



IOP
Precisietechnologie

Sub-nm interferometrie

SENTER

IOP

Werkelijke nauwkeurigheid van meetinstrumenten

Onderwerp:

Modelvorming en verificatie van metingen op subnanometerniveau

Doelstelling:

Bepalen van de werkelijke onnauwkeurigheid van laser-interferometers en lineaire meetsystemen op nanometer- en subnanometerniveau

Markten:

Bedrijfstakken waar accurate metingen en hoge precisie essentieel zijn, zoals bij de productie van IC's met wafersteppers, kalibratie van Scanning Probe Microscopen en andere sensoren met nanometerresolutie

Mogelijk gebruik:

Gebruikers van meetsystemen met nanometerresolutie
Leveranciers van dergelijke systemen

Onderzoekperiode: augustus 2000 - augustus 2004

Budget: EUR 245.000, waarvan EUR 208.000 subsidie door IOP

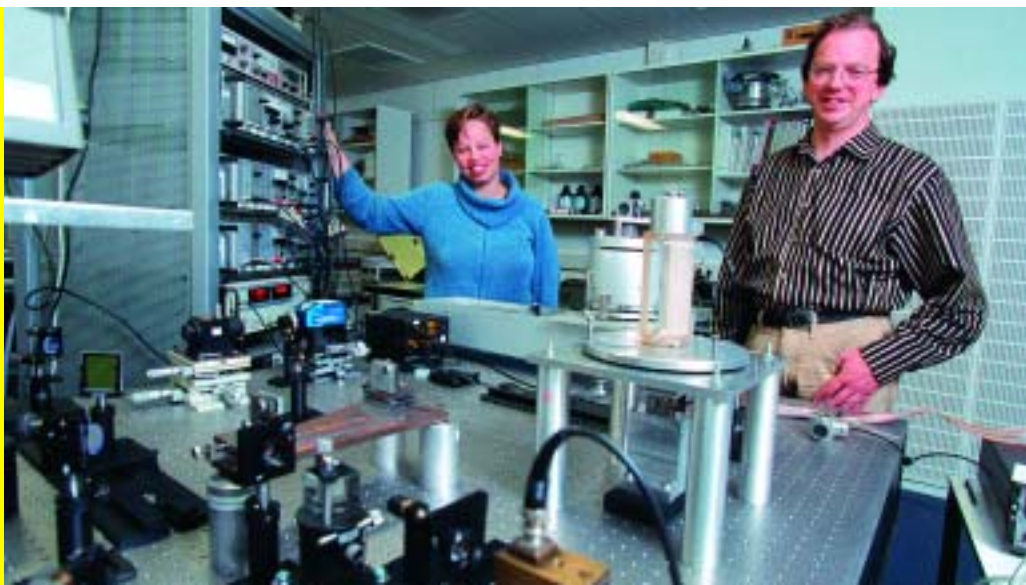
Onderzoeksinstituut: Technische Universiteit Eindhoven

Projectleider: Han Haitjema

Op het gebied van precisie metrologie is de trend steeds nauwkeuriger te kunnen meten met alsmaar hogere resolutie. Op dit moment gaat de resolutie van precisiesensoren, laser-interferometers en lineaire meetsystemen richting nanometer- en zelfs subnanometerniveau. Hun werkelijke nauwkeurigheid ligt echter een factor tien hoger, voor zover dit tenminste is te achterhalen. In de sectie Precision Engineering van de Technische Universiteit Eindhoven, de enige universiteit in Nederland waar geometrisch metrologisch onderzoek plaatsvindt, ontwikkelen wetenschappers een kalibratiemethode waarmee de werkelijke onnauwkeurigheid kan worden bepaald. 'Met deze kennis wordt het mogelijk meetresultaten overeenkomstig te corrigeren.'

Als gevolg van striktere toleranties in de industrie worden steeds hogere eisen gesteld aan meetnauwkeurigheid. Voor het meten van minuscule afstanden zijn diverse wegen te bewandelen, afhankelijk van het werkingsprincipe van het gebruikte instrument. 'Je kunt gebruik maken van interferometrie op basis van lasertechniek. Dat heeft als belangrijk voordeel dat daarbij metingen kunnen worden uitgevoerd zonder fysiek contact,' aldus Han Haitjema, universitair docent aan de sectie Precision Engineering van de faculteit Werktuigbouwkunde aan de Technische Universiteit Eindhoven. 'Aangezien elk contact de meetresultaten kan beïnvloeden, is dat

Projectgroep: Suzanne Cosijns en Han Haitjema. Rob Bergmans (NMI) en Piet Schellekens ontbreken



een groot pluspunt. Je kunt ook capacitieve of inductieve sensoren toepassen, waarbij dan hun specifieke fysieke eigenschappen worden benut.' Ten slotte behoren ook lineaire meetssystemen tot de mogelijkheden. Deze zijn te vergelijken met een liniaal en een sensor die de positie op de schaalverdeling bepaalt.

