

# VU Research Portal

## Lensless microscopy using visible and extreme ultraviolet radiation

Noom, D.W.E.

2016

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Noom, D. W. E. (2016). *Lensless microscopy using visible and extreme ultraviolet radiation*.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)





# SAMENVATTING

Microscopen geven ons al eeuwen inzicht in biologische processen en maken het mogelijk om kleine structuren in vaste stoffen te bekijken. Om nog kleinere structuren te kunnen bekijken zijn steeds nieuwe technieken ontwikkeld, en een daarvan is het gebruiken van kortere golflengtes als lichtbron. In dit werk wordt een lasersysteem beschreven dat er op gericht is om licht van korte golflengtes te maken. Dit gebeurt door hogeharmonischegeneratie, waarvoor korte intense lichtpulsen nodig zijn. Er wordt ook beschreven hoe deze golflengtes te gebruiken zijn voor een microscoop ondanks het gebrek aan materialen met de hoge breking en lage absorptie voor lenzen. Deze lensloze microscopen zijn ook getest met zichtbaar licht, wat voor een makkelijk instelbare, goedkope microscoop zorgt.

Wij hebben lensloze microscopie met zichtbaar en infrarood licht gedaan door gebruik te maken van CCD-chips, fasebepalingsalgoritmes, en computers om deze informatie snel te kunnen verwerken. De CCD-chips vangen licht op wat door een monster is gegaan, en meten de lichtintensiteit een stukje verderop. Wat uiteindelijk berekend moet worden is de lichtintensiteit zo vlak mogelijk na het monster. Het lichtpatroon op de CCD alleen is niet genoeg om dit te berekenen. Fase-informatie is ook nodig, en deze kan verkregen worden door de lichtintensiteit bij twee verschillende golflengtes te vergelijken. De lichtbron moet een goed gedefinieerde fase hebben, waarvoor wij een laser gebruiken.

We hebben experimenten uitgevoerd waarbij we eerst een laser aan hebben gezet die door een monster schijnt. Daarna nemen we een intensiteitsmeting, zetten we de laser uit en herhalen we dit proces met een lasers van andere kleuren. Vervolgens wordt met deze informatie berekend hoe het monster er uit ziet.

De berekening gaat als volgt: eerst wordt de intensiteitsinformatie gecombineerd met een willekeurige fase-informatie. Dit geeft samen een elektrisch veld bij een bepaalde golflengte. Vanuit dit veld wordt berekend hoe dit veld er uit hoort te zien bij een andere golflengte. Daar wordt de berekende intensiteit vervangen door de gemeten intensiteit. Vervolgens wordt dit proces van transformeren van golflengtes en vervanging van intensiteitsinformatie enkele keren herhaald. Dit levert de

fase-informatie op die we nodig hebben voor de reconstructie van het beeld van het monster. De kwantitatieve fase-informatie zelf kan ook gebruikt worden om de structuur van het monster te bepalen.

Dit proces is uitgevoerd op een voorbeeldmonster met een bekend beeld met verschillende groottes en goed gedefinieerde randen om te testen of het werkt. Daarna is een neuronenmonster gebruikt om te laten zien dat het niet alleen werkt bij simpele monsters, maar ook bij subtielere structuren. Hierbij is ook te zien dat de fase-informatie duidelijkere structuren laat zien dan de intensiteit. Een transversale resolutie van minder dan 2 micrometer is verkregen.

Omdat dit meetproces traag en onhandig is hebben we daarna een RGB-sensor gebruikt voor intensiteitsmetingen. Op deze manier kan alle intensiteitsinformatie in één keer genomen worden, en wordt de meettijd alleen nog maar beperkt door de minimale sluitertijd van de CCD-chip en de intensiteit van de lasers, en niet meer door de tijd tussen verschillende opnames. We hebben hiermee videobeelden gemaakt van stromende balletjes en bewegende wormen met een resolutie onder de 2,2 micrometer. In hoofdstuk 4 bediscussiëren we ook dat de grootte van de afbeelding afhankelijk is van het belichtende golffront en de gevolgen hiervan op de reconstructie.

Na de lensloze microscopie wordt het genereren van korte golflengtes besproken om kleinere structuren te kunnen zien. Het lasersysteem voor het genereren van korte golflengten bestaat uit verscheidene componenten die pulsen genereren, vervormen en versterken. Een component daarvan is een gepulste laser op basis van een saffierkristal gedoteerd met titanium. Deze geeft pulsen met een golflengte rond 800 nanometer met een pulsduur rond 30 femtoseconden.

