



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Coupling light to periodic nanostructures

Driessen, E.F.C.

### Citation

Driessen, E. F. C. (2009, September 24). *Coupling light to periodic nanostructures*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/14013>

Version: Not Applicable (or Unknown)  
License: [Leiden University Non-exclusive license](#)  
Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/14013>

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

# Samenvatting

## Het koppelen van licht aan periodieke nanostructuren

In dit proefschrift wordt de interactie van licht met een aantal verschillende periodieke nanostructuren bestudeerd. Deze nanostructuren bestaan uit materiaal dat een patroon heeft op de schaal van, of kleiner dan, de golflengte van het licht. De periodiciteit van het patroon kan zorgen voor een efficiëntere koppeling naar geleide en gebonden modes in de nanostructuur. Verder kunnen de optische eigenschappen van de structuur sterke polarisatieafhankelijkheid hebben, vanwege de anisotropie van de basiselementen. Het proefschrift bestaat uit drie delen, waarin deze effecten worden bestudeerd voor verschillende soorten periodieke nanostructuren.

Het eerste deel (hoofdstukken 2–4) behandelt zogenaamde fotonisch kristalplakken. Deze plakken, die tenminste één golfgeleidermode toestaan, bestaan uit een materiaal met een hoge brekingsindex, dat geperforeerd is met een gatenrooster. Hoofdstuk 2 beschrijft de reflectie van zulke plakken als functie van de golflengte. De spectra bestaan uit een langzaam veranderende achtergrond met daarop een aantal asymmetrische resonanties. De spectrale vorm van de resonanties kan worden verklaard met een Fano model. In dit model zijn er twee bijdragen aan het reflectiespectrum: een directe bijdrage, waarin licht wordt gereflecteerd door Fresnelreflectie van de gelaagde structuur, en een resonante bijdrage, die wordt veroorzaakt door koppeling aan een mode van de golfgeleider. Om de metingen ook kwantitatief te kunnen beschrijven, is het nodig verlies mee te nemen in het model. Dit kan door het toevoegen van een extra verlieskanaal. Het uiteindelijke model heeft drie vrije parameters: de resonantiefrequentie, de levensduur van de golfgeleidermode, en een parameter

die het verlies beschrijft. Om de resonantiefrequenties te kunnen voorspellen, wordt een golfgeleidermodel beschreven dat een effectieve brekingsindex voor de dielectrische plak gebruikt. Numerieke berekeningen laten zien dat resonanties verdwijnen als de brekingsindex van het substraat onder de plak wordt verhoogd. Zodra de brekingsindex van het substraat groter wordt dan de fase-index van de mode van de golfgeleider, is de mode niet meer gebonden aan de dielectrische plak, en verdwijnt de resonantie.

De asymmetrie van de spectrale vorm van de resonantie wordt veroorzaakt door de relatieve fase van de resonante en de directe bijdragen van de reflectie. In hoofdstuk 3 wordt deze fase experimenteel gevarieerd, door de hoek van inval te veranderen. Wanneer de hoek van inval vergroot wordt van  $20^\circ$  tot  $80^\circ$ , over de Brewsterhoek, verandert de spectrale vorm van de resonantie, van asymmetrisch met een staart in het rood, tot symmetrisch, naar asymmetrisch met een staart in het blauw, voor  $p$ -gepolariseerd licht. Met het Fano model van hoofdstuk 2 wordt aangetoond dat deze verandering in asymmetrie veroorzaakt wordt door de tekenwissel van de directe reflectie, die plaatsvindt op de Brewsterhoek.

In hoofdstuk 4 wordt een van de resonanties van een fotonisch kristalplak in meer detail bestudeerd. De fotonisch kristalplak wordt belicht met een sterk gefocusseerde bundel van monochromatisch licht, en de reflectie wordt zowel in plaatsruimte als in impulsruimte bekeken. Een polarisatie-analyse van de afbeelding in de impulsruimte leert dat de resonantie veroorzaakt wordt door koppeling aan de  $TM_0$  golfgeleidermode van de plak. In de afbeeldingen in plaatsruimte zijn de directe en resonante bijdragen aan de reflectie ruimtelijk gescheiden. Door deze scheiding kan de afvallengte van de resonantie bepaald worden. Deze lengte varieert met de golflengte, en bedraagt maximaal  $7 \mu\text{m}$ . Samen met de parameters van de resonantie die bepaald zijn uit het reflectiespectrum bij loodrechte inval, kan hieruit een afschatting gemaakt worden van de groepsbrekingsindex  $n_g = 2.6$  en de fase-index  $n_{\text{eff}} = 1.5$  van de resonante waveguidemode.

