



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Towards High-Speed Scanning Tunneling Microscopy

Tabak, F.C.

Citation

Tabak, F. C. (2013, June 5). *Towards High-Speed Scanning Tunneling Microscopy*. Casimir PhD Series. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/20925>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/20925>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/20925> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Tabak, F.C.

Title: Towards high-speed scanning tunneling microscopy

Issue Date: 2013-06-05

Samenvatting

De eigenschappen en functionaliteit van een groot aantal materialen worden in veel gevallen in belangrijke mate bepaald door hun oppervlak. Hierbij kunnen we denken aan katalyse op een metaaloppervlak, depositie van (één of meer) atoomlagen zoals gebeurt in lithografie of grafeengroei, de wrijvings-eigenschappen van een materiaal, of transport van zouten en dergelijke door celwanden. Bovendien wordt het door ontwikkelingen in de nanotechnologie steeds belangrijker om in groot detail verschillende oppervlakken te visualiseren en te manipuleren. Een typisch voorbeeld van een reactie die veel gebruikt wordt maar die op atomair niveau nog niet begrepen is, is de omzetting van koolmonoxide naar kooldioxide. Deze reactie kan plaats vinden op een platina oppervlak, met een reactiesnelheid van meer dan 200 omzettingen per platina-atoom per seconde. Om de verschillende stappen in dit reactieproces nauwkeurig weer te geven, is een meetsnelheid nodig die veel hoger is dan de reactiesnelheid, in dit geval veel hoger dan 200 opnames per seconde. De resolutie van elk van deze opnames moet voldoende groot zijn, om de afzonderlijke metaalatomen weer te geven.

De afmeting van atomen is zo klein, dat ze niet met een lichtmicroscop bestudeerd kunnen worden. In 1982 is een speciaal soort “tast”microscop ontwikkeld, de “scanning tunneling microscoop” waarmee het mogelijk is om atomaire resolutie te halen. Deze microscoop is nog het best te vergelijken met een platenspeler. De plaat is het substraat dat we willen bekijken: het oppervlak van een katalysator bijvoorbeeld. Een heel kleine naald wordt heen en weer bewogen over het oppervlak, zonder het oppervlak daadwerkelijk te raken. Als er een elektrisch spanningsverschil wordt aangelegd tussen de naald en het substraat, gaat er een kleine stroom lopen. Dit is een quantummechanisch effect dat “tunneling” wordt genoemd. Deze stroom is extreem gevoelig voor de afstand tussen naald en oppervlak. Dit is dus een microscoop die niet met licht werkt, maar een “blinde” microscoop. Het in gebruik nemen van deze nieuwe soort microscoop heeft geleid tot een reusachtige toename van het begrip van de structuur van tal van oppervlakken.

Toch hebben deze supermicroscopen een nadeel: ze kunnen alleen heel langzaam meten omdat de naald mechanisch over het oppervlak wordt bewogen. De beweging van de naald over het oppervlak wordt verzorgd door een zoge-

naamd piëzo-element¹, dat ongeveer 100 miljoen keer groter is dan de atomen op het oppervlak. Een snelle beweging van dit piëzo-element kan ervoor zorgen dat de naald en het oppervlak gaan wiebelen, zodat de atomen niet meer goed zichtbaar zijn. Een tweede probleem van deze piëzo-elementen is, dat ze een lage maximum bewegingssnelheid hebben. In dit proefschrift worden twee manieren beschreven om een scanning tunneling microscoop sneller te maken: geminiaturiseerde scanners en compensatie met “tegenpiëzo’s”.

Allereerst hebben we gekeken naar geminiaturiseerde scanners. Een kleiner bewegend onderdeel heeft minder invloed op de rest van de scanner, waardoor de kans dat een ongewenste beweging wordt “aangeslagen” kleiner is. Extreem kleine scanners kunnen worden gemaakt met behulp van MEMS-technologie. MEMS staat voor micro-electro mechanical systems: microscopische machines die elektronisch worden aangestuurd en uitgelezen. MEMS technologie wordt uitgelegd in hoofdstuk 2. De wiskundige onderbouwing van het gebruik van miniatuur scanners is ook in dit hoofdstuk te vinden, samen met berekeningen die aantonen dat de miniatuur scanners zó gemaakt kunnen worden, dat ze een veel hogere bewegingssnelheid kunnen halen dan piëzo-elementen.

Hoofdstuk 3 begint met simulaties die helpen om MEMS scanners te ontwerpen. Vervolgens laten we een serie tests zien, die bevestigen dat kleine scanners de potentie hebben om veel sneller te meten dan scanners gebaseerd op piëzo-elementen. Hierna worden de drie grootste obstakels besproken, die je tegenkomt als je een zo kleine scanner bouwt: tip groei, capacitieve koppeling en het betrouwbaar inbouwen van een mini-scanner in een STM.

Om de miniatuur scanners en piëzo-scanners te testen hebben we een microscoop opstelling ontworpen (beschreven in hoofdstuk 4) die heel flexibel is wat betreft het opnemen van verschillende bewegingselementen, zoals piëzo-elementen met verschillende vormen. Verder heeft deze scanner de mogelijkheid om een tegenpiëzo op te nemen, wat kan helpen om een scanner sneller te maken, dan met een enkel piëzo-element mogelijk is. Hierover later meer.

We laten zien hoe, door een MEMS scanner in te bouwen in deze microscoop, deze gebruikt kan worden voor STM metingen (hoofdstuk 5). De resultaten laten zien dat het mogelijk is om tunneling experimenten te doen met MEMS scanners. Voordat deze scanners echt als hoge-snelheids apparatuur gebruikt kunnen worden zal met name de depositie van geschikte tips op de scanners verbeterd moeten worden.

¹Een piëzo-element is te vinden in elke gasaansteker: het is een element waar een spanning over komt te staan als het uitzet en vice versa. Dit is te gebruiken om een naald heel precies te verplaatsen.

De laatste twee hoofdstukken van dit proefschrift beschrijven de functionaliteit van een “tegenpiëzo-element”. Een dergelijk piëzo-element wordt aan de achterkant van het scannende piëzo-element gemonteerd, en maakt ofwel precies dezelfde, ofwel precies de tegenovergestelde beweging. Hiermee kan de kracht of het krachtmoment op het systeem gecompenseerd worden.

De mechanische en elektronische karakterisatie van deze configuratie is beschreven in hoofdstuk 6. Vervolgens hebben we hier STM metingen mee gedaan, zowel om het gedrag van het tegenpiëzo-element te begrijpen, als om snel te scannen. Door de invloed van de piëzo-elementen op de scanner te minimaliseren en gebruik te maken van een slim aanstuursignaal, hebben we meetsnelheden tot meer dan 100 opnames per seconde gehaald. Dit is beschreven in hoofdstuk 7, samen met een theoretische behandeling van één- en twee-dimensionale Fourier transformaties, die gebruikt worden om het gedrag van de scanner beter te interpreteren.

