

Revolutionaire ontwikkelingen in de interferometrie

Geïntegreerde optica

Guido J.J.M. Dalessi

Met de komst van de geïntegreerde optica is het mogelijk geworden complexe optische systemen te integreren tot een enkele optische chip. Op het gebied van de interferometrie heeft deze techniek, met name voor wat betreft prijsstelling en toepasbaarheid, tot een enorme stap voorwaarts geleid.

Geïntegreerde optica

In het algemeen geldt dat licht zijn weg kiest afhankelijk van de plaatselijke optische dichtheid van het medium. Bij een (stapsgewijze) verandering van de brekingsindex treedt er breking op, die de richting van de stralengang beïnvloedt.

De werking van een lens is feitelijk op dit effect gebaseerd. Aan de grensvlakken van de lens treedt breking op, en hier wijkt de lichtbundel, behalve bij loodrechte inval, van zijn normale rechthoekige weg af.

Voor de geïntegreerde optica zijn dezelfde wetmatigheden van toepassing. Hier wordt uitgegaan van een lichtgeleider in de vorm van een Si_3N_4 -laag, die ingesloten is tussen twee lagen van SiO_2 . Door het wegeven van de bovenste SiO_2 -laag, en ook, afhankelijk van het aan te brengen optisch effect, van de Si_3N_4 -laag, ontstaan er sprongen in de brekingsindex van het optische pad. Dit heeft een brekend effect op de stralengang dat analoog is aan dat van normale lenzen.

De bij geïntegreerde optica gebruikte produktietechnieken zijn vergelijkbaar met de uit de chipfabricage bekende lithografie-technieken, en een groot deel van de kennis, die nodig is voor het vervaardigen van integrated circuits (ic's), kan direct toegepast worden bij de fabricage van geïntegreerde optica.

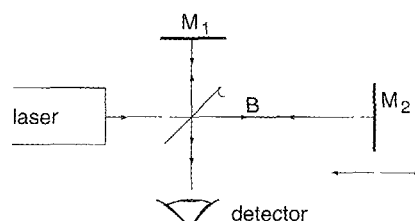
Door toepassing van deze technieken kunnen de afmetingen van een compleet optisch systeem, dat tot dusver

opgebouwd werd uit conventionele componenten zoals onder andere lenzen, reflectoren en fasedraaiers, tot een enkele cm^2 gereduceerd worden

Geïntegreerde optica heeft duidelijke voordelen tegenover de conventionele optica. Deze voordelen komen het duidelijkst tot uiting wanneer het totale gewicht, het volume en de mechanische stabiliteit van het optisch systeem in ogenschouw genomen worden. Ook de kostprijs voor een dergelijke geïntegreerd systeem is, zelfs bij relatief kleine aantallen, aantrekkelijk.

De conventionele Michelson-interferometer

De Michelson-interferometer is wellicht de meest bekende en toegepaste interferometer. De algemene opbouw is schematisch weergegeven in figuur 1. Vanuit de laser wordt een coherente, monochromatische lichtbundel uitgezonden die door de bundelsplitser B in twee delen gesplitst wordt. Een deel reflecteert aan reflector M_1 die een vaste positie heeft, waardoor de optische weglengte voor deze referentiebundel vastligt. Na reflectie valt de referentiebundel op de fotodetectoren.



Figuur 1 Algemene opbouw van de Michelson-interferometer

De meetbundel passeert de bundelsplitser B en wordt gereflecteerd door reflector M_2 , die aangebracht is op het object waarvan de verplaatsing bepaald dient te worden. De optische weglengte van deze bundel is dus afhankelijk van de positie van reflector M_2 . Na reflectie valt ook dit licht, via de bundelsplitser B, op de fotodetectoren. Beide bundels interfereren op de foto-

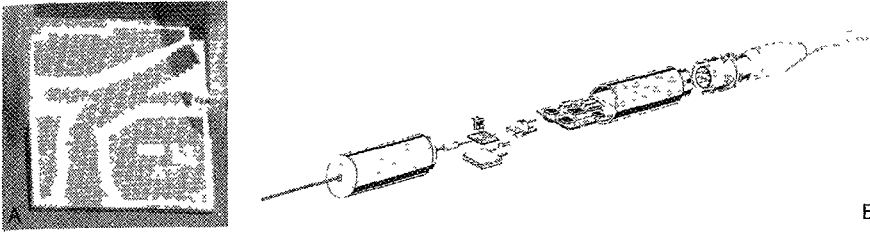
detector, en, afhankelijk van het onderlinge faseverschil tussen beide bundels, wordt door de fotodetector versterking of uitdoving van het licht waargenomen. Is het faseverschil gelijk aan 0 dan treedt er maximale versterking op, zijn beide bundels exact in tegenfase (faseverschil 180°) dan treedt maximale uitdoving op.

