

4.2 Bismut terminierte Silizium(100)-Oberflächen

Zur Präparation der Bismut terminierten Si(100)-Oberflächen wurden die Silizium Substrate analog zu denen in Kapitel 4.1.2 gereinigt. Die Analyse der Oberflächenmorphologie erfolgte mit dem STM, die der chemischen Zusammensetzung mit dem AES. SPA-LEED Untersuchungen erreichten keine hinreichende Aussagekraft, um über die Verwendbarkeit der Bi-terminierten Oberflächen zu entscheiden.

Zur Herstellung pseudomorphischer Bismutschichten wurden die sauberen Si(100)-Substrate auf 500 °C erhitzt und dann mittels eines Elektronenstrahlverdampfers Bismut auf der Oberfläche deponiert. Eine so hergestellte Oberfläche ist in Abb. 4.2.1.1 zu sehen. Die

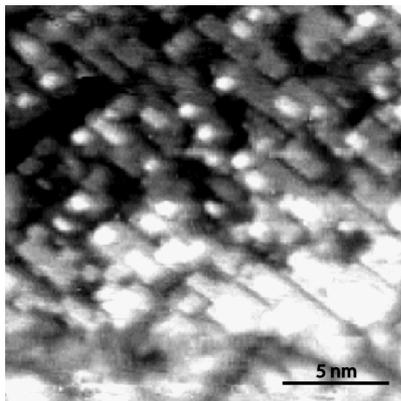


Abb. 4.2.1.1
STM-Bild einer bei 500 °C mit Bi beschichteten Si(100)-(2x1) Oberfläche.

im Gegensatz zu Abb. 4.2.1.2 fehlende atomare Auflösung ist auf eine schlechtere STM-Spitze (größerer Krümmungsradius oder Kontamination der Spitze) zurückzuführen. Da die Desorption von dreidimensionalen Bismut Clustern bereits bei 200 °C beginnt, für zweidimensionale Strukturen aber erst ab 500 °C, bedeutet das, dass bei hinreichend kleinen Aufdampfraten eine geschlossene Bismutschicht auf dem Siliziumsubstrat gebildet wird. Die Dicke der Bismutschicht wurde aus Augerspektren abgeschätzt (siehe Kapitel 3.7.1). Ein etwas aufwendigeres Verfahren zur Herstellung der Bismut terminierten Oberflächen bestand

darin, Bismut auf ein nur 400 °C warmes Siliziumsubstrat zu deponieren und die Probe dann für 5 min auf 490 °C zu heizen. Dieser letzte Heizprozess wurde mit der Direktstromheizung durchgeführt (0,51 A). Beide beschriebenen Methoden führen zu äquivalenten Oberflächenstrukturen. In Abb. 4.2.1.2 ist beispielhaft eine mit der zweiten Methode präparierte Probe gezeigt, da hier die beste Auflösung der atomaren Strukturen erzielt

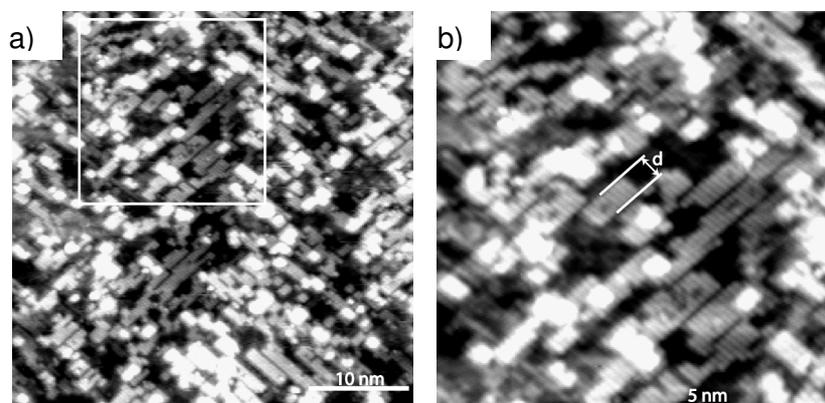


Abb. 4.2.1.2
STM-Bild einer bei 400 °C mit Bi beschichteten Si(100)-(2x1) Oberfläche und bei 490 °C ausgeheilten Probe.
a) zeigt eine Übersicht, während
b) ein kleineres Bild aus dem mit einem weißen Kasten in a) markierte Region zeigt. Eine typische Reihenlänge ist mit d bezeichnet.

wurde. Der mit d markierte Abstand in Abb. 4.2.1.2b) zeigt die Distanz der fehlenden Dimerreihen, die durch die Relaxation der Bismutatome entstehen. Dieser ist für die jeweilige Ausheiltemperatur und –dauer charakteristisch. d beträgt hier 2,71 nm, was der 7-fachen Siliziumgitterkonstanten entspricht. Das wiederum ist mit den bisher aus der Literatur bekannten Daten konsistent (z.B. [Naitoh1997]). Das bedeutet auch, dass die Proben mit denen in der Literatur vergleichbar sind. Da für Bismut auf Si(100) Stranski-Krastanov-Wachstum gefunden wurde, heißt das, dass mindestens die erste Lage geschlossen ist.