Met al deze methoden kan een meetnauwkeurigheid worden bereikt van enkele nanometers, maar volgens Haitjema is er wel een probleem: 'Zonder speciale maatregelen kun je er nooit zeker van zijn dat de meting ook werkelijk juist is.' De reden daarvoor is dat er effecten zijn die de nauwkeurigheid verstoren. Deze effecten zijn niet-lineair en onvoorspelbaar en worden bovendien beïnvloed door omgevingsgeluid en -trillingen. Dit kan leiden tot fouten van diverse nanometers, zelfs in sensoren met een resolutie in het subnanometergebied.

Ontwerpspecificaties

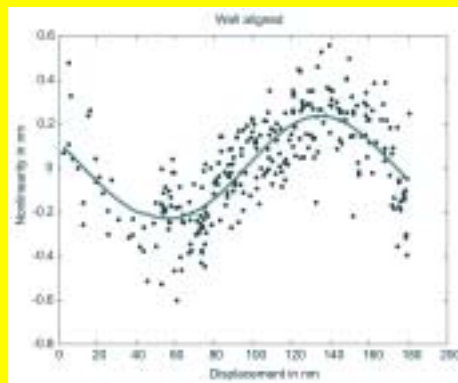
Het IOP-project, dat in 2000 van start ging en medio 2004 wordt afgesloten, bestaat uit vier onderdelen. Het belangrijkste doel was een model te ontwikkelen waarmee de afwijking van lasermeetssystemen kon worden beschreven. 'Laser-interferometers zijn vandaag de dag heel gangbaar en gewoon commercieel verkrijgbaar', aldus Suzanne Cosijns, die in het kader van haar promotie aan dit project werkt. 'Er doen zich echter niet-lineaire fysieke effecten voor in het fasemeetsysteem evenals ongewenste polarisatieverschijnselen bij de gebruikte optische componenten. Deze effecten keren periodiek terug en daarom is er een model nodig om de afwijking van de metingen te voorspellen.' Ze begon met het zoeken van aanwijzingen in de literatuur, optische theorie en wiskunde. 'Met het door ons ontwikkelde model kunnen we voorspellingen doen over de niet-lineariteiten in laser-interferometers als gevolg van een combinatie van factoren.' Cosijns is blij dat al het werk in deze onderzoeksfase uiteindelijk heeft geresulteerd in goede ontwerpspecificaties voor een meetstelsel met de gewenste nauwkeurigheid. 'We kunnen nu de optische kenmerken van een lasersysteem meten en vervolgens de

Cavity van de refractometer, gemaakt van Zerodur

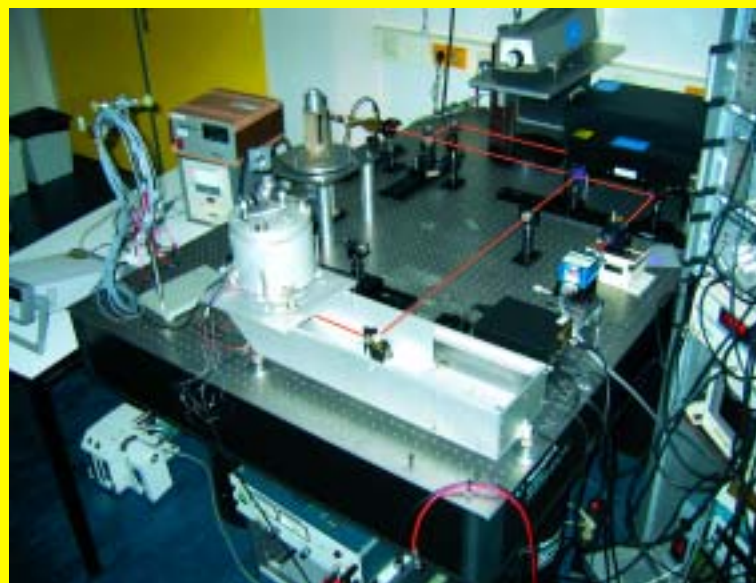
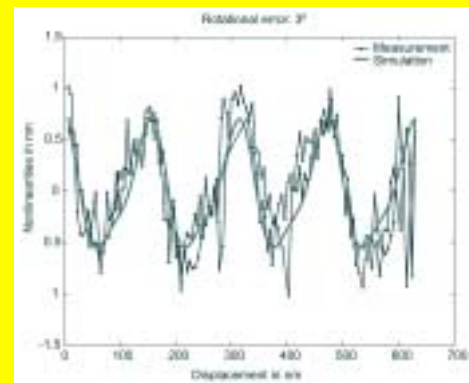


periodieke onzekerheid ervan voorspellen. Daarmee kunnen we de metingen overeenkomstig corrigeren.'

