

MEMPHIS: van elektronen

Er komt licht in de elektronische pijp. Fotonen zijn in staat de huidige elektronische chips te verrijken met aangename eigenschappen. De honger naar bandbreedte en het meten van ingewikkelde fysische fenomenen vormen de aanleiding voor de ontwikkeling van een nieuwe ‘merging’ technologie. De mix van hoogfrequente elektronica met fotonica in een op CMOS gebaseerd proces vormt de basis voor de volgende generatie chips. Het ontwikkelen van deze veelbelovende technologie is de uitdaging voor het MEMPHIS-consortium. MEMPHIS staat voor Merging Electronics and Micro&nano PHotonics in Integrated Systems. Het consortium bestaat uit 22 relevante spelers op dit gebied, waaronder de drie technische universiteiten, multinationals zoals ASML, Alcatel, FEI en Philips, en MKB’ers zoals penvoerder LioniX uit Enschede.

In 2006 ging het subsidieprogramma Smart Mix van start. Een gezamenlijk initiatief van de ministeries van EZ (via SenterNovem) en OCW (via NWO). Het doel is om op basis van vragen in de markt en de maatschappij innovatie te stimuleren. Daarbij moet zoveel mogelijk de hele kenniseten worden benut, van fundamenteel en toegepast onderzoek tot en met concurrentieën ontwikkelingen (prototypes). In voorjaar 2007 werd in de eerste ronde 100 miljoen euro subsidie toegekend aan zeven onderzoeksprogramma’s, waaronder MEMPHIS.

LioniX

Al sinds een tiental jaren is LioniX actief in de wereld van fotonica en elektronica. Het is dan ook een logische stap dat juist LioniX de penvoerder is geworden van MEMPHIS, en samen met HB Berenschot dit project van de grond heeft gekregen. LioniX ontwikkelt en produceert klantspecifieke producten gebaseerd op micro/nanotechno-

logie (‘chips’) voor (OEM-)klanten over de gehele wereld. De kerncompetenties van LioniX zijn geïntegreerde optica en microfluidics, met toepassingen in telecom, industrial process control, life sciences en space. In de geïntegreerde optica heeft LioniX een unieke positie opgebouwd op het gebied van planaire golfgeleiders (‘fibers on chip’), het basiselement van geïntegreerde optica; daarop zijn al meerdere patentaanvragen gebaseerd (TriPleX). Deze TriPleX-golfgeleiders kunnen gerealiseerd worden met een CMOS-compatibele technologie, waardoor ze in potentie in grote aantallen zeer goedkoop geproduceerd kunnen worden.

MEMPHIS: Best of both worlds

Nieuwe technologische ontwikkelingen bieden oplossingen voor allerlei behoeften in ons dagelijks leven. Hierbij is het omgaan met data, internet, mobiele telefonie en vooral het ‘managen’ van videobeelden een steeds belangrijker uitdaging. De MEMPHIS-partners zien in dat er in de

Smart mixen en fotonen

micro/nanoelektronica en in de micro/nanofotonica de laatste jaren geweldige resultaten geboekt zijn, die een prima oplossing kunnen gaan bieden. Vooral door de elektronische en fotonische technologie te 'mixen', worden veel nieuwe mogelijkheden gecreëerd die kunnen beantwoorden aan de genoemde verwachtingen. Voor MEMPHIS zijn de volgende applicatiegebieden gedefinieerd:

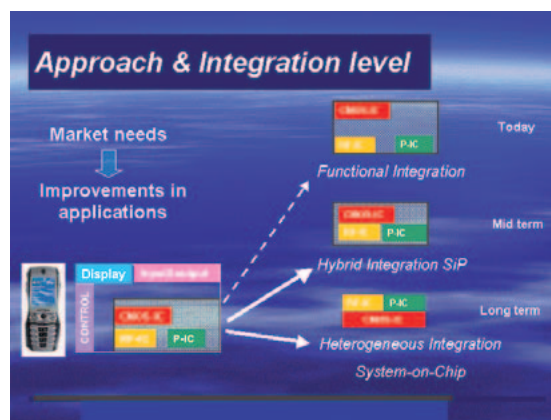
1. Medische toepassingen;
2. Imaging;
3. Communicatie en informatie;
4. Displays, licht en sensoren.

Synergetische effecten zorgen ervoor dat de onderzoeksresultaten eerder een platformtechnologie dan een individuele oplossing worden. MEMPHIS staat voor deze universele platformtechnologie. Deze biedt tevens de bouwblokken waarmee weer andere producten kunnen worden gemaakt. Bouwblokken zijn in dit geval componenten, processen, technologie en applicaties of delen daarvan.