Eine Auswertung der Augerspektren dieser Probe legt eine Bedeckung der Siliziumoberfläche mit 1,0 ML Bismut nahe. Das widerspricht den STM-Bildern, die statistisch eine Bedeckung von wenig mehr als zwei ML nahe legen. Zur Abschätzung der Bismutdicke wurde, wie in Kap. 3.7.1 erläutert, ein lagenweises (Frank-van-der-Merve) Wachstum angenommen. Das entspricht nicht ganz den realen Bedingungen, kommt aber der Bildung der ersten Monolage am nächsten. Das heißt, dass mit den AES-Messungen die Schichtdicke systematisch unterschätzt wird, was aber für den Zweck der Unterbindung der Silizidbildung unproblematisch ist. Für spätere Wachstumsuntersuchungen von Mangan auf den Bismut terminierten Oberflächen wurden daher auch nur Bismutschichten verwendet, die in den Augerspektren eine Bismutdicke von mehr als einer Monolage aufwiesen. Dadurch wurde sichergestellt, dass eine weitestgehend geschlossene Bismutschicht auf der Probenoberfläche vorhanden war und so die Voraussetzungen zu einer Unterdrückung der Silizidbildung zumindest theoretisch gegeben waren. Die von Park *et al.* [Park1994] vorgestellten glatten Bismutschichten wurden nicht beobachtet, wohl aber die aus der Literatur bekannten atomaren Strukturen.

Auch die Verwendung der ersten beschriebenen Methode lieferte keine glatteren Schichten. In die Optimierung der Bismutoberflächen auf den Si(100)-Proben wurde nur relativ wenig Zeit investiert, da zuerst die Möglichkeit der Unterdrückung der Silizidbildung allgemein untersucht wurde. Nach den negativen Befunden bezüglich der Unterdrückung wurde von einer weiteren Optimierung abgesehen.

Interessant erschien auch die Möglichkeit der Nutzung von Nanostrukturen, um den Einfluss derselben auf die Manganformation zu untersuchen. Die in der Literatur [Miki1999] bereits untersuchten Nanolinien von Bismut auf 4° fehlorientiertem Si(100) schienen dafür ideal.

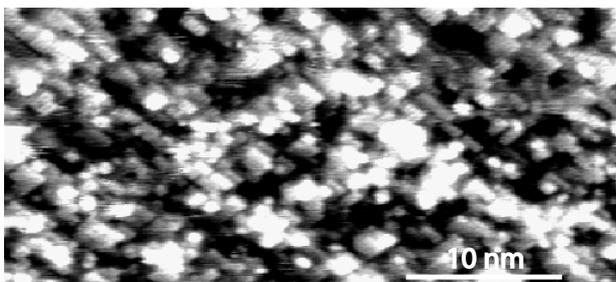


Abb. 4.2.1.3
STM-Bild einer mit 1,3 ML Bi beschichteten 4°
fehlorientierten Si(100)-(2x1) Oberfläche.

Daher wurden neben den mit Bismut terminierten 4° fehlorientierten Si(100)-Oberflächen (Abb. 4.2.1.3) auch die Möglichkeiten zur Herstellung von Nanolinien untersucht (Abb. 4.1.2.5). In Abb. 4.2.1.3 sind im oberen Bildbereich wieder dimerreihen-artige Strukturen zu erkennen, die in auf benachbarten Ebenen

parallel zueinander verlaufen. Ebenfalls von Miki *et al.* [Miki1999] wurden benachbarte

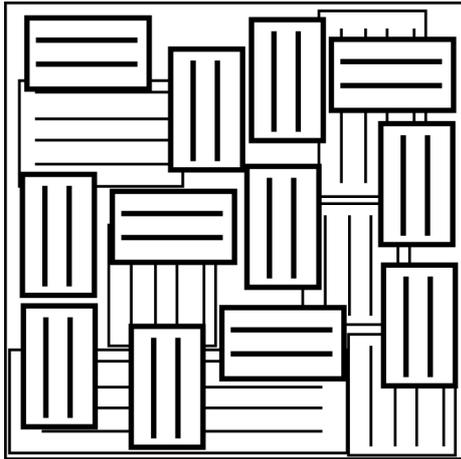


Abb. 4.2.1.4

Schematische Darstellung der möglichen Dimerreihenrichtungen auf den benachbarten Bismutinseln. Die dicken Linien repräsentieren die oberste Lage, die dünneren die nächst tiefere Bismutebene. Die Linienrichtung deutet auch die Richtung der Dimerreihen an.

