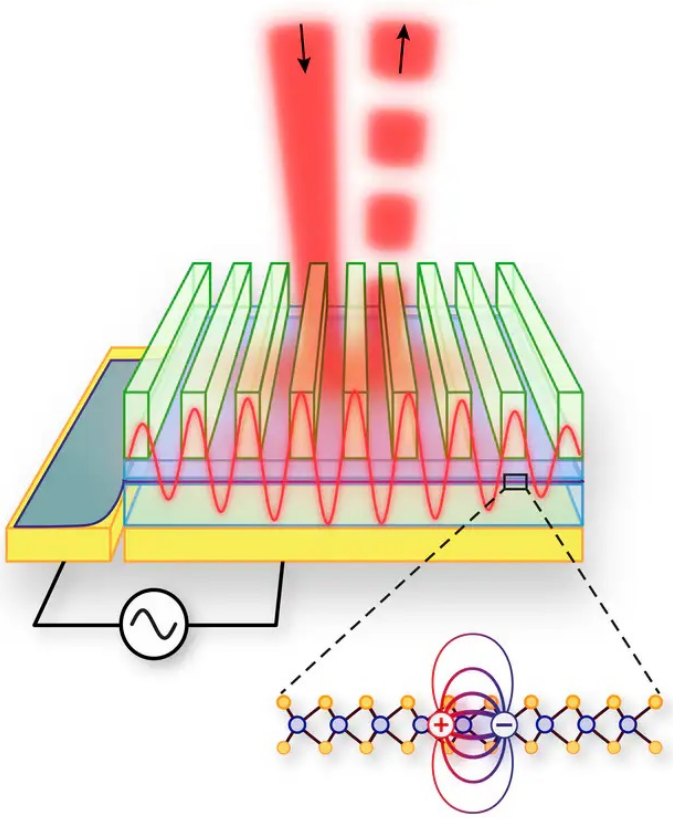
Spiegeltje, spiegeltje, aan en uit

Het kunnen beheersen van licht is een belangrijke technologische uitdaging – niet alleen op de grote schaal van optica in microscopen en telescopen, maar ook op de nanometerschaal. Deze week publiceerden natuurkundigen van de Universiteit van Amsterdam een slimme quantumtruc waarmee ze een nanospiegel kunnen maken die naar believen kan worden aan- en uitgezet.



Een lichtschakelaar op de nanoschaal Atomair dun WS_2 is verwerkt in een optisch meta-oppervlak. De elektrische regelbaarheid van excitonen in de WS_2-laag wordt benut om een sterke modulatie van een gereflecteerde bundel rood licht te bereiken.

Een lichtschakelaar op de nanoschaal

In moderne laboratoriumexperimenten kan licht op opmerkelijke manieren op kleine schaal worden beheerst. Om dit te bereiken, gebruiken natuurkundigen ultradunne optische coatings: zogeheten *meta-oppervlakken*. Deze structuren zijn doorgaans slechts enkele tientallen tot honderden nanometers dik – ongeveer duizend keer dunner dan een mensenhaar. Ondanks hun kleine formaat kunnen deze slim ontworpen nanostructuren licht buigen, focussen of op andere, ongekende manieren manipuleren.

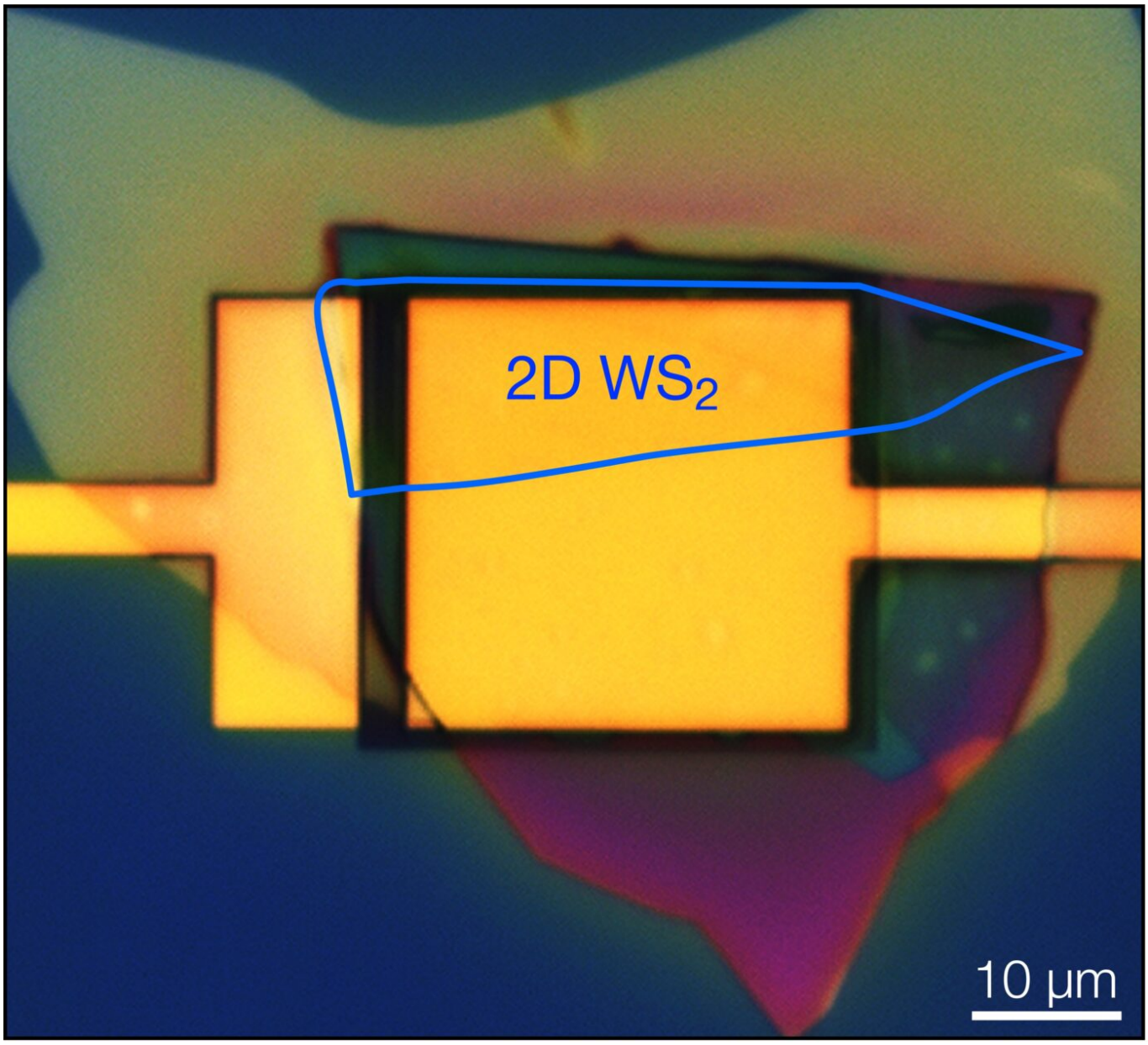
Deze recente ontwikkelingen maken optica op de nanoschaal haalbaar, maar de mogelijkheden zijn nog enigszins beperkt. Het grootste probleem is dat de meeste meta-oppervlakken “statisch” zijn: als ze eenmaal zijn gemaakt, kan hun gedrag niet meer worden veranderd. Voor toekomstige technologieën hebben wetenschappers méér nodig: ze willen optische componenten hebben die actief kunnen worden afgesteld – harder of zachter, aan of uit – om met licht te kunnen bewerkstelligen wat we nu alleen in elektronische schakelingen kunnen.