Het tweede onderdeel van het project is gericht op de onnauwkeurigheid van lineaire meetinstrumenten. Deze worden



Meetresultaten vergeleken met het in dit IOP-project ontwikkelde model (standaarddeviatie tussen model en metingen 0,3 nm)



Fabry-Pérot opstelling ter kalibratie van een laser-interferometer. Vooraan de cavity en slave-laser; rechtsachter twee jodiumgestabiliseerde helium-neonlasers (zwarte kasten)

meer in de industrie gebruikt dan in de wetenschap en daarom is er erg weinig literatuur over te vinden. 'Hier is kalibratie nodig van de lijnen op de schaalverdeling, aangezien de sensor die gebruikt om zijn positie te bepalen. Ook de sensor zelf, die de positie tussen de lijnen interpoleert, kan afwijkingen vertonen', legt Haitjema uit. Cosijns voegt daaraan toe: 'Er is een onafhankelijk en nauwkeurig instrument nodig om de kalibratie uit te voeren. In onze opstellingen gebruiken we hiervoor een externe Fabry-Pérot cavity, aangezien er een ondubbelzinnige fysieke relatie bestaat tussen een verplaatsing en een frequentieverschuiving van de tweede laser.' Het meetprincipe is dat de golflengte van een secundaire laser (de zogenaamde 'slave') wordt gestabiliseerd op een externe Fabry-Pérot cavity, waarvan één spiegel een kleine verplaatsing ondergaat die nauwkeurig gerelateerd is aan de golflengte van de laser. Deze verplaatsing kan vervolgens ook worden gemeten met de te kalibreren sensor, bijvoorbeeld een capaciteitsensor. De verschuiving van de golflengte is te achterhalen via de verschilfrequentie tussen de slave-laser en een jodiumgestabiliseerde helium-neonlaser. Op deze manier kan een verplaatsing van $300 \mu\text{m}^2$ worden gedetecteerd met een onzekerheid van ca. 1 nm.

'Tracker'

In het derde deel van het project wordt de meetnauwkeurigheid over langere afstanden verbeterd door de brekingsindex van de lucht nauwkeurig te bepalen. 'Dit is niet zo belangrijk wanneer je afstanden van enkele tientallen millimeters meet', zegt Suzanne Cosijns, 'maar over grotere afstanden en bij metingen in lucht in plaats van vacuüm speelt de brekingsindex een grote rol.' Hiertoe is een refractometer 'tracker' ontwikkeld en in dezelfde opstelling ingebouwd. Voor refractometrie zijn zeer stabiele omgevingsomstandigheden vereist, waaronder de temperatuur en luchtvochtigheid. Daarom wordt dit experiment, net als alle experimenten in dit project, uitgevoerd in de kelder van het gebouw, waar de temperatuur op een constant niveau kan worden gehouden. De cavity van de refractometer is vervaardigd van Zerodur, een materiaal met een lage uitzettingscoëfficiënt. Deze opstelling functioneert op dit moment en verdere experimenten worden binnenkort opgestart.

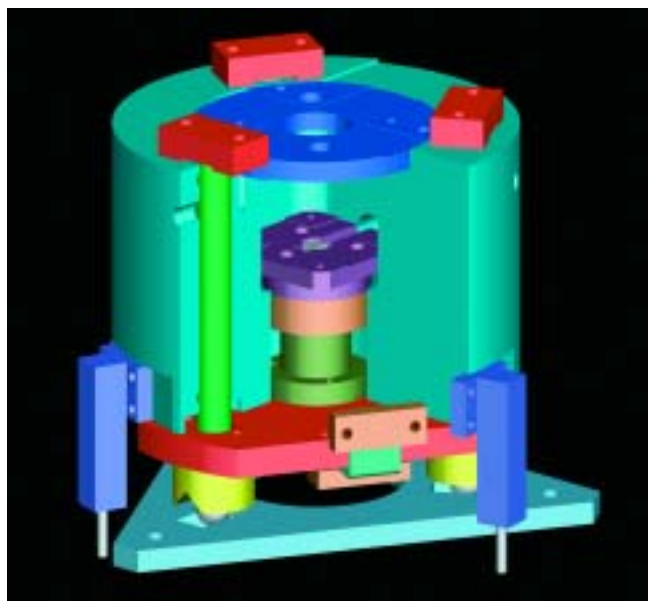
Bij het laatste onderdeel van het onderzoek gaat het om de kalibratie van sensoren en laser-interferometers met een bereik van 2 μm en een nauwkeurigheid op subnanometerniveau. Het ontwerp van de daarvoor benodigde kleinere cavity met een hogere resolutie is afgerond. 'We gaan nu een concrete opstelling bouwen en die vervolgens testen met laser-interferometers', aldus Han Haitjema.

