

## 4.4 Analyse dünner Manganschichten auf vizinalen Silizium(100)-Oberflächen

Im folgenden Kapitel werden die Untersuchungen an dünnen Manganschichten auf vizinalen, das heißt hier auf  $4^\circ$  fehlorientierten, Si(100)-Substraten durchgeführt. Die Präparationsmethode wurde bereits in den Kapiteln 4.1.1 und 4.1.2 behandelt.

Die hier vorgestellten Messungen wurden angefertigt, um zu verstehen, wie stark die Oberflächenmorphologie die Wachstumseigenschaften des Mangans, bzw. die Formationsprozesse der Mangansilizide beeinflusst, da sich das vizinale Substrat, wie bereits in Kapitel 4.1.2 erwähnt, nicht nur durch die höhere Stufen- oder Terrassendichte vom glatten Siliziumsubstrat unterscheidet, sondern auch nur Dimerreihenrichtung aufweist, was an den auftretenden Doppelstufen liegt.

### 4.4.1 Beobachtungen an dünnen Manganschichten

Da sich die Beobachtungen für den Submonolagenbereich nicht essentiell von denen im Bereich weniger Monolagen unterscheiden, werden diese in einem Kapitel zusammengefasst. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Proben auf glatten und vizinalen Substraten zu wahren, wurde die Temperaturkalibrierung der Direktstromheizung sowohl mit glatten, als auch mit vizinalen Substraten vorgenommen. Die Heizzeiten betragen, falls nicht explizit erwähnt immer 5 min pro Heizschritt. Nach der Substratreinigung wurde mit dem Aufdampfen des Mangans gewartet, so dass auch hier bei Raumtemperatur aufgewachsen werden konnte. All dies sollte gewährleisten, dass beobachtete Unterschiede nur auf das Substrat zurückzuführen sind.

Der erste gravierende Unterschied ist bereits direkt nach dem Aufbringen des Mangans auf das vizinale Substrat im STM erkennbar. In Abb. 4.4.1.1 ist neben dem sauberen Substrat eine Aufnahme einer 0,5 ML dicken Manganschicht auf dem  $4^\circ$  fehlorientierten Substrat. Das saubere Substrat weist eine mittlere Terrassenbreite von 4,01 nm auf, was gut mit den theoretischen Erwartungen von 3,84 nm übereinstimmt. Der Vergleich mit dem mit 0,5 ML Mangan beschichteten Substrat (Abb.: 4.4.1.1 b) und c)) zeigt, dass sich auf dem beschichteten Substrat die Strukturen des Substrates wieder finden. Die größeren Mangan- oder Mangansilizidcluster (im Folgenden nur noch als Cluster bezeichnet) sind wie Perlen auf einer Schnur entlang der Terrassenstufen orientiert. Sie beschränken sich auf jeweils eine Terrasse und sind so in ihrer Breite limitiert. Des Weiteren werden Strukturen gefunden, die denen der Dimerreihen ähnlich sehen. Dabei ist es nicht möglich, zu unterscheiden, ob es sich um kleine Cluster oder aber um Dimerreihen des Substrates handelt. Dies ist in

Abb.: 4.4.1.1 c) im Bereich des schraffierten und gestrichelten Pfeils zu erkennen. Nimmt man an, dass zumindest die den Dimerreihen ähnlichen Strukturen, die Unterbrechungen aufweisen (nicht terrassenbedingt) (z.B. gestr. Pfeil), aus wenigen Atomen bestehende Cluster sind, so sind diese auf den Dimerreihen angeordnet. Eine eindeutige Identifizierung ist leider nicht möglich, es bleibt hier bei plausiblen Vermutungen. Ähnlich verhält es sich bei