Integratieniveaus

De integratieniveaus om elektronische en fotonische technologie samen te voegen zijn als volgt opgedeeld (zie Afbeelding 1): functionele, hybride en heterogene integratie. Het samenbrengen van fibers met besturingselektronica in één behuizing voor bijvoorbeeld medische meetinstrumenten is van het functionele niveau. In veel gevallen vragen eindproducten al snel om kleinere afmetingen. In analogie met de chipassemblage zal een hybride integratie met assemblageprocessen ervoor zorgen dat de elektronische en fotonische componenten samen in één behuizing worden gezet. Gebruikelijke plaatsingseisen liggen in de ordegrootte van 1-10 μm . De meest vergaande samenvoeging van de elektronica en fotonica komt tot uiting in de heterogene integratie, oftewel het gebruik van één enkel substraat als drager om alle elektronische en fotonische schakelingen te integreren. Dit vraagt enerzijds om de technologische mogelijkheid deze twee werelden aan elkaar te knopen, en anderzijds om een productieproces waarbij beide op één enkel substraat gemaakt kunnen worden. De heterogene integratie biedt uiteindelijk de ultieme oplossing met de kleinste afmetingen, en zal zeker voor de grotere aantallen

producten worden ingezet. Deze heterogene integratie vergt wel de grootste ontwikkelinspanning, inclusief de ontwikkeling van procesapparatuur. Daarbij worden nauwkeurigheden richting 1 nm wenselijk.

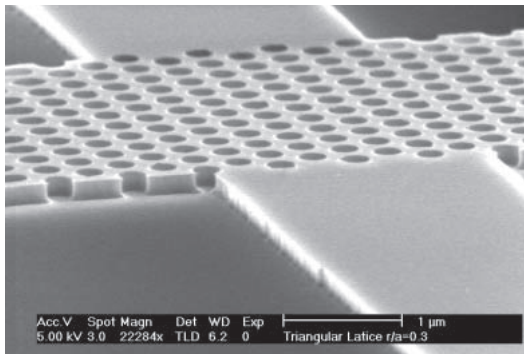


Afbeelding 1. De drie niveaus geven aan op welke wijze de elektro-fotonische integratie kan worden doorgevoerd: functioneel, hybride of heterogeen.

Technologie

Voor de benodigde additionele functionaliteit voor krachtige elektro-fotonische chips zullen meerdere geïntegreerde lagen gestapeld moeten worden. Voor deze 3D-oplossingen zijn technologische doorbraken nodig, bijvoorbeeld op het gebied van combinatie van de verschillende materiaalsoorten. De heilige graal is hier het op één chip combineren van silicium (het elektronisch materiaal bij uitstek) en III-V halfgeleiders, de ideale fotonische materialen. In dit kader is een veelbelovende mogelijkheid silicium te gebruiken voor hoogfrequent lichtgeleiding tussen III-V optische componenten, een aanpak die compatibel is met CMOS-elektronica. Het daadwerkelijk on-chip toepassen van lichtgeleiding in silicium staat nog in de kinderschoenen. Verder is de koppeling van elektronen en fotonen een belangrijk aandachtsgebied. Het vraagt om de nodige uitvindingen in interactie-technieken om beide werelden aan elkaar te knopen. Digitale schakelingen zullen niet beperkt blijven tot het elektronisch domein. Fotonische rekenkracht zal gebaseerd zijn op devices als de te ontwikkelen opti-

sche transistor. De fotonische flip-flop wordt door de TU/e ontwikkeld, met veelbelovende resultaten. Nog een stapje verder gaat het met het gebruik van fotonische kristallen, waaraan het Amolf en het Kavli Instituut werken. Met een dergelijk kristal – bijvoorbeeld een regelmatig patroon van geëtsde zeer kleine gaatjes (≈ 200 nm) in silicium (zie Afbeelding 2) – kan de fotonenstroom volledig geregeld worden.



