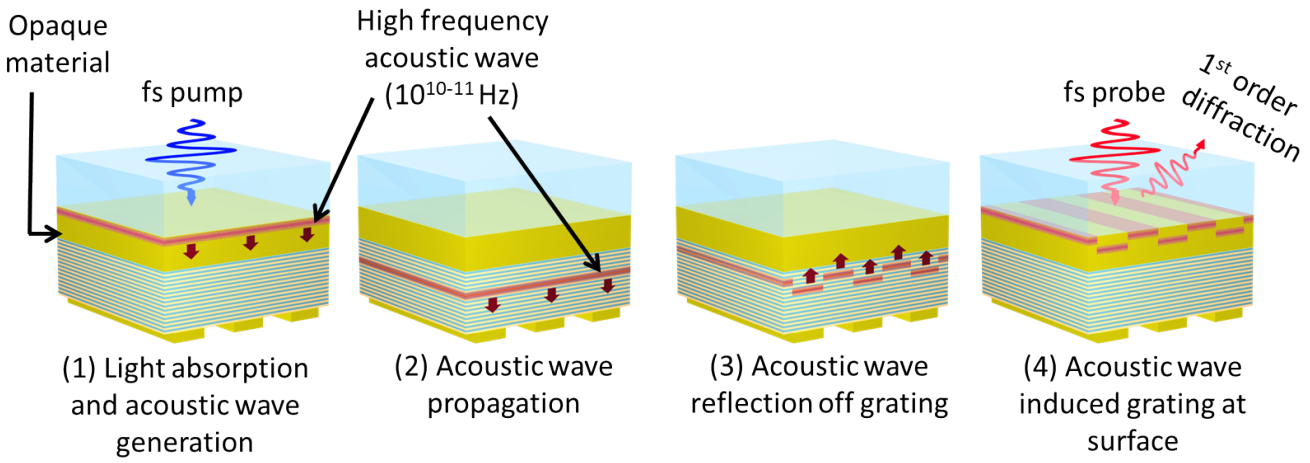
Nanostructuren: niet zichtbaar, wel hoorbaar

Onderzoekers van het Advanced Research Center for Nanolithography hebben een manier gevonden om nanostructuren te detecteren die verborgen liggen onder vele lagen ondoorzichtig materiaal. Zij gebruiken hiervoor extreem hoogfrequente geluidsgolven opgewekt door licht. Hun methode is interessant voor de productie van halfgeleiders, bijvoorbeeld bij het uitlijnen van zogeheten wafers. De onderzoekers kwamen ook nieuwe, interessante verschijnselen op het gebied van fotoakoestiek op het spoor.

Bron: persbericht ARCNL



Afbeelding 1. Nanostructuren zichtbaar maken. Een femtoseconde-laserpuls ‘klopt’ op het ondoorzichtige materiaal (1), waardoor er een hoogfrequente akoestische golf voortbeweegt door de lagen (2) totdat het de verborgen tralielijnen bereikt. De akoestische golven reflecteren bij het tralie en gaan retour (3) als een tralie-vormige golf . Als deze golf het oppervlak bereikt (4), deformeert dat enigszins, wat gedetecteerd worden aan de hand van het diffractiesignaal een tweede laserpuls die het oppervlak scant. Afbeelding: Edward et al., ARCNL.

Voor de productie van geavanceerde computerchips en onderdelen print een nanolithografiemachine meerdere lagen met uiterst kleine structuren op een dun plakje silicium, een *wafer*. Om te zorgen dat deze lagen accuraat op elkaar aansluiten zijn er op de wafer lijnen aangebracht die de machine vertellen waar te printen. “Terwijl markeerlijnen onmisbaar zijn bij nanolithografie, liggen ze begraven onder vele lagen materiaal dat ook nog vaak ondoorzichtig is. Dit maakt het lastig om met licht de lijnen te lokaliseren en de machine uit te lijnen.”, zegt Stephen Edward die zijn promotieonderzoek deed in de groep Light-Matter Interaction van ARCNL.

