

FOTONICA

LAAT ER LICHT ZIJN

De gezondheidszorg is duur, en dat komt niet alleen omdat we met z'n allen ouder worden. Medische technieken kosten handenvol geld. Een oplossing komt mogelijk van lichtdeeltjes.

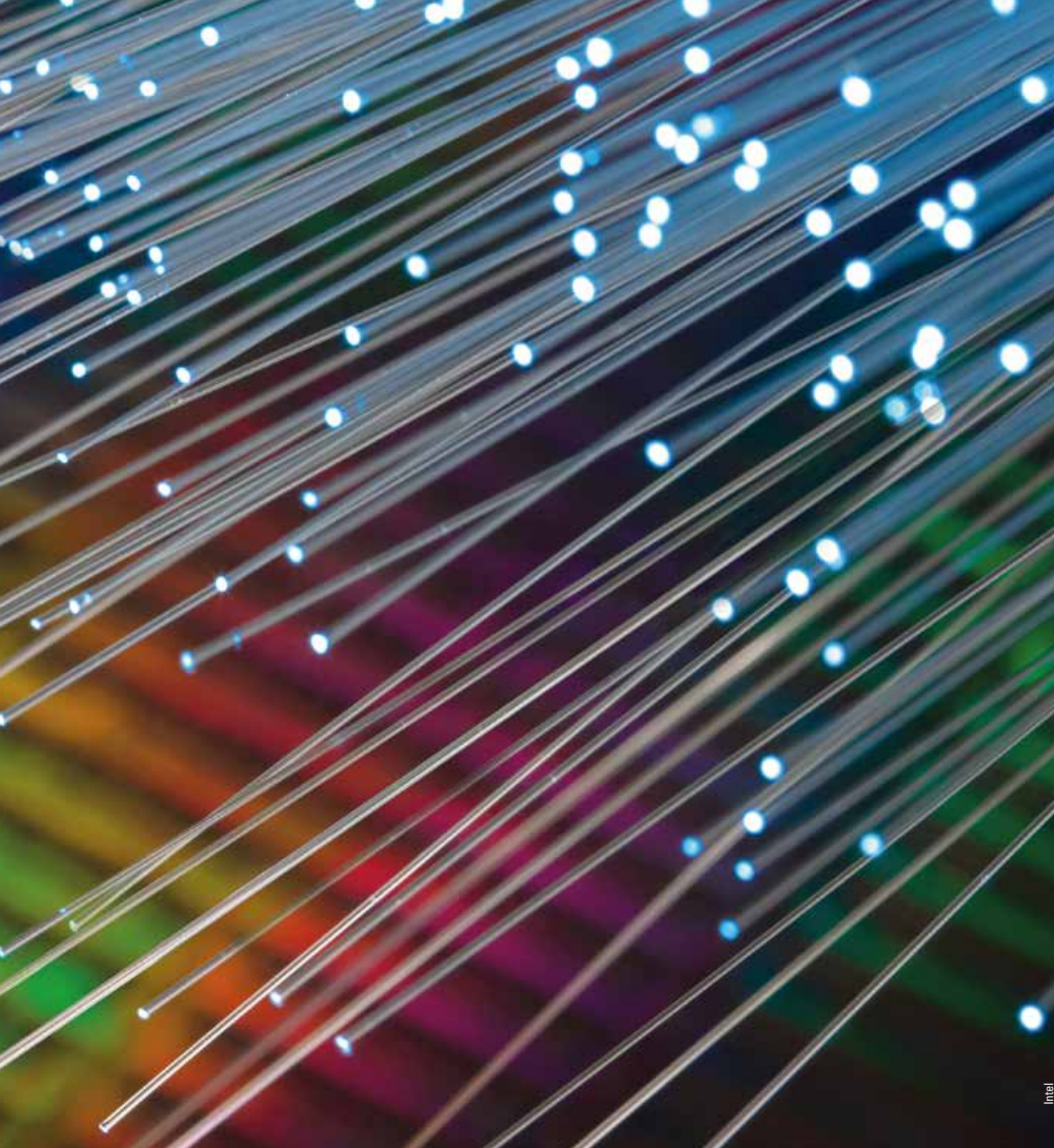
Onze gezondheidszorg steunt op technologie, vooral om artsen te helpen een diagnose te stellen. Ze speurt merkers op in ons bloed of brengt delen van ons lichaam in beeld. Maar: die technologie is vaak duur - denk maar aan MRI-scanners - of vereist heel wat mankracht - denk aan een standaard klinisch laboratorium. Om de gezondheidszorg betaalbaar en algemeen beschikbaar te houden, moeten we de medische technologie beter hanteerbaar en goedkoper maken.