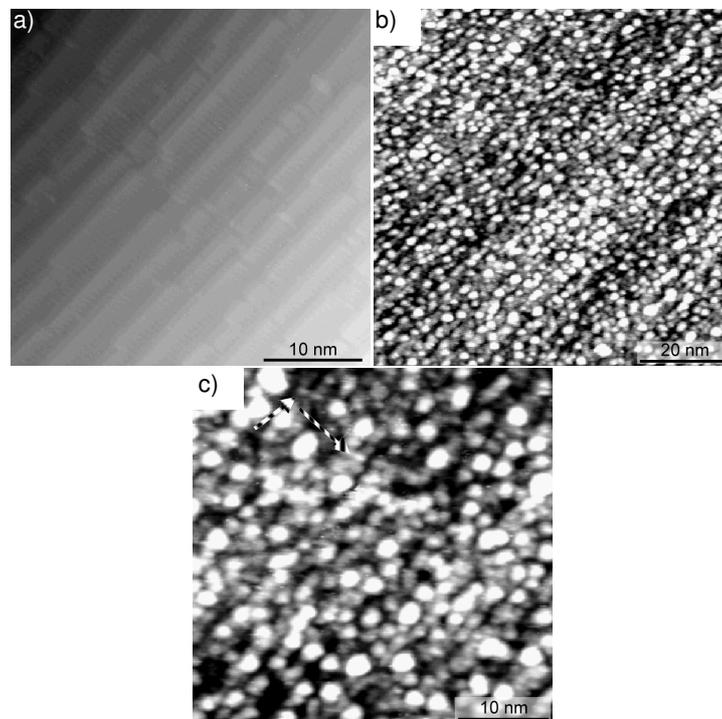


Abb.: 4.4.1.1

- a) Sauberes,  $4^\circ$  fehlorientierte Si(100)-(2x1) Substrat. Die mittlere Terrassenbreite beträgt 4,01 nm, eine hochwertige Piezokalibrierung ist nur senkrecht zu Dimerreihen (parallel zu den Stufenkanten) möglich.
- b) Das Substrat aus a), beschichtet mit 0,5 ML Mangan, ohne diese zu erwärmen. Erkennbar ist eine Orientierung der Mangan- oder Mangansilizidcluster entlang der Terrassen des Substrates.
- c) Kleiner Messbereich der selben Probe wie in b). Neben den großen Clustern sind auch entweder kleinere Cluster, die entlang der Dimerreihen orientiert sind oder Dimerreihen des Substrates (schraffierter und gestrichelter Pfeil).

der Einordnung der größeren Cluster. Es ist, wie oben erwähnt, nicht möglich zwischen Mangan- und Mangansilizidclustern zu unterscheiden. Für Mangancluster spricht einerseits, dass die Strukturen des Substrates noch erkennbar sind, bzw. diese sich auf die Anordnung der Cluster auswirkt. Wäre bereits Silizium abgebaut und in die Cluster eingearbeitet, würde man erwarten, dass der Einfluss des Substrates geringer wäre, bzw. größere Defekte im Bereich der Cluster sichtbar wären. Andererseits sind die auf der Probe gefundenen Strukturen zu groß um ausschließlich vom Mangan zu stammen. Außerdem werden auf der Probe keine eindeutig als Siliziumdimerreihen identifizierten Strukturen aufgefunden, so dass es sich bei den Dimerreihen ähnlichen Strukturen durchaus um Bereiche handeln kann, an denen Silizium abgetragen und durch Mangan ersetzt wurde. Dem wiederum widersprechen die theor. Modelle und Rechnungen der Theoriegruppe von Prof. Dr. Scheffler [Wu2004]. Auch wenn die durchgeführten Berechnungen sich auf glatte Si(100)-(2x1)

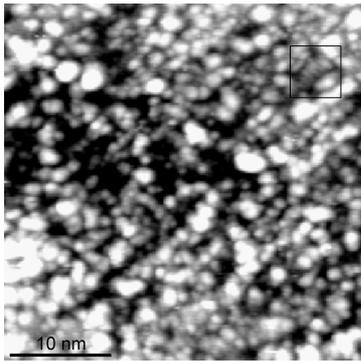


Abb.: 4.4.1.2  
0,5 ML Mn auf einem 4° fehlorientierten Si(100)-(2x1) Substrat. Der schwarze Kasten markiert einen Bereich, in dem die Dimerreihen des Substrates sichtbar sind.

