

Een interessante testopstelling

Picodriftmeter en Verplaatsingsinterferometrie

De lengtemeettechniek is zo ver geëvolueerd, dat hinder ontstaat door onbedoelde en onbeheersbare beweging – drift – op picometerniveau. Het IOP-project Picodriftmeter (door TNO, VSL en TUDelft) ontwikkelde een platform om deze picodrift te kunnen meten. TU Delft promovendus Jon Ellis heeft daarbij nauw samengewerkt met postdoc onderzoeker Ki-Nam Joo van het gelijktijdig uitgevoerde IOP-project Verplaatsingsinterferometrie met sub-nanometer onzekerheid.

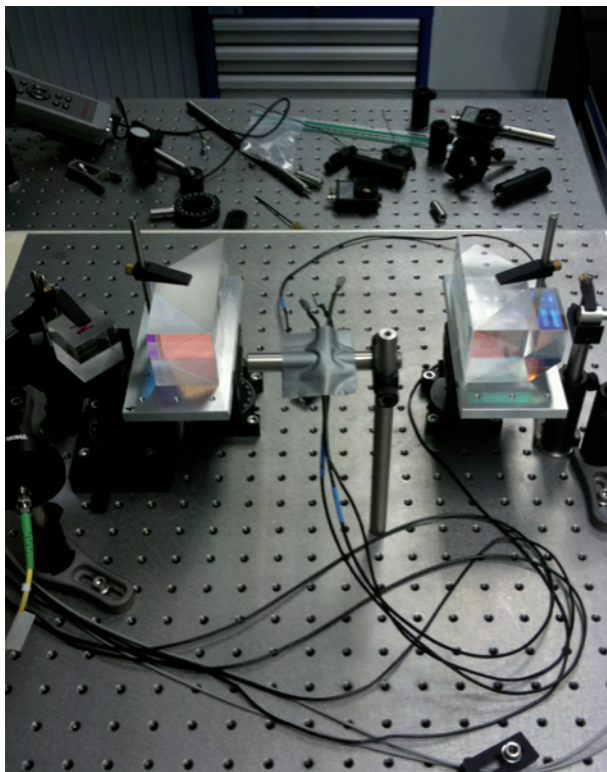
Laserinterferometrie wordt onder meer gebruikt voor kalibratiedoeleinden en als meetsysteem in de lithografie-industrie. Aan de daar gebruikte precisiesystemen worden steeds hogere eisen gesteld en nauwkeurigheden in het sub-nanometergebied zijn geen uitzondering meer. Een van de belangrijkste problemen daarbij is dat zich in het meetsysteem van de interferometer effecten voordoen die afwijkingen van het meetresultaat veroorzaken. Zo beïnvloedt de brekingsindex van lucht de golflengte van licht, terwijl dat juist als referentie dient bij de meting. “Kleine veranderingen in temperatuur en druk hebben grote gevolgen voor die brekingsindex, en daarmee voor de golflengte van de gebruikte laserstraal”, legt postdoc Ki-Nam Joo van de TU Delft uit. “Wanneer de omgevingstemperatuur bijvoorbeeld één graad verandert, maakt dat voor de interferometer een verschil van een micrometer per meter.”

Tot nu toe wordt dit probleem opgelost door de brekingsindex van lucht softwarematig te corrigeren op basis van de temperatuur en druk ten tijde van de meting, of door gebruik te maken van een mechanisch-thermisch stabiele referentie-interferometer. Ki-Nam Joo koos voor een andere oplossing. In plaats van gebruik te maken van een gestabiliseerde frequentiebron en vervolgens de golflengte te corrigeren, heeft hij een stabiele golflengtebron ontwikkeld die onder alle omstandigheden dezelfde golflengte uitzendt. “Daardoor is achteraf compenseren voor afwijkingen niet nodig”, legt hij uit. De nieuwe laserbron is niet alleen stabiel, maar heeft ook een veel hoger vermogen dan gebruikelijk.

