



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Surface plasmon lasers

Tenner, V.T.

### Citation

Tenner, V. T. (2017, June 22). *Surface plasmon lasers. Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/49932>

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/1887/49932>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/49932> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Tenner, V.T.

**Title:** Surface plasmon lasers

**Issue Date:** 2017-06-22

---



## Samenvatting

Oppervlakteplasmonen zijn elektromagnetische oppervlaktegolven op het grensvlak tussen een isolator en een goed metaal, zoals zilver of goud. Ze bestaan door de interactie tussen licht en de vrije elektronen op het metaaloppervlak. Ze kunnen het optische veld sterk opsluiten waardoor er nieuwe mogelijkheden ontstaan voor verbeterde licht-materiaal wisselwerking. Oppervlakteplasmonen kunnen efficiënt worden omgezet naar fotonen in de vrije ruimte door verstrooiing aan een periodiek rooster met nanometerschaal gaatjes, een zogenaamd metalen gatenrooster.

Van lasers is bekend dat ze coherente, monochromatische en sterk gerichte lichtbundels uitzenden. Voor een laser zijn twee bestanddelen nodig: een (gepompt) lasermedium en een trilholtte. Het lasermedium versterkt het veld. De trilholtte sluit het veld op en voorziet de laser van de benodigde terugkoppeling om coherentie te verkrijgen.

In dit proefschrift beschrijven we proeven aan oppervlakteplasmonvoortplanting en oppervlakteplasmonlasers in actieve tweedimensionale gatenroosters. Deze roosters worden gekoeld tot cryogene temperaturen en stralen bij telecom golflengtes ( $\lambda \sim 1500$  nm). De versterking van de oppervlakteplasmonen wordt geleverd door een optisch-gepompte InGaAs halfgeleiderlaag die vlakbij de goudfilm staat waaraan de plasmonen gebonden zijn. Door verstrooiing in het gatenrooster ontstaat er een trilholtte voor de oppervlakteplasmonen. Deze terugkoppeling vindt plaats op het hele rooster en daarom hebben we te maken met verspreide-terugkoppeling-lasers in plaats van Fabry-Pérot lasers. In verspreide-terugkoppeling-lasers is er een duidelijke keuze van de laser mode en daardoor een stabiele golflengte.

We bestuderen actieve gatenroosters met vierkante en zeshoekige roostersymmetrieën. We bestuderen de roosters zowel onder als boven hun laserdrempels. We onderzoeken de invloed van de roostersymmetrie op oppervlakteplasmonvoortplanting en oppervlakteplasmonlasers. We verkennen de frequenties en het terugkoppelmechanisme van deze oppervlakteplasmonlasers. We observeren het ruimtelijke profiel en richting van de uitgezonden laserbundel. De structuur van dit proefschrift is schematisch uitgebeeld in de hierop volgende tabel. De volgende paragrafen geven voor ieder hoofdstuk een samenvatting.

		
<b>Onder drempel</b>	<b>Hoofdstuk 2</b> Oppervlakteplasmondispersie & oppervlakteplasmonverstrooiing <b>Hoofdstuk 3</b> Verliezen & oppervlakteplasmon-foton verstrooiing	<b>Hoofdstuk 5</b> Oppervlakteplasmon-oppeervlakteplasmon verstrooiing & verbinding met enkel-gat model
<b>Boven drempel</b>	<b>Hoofdstuk 4</b> Intensiteit, fase & terugkoppeling	<b>Hoofdstuk 6</b> Schakelen tussen oppervlakte-plasmonlasers in twee toestanden