Substrate beziehen, reichen die Erkenntnisse aus, um zu vermuten, dass das Mangan, sollte es die Dimere aufbrechen, Zwischengitterplätze bevorzugen sollte. Die Dimerreihen wären in diesen Fällen nur bis zu einer Dicke von 0,5 ML (Mangan auf einem Zwischengitterplatz) stabil. Auch wenn die Bedeckung nur 0,5 ML beträgt, sollte diese Dicke lokal, in den Regionen wo das Substrat sichtbar ist, überschritten werden, und so keine Dimerreihen mehr erkennbar sein. Auf einer weiteren Probe, die ebenfalls mit 0,5 ML Mangan beschichtet wurde, sind kleine Bereiche gefunden worden, die klar Dimerreihen des Substrates darstellen (Abb. 4.4.1.2). Die

Bereiche sind allerdings zu klein, als das sich Schlussfolgerungen aus diesen Beobachtungen verallgemeinern lassen würden.

Die oben angesprochene Orientierung der Cluster lässt sich noch besser auf Proben mit großer Manganbedeckung beobachten. In Abbildung 4.4.1.3 ist eine mit 1,5 ML Mangan

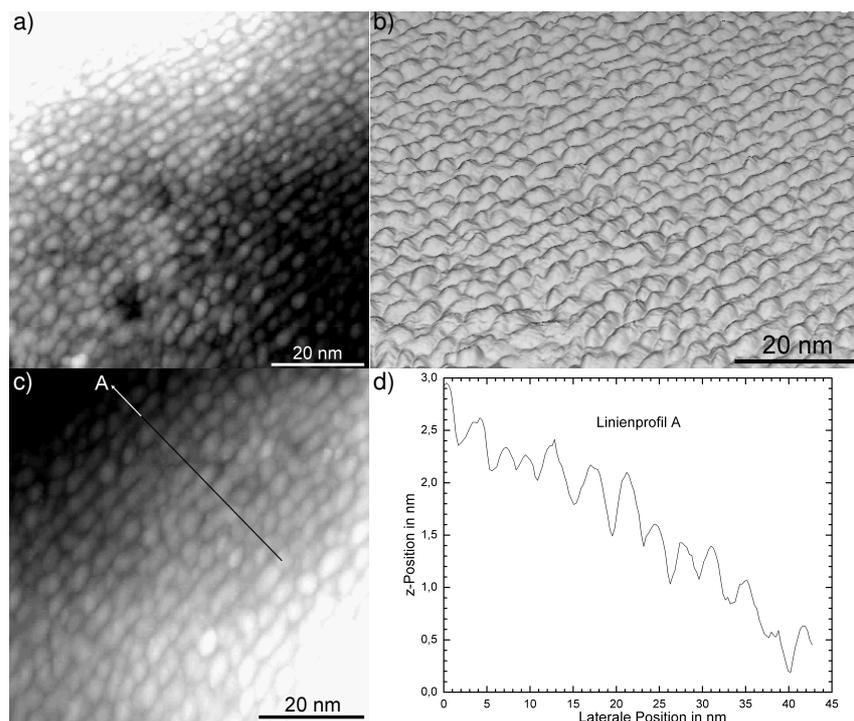


Abb.: 4.4.1.3

- Übersichtsbild über eine mit 1,5 ML Mangan beschichtete, 4° fehlorientierte Si(100)-(2x1) Probe. Die Probe wurde bei Raumtemperatur bedampft und nicht erwärmt. Im unteren Bereich sind Drifteffekte sichtbar.
- Dreidimensionale Darstellung des Bildes aus a). Zusätzlich zu der Orientierung in Richtung der Stufenkanten ist eine leichte Strukturierung der Oberfläche der Cluster zu erkennen. Die Strukturen verlaufen parallel zu den Dimerreihen des Substrates. Die Abstände der Strukturen stimmen grob mit denen der Dimerreihen überein. Da keine Dimerreihen des Substrates sichtbar sind, ist eine genaue Bestimmung der Abstände nicht möglich.
- Übersichtsbild derselben Probe wie in a), jedoch an anderer Position. Der invertierte Verlauf des Höhenprofils von unten links nach oben rechts ist ein Artefakt der Datenbearbeitung. Die Aussagen des Linienprofils A in d) werden dadurch nicht beeinflusst. Die Lage des Linienprofils wird durch den Pfeil markiert.
- Linienprofil A aus c). Die mittlere Inselbreite beträgt 3,442 nm.