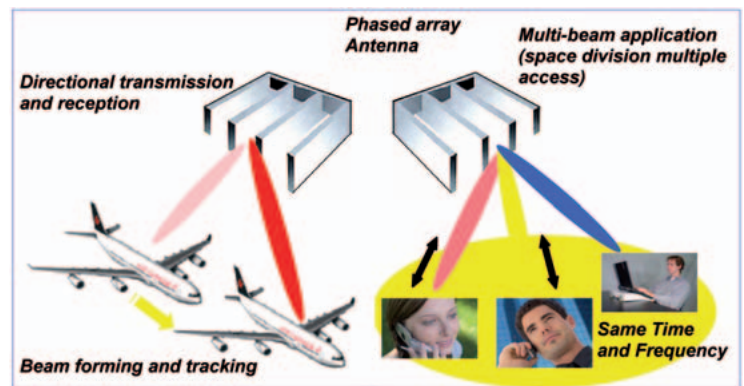
Afbeelding 2. Twee-dimensionaal fotonisch kristal in silicium met golfgeleiders voor het in- en uitkoppelen van licht. Het onderzoek richt zich onder meer op het afwisselend doorlaten en blokkeren van het licht met behulp van het kristal (modulator). (SEM-opname: Kavli Instituut)

Dit risicovolle fundamentele onderzoek kan tot enorme doorbraken leiden. Uiteindelijk levert de technologie de handvatten voor zeer geavanceerde componenten, zoals multiplexers voor boven 100 GHz, beamshaping-structuren, splitters en processoren. Voeg dit toe aan de nieuw te ontwikkelen elektro-fotonische SMD's en PCB's, en de bouwstenen van het platform worden zichtbaar.

Demonstrators: Smart antennas

Deze componenten vinden hun weg naar de applicaties. Daarbij gaat het vooral om de gebruikerseisen van deze applicaties, die vertaald moeten worden naar de benodigde functies en eisen aan de nieuwe componenten, systemen en technologie. Smart antennas vormen daarbij een mooi voorbeeld; zie Afbeelding 3. Een smart antenne is een richtantenne bestaande uit meerdere antenne-elementen, die – zonder fysieke beweging – zijn 'kijkrichting' kan aanpassen, voor een optimale afstemming van een ontvangst-antenne met de zender. Optimaal energiegebruik en minder stralingsgevaar voor de mens zijn het gevolg. Het richten gebeurt door het golffront dat op de antenne terechtkomt

te corrigeren, namelijk door de signalen van de verschillende antenne-elementen onderling te synchroniseren en te combineren. Normaal wordt deze synchronisatie uitgevoerd als elektronische fasecompensatie. Het is echter beter daadwerkelijk in de tijd te compenseren door de signalen onderling te vertragen, want pas dan wordt het golffront frequentieonafhankelijk gecorrigeerd. Om de kijkrichting ook nog eens traploos te kunnen bijsturen, is het nodig deze vertragingen traploos te kunnen regelen. Dit is mogelijk door de signalen eerst te converteren naar het optische domein, om ze vervolgens te vertragen en te combineren door middel van een zogeheten optisch beamforming network, en terug te brengen naar het elektrische domein. De traploos regelbare vertragingen in het beamforming network kunnen worden gerealiseerd op basis van ringresonatoren, uitgevoerd als 'on-chip'-golfgeleiders, die weer worden gemaakt met MEMPHIS-technologie. Hierbij is er sprake van interdisciplinaire samenwerking tussen antennespecialisten (NLR en Astron), optische systeem-engineers (UT) en optische fabricage-experts (LioniX).



Afbeelding 3. Een voorbeeld van meervoudige communicatiekanalen waarbij meerdere gebruikers mobiel communiceren met minimaal energiegebruik door richtingsgevoelige smart antennas.

Voor het produceren van al deze nieuwe componenten wordt een nieuw integraal productieproces ontwikkeld. Dit betekent dat zowel de lithografische processen op ASML-machines als de depositie- en etsprocessen ontwikkeld moeten worden. Een belangrijke additionele stap hierbij is het meetproces om de geïntegreerde lichtgeleiders te kunnen meten. Dit moet met nanometer-nauwkeurigheid over een lengte van enkele micrometers worden uitgevoerd. Een hele uitdaging voor FEI, dat hiervoor een nieuwe microscoop gaat ontwikkelen.

Lithografie voor geïntegreerde optica

Lithografie maakt een belangrijk onderdeel uit van de productieketen. ASML's nieuwste generatie lithografiemachines (XT:1900i; zie Afbeelding 4) zijn in staat om chips te belichten met features tot 37 nm. Deze machines worden voornamelijk ingezet voor de massaproductie van 300 mm wafers. Fotonische chips die door het MEMPHIS-consortium worden ontwikkeld, stellen ook nog andere eisen aan de lithografische stappen. Daarbij worden bijvoorbeeld ook andere materialen voor substraten gebruikt, zoals InP en GaAs. De substraatkeuze is daarbij afhankelijk van de toepassingen van de componenten. Het gevolg is dat de standaard lithografische processen moeten worden aangepast, uitgebreid of verbeterd. De nauwkeurigheidseisen zijn overeenkomstig met de reguliere IC-productie gebaseerd op silicium.

