



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Scattering and absorption in 2D optics

Mariani, F.

Citation

Mariani, F. (2018, March 6). *Scattering and absorption in 2D optics. Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/61040>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/61040>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/61040> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Mariani, F.

Title: Scattering and absorption in 2D optics

Issue Date: 2018-03-06

Samenvatting

Dit proefschrift beschrijft onderzoek naar de verstrooiing van licht aan verschillende materialen met structuren op de nanometer schaal. Verstrooiing ontstaat als licht een discontinuïteit ontmoet in de omgeving waarin het zich voortplant. Een van de belangrijkste effecten van verstrooiing is een verandering in de voortplantingsrichting van het licht. Het meten aan verstrooid licht geeft informatie over het voorwerp dat het licht verstrooit, net zoals we de wereld om ons heen reconstrueren door middel van ons gezichtsvermogen, door het waarnemen van het licht dat door de oppervlakken van materialen wordt verstrooid.

De studie van verstrooiing is vooral interessant wanneer dit voorkomt bij structuren met een grootte in de orde van de golflengte van het licht, of kleiner. Het is belangrijk om te begrijpen hoe licht zich op deze kleine schaal in zulke structuren voortplant, omdat de verkregen kennis toegepast kan worden in een groot aantal gebieden, waaronder optische communicatie, materiaaldiagnostiek en energieconversie. In de vier centrale hoofdstukken van dit proefschrift beschouwen we: (i) verstrooiing van licht dat gevangen zit op een tweedimensionale structuur en dat verstrooit aan nanometer-grote gaten in deze structuur, en (ii) meervoudige verstrooiing in materialen met twee- en drie-dimensionale wanorde.

In de hoofdstukken 2 en 3 bestuderen we de voortplanting van licht in twee verschillende tweedimensionale systemen. De eerste manier om licht in twee dimensies te vangen maakt gebruik van een dun membraan van een diëlektrisch materiaal met een brekingsindex die hoger is dan die van de omgeving. In dat geval plant het elektromagnetische veld zich voort in de vorm van geleide modi: licht is in het membraan gevangen en het kan enkel ontsnappen als er een verstoring aanwezig is, in het membraan of daar zeer dichtbij. De tweede manier van 2D-opsluiting van licht is in de vorm oppervlakteplasmonen: oscillaties van het elektromagnetisch veld en lading dicht bij een grensvlak tussen een metaal en een diëlektrisch materiaal.

In hoofdstuk 2 bestuderen we de verstrooiing door een cilindrisch gat, van licht dat zich voortplant in een tweedimensionale diëlektrische golfgeleider. We gebruiken een “Finite Difference Time Domain” numerieke simulatie, en

bepalen afzonderlijk het verstrooiingsproces in het vlak van de golfgeleider en de fractie van de intensiteit die door het gat uit het membraan ontsnapt. We nemen waar dat verstrooiing binnen het vlak groter is dan de verliezen uit het vlak. Het verstrooiingsproces vertoont kwantitatieve verschillen met de analytische theorie voor een oneindige luchtcilinder (Mie-verstrooiing). De gesimuleerde verdeling van de verstrooiingshoeken binnen het vlak toont dat een gat in een membraan niet gemodelleerd kan worden als een dipool, zelfs niet in de limiet dat de gaat heel klein is (Rayleigh-benadering).

In hoofdstuk 3 bestuderen we hoe oppervlakteplasmonen op een grenslaag tussen goud en glas, verstrooien aan nanometer-grote gaten in het metaal. We meten de hoekafhankelijke transmissie van rijen nanogaten onder belichting bij loodrechte inval. Door hun ordening in een roosterstructuur gedragen de rijen gaten zich als een diffractierooster. Uit de metingen reconstrueren we het verre-veldprofiel van het licht dat door een enkel gat wordt verspreid, door de diffractieordes in transmissie te meten voor verstrooiingshoeken tot 90 graden en voor roosters met verschillende periodiciteit. Voor s-gepolariseerde belichting vinden we een goede overeenstemming tussen onze resultaten en de bekende hoektransmissie van een enkel gat in een dunne laag metaal. Maar voor p-gepolariseerde belichting vinden we afwijkingen. We onderzoeken dit met Coupled Mode Model-berekeningen en Finite Difference Time Domain simulaties, maar het verschil wordt nog niet volledig verklaard.