Licht kan een oplossing bieden. Daarvoor kijken we richting fotonica, de wetenschapstak waarbij onderzoekers met een ingenieursbril zoeken naar interessante eigenschappen van lichtdeeltjes of fotonen. Vermoedelijk heeft u in uw middelbare schooltijd kennisgemaakt met de meest elementaire vorm van fotonica en licht in goede banen geleid met lenzen, spiegels en prisma's. In de fotonica proberen onderzoekers informatie in het licht te

coderen of informatie te halen uit de materie waarmee het licht in interactie gaat. Daarbij gebruiken ze niet alleen de klassieke trucjes uit de optica (lenzen en spiegels), maar ook heel specifieke optische eigenschappen van een aantal materialen.

Licht kan je beschrijven als een elektromagnetische golf. In tegenstelling tot radiogolven hebben de fotonen bij bepaalde frequenties genoeg energie om atomen in een staat van hogere energie te brengen. Ultraviolet licht, bijvoorbeeld, is zo energetisch dat het verbindingen in moleculen zoals ons DNA kan breken. Omgekeerd kan een geëxciteerd atoom of molecule zelf een lichtdeeltje uitzenden en zal dat foton een kleur hebben die overeenkomt met de eigenschappen van dat atoom. Deze twee eigenschappen zijn fundamenteel voor alle toepassingen van licht.

Onder meer aan de universiteiten van Gent, Brussel, TU Eindhoven en TU Delft werken onderzoekers aan



◀ Glasvezels
boven een
siliciumschijf vol
fotonische chips.

lichtchips. En die kunnen in de geneeskunde gebruikt worden om medische diagnoses beter en goedkoper te stellen dan vandaag. Om uit te leggen hoe lichtchips werken, maken we een uitstapje naar de ICT.

Glasvezel

Als informatiedrager wordt licht hier al langer gebruikt. Licht kan in interactie gaan met materie, omdat lichtdeeltjes - fotonen - bepaalde atomen in een staat van hogere energie brengen. Daarom gebruiken we in optische communicatie materialen met heel specifieke optische eigenschappen. Op die manier kan licht gedetecteerd worden. Er zijn niet alleen materialen nodig waarin het makkelijk is om licht op te wekken of op te meten (door een kleur te gebruiken die dat materiaal makkelijk absorbeert of genereert), maar ook transparante materialen, die zich juist veel minder met het licht 'bemoeien'.

Die laatste materialen laten toe signalen over heel grote afstanden te verzenden met uiterst kleine verliezen.

Zo'n materiaal is glasvezel. De verliezen van infrarood licht in bepaalde types glas zijn extreem laag, waardoor verzonden signalen pas na een honderdtal kilometer merkbaar verzwakken en we ze moeten versterken. Door verschillende kleuren tegelijkertijd te gebruiken kan je heel veel informatie door één glasvezel sturen. Door dan in elke kleur afzonderlijk informatie te coderen, kan licht veel meer informatie-inhoud versturen door dezelfde doorsnede. De extreem lage verliezen en hoge bandbreedte, mogelijk door lichttechnologie, verklaren waarom tegenwoordig de meeste langeafstands-informatie in de telecomindustrie of in Googles datacenters via licht wordt verzonden: er is minder energie nodig om verliezen te compenseren, en informatie wordt veel sneller doorgestuurd.