Om te begrijpen hoe oppervlakteplasmonlasers in gatenroosters werken, moeten we eerst weten hoe oppervlakteplasmonen zich voortplanten door zulke roosters. In hoofdstuk 2 bestuderen we oppervlakteplasmonvoortplanting onder de laserdrempel in gatenroosters met een vierkante symmetrie. We verkrijgen de resonantiefrequentie uit hoekopgeloste spectra en herkennen vier SP-banden. Deze vier oppervlakteplasmonbanden zenden licht uit met verschillende polarisatie. Drie van deze banden stralen p-gepolariseerd licht uit en één band straalt s-gepolariseerd licht uit. We ontwikkelen een theoretisch raamwerk dat een centrale rol speelt in het gehele proefschrift. De belangrijkste ingrediënten zijn lopende oppervlakte-plasmongolven die in vier richtingen reizen en de verstrooiing van deze golven op de gaatjes. Deze verstrooiing koppelt de lopende golven en daardoor ontstaan staande-golf componenten en energieverschillen tussen de banden. Wij verbinden de gemeten splitsingen tussen de banden aan de sterkte van de verstrooiing van oppervlakteplasmonen op de gaatjes.

Welke lasertoestand actief is hangt af van de versterking en verliezen van de beschikbare optische toestanden. In hoofdstuk 3 stellen we de verliesmechanismen van de oppervlakteplasmonen vast en bepalen we hun grootte. We doen dit door de lijnbreedtes en de intensiteit van de oppervlakteplasmonbanden te meten onder de laserdrempel. De voornaamste verlieskanalen zijn stralings- en Ohmse verliezen.

Oppervlakteplasmonlasers in gatenroosters zenden donutvormige laserbundels uit, met andere woorden het licht zit alleen in een smalle ring en in het midden is het donker. In hoofdstuk 4 ontrafelen we het verantwoordelijke mechanisme. Om te begrijpen wat er binnen in de laser gebeurt meten we het gehele veld van de laserbundel, dat wil zeggen dat we zowel het intensiteits- als het faseprofiel meten. Het faseprofiel verkrijgen we met behulp van een nieuwe bundel-blokkeermethode en een iteratief algoritme. Oppervlakteplasmonlasers in roosters met een vierkante symmetrie zenden donutvormige laserbundels uit met een radiaal polarisatiepatroon. De waargenomen velden komen niet overeen met de standaard verspreide-terugkoppeling-lasertheorie. Wij identificeren positieafhankelijke ver-

sterking als ontbrekend element, breiden de verspreide-terugkoppeling-lasertheorie ermee uit en verkrijgen een goede overeenkomst tussen waarneming en theorie. Dit is een voorbeeld van een probleem waarbij de waarneming van de fase van een golfverschijnsel essentiële informatie verschaft.

In tegenstelling tot roosters met een vierkante symmetrie staan bij zeshoekige roosters de hoofdrichtingen niet loodrecht op elkaar. In hoofdstuk 5 bestuderen we de invloed van de roostersymmetrie op de voortplanting van oppervlakteplasmomen. Daarvoor meten we de optische dispersie van drie verschillende hexagonale roosters met steeds complexere eenheidscellen. We bestuderen preparaten met een hexagonaal, een honingraat en een Kagome rooster. We verkrijgen de hoekafhankelijke verstrooiing van deze roosters en ontdekken dat die wordt gedomineerd door de dichtheid van gaatjes en niet door de complexiteit van de eenheidscel. De waargenomen hoekafhankelijke verstrooiing kan worden uitgelegd aan de hand van een enkel-gat-model dat gebaseerd is op elektrische en magnetische dipolen.

In hoofdstuk 6 demonstreren we oppervlakteplasmonlasers in hexagonale plasmonische kristallen. Deze laser kan in twee toestanden werken met verschillende polarisatie- en intensiteitsprofielen. We kunnen schakelen tussen deze toestanden door de grootte van de pompbundel aan te passen. We verbinden deze waarneming aan bestaande experimenten en theorie over fotonische kristallen. Verder leggen we de intensiteits- en polarisatieprofielen uit met symmetrie argumenten en laten we zien dat er een bondige beschrijving van de profielen kan worden gegeven in termen van sommen van lichtbundels met een baanimpulsmoment.