Deelname van bedrijfsleven

Het onderzoek aan de Technische Universiteit Eindhoven wordt uitgevoerd in nauwe samenwerking met het Van Swinden Laboratorium van het Nederlands Meetinstituut (NMI). Deze organisatie houdt zich bezig met metingen, kalibratie, testen, certificering, opleiding en consultancy op het gebied van metrologie en technologie. 'Het NMI wil graag beschikken over de juiste kalibratie-instrumenten. Ook hebben we via het NMI zeer goede relaties opgebouwd met buitenlandse metrologische instituten en zijn we goed op de hoogte van de laatste ontwikkeling op dit gebied', vertelt Han Haitjema. 'Deze instituten willen ons onderzoek graag volgen en geïnformeerd worden over de resultaten.' Rob Bergmans, als wetenschapper verbonden aan het NMI, legt het belang van het project uit: 'Onze Scanning Probe Microscoop kan de structuur van oppervlakken meten op atomair niveau. Dit wordt onder meer gebruikt in de IC-branche, waar de afstand tussen en de breedte van de lijnen op silicium moet worden gemeten op subnanometerniveau.' Voor een optimale nauwkeurigheid van de microscopen is een nauwgezette kalibratie nodig en daarom is een laser-interferometer ingebouwd. Het NMI is heel benieuwd waar de grenzen liggen: 'We hebben met behulp van de resultaten en ervaringen van dit IOP-project onze opstelling al kunnen valideren. Onze microscoop blijkt inderdaad metingen te kunnen uitvoeren met een precisie op subnanometerniveau.' Om de kennisoverdracht tussen onderzoeksinstellingen en bedrijven te bevorderen, bieden innovatierichte onderzoeksprogramma's (IOP's) diverse mogelijkheden. Zo kunnen geïnteresseerde bedrijven zitting nemen in een begeleidingscommissie. Dit is de meest directe vorm van kennisoverdracht en garandeert nauw contact met een of meer projecten. Agilent Technologies, dat de meet- en testapparatuur

voor dit project leverde (waaronder laser-interferometers), onderhoudt al enige tijd uitstekende contacten met de sectie Precision Engineering. 'Nergens anders vindt onderzoek op het gebied van geometrische metrologie plaats op zo'n hoog niveau en met zulke toewijding', zegt Kees Bos, projectleider en verantwoordelijk voor de implementatie van interferometers bij klanten van Agilent. 'Het is dan ook meer dan logisch dat wij bij dit project betrokken zijn.' Zijn interesse ligt met name in de theoretische benadering van het onderzoek, waarmee Agilent beter inzicht krijgt in de afwijkingen die in componenten van interferometers kunnen optreden. 'Wij willen graag weten wat de oorzaak van dergelijke afwijkingen is. Want dan kunnen we werken aan oplossingen om ze te voorkomen.'

Ontwerp van de kleinere cavity



Begeleidingscommissie

Agilent Technologies Netherlands
ASML
Heidenhain Nederland
NIKHEF
NMI Van Swinden Laboratorium
Philips Research
Thales Nederland
TNO TPD

Voor meer informatie over sub-nm interferometrie

Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Werktuigbouwkunde
Dr. Han Haitjema, Universitair docent, sectie Precision Engineering
Telefoon (040) 247 37 15
E-mail h.haitjema@tue.nl
Website <http://pe.wtb.tue.nl>

Projectgroep sub-nm interferometrie

Suzanne Cosijns
Han Haitjema
Piet Schellekens
Rob Bergmans (NMI)

IOP Precisietechnologie

Precisietechnologie is nodig om producten te realiseren met hoge vorm- of maatnauwkeurigheid, maar ook om producten of onderdelen snel en zeer precies te positioneren. Deze technologie is van toenemend belang voor uiteenlopende producten en sectoren als laptopcomputers (met name bij dataopslag), cd-spelers en dvd-recorders, optische en medische instrumenten, gsm-telefoons en de ruimtevaart. Door vérgaande miniaturisatie is het niet mogelijk deze functies met zuiver mechanische middelen te realiseren; een multidisciplinaire systeembenadering is noodzakelijk.