bedampfte Probe dargestellt. In a) und b) sind neben der Orientierung der Cluster entlang der Stufenkanten auch Strukturen auf den Clustern zu erkennen. Diese liegen parallel zu der Richtung, in der die Dimerreihen des Substrates liegen. Über den genauen Abstand der Strukturen kann nur bedingt eine Aussage getroffen werden, da keine Dimerreihen des Substrates sichtbar sind, die eine hochwertige Kalibrierung des Rasterpiezos erlauben. Unter Berücksichtigung der zuvor erfolgten Kalibrierungen erhält man Abstände die denen der Dimerreihen entsprechen. Ob diese Strukturen zufällig sind oder auf der Morphologie des Substrates beruhen ist nicht bekannt. Es liegt aber nahe, dass die Cluster nicht nur in Ihrer Orientierung durch das Substrat beeinflusst werden. In Abb. 4.4.1.3 c) ist ein Bild derselben Probe an einer anderen Position dargestellt. Der Pfeil markiert die Lage eines Linienprofils, das in d) abgebildet ist. Aus dem Linienprofil lässt sich die mittlere Breite der Inseln bestimmen, die mit 3,44 nm gut mit der theoretischen Terrassenbreite des Substrates von 3,84 nm korrespondiert. Bezieht man frühere Korrekturen der Piezokalibrierung hinzu, erhält man 3,59 nm. Dies belegt den visuellen Eindruck, dass sich die Cluster entlang der Terrassen anordnen.

Nach dieser Betrachtung werden im Weiteren die Proben nach dem Erwärmen betrachtet. Das Heizen auf 375°C führte zu verschiedenen Strukturen, von denen einige im Folgenden beschrieben werden. Zu bemerken ist als erstes, dass es auf derselben Probe, nach dem Heizen auf 375°C, zwei verschiedene Bereiche gibt, die sich dadurch unterscheiden, dass in dem einen das Substrat komplett bedeckt ist (Abb. 4.4.1.4 a) und im anderen das Substrat

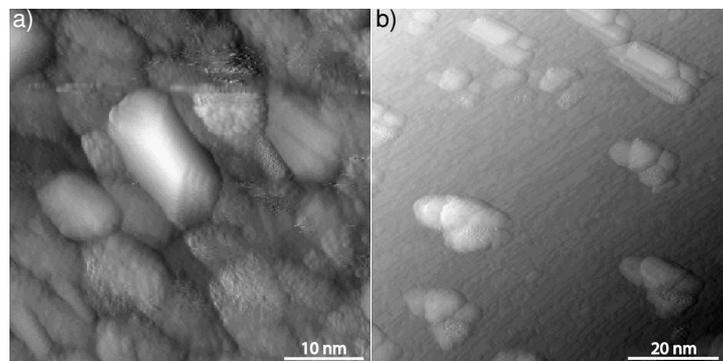


Abb.: 4.4.1.4

Beide Bilder stammen von derselben mit 1,0 ML beschichteten, 4° fehlorientierten Si(100)-(2×1) Probe, die auf 375°C geheizt wurde. Beide Bilder wurden mit ihrer Ableitung gemischt.

- a) Das Substrat ist in dieser Abbildung nicht mehr sichtbar. Die Insel in der Mitte zeigt eindeutig die Form einer in Kapitel 4.3.1 und 2 identifizierten  $Mn_5Si_3$ -Insel.
- b) Die Substratoberfläche ist nur zum Teil mit Mangan oder Mangansilizid bedeckt. Zwischen den Inseln ist erkennbar, dass die Substratoberfläche stark gestört ist. Anzumerken ist hier, dass die auffälligen mehrfachstrukturen der Inseln von einer Mehrfachspitze stammen, die zwar im Verlauf der Messungen beseitigt wurde, aber eine Abbildung des Substrates nicht mehr zufrieden stellend ermöglichte.

klar erkennbar ist (Abb. 4.4.1.4 b). Bei der Probe handelt es sich um ein mit 1 ML Mangan beschichtetes Siliziumsubstrat. Die Mehrfachstrukturen in b) sind durch eine Mehrfachspitze bedingt. Die freien Bereiche zwischen den Inseln lassen erkennen, dass die Substratoberfläche stark gestört ist. Es ist wiederum zu vermuten, dass das Mangan beim

Zusammenlaufen auf der Substratoberfläche Silizium „eingesammelt“ hat. Bei den Clustern handelt es sich hier also aller Wahrscheinlichkeit nach um ein Mangansilizid. Einige der Inseln weisen Ähnlichkeiten mit der in Abb. 4.3.2.10 auf. Die in der Mitte von Abb. 4.4.1.4 a) sichtbare Insel zeigt deutlich die Form der in Kapitel 4.3.1 und .2 gefundenen  $Mn_5Si_3$ -Inseln.