Vervolgens is er een systeem nodig om de 800 nanometer pulsen te versterken, waarvan de ontwikkeling wordt beschreven in hoofdstuk 5. Het startpunt is dat eerst pulsen gemaakt worden in een neodmium gedoteerde yttriumvanadaatlaser. Deze pulsen worden versterkt in een regeneratieve versterker, waarin een puls meerdere keren door een kristal worden gestuurd om het te versterken, waarna de puls in zijn geheel weer naar buiten wordt gestuurd. In de regeneratieve versterker zit ook nog een etalon, waardoor verschillende golflengtes een verschillende optische padlengte afleggen en de puls verlengt wordt.

Na de regeneratieve versterker gaan deze pulsen door een versterker waarbij een puls heen en terug door een kristal gaat in twee versterker-modules. Deze modules worden gepulst gepompt door diodes, speciaal ontwikkeld om snel wisselende stromen te weerstaan zonder kapot te

gaan. Er wordt hierbij veel warmte ontwikkeld die voor vervorming van de kristallen zorgt. Door deze vervorming wordt radiële dubbelbrekendheid in het kristal geïnduceerd. Deze vervormt daarop weer de pulsen, en om hiervoor te compenseren wordt de polarisatie van de pulsen gedraaid en de pulsen teruggestuurd door hetzelfde kristal. Nadat de pulsen twee keer door de twee versterkingsmodules zijn gegaan levert dit 130 millijoule pulsen op van 64 picoseconden lang met 1064 nanometer golflengte, en met een herhalingsfrequentie van 300 pulsen per seconde.

Dan wordt de frequentie van het licht verdubbeld en verkrijgen we 75 millijoule pulsen met een golflengte van 532 nanometer. Dit groene licht wordt dan gebruikt om de femtosecondepulsen te versterken in een niet-collineaire optische parametrische getijlptepulsversterker. Hiervoor worden de femtoseconde pulsen eerst getijlpt, dat willen zeggen uitgerekt door verschillende golflengtes een verschillende afstand af te laten leggen met behulp van tralies. Na het uitrekken worden deze pulsen samen met de groene pulsen door een kristal gestuurd waar directe energieoverdracht plaatsvindt van de groene naar de uitgerekte pulsen met minimale absorptie van licht in het kristal. Hierna worden de zojuist versterkte pulsen weer gecomprimeerd met behulp van tralies zodat ze gebruikt kunnen worden in hogeharmonischegeneratie. Na compressie zijn pulsen van 4 millijoule verkregen. Door deze pulsen in een edelgas te focuseren kan vervolgens via hogeharmonischegeneratie licht bij veel kortere golflengtes gemaakt worden.

Door het combineren van straling met korte golflengtes en microscopie zonder lenzen kunnen we in principe een hogere resolutie halen. In hoofdstuk 6 wordt beschreven hoe dit gerealiseerd is met behulp van een geleende laser, omdat de laser beschreven in dit proefschrift in hoofdstuk 5 toen nog niet beschikbaar was.

In tegenstelling tot lichtbronnen voor zichtbaar licht, die heel precies een enkele kleur kunnen geven, bestaat licht bij korte golflengtes gemaakt door hogeharmonischegeneratie uit vele kleuren (harmonischen), zodat we daarvoor niet meer direct het faseberekeningsalgoritme kunnen gebruiken. Omdat we niet simpel zoals bij de RGB-sensor golflengtes kunnen onderscheiden hebben we een andere techniek nodig.

Deze techniek om beelden op te splitsen naar golflengte is afgeleid van Fourier-transformatiespectroscopie. In dit geval wordt een lichtbundel opgesplitst in tweeën, met een instelbaar weglengteverschil tussen de twee (overlappende) bundels. Dan worden er meerdere metingen gedaan met meerdere weglengteverschillen en via een Fourier-transformatie wordt hieruit gehaald wat het beeld is bij de verschillende golflengtes.

Met deze techniek hebben we testmetingen gedaan met een breedbandige bron op een testmonster, een lelietje-van-dalenwortel, en een reflectiemeting op een ander testmonster. Met hoge harmonischen rond 50 nanometer golflengte hebben we een afbeelding kunnen maken in transmissie van een 300 nanometer dun aluminiumfolie met een nikkelrooster. Met deze experimenten is voor het eerst aangetoond dat lensloze microscopie ook mogelijk is met een breedbandig spectrum in het extreem ultraviolet zoals dat wordt gemaakt via hogeharmonischegeneratie. Het is de verwachting dat dit ook lensloze microscopie met hogeharmonischebronnen mogelijk zal maken bij nog veel kortere golflengtes van een paar nanometer.