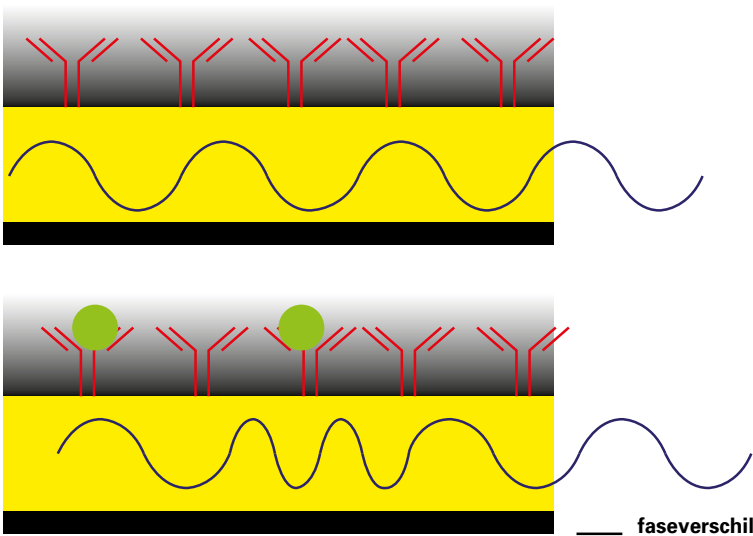
Van golven en geleiders

Lichtchips bestaan voornamelijk uit kleine golfgeleiders. In optische golfgeleiders kan licht een grote interactie hebben met de omgeving. We gebruiken meestal de stralentheorie om uit te leggen hoe een lichtstraal via totale interne reflectie opgesloten wordt in een golfgeleider.

Als een lichtbundel wordt opgesloten in een golfgeleider, zal een deel van dat licht buiten de golfgeleider voortbewegen. Dat deel van het elektromagnetische veld noemen we het evanescente veld.

Als molecules zich in het evanescente veld bevinden, verandert de effectieve brekingsindex die de elektromagnetische golf voelt. Door op het oppervlak van de golfgeleider bepaalde antilichamen aan te brengen, kunnen we bindende antigenen detecteren. Als de gezochte antigenen aanwezig zijn in een bepaalde vloeistof, zullen die binden op de antilichamen. Daardoor verandert de brekingsindex die de golf voelt. Doordat het evanescente veld van de siliciumgolfgeleider zo sterk gelokaliseerd is, zal bovendien enkel de regio van een tiental nanometer waarin die binding plaatsvindt aanleiding geven tot een verschil in de brekingsindex. Het verschil in de brekingsindex levert dus informatie op.

Met spectroscopie leren we nog meer over de biologische materie die zich in de nabijheid van de golfgeleider bevindt. Via het spectrum van het licht leiden we rechtstreeks informatie af over de molecules waarmee dat licht interageert. Verschillende interacties tussen fotonen en elektronen zorgen voor verschillende soorten spectroscopie zoals fluorescentie-, Raman- en absorptie-spectroscopie. Met behulp van die laatste twee krijg je een specifieke spectrale 'vingerafdruk' van een molecule, gebaseerd op de interactie van het licht met de trillingen in de molecule. Dat biedt voordelen voor gevoelige metingen. Op die manier biedt een optische chip de mogelijkheid om een volledige microscoop te miniaturiseren. Door zowel de lichtbron als de detector op de chip te plaatsen, zal in de nabije toekomst een volledig analyseplatform beschikbaar zijn op een oppervlakte van enkele vierkante centimeter.



▲ Een silicium golfgeleider voelt de interactie tussen een biomerker en een antilichaam. Doordat de materie in het evanescente veld rond de golfgeleider verandert, verandert ook de brekingsindex. Die verandering kan worden gemeten met interferentie.

- Golfgeleider
- Evanescent veld
- Biomerker
- Lichtbundel
- Antilichaam

Maar dat is niet genoeg. In ons digitale tijdperk produceren we steeds meer gegevens – op dit moment is ons dagelijkse dataverbruik gelijk aan alle data die in het hele jaar 2002 werden verbruikt. Al die gegevens moeten worden doorgestuurd, opgeslagen en verwerkt. Die operaties sloppen heel wat energie op (in 2013 zo'n tien procent van het totale elektriciteitsverbruik). Het exponentieel toenemende dataverkeer verplicht ons om dit dringend op een energie-efficiëntere manier te doen.

Dat kan door de componenten die het internet verbinden, zoals lasers en lichtdetectoren, kleiner te maken. Zoals de voortdurende miniaturisatie van elektronische chips voor alsmat krachtigere computers heeft gezorgd, kan je soortgelijke technieken toepassen voor het internet. Idealiter maak je chips voor licht in plaats van voor elektriciteit. Momenteel zorgen we er nog manueel voor dat de lichtstralen op de juiste manier van de ene naar de andere component worden verzonden. Aangezien alle componenten nu op dezelfde chip staan, kan de chip zo ontworpen worden dat alle lichtstralen vanzelf het juiste pad volgen. De laatste tien jaar is dit futuristische idee uitgewerkt en vandaag zijn de eerste 'fotonische' chips op de markt.

