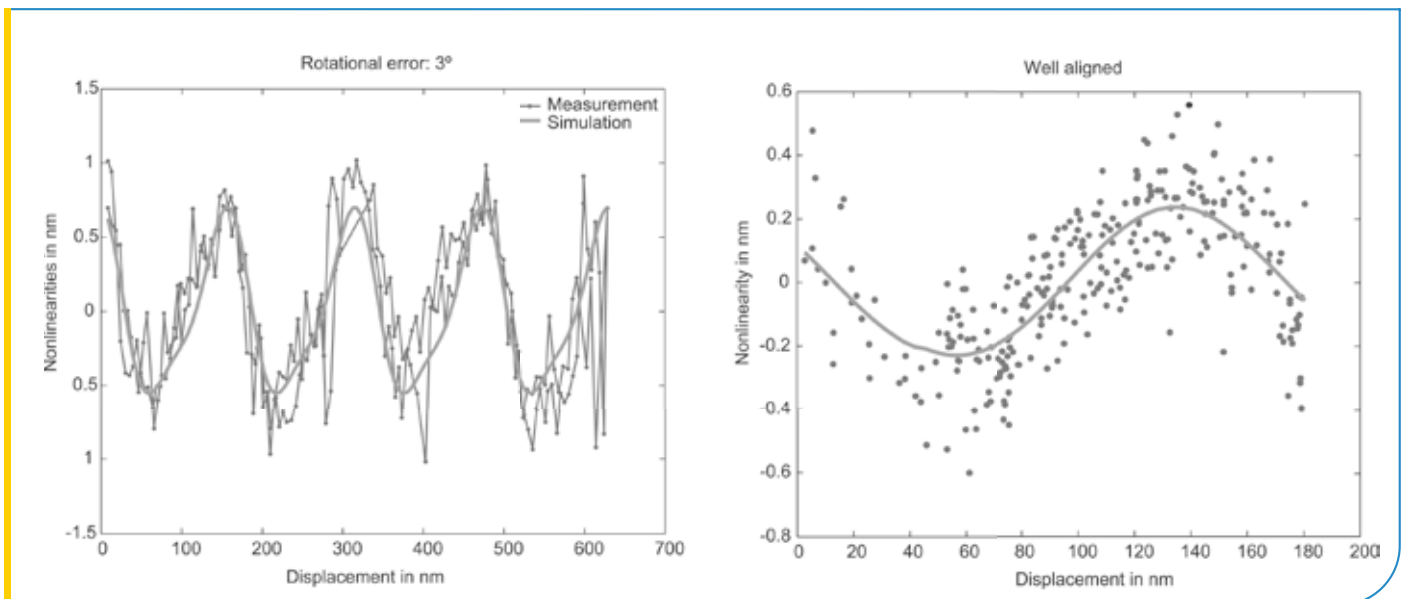
Het tweede deel van het onderzoek betrof de onnauwkeurigheid van lineaire meetsystemen. Zo'n systeem is te vergelijken met een liniaal en een sensor die de positie op de schaalverdeling bepaalt. Zowel de lijnen op de schaalverdeling als de sensor zelf moeten worden gekalibreerd. Daarvoor werd een opstelling ontwikkeld die gebruik maakt van een nauwkeurig en onafhankelijk instrument, een Fabry-Pérot cavity, en twee lasers. In het project is aangetoond dat de opstelling met een onzekerheid van 1 nanometer een verplaatsing van 300 micrometer kan detecteren. Een derde onderzoeksthema was het verbeteren van de meetnauwkeurigheid over langere afstanden in lucht. In dat geval gaat de brekingsindex van lucht een rol spelen bij de meetresultaten. Om die brekingsindex nauwkeurig te weten te komen, is in dezelfde opstelling een refractometer 'tracker'

gebouwd. De cavity van de refractometer is gemaakt van Zerodur, een materiaal met een lage uitzettingscoëfficiënt. Hiermee bleek het mogelijk de brekingsindex van lucht te bepalen met een relatieve onzekerheid van $5 \cdot 10^{-10}$.

Het onderzoek heeft belangrijke gereedschappen opgeleverd voor de industrie, vindt voormalig projectleider Han Haitjema. Agilent - een bedrijf dat onder andere laserinterferometers produceert en bij klanten implementeert - maakt van het model gebruik bij het ontwikkelen van interferometers waar een vooraf bepaalde nauwkeurigheid vereist wordt. Als bekend is welke afwijking van de nauwkeurigheid acceptabel is, kun je spelen met de onnauwkeurigheden van de componenten. Om het gebruik van het model te vergemakkelijken, heeft Suzanne Cosijns na haar promotie enkele weken bij Agilent doorgebracht. Ze schreef er een gebruiksvriendelijke user interface voor.

