

ONDERZOEK GEPUBLICEERD IN TOONAANGEVENDE BLAD NATURE

Het onderzoek naar moleculaire motoren van de groep van prof.dr. Ben Feringa, scheikundige aan de Rijksuniversiteit Groningen, bereikte onlangs een voorlopig hoogtepunt. In een publicatie in Nature liet men weten aangetoond te hebben dat motortjes op nanoschaal een voorwerp van een honderdste millimeter groot kunnen voortbewegen. Zonder de samenwerking met de specialisten op het gebied van vloeibare kristallen van de groep van TU/e-hoogleraar dr. Dick Broer en dr.ir. Kees Bastiaansen, was dit niet mogelijk geweest.

Samenwerking tussen Groningen en Eindhoven op het gebied van nanomotoren

De Groningers hebben al jaren ervaring met het ontwerpen van moleculen waarvan een onderdeel als een propeller kan ronddraaien. Bij de meest recente versie werkt de motor als volgt. Het molecuul (ter grootte van ongeveer één nanometer) bestaat uit een bovenhelft en een onderhelft, verbonden door een dubbele binding. Onder invloed van uv-licht roteert de bovenste helft van het molecuul circa 180 graden ten opzichte van de onderste helft. Hierbij wordt een zogenaamd stereo-isomeer gevormd van het oorspronkelijke molecuul. Onder invloed van warmte wordt de rotatie van het molecuul doorgezet totdat de oorspronkelijke toestand weer wordt bereikt. Onder continue bestraling wordt een overmaat aan stereo-isomeer gevormd. Als de lichtbron wordt uitgezet krijgt men langzaam een overmaat van de oorspronkelijke vorm terug.

Vloeibare kristallen

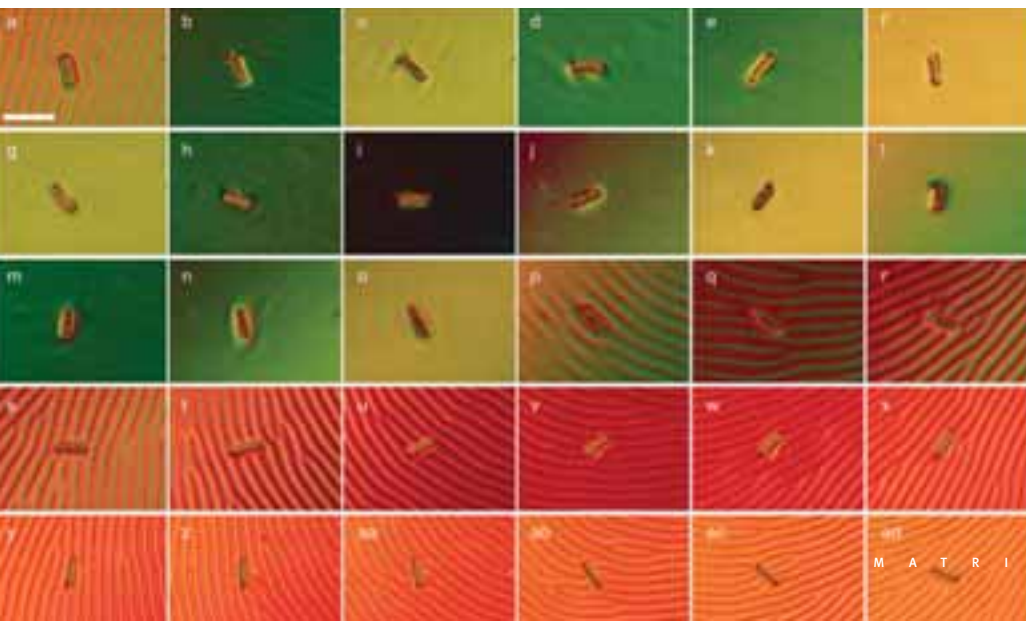
De werking als motor moge duidelijk zijn, één enkel molecuul maakt echter nog niet veel klaar. Daarvoor zijn grote aantallen nodig. Uit de coproductie tussen de RUG en TU/e-wetenschappers is nu een goede manier aan het licht gekomen om de arbeid van de moleculaire motoren naar de schaal van de dagelijkse dingen te krijgen: namelijk het oplossen van een paar procent van de 'motormoleculen' in vloeibare kristallen, of 'liquid crystals' (LC). Dit zijn vloeibare materialen waarin de staafvormige moleculen geordend liggen. In een normaal vloeibaar kristal wijzen die moleculaire staafjes gemiddeld in dezelfde richting. De motormoleculen oefenen een zodanige invloed uit op het vloeibare kristal dat de vloeibaar kristal moleculen zich in een helix (spiraal) ordenen. Als men nu de helix-as parallel legt aan het oppervlak, hetgeen kan door het substraat op een speciale manier te prepareren, ontstaat er een golfpatroon in het oppervlak. Dit patroon wordt veroorzaakt doordat de moleculaire staafjes door de moleculaire helix afwisselend parallel en loodrecht aan het oppervlak liggen waarmee de oppervlaktespanning fluctueert met een periodiciteit die overeenkomt met een halve rotatie van de helix. Immers de moleculen loodrecht op het oppervlak geven een lagere oppervlaktespanning dan die daar parallel aan liggen. Doordat de 'motormoleculen' van de ene isomere vorm in de andere overgaan tijdens de bestraling verandert ook de invloed