De complexiteit van een fotonische chip neemt toe met de hoeveelheid bouwblokken die op een enkel substraat geïntegreerd moeten worden. Hoe hoger de integratiegraad, des te complexer de lithografie zal worden, met een belangrijke link naar functionele integratie-aspecten. Het wordt namelijk steeds ingewikkelder om fiber-chipkoppelingen te ontwerpen tegen een lage kostprijs als de dichtheid aan componenten toeneemt. Samen met de elektrische interconnecties vormt dit een grote uitdaging. Het lithografieproces is daarbij gebaseerd op drie stappen: 1) de fabricage van een masker met een patroon om een enkellaags-belichtingsstap uit te voeren, 2) de chemie waarbij de belichting van het patroon wordt toegepast, 3) het patroner-transfereerproces zelf, dat een ets- of depositiestap kan zijn. Indien er meerdere lagen moeten worden opgezet, zullen de drie stappen even vaak worden herhaald. De onderlinge nauwkeurigheid, de zogeheten overlay, moet hierbij op nanometerniveau liggen.



Afbeelding 4. ASML's nieuwste generatie lithografiemachines, XT:1900i.

Simulatieroute

Voor een kortere ‘time-to-market’ is een efficiënt ontwikkeltraject noodzakelijk. Een optimale simulatieroute voor de ontwikkeling van componenten is hierbij onontbeerlijk. Het ontwikkelen van simulatiesoftware (PhoeniX) voor de nodige ‘voorspellings’-algoritmes maakt daar nadrukkelijk onderdeel van uit. Het vooraf kunnen aantonen van de juistheid van de ontwerpkeuzes, neemt al veel onzekerheid weg. Om de simulatie verder te optimaliseren, is een goede terugkoppeling vanuit het testtraject noodzakelijk. Iedere keer wordt dan een verbetering doorgevoerd en wordt kennis opgebouwd en weer hergebruikt. Daarbij wordt de ‘reproduceerbaarheid’ weer verbeterd. Een andere belangrijke stap in de simulatieroute is het daadwerkelijk kunnen maken van enkelvoudige componenten. Hiertoe zal met prototyping-apparatuur de mogelijkheid worden geschapen om enkelvoudige optische chips uit een substraat te separeren. Hiervoor wordt op basis van elektronenmicroscopie prototyping-apparatuur ontwikkeld om daadwerkelijk componenten uit substraten te separeren. Daardoor ontstaan er fysiek testbare enkelvoudige componenten, waardoor ook weer de ‘reproduceerbaarheid’ wordt verbeterd.

Partners

Het MEMPHIS-consortium vormt een uitgebalanceerd geheel; zie Tabel 1. De drie technische universiteiten zijn vertegenwoordigd, evenals de belangrijkste kennisinstellingen op dit gebied. Daarnaast vormen de multinationals en opstartende MKB’ers een prima complementair evenwicht.

Tabel 1. Het MEMPHIS-consortium.

<p>Multinationals</p> <ul style="list-style-type: none"> • Philips (Lighting, Electronics) • ASML • FEI • Alcatel 	<p>MKB’ers</p> <ul style="list-style-type: none"> • LioniX • Mapper • PhoeniX • Genexis • Tempress • River Diagnostics
<p>R&D</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cobra, TU/e • Dimes en Kavli, TUD • Mesa+ en CTIT, UT • Erasmus Universiteit • VU • AMC 	<p>Instituten</p> <ul style="list-style-type: none"> • FOM/Amolf • Astron • NLR • TNO • IMEC (B)

Kennis naar de markt, daar gaat het uiteindelijk om. Om dat te bereiken dienen de samenwerkingsprocessen zo goed mogelijk te verlopen. Erik Teunissen van HB Berenschot verzorgt hierbij de algehele projectcoördinatie, samen met Bart Verbeek, voorzitter van het IOP Photonic Devices, als programmamanager. LioniX is de penvoerder en gezamenlijk wordt het gehele project nauwlettend gestuurd. Hier is een balans noodzakelijk tussen projectstructuur en vrijheid in de ontwikkeling. Structuur is daarbij noodzakelijk om de 150 projectparticipanten goed te laten samenwerken. Daarbij krijgen inspirerende ideeën de ruimte om tot bloei te komen. Uiteindelijk rendeert een goede procesbegeleiding in de beoogde resultaten. MEMPHIS is dan ook een veelbelovende technologie.

Informatie

memphis@hbberenschot.com
www.smartmix-memphis.nl