“De huidige eerste versie heeft een vermogen van 2,5 mW, maar we verwachten dat te optimaliseren tot 4 mW. Een mooie spin-off van het onderzoek.” Op basis van de laserbron heeft Ki-Nam Joo een nieuw ontwerp van de laserinterferometer gemaakt. Deze nieuwe interferometer heeft geen meetbare periodieke fouten (< 20 picometer) en heeft tevens een twee maal zo hoge resolutie dan bestaande systemen. De afmetingen zijn beperkt tot vuistgrootte. Op het ontwerp is patent aangevraagd.

“Drift – materiaalstabiliteit – gaat een steeds grotere rol spelen. Met deze opstelling kan het gedrag van materialen en verbindingen worden onderzocht”

Het onderzoek van Ki-Nam Joo is het vervolg op het eerder in Eindhoven uitgevoerde IOP-project Sub-nanometer interferometrie. Daar is een hoogwaardige meetfaciliteit gebruikt voor sensoren op nanometerniveau met onzekerheden in de orde van 1 nanometer bij een slag van 300 micrometer en een systeem ontwikkeld met onzekerheid in de orde van 0.3 nm bij een slag van 1 μm . Ook voor dit systeem maakte Ki-Nam Joo een redesign proposal.



Demonstrator van de picodriftmeter.

Door dezelfde functionaliteit slim te integreren in een vier keer zo korte Fabry-Pérot cavity is het systeem minder gevoelig voor temperatuurschommelingen en mechanische trillingen, met behoud van de in het eerdere project gerealiseerde resolutie.

Promovendus Jon Ellis, eveneens van de TU Delft, werkte in dezelfde periode aan een picodriftmeter,

een laserinterferometer om picodrift mee te meten. “Picodrift is het verschijnsel dat statische onderdelen, zoals spiegels en lenzen, zich onbedoeld in de tijd verplaatsen of vervormen”, legt hij uit. “Dat komt doordat in het materiaal of de constructie veranderingen optreden door verouderingsprocessen, temperatuurschommelingen of mechanische spanning. Wanneer sub-nanometer-nauwkeurigheid wordt geëist, gaat picodrift een steeds grotere rol spelen, maar er is nauwelijks kennis over de stabiliteit van materialen en het gedrag van constructie-elementen. Om die kennis op te bouwen is een stabiel meetplatform nodig, dat zelf zo min mogelijk last heeft van picodrift.”

Zo’n systeem moet volledig optisch gebalanceerd zijn en geen last hebben van de eerdergenoemde fouten, veroorzaakt door variaties in de brekingsindex van lucht. Jon Ellis ontwikkelde en maakte – mede op basis van de onderzoeksresultaten van Ki-Nam Joo – verschillende versies van een picodriftmeter. Het is de bedoeling daarmee onderzoek te doen naar de stabiliteit van materialen en constructies. “Daarvoor bestaat veel interesse”, vertelt Jon Ellis. “Want zonder fundamentele kennis is drift een soort zwarte magie. Toch wil je precies weten hoe bijvoorbeeld spiegels op een satelliet zich zullen gedragen als je die voor dertig jaar de ruimte in stuurt.” Samen met Ki-Nam Joo heeft Jon Ellis ook nog een nieuw frequentiestabilisatieconcept uitgewerkt voor een 3-frequentielaser; hierop is een patent aangevraagd.