Deze lichtchips kunnen uit hetzelfde materiaal (silicium) en met dezelfde technologie (CMOS-fabricatie) gemaakt worden als normale computerchips. Dat concept noemen we siliciumfotonica. Voordeel is dat de recentste vooruitgang in fabricatie van elektronicachips ook van toepassing is voor elektro-optische chips. Deze siliciumchips geleiden bijna transparant infrarood licht. Een nadeel is dat het daardoor moeilijk is om er licht in op te wekken of te absorberen. Daar zijn andere materialen voor nodig. En daar bestaan er gelukkig verschillende oplossingen voor. Je kan licht genereren op een andere chip, in een geschikt materiaal, en dat licht inkoppelen in de siliciumchip. Of je kan kleine stukjes lichtgenererend materiaal op een siliciumchip 'plakken' en het licht op die manier toch op de chip zelf genereren – een oplossing die onder andere is onderzocht aan de Universiteit Gent.

Lab op een chip

Maar terug naar de geneeskunde. Deze lichtchips kunnen, net als een standaard labtest, een biochemische interactie opsporen. Hoe werkt dat? Mooie voorbeelden die dat illustreren, zijn de meting van de bloedsuikerspiegel en standaard zwangerschapstesten. Het eerste geval maakt gebruik van een eiwit dat glucose omzet in een afgeleid product (glucose-6-fosfaat). Daarvoor moet het eiwit een andere molecule (NAD⁺) omzetten naar zijn gereduceerde vorm (NADH). Dat laatste product absorbeert heel sterk het licht met een golflengte van 340 nanometer, waardoor de glucoseconcentratie indirect te meten is door te bepalen hoeveel licht er bij 340 nanometer wordt geabsorbeerd (we noemen dat absorptie-spectrometrie).

Een zwangerschapstest werkt een beetje anders. Op een velletje papier zijn antistoffen aangebracht voor het zwangerschapshormoon HCG, gebonden aan een piepklein gouddeeltje. Als de urine van de vrouw veel HCG

Hoe stuurt licht informatie door?

Om met licht te communiceren, moet je het dwingen om zonder te veel verlies te bewegen van begin- naar eindbestemming. Dat is niet vanzelfsprekend. Om te beginnen heb je materialen nodig die bijna perfect transparant zijn: het aantal lichtdeeltjes dat verloren gaat onderweg naar de eindbestemming moet zo klein mogelijk zijn. Daarbovenop moet je ook baantjes voor licht maken. Zonder speciale baantjes spreiden lichtbundels zich immers uit: denk aan de lamp in je woonkamer, die heeft als doel het licht zo veel mogelijk te verspreiden. In tegenstelling

tot die lamp moet een communicatielichtbundel zo veel mogelijk bij elkaar blijven. Daarbij maken we gebruik van het concept van 'totale interne reflectie'. Een lichtstraal die van een materiaal (bijvoorbeeld glas of water) onder een bepaalde hoek invalt op een ander, optisch minder dicht materiaal (bijvoorbeeld lucht), zal de grens tussen de twee materialen onder een veel grotere hoek verlaten. Als de invalshoek groot genoeg is, is het zelfs mogelijk dat het licht niet meer in het andere materiaal geraakt, zodat al het licht in het eerste materiaal gereflecteerd

wordt. Daardoor kan je, als je onder water in het zwembad naar boven kijkt, soms de reflectie van de bodem van het zwembad zien in plaats van het plafond. Dat simpele principe wordt ook in glasvezels gebruikt: men gebruikt een kern van optisch heel dicht glas, en omringt het met een glassoort die optisch minder dicht is. Hetzelfde trucje kan je ook toepassen op een optische chip, opnieuw met een materiaal met een hoge optische dichtheid (silicium) dat omringd wordt door een materiaal met een minder hoge optische dichtheid (glas of lucht).