Het IOP Precisietechnologie bestaat sinds 1999. Sindsdien hebben 16 projecten subsidie gekregen voor onderzoek op drie gebieden.

- Bij systeemgericht ontwerpen gaat het om functies die met relatief grote snelheid en/of met zeer grote precisie verplaatsingen kunnen realiseren. Onderwerpen als piezo-actuatoren, precisieverplaatsing in vacuüm en mechanica met snelle algoritme vallen hieronder.
- Binnen het thema 'grenzen aan de maakbaarheid' gaat het om het verhogen van de nauwkeurigheid van bestaande maaktechnologieën door verbeterde procesbeheersing en/of het ontwikkelen van nieuwe productietechnieken. Niet alleen klassieke technieken als fijndraaien of spuitgieten zijn onderwerp van onderzoek, ook nieuwe technologieën zoals lithografisch etsen, bewerking met laser- of röntgenbundels en *chemical vapour deposition*.
- Precisie in de microsysteemtechnologie is het derde gebied van dit IOP-programma. Het betreft systemen die bestaan uit sensor(en) en actuator(en), gekoppeld door een regelsysteem en gemaakt met technologieën afkomstig van de chipindustrie. Hieronder vallen fabricagetechnologieën als nat chemisch etsen en de verpakking van MST-devices, zoals de koppeling van optische chips aan glasfiber.

Voor vragen over IOP Precisietechnologie

Dr. Casper Langerak, secretaris programmacommissie

Telefoon (070) 373 53 12

Fax (070) 373 56 30

E-mail c.j.g.m.langerak@senter.nl

Website www.senter.nl/iop-pt

IOP

Een innovatiegericht onderzoeksprogramma (IOP) geeft subsidie aan innovatieve technologische onderzoeksprojecten bij universiteiten en andere non-profit onderzoeksinstituten. De overheid wil op deze manier de onderzoeksweld toegankelijker maken voor het bedrijfsleven en contacten tussen beide verbeteren en intensiveren. Voorwaarde is dat de projecten aansluiten bij de (lange termijn) onderzoeksbehoeften van het bedrijfsleven. Het programma stimuleert de interactie met bedrijven door hen te betrekken bij de projecten, door kennisoverdracht en door netwerkactiviteiten. Er wordt alles aan gedaan om te zorgen dat ieder programma leidt tot blijvende samenwerking tussen de Nederlandse onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven.

Rol van het bedrijfsleven

Om de band tussen onderzoekers en bedrijfsleven te verstevigen, biedt een IOP aan bedrijven de mogelijkheid aan het onderzoek deel te nemen. Dat kan bijvoorbeeld op de volgende manieren:

- Zitting nemen in een begeleidingscommissie. Dit is de meest directe manier van kennisoverdracht omdat het lidmaatschap van een begeleidingscommissie nauw contact met een of meerdere projecten garandeert. Het bedrijf blijft op de hoogte van de laatste ontwikkelingen van het onderzoek en kan door de inbreng van praktijkervaring soms mede de richting van het onderzoek bepalen.
- Overnemen of gebruiken van patenten en/of licenties die het rechtstreekse gevolg zijn van het onderzoek aan universiteiten of non-profit onderzoeksinstituten.
- Het creëren van werkervaringsplaatsen voor onderzoekers, zodat de nieuw opgedane kennis snel aan een bedrijf wordt overgedragen en getoetst kan worden in de praktijk.

Colophon

Dit is een uitgave van Senter
Mei 2004

Senter Den Haag
Juliana van Stolberglaan 3
Postbus 93144
2509 AC Den Haag

Telefoon (070) 373 50 00
Fax (070) 373 51 00

Algemene informatie en advies:
Telefoon (070) 373 52 77
E-mail info@senter.nl
Internet www.senter.nl

Senter is een agentschap van het Ministerie van Economische Zaken

TU/e technische universiteit eindhoven

De Technische Universiteit Eindhoven verzorgt ingenieurs-, ontwerpers- en lerarenopleidingen en post-academische cursussen. Het onderwijs stopt op de eigen onderzoeksactiviteiten en is ontwerpgericht.



Ministerie van Economische Zaken

Aan deze tekst kunnen geen rechten worden ontleend.