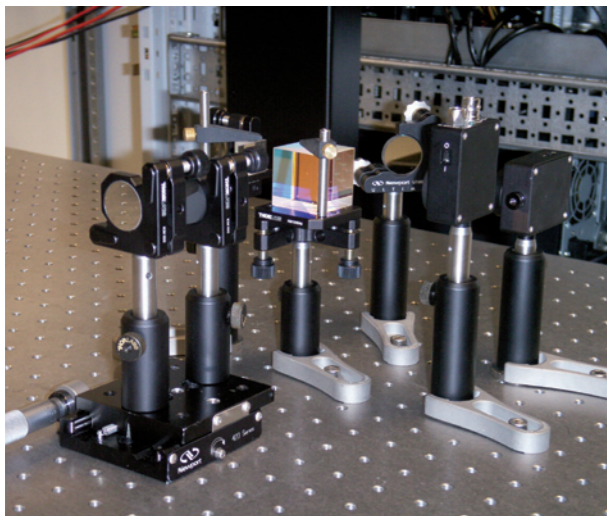
“Omdat de twee onderzoeken inhoudelijk zo dicht bij elkaar lagen, werkten Ki-Nam en Jon in de praktijk samen alsof het één project is”, vertelt Jo Spronck, die de dagelijkse leiding over het onderzoek bij de TU Delft had. “Dat lijkt logisch, maar lukt in de praktijk niet altijd. We hebben geluk gehad bij de keuze van deze onderzoekers.” Rob Munnig Schmidt, hoogleraar Mechatronic Design, voegt toe: “Ze vullen elkaar goed aan wat betreft kennis en achtergrond en hebben geen last van het not invented here syndroom. Omdat we in Delft – na de opheffing in Eindhoven – een metrologiegroep zijn gaan opbouwen, begonnen ze met vrijwel niets. Ondanks dat hebben ze veel bereikt.” Voor Kin-Nam Joo zitten de werkzaamheden erop, hij gaat bij Mitutoyo Research in Best werken. Jonathan Ellis heeft nog een jaar om zijn proefschrift af te maken.

“Picodrift is het verschijnsel dat statische onderdelen, zoals spiegels en lenzen, zich onbedoeld in de tijd verplaatsen of vervormen”

Voor TNO is de picodriftmeter een interessante testopstelling, zegt Ad Verlaan van TNO. “Wij zijn betrokken bij meerdere ruimtevaartmissies, waarvoor wij onderdelen leveren. In een binnenkort te starten project moeten we het materiaalgedrag op 2 picometer nauwkeurig kunnen aantonen,

maar we kunnen picodrift vrijwel nergens testen. Daarvoor is deze picodriftmeter een goed begin.” Voor de beperkte omvang van dit IOP-project vindt Ad Verlaan de output heel goed. “Het is behoorlijk lastig om voldoende performance te halen. Het doel was om een lengteverandering van tientallen picometers over enkele uren te kunnen aantonen, wat behoorlijk ambitieus is, want commercieel verkrijgbare interferometers bevinden zich in het nanometergebied. Als we een factor tien hoger uitkomen, wat ik wel verwacht, ben ik al heel tevreden.”

Rob Bergmans, wetenschappelijk medewerker bij het Nederlandse metrologie-instituut VSL, vindt dat ook. “Er is een basis om op voort te bouwen”, zegt hij. VSL wil basiskennis opbouwen over picodrift in materialen en verbindingen. Hiermee kunnen meetinstrumenten en high tech productiemachines beter voor drift gecompenseerd worden, waardoor kalibratie minder vaak nodig is. “Dat kalibreren gaat bijvoorbeeld met behulp van eindmaten, die zelf ook weer last hebben van picodrift. Het is een beetje een kip-ei verhaal, maar de bottom-line is dat we met meer kennis kunnen besparen op de kosten van kalibratie.” Ook voor onderzoek dat VSL in opdracht van bedrijven uitvoert, is de picodriftmeter van belang. Rob Bergmans noemt als voorbeeld IBS Precision Engineering, dat klantspecifieke hoog-nauwkeurige meetinstrumenten ontwikkelt en gebruik wil maken van nieuwe materialen als siliciumcarbide. “Er komen, onder andere door nanotechnologie, steeds meer met nanodeeltjes versterkte materialen op de markt.



Conceptopstelling interferometer.

Die hebben positieve eigenschappen wat betreft stijfheid en levensduur, maar over de stabiliteit van de dimensies is weinig bekend. Dat kun je met een picodriftmeter onderzoeken.” Ook bij de keuze van een lijnsoort voor verbindingen is het van belang om te weten wat daarvan de gevolgen zijn, voegt hij toe.

