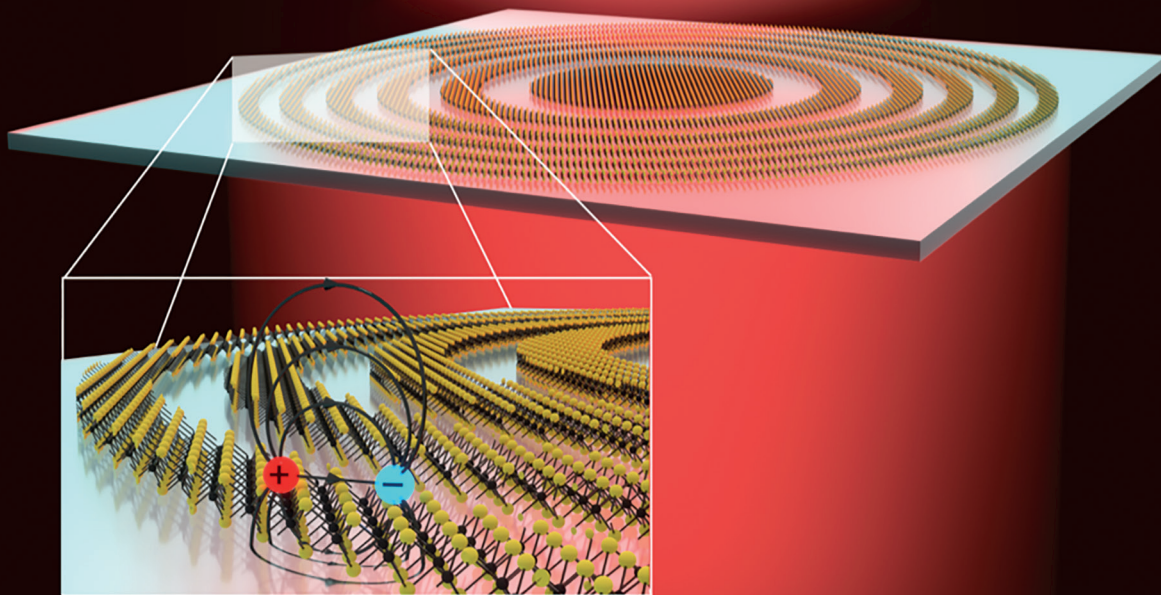


Lens van drie atomen dik focust licht met excitonen



De dunste lens op aarde, gemaakt van concentrische ringen van wolframdisulfide (WS_2), gebruikt excitonen om licht efficiënt te concentreren in een brandpunt. De lens heeft de dikte van een enkele laag van WS_2 , slechts drie atomen. Linksonder staat een exciton uitgebeeld: een aangeslagen elektron gebonden aan een positief geladen 'gat' in het atoomrooster. Afbeelding door Ludovica Guarneri en Thomas Bauer.

Lenzen bestaan meestal uit gebogen glas of kunststof dat licht concentreert door zijn kromming. Die krijg je niet veel dunner dan een paar millimeter. Platter zijn metaoppervlakken van enkele tientallen nanometers, waarbij slim ontworpen nanostructuren licht manipuleren. Onderzoekers van de Universiteit van Amsterdam en Stanford University gingen een stapje verder. Ze hebben een lens gemaakt van 0,6 nanometer: de dunste ooit. Deze onderzoeksgroep liet in 2020 in *Nature Photonics* [1] voor het eerst zien dat je met een materiaal van drie atomen dik licht kunt focuseren door gebruik te maken van zogeheten excitonen. Nu hebben de onderzoekers in een vervolgonderzoek de rol van excitonen beter bestudeerd. Hun resultaten verschenen dit voorjaar in *Nano Letters* [2]. Ultradunne lenzen maken extreem compacte optische instrumenten mogelijk en kunnen toepassingen hebben in de fotonica. Deze lenzen zullen niet gebruikt worden voor contactlenzen of brillen, omdat zij slechts werken voor een klein golflengtegebied; de rest van het licht beweegt er ongehinderd doorheen. “Dat klinkt nutteloos, maar er zijn toepassingen waarbij je een specifiek deel van het licht wilt focuseren en sturen”, zegt een van de betrokken onderzoekers, Jorik van de Groep, universitair docent materiaalfysica aan de Universiteit van Amsterdam. “In de toekomst zou dit bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden voor augmented reality-brillen, waarbij je een beetje licht wilt aftappen om informatie in te winnen over de omgeving, zonder dat je het zicht verstoort.” De ultradunne lens concentreert het licht anders dan conventionele lenzen. De lens, van een halve millimeter breed, bestaat uit concentrische ringen van afwisselend wel en geen laagje tweedimensionaal wolframdisulfide op een doorzichtige