die zij uitoefenen op het vloeibaar kristal. Het gaat zelden zo ver dat de helix verandert van draairichting. Dus van een helix die initieel links om draait wordt de spoed (de afstand tussen twee opeenvolgende windingen-red.) tijdens bestraling groter totdat deze oneindig is. De helixstructuur is dan weg en alle moleculen wijzen weer dezelfde richting uit. Bij verdere bestraling ontstaat er weer een helix, nu rechtsomdraaiend waarbij de spoed weer steeds kleiner wordt. De verandering van de spoed gaat echter ook gepaard met een rotatie van de richting van het golfpatroon. Dat dit gebeurt is in eerste instantie niet zo logisch maar heeft te maken met het feit dat de moleculen het energetisch gemakkelijker vinden om een kleine schuine rotatie te ondergaan in het vlak van de film en dan met andere moleculen een nieuwe helix te vormen dan om de bestaande helices in zijn geheel af te winden. Wat nu fascinerend is, is dat het golfpatroon in het vloeibare kristal in staat is kracht uit te oefenen op voorwerpen die in het oppervlak zijn aangebracht. Dus voorwerpen die vele malen groter zijn dan de moleculaire motoren, de primaire oorzaak van de rotatie. Doordat de moleculen draaien, roteert uiteindelijk ook een macroscopisch voorwerp, zoals een glasstaafje. De motoren brengen het grote object dus indirect in beweging.

De vloeibare kristallen zijn een specialisme van prof. dr. Dick Broer, dr.ir. Kees Bastiaansen en PhD-studente Blanca Serrano Ramon van de groep Polymeertechnologie van de faculteit Scheikundige Technologie. Broer is daarnaast werkzaam bij Philips Research, dat deze ontwikkelingen met grote belangstelling volgt. Hij vertelt: 'De Groningse groep van Ben Feringa is al jaren bezig met het maken van motoren op moleculaire schaal. Toen ze daar voor het eerst de zelforganisatie in vloeibare kristallen waarnamen, hebben ze ons benaderd. Onze groep heeft de experts op het gebied van vloeibare kristalmaterialen.'

Spiegelvorm

In dit proces is de vorm van het motormolecuul zeer belangrijk. Daarop is de hele werking als motor gebaseerd. Als de flap van rechts naar links is geklapt, en zo het molecuul verandert in zijn spiegelvorm, wil het eigenlijk onder invloed van de temperatuur terug naar de beginpositie. Dit gaat echter nauwelijks, doordat een ander deel



Op deze beelden is te zien dat een glasstaafje door de moleculaire motoren aan het draaien wordt gebracht.