In de hoofdstukken 4 en 5 bestuderen we hoe licht zich verspreidt in verschillende soorten wanordelijke verstrooiingsmedia. Deze materialen hebben een complexe structuur die de voortplantingsrichting van het licht totaal verandert na één of meerdere verstrooiingsgebeurtenissen. Voorbeelden van complexe media zijn materialen zoals papier, biologisch weefsel, en verf. Het bestuderen van de eigenschappen van wanordelijke verstrooiingsmedia is interessant voor zowel de collectieve verschijnselen, zoals Anderson-lokalisatie van licht, als voor het ontwikkelen van optische technieken om de eigenschappen van wanordelijke verstrooiingsmedia te bestuderen.

In Hoofdstuk 4 demonstreren we een nieuwe methode voor het meten van verstrooiings- en absorptie-eigenschappen van complexe media. Deze methode maakt gebruik van fase-golffrontvervorming onder coherente belichting. Complexe media reflecteren coherent licht in de vorm van een gespikkeld patroon, dat ontstaat door interferentie van meerdere voortplantingsroutes in het medium. We meten hoe dit spikkelpatroon verandert wanneer we een variabele faseverschuiving aanbrengen tussen twee naburige verlichte gebieden. De po-

sitieafhankelijkheid van deze veranderingen, die het grootst zijn vlakbij de lijn waar de verlichte gebieden elkaar raken, bevat informatie over de verstrooiings- en absorptie-eigenschappen van het medium. Wij vergelijken onze meetresultaten met voorspellingen van een eenvoudig diffusiemodel voor driedimensionale wanordelijke media. Verder vergelijken we ze met metingen met de knife-edge belichtingsmethode en met metingen aan versterkte terugverstrooiing (Enhanced Back-Scattering). Onze fase-stap methode kan gebruikt worden voor alle complexe media waarvoor lichttransport statistisch gemodelleerd kan worden. Mogelijke toepassing van deze nieuwe techniek zijn niet-invasieve studies van biologische preparaten en van andere wanordelijke verstrooiende systemen zoals gestructureerde zonnecellen of LED's.

Tenslotte bestuderen we in hoofdstuk 5 de verstrooiings- en transporteigenschappen van een ruwe dunne silicium zonnecel; een quasi-tweedimensionaal wanordelijk medium met absorptie. We verkrijgen informatie over hoe het licht de zonnecel binnentreedt, hoe het zich voortplant in de cel en hoe het ontsnapt. Daartoe worden verschillende belichtingscondities vergeleken, en worden beide gereflecteerde lineaire polarisaties bekeken. In het bijzonder observeren we de zonnecel onder knife-edge verlichting en bepalen we de extinctiecoëfficiënt door de ruimtelijke verdeling van de terugverstrooide intensiteit te meten. We interpreteren de resultaten met behulp van een golfgeleidermodel voor de toegestane modi in de siliciumlaag. Verder meten we de hoekverdeling van het gereflecteerde licht: we vinden twee bijdragen in het gedepolariseerde signaal, die we toekennen aan verschillende reflectiemechanismen. Een van de componenten vertoont een piek die we toeschrijven aan versterkte terugverstrooiing; wij gebruiken deze om de gemiddelde vrije weglengte te bepalen van licht dat in de dunne zonnecel is ingevangen. Ons onderzoek is een stap in de richting van de demonstratie van het gebruik van golffront vervorming om de absorptie te verbeteren, ook in quasi-tweedimensionale wanordelijke media.