Het tweede deel van het proefschrift (hoofdstukken 5–7) bespreekt experimenten met metaalgatenroosters. Deze roosters bestaan uit een optisch dikke goudlaag, geperforeerd met een periodiek gatenrooster. In de transmissiespectra van deze structuren worden resonanties gezien die veroorzaakt worden door koppeling aan oppervlakteplasmonen aan beide zijden van de goudlaag. In hoofdstuk 5 wordt het effect van het plaatsen van diëlektrische pilaren in de gaten besproken. Hoekafhankelijke metingen van het transmissiespectrum worden vergeleken met metingen waarbij de pilaren verwijderd zijn. De pilaren verbeteren de transmissie, en ook de interactie tussen verschillende oppervlak-

teplasmon modes. De verbeterde interactie veroorzaakt een frequentieopsplitsing van 6% voor modes aan de pilaarkant van het gatenrooster.

In hoofdstuk 6 wordt het metaalgatenrooster bedekt met een dunne laag glas. Deze glaslaag vermindert de asymmetrie van de structuur, en zorgt dat de resonanties die veroorzaakt worden door koppeling naar oppervlakteplasmonen aan weerszijden van de structuur ontaard raken, als het glas voldoende dik is. Naast de oppervlakteplasmonresonanties is een aantal scherpe minima waargenomen in de transmissiespectra. Deze minima worden veroorzaakt door koppeling aan modes van de golfgeleider die gevormd wordt door de glaslaag bovenop het gatenrooster. Dit wordt bevestigd door berekeningen van de hoekspreiding van deze golfgeleidermodes.

De overgang van een asymmetrische structuur naar een symmetrische structuur, waar de resonanties ontaard zijn, is het onderwerp van hoofdstuk 7. Deze overgang wordt bestudeerd door het metaalgatenrooster onder te dompelen in vloeistoffen van oplopende brekingsindex. Wanneer het indexcontrast wordt verminderd, wordt een afstoting waargenomen tussen de resonanties aan de glaskant en de vloeistofkant van het metaalgatenrooster. Bovendien wordt de lijnbreedte van een van de resonanties groter ten koste van de andere, zodat er nog maar een resonantie over is als brekingsindex aan beide zijden van het metaal gelijk is. Een theorie van gekoppelde modes met zowel conservatieve (energie-behoudende) als dissiperende koppeling geeft een fenomenologische beschrijving van deze waarnemingen.

Het laatste deel van dit proefschrift beschrijft de absorptie van licht in een supergeleidende enkelfotondetector. Dit type detector bestaat uit een meander van een zeer dun, absorberend materiaal: niobiumnitride. In hoofdstuk 8 wordt de polarisatie-afhankelijkheid van de detectie-efficiëntie van zo'n detector bestudeerd. De structuur van parallelle draden van de detector zorgt voor een sterke polarisatie-afhankelijkheid. Deze is veroorzaakt door een hogere optische absorptie van licht dat parallel aan de draden gepolariseerd is. Een theoretische studie van de absorptie-eigenschappen van de meander, als functie van de laagdikte, laat zien dat de absorptie voor parallel gepolariseerd licht net zo hoog kan zijn als de absorptie van een gesloten laag, zolang het product van vulfractie en laagdikte constant gehouden wordt. Door de detector door het substraat te belichten, kan de berekende absorptie verhoogd worden met een factor gelijk aan de brekingsindex van het substraat.

Het laatste hoofdstuk 9 bespreekt de absorptie van een dunne laag niobiumnitride als functie van de hoek van inval. De gemeten absorptie voor s-gepolariseerd licht nadert 100% als de laag wordt belicht op de kritische hoek voor totale interne reflectie. Daarentegen verdwijnt de absorptie voor

## Samenvatting

*p*-gepolariseerd licht onder deze condities. Dit effect wordt gebruikt voor een ontwerp voor een enkelfotondetector, die een berekende absorptiecoëfficiënt van  $> 90\%$  heeft voor golflengtes van 700 tot 1600 nm, voor *s*-polarisatie.