ondergrond. Als hier licht doorheen schijnt, treedt er diffractie op. Door de ringen op de juiste afstand van elkaar te plaatsen zorgt die diffractie ervoor dat een deel van het licht – rood, bij wolframdisulfide – gefocust wordt in een brandpunt. “Dit ontwerp is niet nieuw”, vertelt Van de Groep. “Dergelijke ‘Fresnel zone-plate-lenzen’ worden al langer gebruikt voor röntgenstraling.” Wat wel nieuw is, is dat de lens voor het overige licht transparant is en dat excitonen de lensefficiëntie opkrikken. Excitonen zijn gebonden toestanden van een elektron en een (elektron)gat die ontstaan doordat het wolframdisulfide laagje fotonen van een specifieke golflengte absorbeert. Meestal is de bindingsenergie klein en vallen excitonen snel uit elkaar, maar omdat dit materiaal ultradun is, zitten ze opgesloten. Daardoor blijven het elektron en het gat dicht bij elkaar en is de bindingsenergie sterker. Vervolgens kunnen ze weer smelten waardoor het exciton verdwijnt en er een foton vrijkomt met dezelfde golflengte als het foton dat het exciton creëerde. Doordat de absorptie en emissie resonant is, blijft er een fase-relatie bestaan tussen het inkomende en het opnieuw uitgezonden licht. Het nanopatroon van concentrische ringen zorgt dat dit uitgezonden licht (dat dus ook coherent is) gefocuseerd wordt in een brandpunt. “De excitonen zorgen hierbij voor een bijzonder sterke interactie met het licht van de specifieke golflengten, waardoor de lensefficiëntie toeneemt”, vertelt Van de Groep. De onderzoekers hebben aangetoond dat deze efficiëntie verder toeneemt als je de lens afkoelt; de excitonen doen dan beter hun werk. Verder lieten ze in 2020 zien dat je de brekingsindex – en daarmee de lensefficiëntie – kunt aanpassen met een elektrische spanning. Die spanning veroorzaakt een toename

van elektronen wat het excitonproces onderdrukt. “Het is vrij uniek dat je de brekingsindex kunt sturen”, zegt Van de Groep. “We kijken nu naar optische coatings waarbij je met een elektrische spanning licht naar links of rechts kunt sturen.” “Een lens van minder dan een nanometer dun was in 2020 compleet nieuw, net als dit gebruik van excitonen”, zegt Klaas-Jan Tielrooij, universitair hoofddocent toegepaste natuurkunde aan de TU Eindhoven en niet betrokken bij het onderzoek. “Daarnaast is het interessant dat je de eigenschappen van de lens – die normaal gesproken vastliggen – kunt aanpassen met elektrische spanning of temperatuur.” Volgens Tielrooij opent deze techniek een nieuw onderzoeksveld van nog compactere en extreem dunne optische instrumenten. “Dat zal zeker gaan leiden tot toepassingen.” Maar voordat die toepassingen mogelijk zijn, moet de efficiëntie omhoog en moet er een schaalbare productietechniek komen, zegt Tielrooij. “We werken aan het verhogen van de efficiëntie door het materiaal tussen twee andere tweedimensionale materialen te sandwichen”, zegt Van de Groep. Verder beaamt hij dat de productie nu niet-schaalbaar handwerk is. Maar hij is hoopvol. “Er is een schaalbaar proces voor het groeien van tweedimensionale materialen, genaamd *chemical vapor deposition* (CVD). De kwaliteit van CVD-wolframdisulfide is nog niet goed genoeg voor de lenstoepassing, maar daaraan wordt gewerkt. We hebben wat geduld nodig, maar ik denk zeker dat het opschalen gaat lukken.”

REFERENTIES

- 1 Jorik van de Groep et al., *Exciton resonance tuning of an atomically thin lens*, *Nature Photonics*, 27 april (2020).
- 2 Ludovica Guarneri et al., *Temperature-Dependent Excitonic Light Manipulation with Atomically Thin Optical Elements*, *Nano Letters* 5 april (2024).