

Irene Mauch

**Ballistische Elektronen Emissions Mikroskopie
(BEEM)
an Au/Si und Au/Pr₂O₃/Si-Strukturen**



am Fachbereich Physik
der Freien Universität Berlin
eingereichte Dissertation

Mai 2007

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h.c. G. Kaindl

2. Gutachter: Prof. Dr. P. Fumagalli

Tag der Disputation: 3. Juli 2007

Kurzfassung

In dieser Arbeit werden Ballistische Elektronen Emissions Mikroskopie (BEEM)- Messungen an Au/Si(111) und Au/Pr₂O₃/Si (111)-Strukturen beschrieben. BEEM ist eine auf der Rastertunnelmikroskopie (STM) basierende Technik, bei der mit hoher lateraler Auflösung der ballistische Transport von Elektronen durch einen Teil der Probe und über eine probeninterne Potentialbarriere hinweg gemessen wird. Die BEEM-Apparatur wurde für eine Lock-In-Messmethode umgebaut, bei der der Tunnelstrom mit sehr niedriger Frequenz moduliert wird. So können BEEM-Messungen an Proben mit sehr geringem Widerstand (bis zu 30 k Ω) durchgeführt werden, dies erweitert die Möglichkeiten für Raumtemperatur-BEEM enorm. Beide in dieser Arbeit untersuchten Systeme wurden aufgrund geringen Probenwiderstands mit dieser Methode gemessen.

Wir haben bei Au/Si(111)-7x7 eine deutliche Abhängigkeit des Probenwiderstands von der Präparationstemperatur festgestellt. Wir haben ein Modell für den Probenwiderstand thermisch präparierter Au/Si(111)-7x7 Proben entwickelt, das den niedrigen Widerstand mit Oberflächenleitung der rekonstruierten Siliziumoberfläche erklärt. Durch eine niedrigere Präparationstemperatur wird zwar das Siliziumoxid desorbiert und die Oberfläche gereinigt, allerdings bleiben raue Bereiche, die die Oberflächenleitung dämpfen. Für BEEM-Messungen kann man mit dem STM gezielt flache Terrassen suchen. Auf den mit niedriger Temperatur präparierten Proben konnten wir mit Hilfe der Lock-In-Methode BEEM-Spektren und -Bilder von Au/Si(111)-7x7 bei Raumtemperatur aufnehmen.

Das Sesquioxid von Praseodym (Pr₂O₃) wird zur Zeit sehr gründlich für den Einsatz als Gateoxid für Halbleiterbauelemente getestet, da es einige vielversprechende Eigenschaften hat. Dazu gehören eine hohe Dielektrizitätszahl, geringe Leckstromdichte, Epitaxie auf Si(100). Wir haben erstmals BEEM-Messungen an Au/Pr₂O₃/Si(111)- Schichten durchgeführt. Trotz geringem Widerstand konnten wir mit Hilfe der oben erwähnten Lock-In-Methode BEEM-Spektren und BEEM-Bilder von Au/Pr₂O₃/Si(111)-Proben mit einer Submonolagen-Pr₂O₃-Bedeckung durchführen. In BEEM-Bildern lässt sich die unter dem Goldfilm liegende Grenzfläche direkt abbilden. Die Struktur der Submonolagenschicht, d.h. die Größe und Form der Inseln, wird sichtbar. Aus den BEEM-Spektren konnte der Leitungsbandoffset zwischen Pr₂O₃ und Silizium ermittelt werden.

Abstract

This thesis describes Ballistic Electron Emission Microscopy (BEEM) measurements of Au/Si(111) and Au/Pr₂O₃/Si(111) structures. This technique is based on Scanning Tunneling Microscopy (STM). It measures the ballistic transport of hot electrons through parts of the sample and across an interface, which provides a potential barrier. One part of this work was to modify the BEEM apparatus and to implement a lock in method, which modulates the tunnel current with a small frequency. In this way it is possible to study samples with very low resistance (as low as 30 k Ω), which widely enlarges the number of samples which are appropriate for BEEM measurement at room temperature. Both types

of samples studied in this thesis had low resistance and were therefore studied using the lock in method.

For the classical BEEM system Au/Si(111), we observed a pronounced dependence of the sample resistance of Au/Si(111)-7x7 on the preparation temperature. We developed a model for the resistance of thermal prepared Au/Si(111)-7x7 samples. The model identifies that the low resistance is due to the surface conductivity of the reconstructed silicon surface. If the surface is prepared at a lower temperature (but still high enough that the surface is cleaned and the silicon dioxide desorbed) rough areas remain on the surface, which reduce the surface conductivity. For BEEM measurements flat areas of the sample surface are selected. The low temperature prepared samples we were able to obtain BEEM spectra as well as images at room temperature using the lock in method.

The sesquioxide of praseodymium (Pr_2O_3) is currently discussed as a possible candidate for a gate oxide in semiconductor devices, since it has some of the required material properties such as a high dielectric constant, low leakage current and epitaxial growth on Si(100). We have for the first time performed BEEM measurement of praseodymium oxide. Despite a low resistance of the structures we were able to obtain BEEM-spectra and BEEM-images of Au/ Pr_2O_3 /Si(111) structures using a submonolayer thick Pr_2O_3 -film at the Au/Si interface. In the BEEM images the interface is directly visualized. The structure of the submonolayer Pr_2O_3 film, i.e. the size and form of the islands, can be studied. From the measured BEEM spectra, we determined the conduction band offset between silicon and praseodymium oxide.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Grundlagen	11
2.1	Ballistische Elektronen Emissions Mikroskopie	11
2.1.1	Theoretische Modelle	12
2.2	Elektronische Struktur der Grenzflächen	17
2.3	BEEM Experimente an Isolatoren	25
3	Experimentelle Methoden	27
3.1	Experimenteller Aufbau	27
3.1.1	Die UHV BEEM/STM-Anlage	27
3.1.2	Durchgeführte Veränderungen	28
3.2	Präparation der Proben	30
3.2.1	Präparation der Silizium Oberflächen	32
3.2.2	Praseodymoxidfilme	33
3.2.3	Goldkontakte	35
3.3	BEEM-Messung	36
3.3.1	BEEM-Messung bei kleinen Probenwiderständen	37
4	Au/Si(111)7×7	43
4.1	Widerstand der Au/Si Kontakte	44
4.1.1	Einfluss der Präparation auf den Widerstand	47
4.1.2	Modell für den Widerstand	50
4.2	Die 900°C-Präparation	53
4.3	BEEM an Au/Si	56
5	BEEM an Pr₂O₃ MOS-Strukturen	61
5.1	Praseodymoxid	62
5.1.1	C-Pr ₂ O ₃ /Si(100)	64
5.1.2	A-Pr ₂ O ₃ /Si(111)	65
5.2	BEEM an Pr ₂ O ₃ -Filmen	67
5.2.1	Praseodymoxid-MOS-Strukturen	68

Inhaltsverzeichnis

5.2.2	Submonolagen-Zwischenschicht Proben	68
5.2.3	Diskussion der Ergebnisse	71
6	Zusammenfassung und Ausblick	77
	Literaturverzeichnis	79