In een artikel over nieuw onderzoek, deze week gepubliceerd in het tijdschrift *Light: Science & Applications*, beschrijven natuurkundigen Tom Hoekstra en Jorik van de Groep van het UvA-Institute of Physics een belangrijke doorbraak. Dankzij een nieuwe aanpak slaagden ze erin een actief instelbaar meta-oppervlak te realiseren. Aan de basis ligt is een nieuw quantummateriaal: een enkele, “tweedimensionale” laag van wolfraamdisulfide, kortweg WS_2. De unieke eigenschappen van dit tweedimensionale materiaal stelden de onderzoekers in staat een nanospiegel voor rood licht te bouwen die naar wens kan worden aan- en uitgezet – in feite: een lichtschakelaar op de nanoschaal.

Excitonen

In vaktermen staat het apparaat dat Hoekstra en Van de Groep wisten te construeren bekend als een optische modulator. Dat tweedimensionale materialen gebruikt zouden kunnen worden voor dergelijke optische modulatie werd al kort na de ontdekking van deze materialen in 2004 gesuggereerd, maar het bleek extreem moeilijk om het effect bij kamertemperatuur te laten werken. De belangrijkste doorbraak die de onderzoekers tot hun succes leidde, was de constructie van een meta-oppervlak dat licht in zichzelf opsluit – precies daar waar de tweedimensionale WS_2-laag zich bevindt. Hierdoor wordt de interactie

tussen licht en materie ongewoon sterk. Zo sterk, zelfs, dat quantumeffecten binnen de WS_2-laag bij kamertemperatuur blijven bestaan, waardoor het apparaat met recordefficiëntie presteert.



Het piepkleine apparaatje dat werkt als een spiegel die kan worden aan- en uitgeschakeld.

Dat werkt als volgt. Wanneer wolfraamdisulfide licht absorbeert, wordt een elektron aangeslagen en naar een hoger energieniveau getild. Door de opsluiting in de atomair dunne laag blijven het negatief geladen elektron en het positief geladen “gat” dat het elektron achterlaat door elektrostatische aantrekkingskracht aan elkaar gebonden, waardoor een zogeheten *exciton* ontstaat.

Dit quantummechanische verschijnsel vormt de kern van de regelbaarheid van het apparaat. Dankzij de excitonen reflecteert het in de “aan”-stand licht met specifieke golflengten in het rode deel van het zichtbare spectrum, en vormt het dus een nanospiegel. Omdat excitonen erg gevoelig zijn voor de ladingsdichtheid in het materiaal, kunnen ze effectief worden onderdrukt door daar spanning op te zetten. Hierdoor wordt in de “uit”-stand al het rode licht geabsorbeerd en wordt niets ervan meer gereflecteerd.

Een nieuw tijdperk voor de fotonica

Het werk van Hoekstra en Van de Groep laat zien dat excitonen in tweedimensionale materialen kunnen worden gebruikt om compacte, actieve optische componenten te maken met allerlei toepassingen. Hun aanpak biedt veelbelovende mogelijkheden voor toepassingen waar licht snel en nauwkeurig moet worden gestuurd. Denk bijvoorbeeld aan optische communicatieverbindingen – waarbij lichtbundels draadloos data door de lucht verzenden – of aan optische computers – waarbij lichtdeeltjes, fotonen, in plaats van de traditionele elektronen, informatie overbrengen met hoge snelheid en laag energieverbruik. Met al deze potentiële toepassingen zouden excitonen heel goed een nieuw tijdperk voor de fotonica kunnen inluiden.

Publicatie

Electrically tunable strong coupling in a hybrid-2D excitonic metasurface for optical modulation, Tom Hoekstra en Jorik van de Groep, Light: Science & Applications **15** (2026) 28.