



Doctoral Thesis

Near field emission scanning electron microscopy

Author(s):

Kirk, Taryl Leaton

Publication Date:

2010

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006032158> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Near Field Emission Scanning Electron Microscopy

A dissertation submitted to the
ETH Zurich

for the degree of
Doctor of Sciences ETH Zürich

presented by

Taryl Leaton Kirk
M.Sc. in Physics, Universität Stuttgart
born on July 14, 1978
citizen of the Republic of Trinidad and Tobago

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Danilo Pescia, examiner
Dr. Richard G. Forbes, co-examiner

Nahfeldemissions-Rasterelektronenmikroskopie

In dieser Dissertation zeige ich die Entwicklung und die Anwendung eines neuartigen Mikroskops, des Nahfeldemissions-Rasterelektronenmikroskops (NFEREM) auf. Die Bezeichnung Nahfeld deutet auf die Tatsache hin, dass die Elektronenquelle bei einem Abstand von nur einigen 10 nm von der abzubildenden Oberfläche entfernt liegt. Dieses Merkmal unterscheidet dieses Mikroskop von den konventionellen Rasterelektronenmikroskopen, bei denen die Quelle einige 10 cm von der abzubildenden Oberfläche entfernt ist. Darüber hinaus sei bemerkt, dass dies kein optisches Mikroskop ist, in dem das Bild der Oberfläche durch Lichteinstrahlung, Lichtreflektion oder Lichtstreuung erzeugt wird.

Nach der Einführung (Kapitel 1) betrachtet Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen der Rastertunnelmikroskopie (*RTM*). In der *RTM* wird eine metallische Nadel so nahe (weniger als 1 nm) an die Oberfläche gebracht, dass tunneln zwischen der Nadel und dem naheliegendsten Oberflächenatom möglich wird. Sofern die Nadel auf Abstände von einigen 10 nm von der Oberfläche zurückgezogen wird, können einige Elektronen durch das Phänomen der Feldemission die Nadel verlassen. Ferner können diese Elektronen mit wählbarer Energie auf die naheliegende Oberfläche beschleunigt werden, wo sie durch inelastische und elastische Elektronenstreuungen weitere Elektronen zum Verlassen der Oberfläche anregen können. Des Weiteren diskutiere ich im Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen des Feldemissionprozess und der Elektronenstreuung.

Kapitel 3 erläutert die technischen Details der Proben- und Nadelvorbereitung sowie den technischen Aufbau des ad hoc entwickelten Instruments. Der wesentliche technische Aspekt dieses Instruments ist die Tatsache [siehe R. Palmer et al. Appl. Phys. Lett. **77**, 4223 (2000)], dass die angeregten Elektronen vorzüglich parallel zur Oberfläche austreten.

In Kapitel 4 stelle ich die Resultate der Experimente vor. Durch das Rastern der Nadel bei **konstanter Entfernung** von der Oberfläche wird sowohl der Feldemissionsstrom als auch die Intensität der aus der Oberfläche emittierten Elektronen durch die Topographie der Oberfläche moduliert. Infolgedessen entstehen zwei gleichzeitige Bilder der Oberfläche. Erwähnenswerterweise basiert eines der Bilder auf feldemittierten Elektronen und eines der Bilder auf sekundären Elektronen. Bei meinen Experimenten wurde eine vertikale räumliche Auflösung von etwa 0.1 nm und eine laterale räumliche Auflösung von einigen nm erreicht und monoatomare Stufen auf W (110) sichtbar gemacht.

Im Anhang A.1, A.2, und A.3 präsentiere ich eine Auswahl von rohen Messdaten, um die Grenzen von *NFEREM* zu illustrieren und um den Vergleich mit *RTM* zu ermöglichen.

Near field emission scanning electron microscopy

This dissertation presents the development and application of a novel microscope, the “Near Field Emission Scanning Electron Microscope” (*NFESEM*). Here, the term “near” references the fact that the electron source is located at a few tens of nanometers from the sample surface that is under investigation. This characteristic distinguishes the present instrument from more conventional *SEMs*, which use “remote” field-emitted electron sources. Moreover, this is not an optical measurement, such as in scanning near-field optical microscopy, in which an image is generated from exciting and collecting **light** scattered in the “near-field” regime.

After a brief introduction (Chapter 1), Chapter 2 treats the fundamental theoretical aspects of Scanning Tunneling Microscopy (*STM*). In *STM* on metal surfaces, a metallic tip is brought so close to a surface (less than 1nm) that tunneling can occur between the tip and the surface atom residing closest to the tip. Therefore, *STM* is one of the methods of choice for achieving atomic spatial resolution. When the tip is retracted to distances of some tens of nanometers, electrons are ejected from the tip via the process of field emission (*FE*). These electrons are accelerated with variable energy toward the underlying surface, where, by elastic and inelastic scattering processes, they can excite electrons to leave the surface. Subsequently, Chapter 2 treats the fundamental aspects of the *FE* process in the near *FE* regime and of the secondary electron (*SE*) production.

Chapter 3 provides details about the sample and the tip preparation, in addition to the technical aspects of the home-built instrument. The key technical result is that, in agreement with the results by R. Palmer *et al.* [Appl. Phys. Lett. **77**, 4223 (2000)], *SEs*, excited in the near field configuration, are preferentially ejected parallel to the surface.

Chapter 4 presents the experimental results. Upon scanning the tip over the surface in **constant height** (*CH*) mode, both the *FE* current and the intensity of the electrons emitted from the surface are modulated by the surface topography. As a consequence, images of the surface topography can be obtained. A particular feature of the present *NFESEM* is that two separate but simultaneously-generated images are produced: one based on the *FE* current and the other based on the variations in the *SE* detector signal. In regards to imaging, this *NFESEM* study has achieved a vertical resolution of about 0.2 nm and an ultimate lateral resolution of $< 2\text{nm}$, which is able to resolve the step edges on a W (110) substrate.

In the Appendices A.1, A.2, and A.3, “raw” experimental data are presented, with the aim of acquainting the reader with the limitations of *NFESEM*, and also compares its performance to *STM*.