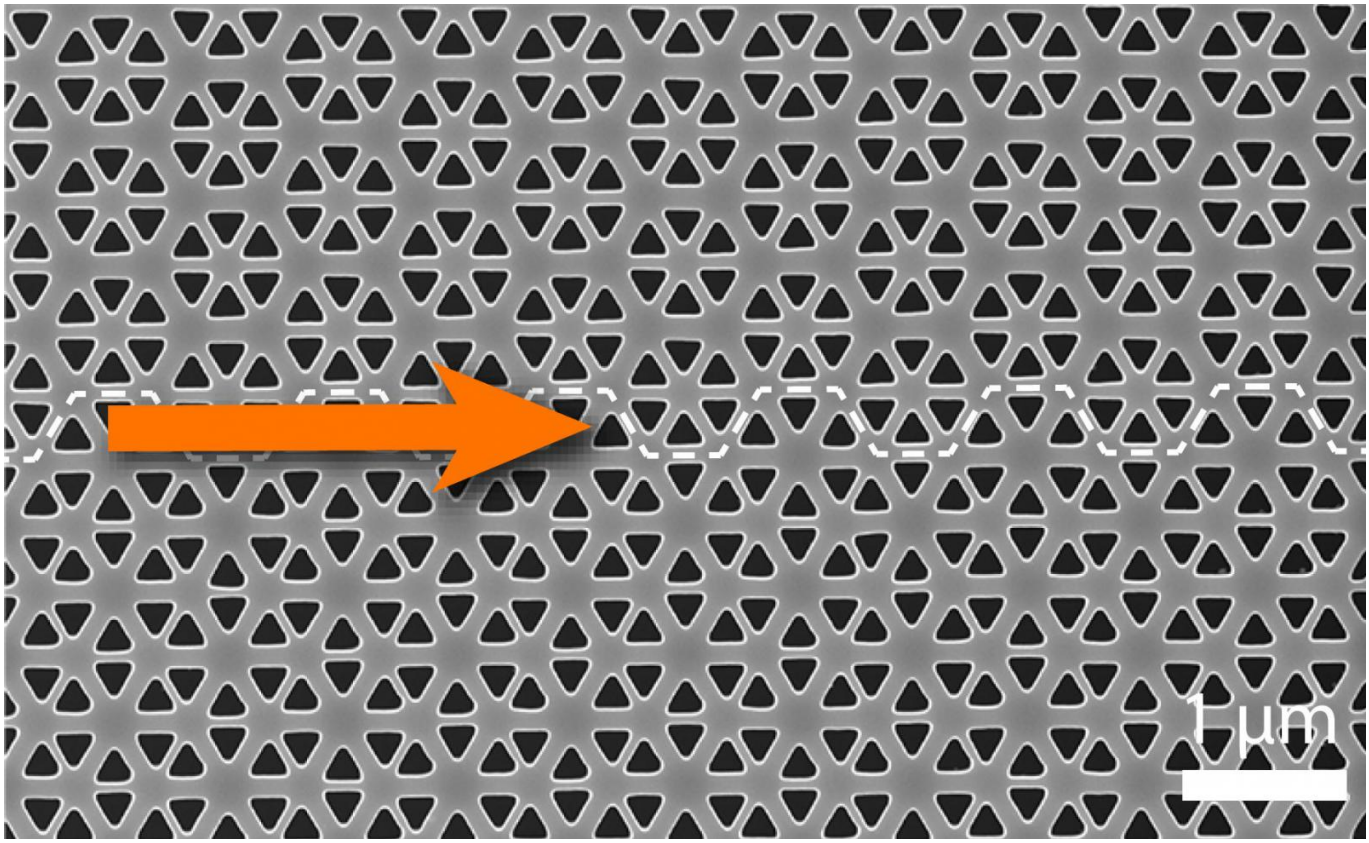
Licht gaat ongehinderd de hoek om

Onderzoekers van AMOLF en TU Delft hebben licht zien voortbewegen in een bijzonder materiaal, waarin het geen last heeft van weerkaatsingen. Het materiaal, een fotonisch kristal, bestaat uit twee delen met ieder een net iets verschillend patroon van gaatjes. Het licht kan zich alleen langs het grensvlak van die delen voortplanten. Dat doet het op een bijzondere manier: het is 'topologisch beschermd', en kaatst daarom niet terug bij imperfecties en zelfs niet als het licht scherpe hoeken om gaat.

Bron: persbericht AMOLF / TU Delft.