De kalibratieopstelling zoals die ontwikkeld is bij de TU/e, is al tijdens het project gedupliceerd voor het Van Swinden Laboratorium van het Nederlands Meetinstituut (NMI). De opstelling is daar verder doorontwikkeld en geoptimaliseerd om kalibratiemetingen te verrichten voor klanten, vertelt Rob Bergmans die als wetenschapper aan het NMI verbonden is. "We kunnen nu volledig geautomatiseerd nanosensoren kalibreren. In het nieuwe gebouw hebben we daarvoor een cleanroomomgeving die uiterst stabiel is wat betreft temperatuur, geluid en andere trillingen."

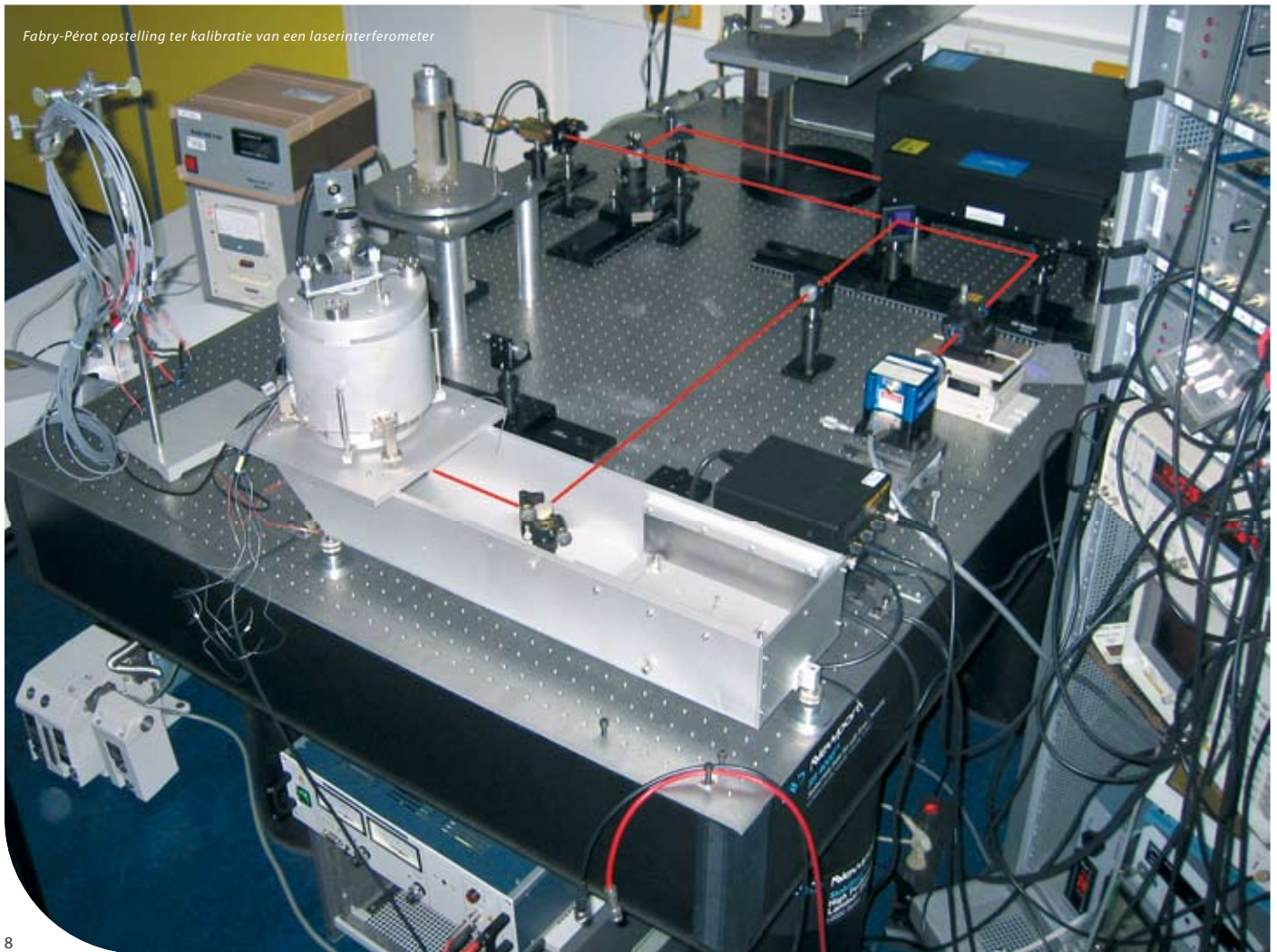
Ook ASML maakt gebruik van de resultaten van het onderzoek, en wel in een heel rechtstreekse vorm: Suzanne Cosijns is sinds september 2004 bij ASML werkzaam als Designer Mechatronic Systems Development. Met een tiental collega's ontwerpt ze voor wafersteppers de mechatronische meetsystemen die nodig zijn om de wafers en de lens nauwkeurig te kunnen positioneren. "Ik ben letterlijk met