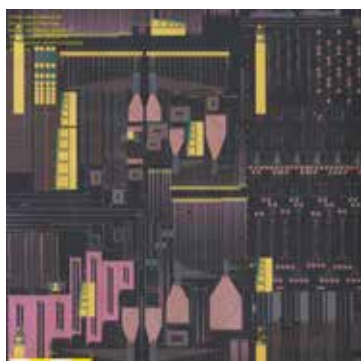
bevat, zal dat hormoon 'gevangen worden' op de plaats waar de gebonden antistoffen zich bevinden. Het antilichaam met het gouddeeltje bindt op zijn beurt ook op het hormoon en zorgt ervoor dat de teststrip een blauw (of, in de nieuwere test, rood) streepje krijgt.

Een kleine lichtchip werkt echter veel gevoeliger dan de huidige zwangerschapstest – die zwangere vrouwen soms vertellen dat ze dat niet zijn. Hij kan heel nauwkeurig een interactie tussen een antigeen en antilichaam 'voelen', je kan op zo'n chip bovendien ook de interactie tussen licht en biologische materie bestuderen met spectroscopie, en simpelweg lichtdeeltjes observeren die ontstaan door een specifieke biochemische interactie of die worden uitgestraald door een lichtgevende molecule. Al die mogelijkheden zijn gebaseerd op de interactie tussen het licht en moleculen. Een optimale interactie tussen licht en moleculen is dus van cruciaal belang bij de ontwikkeling van miniatuurchips. Die lichtchips bevatten een uiterst klein optisch circuit waarop een biomolecule is geïntegreerd. Die dient als sensor voor de merker die opgespoord moet worden. Het licht dat in het circuit wordt gepompt, meet heel gevoelig de binding tussen de sensor en de merker. Bovendien zijn lichtchips heel klein – ongeveer één vierkante centimeter. Een test past daardoor makkelijk in bijvoorbeeld een smartphone. Artsen zouden op die manier tijdens de consultatie gevoelige tests kunnen uitvoeren. Op die manier kunnen ze

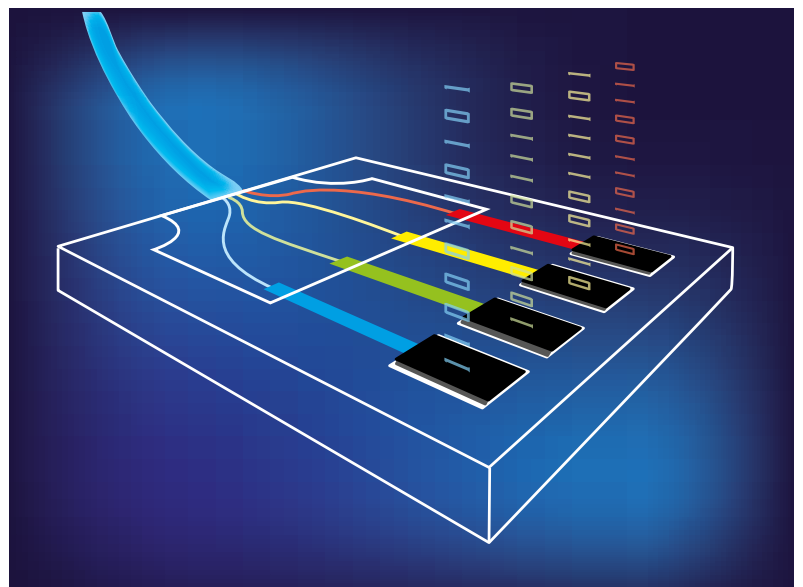
een behandeling starten zonder dat ze daarvoor eerst het dure proces van een klinische analyse in gang moeten zetten.

Wereldwijd werken bedrijven, waaronder het Belgische MiDiagnostics, aan zulke diagnostische lichtchips voor meettoestellen. Ook de Universiteit Gent doet volop onderzoek naar de ontwikkeling van lichtchips voor biomedische toepassingen. ■

De auteurs: Bart Geers is manager van het Center for Nano- and Biophotonics van de UGent; Bart Kuyken is postdoctoraal medewerker; Pieter Wuytens en Raphaël Van Laer zijn doctoraalstudenten verbonden aan het centrum voor Nano- en Biofotonica (NB-photonics) van de UGent; Thomas Van Vaerenbergh is postdoctoraal medewerker van HP labs in Palo Alto, VS.



► Lichtchips bevatten uiterst kleine optische circuits.



▲ Door verschillende kleuren tegelijk te gebruiken stuur je heel veel informatie door één glasvezel. Door dan in elke kleur afzonderlijk informatie te coderen, kan licht veel meer informatie-inhoud versturen door dezelfde doorsnede.