Afbeelding 1. Een topologische isolator.Elektronenmicroscopie-afbeelding van topologische fotonische

kristallen in een geperforeerde plak silicium. Boven en onder zijn de kristalstructuren net verschillend; langs het grensvlak van de twee (stippellijn) kan licht geleid worden. De verschillende wiskundige beschrijving ('topologie') van de lichtvelden in de twee kristallen dicteert dat hun grensvlak licht *moet* geleiden: die geleiding is daarmee 'topologisch beschermd'.

Het onderzoek is op 6 maart verschenen in het wetenschappelijk tijdschrift Science Advances. "We hebben voor het eerst dit soort vreemde lichtgolven zien lopen op de relevante schaal van de nanofotonica," aldus AMOLF-groepsleider Ewold Verhagen.

Topologische isolatoren: bijzondere elektronica

Het onderzoek van Verhagen en zijn collega Kobus Kuipers van de TU Delft is geïnspireerd op een nieuw soort materialen in de elektronica, zogenoemde topologische isolatoren. Waar de meeste materialen in hun geheel geleidend zijn voor elektronen, of juist helemaal niet (dan zijn het isolatoren), vertonen topologische isolatoren heel bijzonder gedrag. "Het binnenste van een topologische isolator is niet geleidend, maar langs de rand kunnen elektronen vrijelijk stromen", vertelt Verhagen. "Die geleiding is bovendien 'topologisch beschermd': de elektronen hebben geen last van wanorde of imperfecties waardoor ze normaal gesproken gereflecteerd zouden worden. De geleiding is dus heel robuust."

Vertaling naar fotonica

Het afgelopen decennium hebben wetenschappers geprobeerd om hetzelfde gedrag ook voor lichtgeleiding te vinden. "Het liefst wilden we topologische lichtgeleiding realiseren op de nanoschaal, zodat het mogelijk wordt deze bijzondere isolatoren te implementeren op een optische chip", aldus Verhagen.

De onderzoekers gebruikten daarvoor tweedimensionale fotonische kristallen met twee net iets verschillende gaatjespatronen. De 'rand' waarlangs lichtgeleiding mogelijk is, is het grensvlak tussen die twee patronen. "Dat komt doordat de wiskundige beschrijving van licht in een fotonisch kristal een bepaalde vorm heeft, die we topologie noemen", zegt Kuipers. "De topologie van de gaatjespatronen is verschillend en juist dat geeft een geleiding van licht over het grensvlak, die overeenkomt met de geleiding van elektronen in topologische isolatoren. Omdat de topologie van de beide gaatjespatronen vastligt, kan de lichtgeleiding niet opgeheven worden, en is dus 'topologisch beschermd'."

Topologie in beeld

De onderzoekers hebben de loop van het licht kunnen afbeelden met een microscoop en zagen dat het werkt zoals voorspeld. Ze zagen bovendien de topologie, ofwel de wiskundige beschrijving, terug in het geobserveerde licht. Kuipers: “Voor deze lichtgolven draait de polarisatie van het licht in een bepaalde richting, analoog aan de spin (draaiing) van elektronen in topologische isolatoren. De draairichting van het licht bepaalt de richting waarin het licht wordt geleid. Omdat polarisatie niet zomaar kan veranderen, gaat de lichtgolf zelfs scherpe hoeken om zonder dat het terugkaatst of verstrooid wordt, zoals in een normale golfgeleider wel zou gebeuren.”

Technologisch relevant

Het is voor het eerst dat de topologische bescherming van lichtgeleiding is gezien op de technologisch relevante schaal van nanofotonische chips. De onderzoekers gebruikten een silicium chip en licht met dezelfde golflengte als in telecommunicatie wordt gebruikt. Dat maakt het veelbelovend voor een toepassing, denkt Verhagen: “We gaan nu onderzoeken of er praktische of fundamentele grenzen zijn aan de topologische bescherming en welke functies op een optische chip we ermee zouden kunnen verbeteren. Daarbij denken we in eerste instantie aan het betrouwbaarder maken van geïntegreerde lichtbronnen op een fotonische chip, van belang voor energiezuinige dataverwerking waar in het kader van ‘groene ICT’ grote behoefte aan is in de toekomst. Maar ook voor het efficiënt rondsturen van pakketjes quantum-informatie kan topologisch beschermd licht van nut zijn.”

Het wetenschappelijke artikel is te vinden in het tijdschrift Science Advances: N. Parappurath, F. Alpeggiani, L. Kuipers, and E. Verhagen, “Direct observation of topological edge states in silicon photonic crystals: Spin, dispersion, and chiral routing”.