‘Kijken’ met licht

Veel materialen die ondoorzichtig zijn voor licht laten wel geluidsgolven door, die ook gebruikt kunnen worden om onderliggende structuren zichtbaar te maken. Groepsleider Paul Planken: “De meeste mensen kennen dit van de medische wereld. Een echoscopieapparaat stuurt geluidsgolven met een hoge frequentie het lichaam in en die weerkaatsen aan het grensvlak van verschillende weefsels. Er ontstaat een beeld door omzetting van de geluidsgolven in een elektrisch signaal. Voor de meeste medische toepassingen zijn deze afbeeldingen gedetailleerd genoeg, maar bij het uitlijnen in de nanolithografie voldoet echoscopie bij lange na niet. De afmetingen van de contouren die zichtbaar worden met echoscopie zijn omgekeerd evenredig met de frequentie. Dus, om structuren op de nanoschaal zichtbaar te maken met geluid moeten we geluidsgolven gebruiken met een veel hogere frequentie.”

‘Kloppen’ met licht

Planken, Edward en de co-auteurs wisten dat met een laser gegenereerde korte lichtpulsen dergelijke hoogfrequente geluidsgolven kunnen opwekken in een ondoorzichtig materiaal. “Het is een beetje zoals het kloppen op een deur waarbij de geluidsgolven zich voortbewegen naar de andere kant van de deur”, zegt Edward. “Bij ons experiment ging het om een ‘bons’ van de laser die een geluidsgolf veroorzaakt in het ondoorzichtige materiaal.”

Net als in medische toepassingen, reflecteren de geluidsgolven bij de grensvlakken in het materiaal waardoor er een golf ontstaat die teruggaat naar het oppervlak. In het begin hadden de onderzoekers hun twijfels; zou er wel voldoende bruikbare informatie zitten in dit signaal? Planken: “Ik was sceptisch want de geluidsgolven moeten door vele lagen dilectrisch

materiaal heen voordat ze het diepgelegen tralie bereiken. Als ze dan reflecteren bij alle grensvlakken, dan zitten we opgescheept met een warboel aan geluidsgolven. Maar het bleek dat de stapel dunne lagen dilectrisch materiaal zich gedraagt als één dikke laag. Dit komt doordat elke afzonderlijke laag dunner is dan de golflengte van de geluidsgolven. Hierdoor bereikt het geluid rechtstreeks de diepgelegen lijnen van het tralie."

'Luisteren' met licht

Het geluid wordt door het tralie wel gereflecteerd. Doordat het oppervlak niet vlak is maar bestaat uit periodieke dalen en pieken, komt het geluid uit een dal net iets later aan het oppervlak dan het geluid uit een piek. "Wanneer de geluidsgolf het oppervlak bereikt, ontstaat er een minieme verplaatsing van de atomen; een kopie van het tralie verschijnt aan het oppervlak", vertelt Edward. "Als we het oppervlak scannen met een tweede laserpuls, dan kunnen we het diffractiesignaal meten dat is ontstaan door de kleine atoomverplaatsingen."

Nu de onderzoekers hebben laten zien dat het mogelijk is om verborgen nanostructuren in ondoorzichtig materiaal te detecteren, willen ze hun methode verder ontwikkelen. Planken: "Onze resultaten laten niet alleen interessante en nieuwe aspecten op het gebied van fotoakoustiek zien, maar bieden ook veelbelovende oplossingen voor praktische uitdagingen in de nanolithografie. Voor industriële toepassingen moeten we het systeem optimaliseren zodat we signalen krijgen die sterker, sneller en robuuster zijn. Maar we willen ook de effecten van het signaal beter begrijpen en de grenzen van onze aanpak bepalen. Zo willen we kijken of we ook markeerlijnen kunnen waarnemen die heel dicht tegen elkaar aan liggen."

Publicatie

Stephen Edward, de eerste auteur van het artikel, verdedigde op 18 juni zijn proefschrift over dit onderwerp online aan de Universiteit van Amsterdam. Het artikel over het onderzoek werd op 7 juli in Physical Review Applied gepubliceerd:

Detection of hidden gratings through multilayer nanostructures using light and sound, S. Edward, H. Zhang, I. Setija, V. Verrina, A. Antoncecchi, S. Witte, P.C.M. Planken, Phys. Rev. Appl. **14**, 014015 (2020).

Afbeelding voorpagina: ARCNL.