Het onderlinge faseverschil verandert periodiek als reflector M_2 langs de optische as verplaatst wordt. De detector neemt dan afwisselend versterking (licht) en verzwakking (donker) waar. Het aantal waargenomen licht/donkerovergangen is recht evenredig met de totale verplaatsing van reflector M_2 , en de frequentie waarmee de licht/donkerovergangen optreden, is evenredig met de verplaatsingssnelheid van M_2 .

Een licht/donker-periode komt overeen met een verplaatsing d , volgens: $d = L_0 / (2 \cdot n)$ waarin L_0 de golflengte is van het uitgezonden licht ($\approx 800\text{nm}$), en n de brekingsindex van het medium (lucht: $n \approx 1$). Een licht/donker-periode komt dus ruwweg overeen met een verplaatsing van 400 nm. Door interpolatie van het detector-signaal wordt een resolutie van <10 nm gerealiseerd.

Uit deze waarden volgt dat, wanneer de Michelson-interferometer met conventionele optische componenten wordt opgebouwd, de posities van de componenten ten opzichte van elkaar erg kritisch zijn. De mechanische stabiliteit van het geheel (doorbuiging, vibratie, uitzetting onder invloed van temperatuur, etc.) heeft dan direct een significante invloed op de meetwaarden.

Ook kleine variaties van de brekingsindex (n) van het medium waarin gemeten wordt beïnvloeden de meetwaarden sterk. Deze variaties kunnen geïnduceerd worden door bijvoorbeeld veranderingen in luchtdruk en omgevings-temperatuur. Verandering van de relatieve luchtvochtigheid, evenals de specifieke luchtsamenstelling zoals CO_2 -concentratie, hebben geen significante gevolgen voor de meetwaarden.



Figuur 2 a) Complete Michelson-interferometer in chipvorm en b) schematische opbouw hiervan

De geïntegreerde Michelson-interferometer.

Door integratie van alle componenten van de Michelson-interferometer op een siliciumsubstraat, is nu een complete interferometer in chipvorm verkrijgbaar die niet groter is dan ongeveer 0,5 cm², zie figuur 2.

De schematische opbouw van deze interferometrische sensor, die ontwikkeld is door de firma Compagnie des Senseurs Optiques (C.S.O./Frankrijk), is weergegeven in figuur 2b: De optische chip wordt samengebouwd met laserdiode, detectoren en voorversterkers in een cilindervormige sensorbehuizing met een diameter van 13 mm, een lengte van 73 mm en een gewicht van 50 gram. Vooral de kleine afmetingen en het geringe gewicht hebben het aantal toepassingen, waar een interferometer in principe een uitstekende oplossing zou kunnen bieden, enorm vergroot.

Met uitzondering van de externe reflector liggen de posities van alle optische componenten vast. De mechanische stabiliteit van de geïntegreerde interferometer is derhalve aanzienlijk beter dan die van de vergelijkbare conventionele uitvoering.

Bepalend voor de nauwkeurigheid van elke interferometer is de golflengte van het uitgezonden licht enigszins varieert met de temperatuur van de laserchip. Daarom wordt de chiptemperatuur met behulp van een Peltier-element zorgvuldig geregeld met een nauwkeurigheid van $\pm 0,1$ °C, zodat er een golflengte-stabiliteit gegarandeerd kan worden van $\delta L_0/L_0 = 10^{-6}$.

Omdat variaties in brekingsindex van het medium direct invloed hebben op de golflengte van de laser in het medium (en dus op de meetnauwkeurigheid) worden veranderingen in luchtdruk en temperatuur continue gemeten door separate sensoren. Aan de hand van deze

signalen wordt de golflengte van de laser in het medium berekend en worden de uitgangssignalen van de interferometer gecorrigeerd.

Toepassing van de geïntegreerde optica heeft geleid tot een zeer compacte en betaalbare interferometer met een meetgebied van 1000 mm, een oplosend vermogen van 1,6 nm en een nauwkeurigheid van 10^{-6} x de verplaatsing. De maximaal meetbare snelheid van verplaatsing bedraagt 200 mm/s

Toepassingen.

Interferometers worden in het algemeen toegepast in gevallen waar verplaatsingen met een zeer hoge nauwkeurigheid gemeten moeten worden. Bij meting van parameters waarvan verplaatsing een direct gevolg is, zoals bij het meten van vibratie, kracht, doorbuiging, snelheid, versnelling en druk, kan de geïntegreerde interferometer ook een goede oplossing bieden.

Enige praktijkvoorbeelden zijn:

- terugkoppelsysteem voor lineaire positioneer-inrichtingen,
- positionering van wafers in micro-lithografie,
- contactloze analyse van vibratie van machines en membranen,
- bepaling van de excentriciteit van draaiende cilinders,
- bepaling van laagdikte (coatings, films).

In geval van toepassingen, waarbij de interferometers een standaard onderdeel worden van een totaalprodukt, kan in overleg en samenwerking met de fabrikant de interferometer ook in OEM-vorm geleverd worden.

Auteursnoot

Ing. Guido J J M Dalessi is directeur van Applied Laser Technology B V te Maarheeze