Meetresultaten vergeleken met het in dit IOP-project ontwikkelde model

hetzelfde onderwerp verder gegaan”, vertelt ze enthousiast. “Alle opgedane kennis kan ik gebruiken en toepassen in mijn huidige werk: het ontwikkelen van meetsystemen die de juiste positionering van wafer en reticle bepalen.” Zonder dit promotieonderzoek hadden bedrijven niet zulke diepgaande metrologische kennis kunnen verwerven, is haar

overtuiging. “Aan een universiteit heb je als onderzoeker de mogelijkheid te kijken hoe ver je kunt komen, in dit geval op het gebied van subnanometernauwkeurigheid. Je kunt uitzoeken wat er exact speelt. Onderzoekers bij bedrijven voelen meer druk om binnen afzienbare tijd een redelijk accuraat resultaat te bereiken.”



Niet alleen Suzanne Cosijns heeft de overstap naar de industrie gemaakt, ook voormalig projectleider Han Haitjema is er inmiddels werkzaam. Als directeur van het Mitutoyo Research Center Europe

"Alle opgedane kennis kan ik gebruiken en toepassen in mijn huidige werk"

in Best is hij verantwoordelijk voor onderzoek op het gebied van interferometrie. De projecten waar zijn onderzoekers aan werken, liggen in de lijn van hetgeen in Eindhoven werd onderzocht. Van de daar ontwikkelde technieken en kennis wordt ook gebruik gemaakt in de vestiging van Mitutoyo in Veenendaal, waar klanten hun meetsystemen kunnen kalibreren.

Al met al zijn Suzanne Cosijns en Han Haitjema zeer tevreden over de resultaten van het IOP-project en hun toepasbaarheid. Han Haitjema kijkt positief terug op zijn betrokkenheid bij het onderzoek: "Het was een erg leuk project omdat er zowel fysica als optica als werktuigbouwkunde bij kwamen kijken. Bovendien was zulk systematisch onderzoek, in combinatie met metingen om het model te valideren, niet eerder gedaan. Ik had het zelf wel willen doen!" Hoe vinden zij dat de kennisoverdracht naar mogelijke gebruikers verlopen is? "In Nederland houden zich ongeveer honderd mensen bezig met nanometermetrologie, hoofdzakelijk bij bedrijven", zegt Suzanne Cosijns. "Het is een klein wereldje waarbinnen iedereen elkaar wel kent. Vrijwel al die bedrijven waren op een of andere manier bij het project betrokken, hetzij bij de opzet en de ideeontwikkeling, hetzij later in de begeleidingscommissie. Dan verloopt kennisoverdracht via korte lijntjes."



NMI

PROJECTINFORMATIE

Project: *Verbetering van nauwkeurigheid en kalibratie van laserinterferometrie tot subnanometer onzekerheid*

Doelstelling: *Bepalen van de werkelijke onnauwkeurigheid van laserinterferometers en lineaire meetsystemen op nanometer- en subnanometerniveau*

Resultaten: *Opstellingen en meetmethoden waarmee de afwijkingen van de ideale eigenschappen van laserbronnen en optiek kunnen worden gemeten. Een opstelling voor de kalibratie van verplaatsings-sensoren en laserinterferometers. Een opstelling waarin veranderingen van de brekingsindex van lucht worden bepaald. Proefschrift, 8 publicaties, 3 lezingen op internationale conferenties*

Publicaties en meer informatie: www.precisieportaal.nl, disciplines: optica, precisietechnologie

Contactpersoon: Rob Bergmans, rbergmans@nmi.nl, telefoon (015) 269 16 41