Ebenen beobachtet, auf denen die Dimerreihen entweder parallel oder senkrecht zueinander laufen (Abb. 4.2.1.4). Das heißt auch, dass Inseln derselben Ebene nicht dieselbe Dimerreihenrichtung aufweisen müssen, wie es bei einer ungestörten Si(100)-(2×1) Oberfläche der Fall ist. In den hier vorgestellten Messungen traten nur Inseln auf, bei denen sowohl benachbarte Inseln, als auch benachbarte Inselebenen die gleichen Dimerrichtungen zeigten. Der Grund hierfür scheint in den hohen Substrattemperaturen zu liegen, bei denen das Bismut auf der Oberfläche deponiert wurde.

Die oben erwähnten Bismutnanolinien wurden durch Deponierung von Bi bei RT auf dem Substrat und zweimaliges Ausheilen bei 570°C für jeweils eine

Minute erzeugt. Für die Abb. 4.2.1.5 wurden 1,5 ML Bi aufgedampft. Durch eine Augermessung nach den Ausheilprozessen erhält man die ungefähre Dicke der Bismutschicht, hier 0,7 ML. Zu erkennen sind in dieser, durch Mischen des z-Signals und seiner Ableitung entstandenen Abbildung, sowohl die Nanolinien, wie auch die Bismutdimerreihen. Die Nanolinien sind durch die weißen Doppellinien gekennzeichnet.

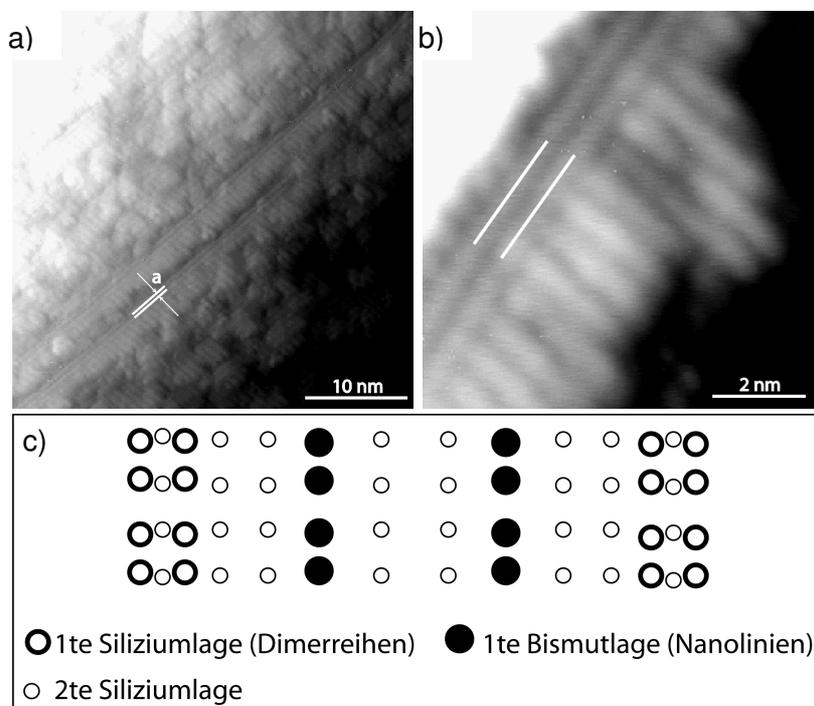


Abb. 4.2.1.5

STM- Bilder einer mit 1,5 ML Bi beschichteten 4° fehlorientierten Si(100)-(2×1) Probe, die zweimal für jeweils eine Minute bei 570°C ausgeheilt wurde (laut AES 0,7 ML Bi auf der Oberfläche verbleibend). Die Nanolinien sind jeweils mit einer weißen Doppellinie markiert.

- Gemischtes Bild aus dem z-Signal und seiner Ableitung.
- Kleinerer Meßbereich der gleichen Probe.
- Schematisches Modell nach Owen *et al.* [Owen2002].

Eine Nanolinie besteht aus jeweils zwei Atomreihen. Bei genauerer Betrachtung haben Miki *et al.* [Miki1999] und Naitoh *et al.* [Naitoh2000] herausgefunden, dass die Bismutnanolinien jeweils vier Siliziumdimerreihen be- oder ersetzen. Der aus Abb. 4.2.1.5 bestimmte Abstand zwischen den Bismutnanolinien beträgt 0,6 nm. Das stimmt gut mit den in der Literatur gefundenen Werten um 0,63 nm überein. Da die Verwendung von Bismut die Bildung von Mangansiliziden nicht verhindert, wurde aber auch dieser Ansatz nicht weiter verfolgt. Sollte es sich als möglich herausstellen, glatte Mangan- oder Mangansilizidfilme durch Wachstumstemperaturen niedriger als Raumtemperatur oder anders auf Si(100)-(2×1) herzustellen, so könnten die Bismutnanolinien verwendet werden, um eine Nanostrukturierung der Filme zu erreichen.