FOTO: RENK EELKEMA



FOTO: BART VAN OVERBEKE

De Eindhovense onderzoekers Blanca Serrano Ramon, Kees Bastiaansen (midden) en Dick Broer.

van het molecuul fysiek in de weg zit. Daarop is het molecuul ontworpen. De flap moet nu wel naar beneden en de cyclus voltooiën. Universitair hoofddocent dr.ir. Kees Bastiaansen: 'De Groningers hebben zo wel tientallen verschillende soorten motormoleculen onderzocht. Daarbij was de eis aan de structuur dat de flap niet eenvoudig terug kon klappen en dat het molecuul zonder problemen weer terug veranderd kon worden.'

De moleculaire motoren vallen binnen een klasse van materialen die al bij toevoeging van een paar procent de vloeibare kristallen in een helixstructuur ordenen. 'Ze hebben helical twisting power', legt Broer uit. 'Hierbij moet je je geen lange ononderbroken helix voorstellen zoals bij dna het geval is. Elk molecuul is iets gedraaid ten opzichte van het vorige, zodat op grotere schaal een helix ontstaat.' Broer vergelijkt de structuur met een liggende wenteltrap; de as van de helix ligt evenwijdig aan het oppervlak. De staart van het molecuul veroorzaakt een lagere oppervlaktespanning. Hierdoor krijgt de doorsnede van het vloeistofoppervlak een sinusvorm: toppen en dalen.

Marangoni-effect

Broer: 'De dalen van de sinus -de gebiedjes met lagere oppervlaktespanning- willen zich uitbreiden. Dat is het belangrijke Marangoni-effect: de natuur streeft altijd naar zo laag mogelijke energie. Deze gebiedjes worden dus ook groter. Let wel dat we het hierbij steeds over gemiddelden hebben van grote aantallen moleculen. Ook in de gebieden met lage oppervlaktespanning zijn niet alle moleculen hetzelfde gericht, maar wel de meeste.' Het Marangoni-effect was de belangrijkste bijdrage van de TU/e-chemici. Dat was indirect verantwoordelijk voor het

in beweging zetten van het grotere object. De vloeibare kristallen zorgen voor een uitvergroting van het effect van de moleculaire motoren.

Met de vinding van de moleculaire motoren is voor het eerst arbeid op moleculaire schaal omgezet in bruikbare arbeid op macroschaal. Toepassingen kan je echter pas op langere termijn verwachten, zo vertelt Broer. 'Je zou de motortjes kunnen integreren in vloeistoftoepassingen op microschaal of er biosensoren mee kunnen maken. De nanomotortjes kunnen in de verre toekomst wellicht een nanopomp aandrijven voor het toedienen van medicijnen of andere medische toepassingen. De arbeid is natuurlijk als eerste toepasbaar te maken in zeer kleine devices.' Eenmaal in het lichaam is het aansturen met behulp van uv-licht niet altijd een optie. 'We hebben daarom ook motortjes ontwikkeld die hun energie halen uit chemische reacties', aldus de Groningse promovendus drs. Rienk Eelkema. 'Dat heeft wel als nadeel dat er afvalstoffen worden gevormd, die het systeem negatief zouden kunnen beïnvloeden.' Slijtage hebben de nanomotoren nog niet vertoond. Eelkema: 'Een normale motor vertoont pas slijtage bij tienduizenden omwentelingen en zover zijn we nog niet gegaan. Het uv-licht zou de moleculen kunnen beschadigen, maar dat hebben we gelukkig ook nog niet waargenomen.'

Met de reuzenstap die nu is gezet, is het onderzoek nog lang niet beëindigd. Er zijn nog vragen en uitdagingen genoeg. Promovenda Blanca Serrano Ramon richt zich puur op de zelforganisatie van de vloeibare kristallen en het toepassen ervan voor het maken van structuren in de informatie- en communicatietechnologie. Zij probeert de afstand tussen de geultjes te verkleinen tot bijna moleculaire afmetingen om daarna het materiaal te bevriezen. Broer: 'Verder vragen we ons af hoe snel we een relatief groot object met het principe van de moleculaire propeller kunnen laten draaien. Maar ook hoe groot we het hoogteverschil ten gevolge van de helix-ordening kunnen maken. Nu zitten we rond de dertig nanometer. En zouden we ooit de vloeistof kunnen verlaten om dezelfde trucs uit te halen met een vaste stof, een polymeer? Ik ben benieuwd.'