Suzanne Cosijns promoveerde in 2004 aan de TU/e op het eerdergenoemde IOP-project Sub-nanometer interferometrie. Nu is zij senior design engineer bij de afdeling Mechatronic systems development van ASML. “Ieder onderzoek op het gebied van precisie-meetsystemen is van belang voor ASML”, vertelt zij. “Daar willen we dan ook graag bij betrokken zijn. Picodrift gaat in onze lithografie-

systemen een steeds grotere rol spelen en wij vinden het belangrijk dat er een opstelling is waarmee het gedrag van materialen en verbindingen kan worden onderzocht. Door deze twee projecten als één geheel uit te voeren, kon er kruisbestuiving optreden. De nieuwe aanpak en benaderingswijze hebben geleid tot een mooi resultaat. Er is niet voor niets een patent op verleend.” Ze is blij dat door de nieuwe metrologiegroep in Delft de kennis op dit gebied in Nederland behouden blijft en op universitair niveau verder wordt ontwikkeld. “Daar is veel behoefte aan, niet alleen bij ASML maar ook bij anderen. Dat zie je terug in de grootte van de begeleidingscommissie.”

Kees Bos, Europees sales manager voor laserinterferometrieproducten van Agilent, is het met haar eens: “Bij het vertrek van professor Schellekens van de TU/e waren we ongerust dat deze onderzoekstak uit Nederland zou verdwijnen”, zegt hij. “Gelukkig is het nu in Delft opgepakt. Er zijn in de wereld niet zoveel plaatsen waar mensen voor dit vakgebied worden opgeleid.” Hoewel materiaalonderzoek niet direct tot de aandachtsgebieden van Agilent behoort, is het bedrijf wel geïnteresseerd in ontwikkelingen in de achterliggende interferometrietechnieken. Vandaar dat Agilent apparatuur beschikbaar heeft gesteld en de onderzoekers heeft ontvangen in het ontwikkellaboratorium in de VS. Agilent hoopt samen met de TU Delft vervolgonderzoek te doen.

Project: Picodriftmeter

Doelstelling: ontwikkeling en realisatie van een platform voor het bepalen van driftgedrag in minimaal één dimensie van materialen en materiaalverbindingen, met een nauwkeurigheid van minimaal 10 picometer over 100 seconden of 100 picometer over een periode van 3 weken

Resultaten: optische gebalanceerde opstelling met laserinterferometer voor het bepalen van picodrift. Frequentiegestabiliseerde 3-mode laser van 2,5 mW. Een patent, wetenschappelijke journal publicaties en bijdragen aan diverse conferenties, een proefschrift (begin 2011).

Publicaties en meer informatie: www.precisieportaal.nl, disciplines Optica, Precisie technologie

Contactpersoon Picodriftmeter: Dario Lo Cascio, dario.locascio@tno.nl, (015) 269 20 63

Project: Verplaatsingsinterferometrie

Doelstelling: ontwerp en constructie van een verplaatsingsinterferometer met sub-nanometer nauwkeurigheid over een afstand van 300 mm

Resultaten: Compacte laserinterferometer zonder periodieke fouten (< 20 pm) en dubbele resolutie ten opzichte van een standaardinterferometer. Op het ontwerp is patent aangevraagd. Een redesign voor een vier keer zo korte Fabry-Pérot cavity. Een stabiele laser golf lengtebron van 2,5 mW, die zich automatisch aanpast aan de veranderende brekingsindex

in lucht. Een patent, wetenschappelijke journal publicaties en bijdragen aan diverse conferenties.

Publicaties en meer informatie: www.precisieportaal.nl, disciplines Optica, Precisie technologie

Contactpersoon Verplaatsingsinterferometrie:

Rob Munnig Schmidt, r.h.munnigschmidt@tudelft.nl, telefoon (015) 278 66 63