



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Scattering, loss, and gain of surface plasmons

Beijnum, F. van

### Citation

Beijnum, F. van. (2013, May 15). *Scattering, loss, and gain of surface plasmons*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/20870>

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/1887/20870>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/20870> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Beijnum, Frerik van

**Title:** Scattering, loss, and gain of surface plasmons

**Issue Date:** 2013-05-15

---

## Samenvatting

In dit proefschrift bestuderen we de verstrooiing, demping en versterking van oppervlakteplasmonen. Een oppervlakteplasmon is licht dat gevangen is aan het oppervlak van een metaal. Oppervlakteplasmonen zijn een goed voorbeeld van het gebruik van metalen voor optica op de nanoschaal. De bijzondere brekingsindex van een metaal biedt vele mogelijkheden die momenteel worden verkend, zoals een exotische eigenschap als een negatieve brekingsindex. Het grote nadeel van metalen voor optische toepassingen is dat een metaal geneigd is licht om te zetten in warmte. Hierdoor gaat het licht, en de informatie die het licht bevat, verloren. Hierdoor is de voortplantingslengte van een oppervlakteplasmon vele miljoenen keren kleiner is dan van licht in een glasvezelkabel. In dit proefschrift onderzoeken we of dit verlies van oppervlakteplasmonen tegengegaan kan worden door oppervlakteplasmonen te versterken terwijl ze zich voortplanten.

In onze experimenten bestuderen we oppervlakteplasmonen op dunne maar ondoorzichtige metaallagen, die we hebben doorboord met minuscule gaten. Elk van deze gaten laat een kleine beetje licht door, maar de gaten kunnen ook samenwerken waardoor ze gezamenlijk meer licht door de gaten loodsen dan de som van de individuele bijdragen. Dit verschijnsel heet ‘buitengewone optische transmissie’, en wordt grotendeels verklaard doordat er oppervlakteplasmonen worden gegenereerd bij de gaten. Als deze oppervlakteplasmonen een ander gat tegenkomen krijgt het licht een tweede kans om door de metaallaag heen te gaan, wat de toename in de transmissie verklaart. Met behulp van deze methode bestuderen wij oppervlakteplasmonen en proberen we de verliezen van de oppervlakteplasmonen te begrijpen en te compenseren.

In Hoofdstuk 2 laten we zien dat er niet alleen oppervlakteplasmonen worden aangeslagen bij het belichten van een gat, maar ook een tweede golf, de quasi-cylindrische golf. Het bestaan van deze tweede golf was al aangetoond, maar het was nog niet experimenteel bewezen dat het ook belangrijke consequenties heeft voor buitengewone optische transmissie. In Hoofdstuk 2 laten we zien dat deze tweede golf buitengewone optische transmissie aanzienlijk vergroot als de gaten op zeer kleine afstand staan. Bij grotere afstanden tussen de gaten wordt de buitengewone optische transmissie gedomineerd door oppervlakteplasmonen.

In Hoofdstukken 3 en 4 bestuderen wij buitengewone optische transmissie

wanneer de gaten niet geordend worden geplaatst, zoals gebruikelijk, maar in een willekeurig patroon. We vinden dat orde niet noodzakelijk is voor het verhogen van de transmissie door middel van oppervlakteplasmonen, hoewel orde het effect wel doet toenemen. Verrassend is dat de wanordelijke patronen eenvoudiger te modelleren zijn dan geordende patronen.

In Hoofdstuk 5 bestuderen we een oppervlakteplasmon dat door een gat wordt verstrooid naar licht in de vrij ruimte. Onze analyse laat zien dat de golflengte-afhankelijkheid van dit proces heel goed vergelijkbaar is met een klein deeltje dat licht verstrooit, beter bekend als Rayleigh verstrooiing. De theorie van Rayleigh verstrooiing is oorspronkelijk ontwikkeld om de blauwe kleur van de lucht te verklaren. Ons experiment laat zien dat het mogelijk wordt om de buitengewone optische transmissie te begrijpen in termen van ontwerpgrootheden zoals de gatgrootte en de brekingsindex van het metaal.

In Hoofdstuk 6 bestuderen we de buitengewone optische transmissie in een nieuwe context. We proberen de hoeveelheid licht die door de metaallaag gaat te vergroten door de oppervlakteplasmonen te versterken. Hiervoor plaatsen we een bijzonder materiaal in de buurt van de metaallaag: een zogeheten ‘versterkingsmateriaal’. Dit materiaal kan licht versterken met behulp van energie die door een externe bron wordt aangeleverd, de pomp. We bestuderen vervolgens de buitengewone optische transmissie terwijl we de door de pomp aangeleverde energie vergroten. Door het pompen neemt de buitengewone optische transmissie ruim dertig keer toe. We tonen vervolgens aan dat deze toename komt door de versterking van oppervlakteplasmonen.

In Hoofdstuk 7 laten we tot slot zien dat het versterken van oppervlakteplasmonen een bijzonder effect geeft: in onze experimenten gaan de oppervlakteplasmonen in het rooster als een laser samenwerken. Deze waarneming geeft aan dat de versterkte oppervlakteplasmonen helemaal zonder verlies over het metaaloppervlakte reizen. Behalve verliesloze oppervlakteplasmonen is terugkoppeling ook een noodzakelijk element voor een laser, met andere woorden de oppervlakteplasmonen moeten door spiegels worden weerkaatst. Bij deze laser zijn het de gaten die voor deze terugkoppeling zorgen.

Samenvattend, in dit proefschrift hebben we laten zien dat de absorptieverliezen van oppervlakteplasmonen in een gatenrooster volledig gecompenseerd kunnen worden, wat tot laserwerking leidt. De laser kunnen we grotendeels begrijpen door de opgedane kennis over de verstrooiing van oppervlakteplasmonen aan gaten. In vervolgonderzoek kunnen we bestuderen of deze oppervlakteplasmonlasers nog veel kleiner gemaakt kunnen worden. Daarnaast is het interessant om te analyseren voor welke toepassingen een plasmonisch systeem met verliescompensatie van meerwaarde is.