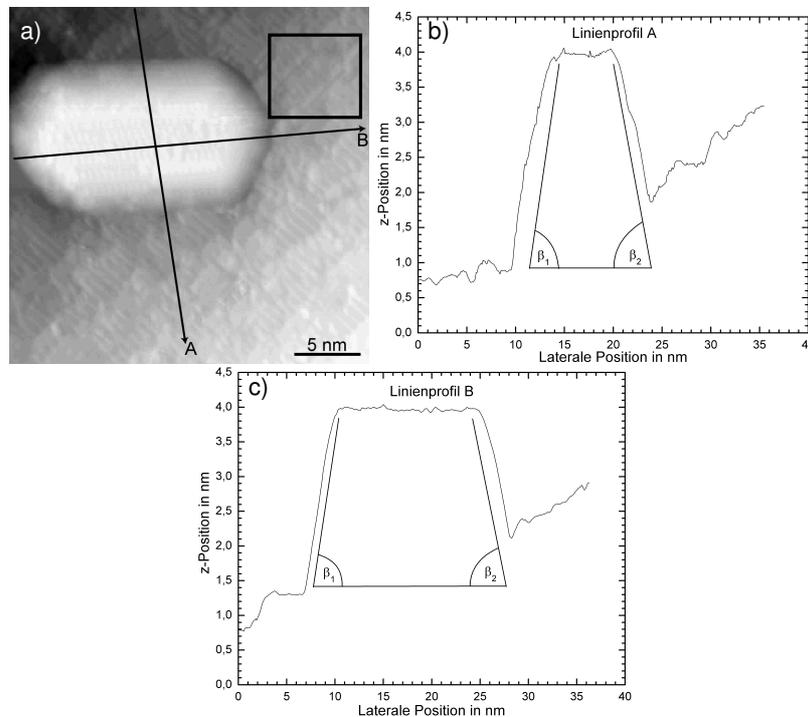


Abb.: 4.4.1.5

- Bildausschnitt einer STM-Aufnahme, einer mit 0,5 ML Mn beschichteten Probe. Das Bild wurde mit seiner Ableitung gemischt, um alle Strukturen sichtbar zu machen. Die mit A und B gekennzeichneten Pfeile markieren die Lage von Linienprofilen, die den Originaldaten entnommen worden sind.
- Linienprofil entlang des Pfeils A. Die eingezeichneten Winkel betragen:  $\beta_1 = 48$ ,  $\beta_2 = 38$ .
- Linienprofil entlang des Pfeils B. Die eingezeichneten Winkel betragen:  $\beta_1 = 41$ ,  $\beta_2 = 32$ .

Das heißt, dass hier die Silizidbildung spätestens bei 375 °C einsetzt.

Weiteres Erwärmen auf 445 °C führt zu einem weiteren Zusammenlaufen der Cluster und zu neuen Formationen. In Abbildung 4.4.1.5 ist eine Insel zu sehen, die denen aus Abb. 4.4.1.4 b) ähnelt. Es handelt sich um ein mit 0,5 ML Mn bedampftes Substrat. Im Gegensatz zu Abbildung 4.3.2.10 sind in der Peripherie der Insel nur vereinzelt Vertiefungen zu erkennen. Dafür ist die direkte Umgebung der Insel insgesamt stark gestört. Neben den vormals vorhandenen Doppelstufen sind jetzt auch einfache Stufen und damit Dimerreihen parallel zu den Terrassenkanten (schwarzer Kasten in Abb.: 4.4.1.5 a), sichtbar. Außerdem äußern sich die Störungen in stark variierenden Terrassenbreiten. Betrachtet man die Linienprofile, so findet man, dass die Werte mit denen aus Abb. 4.3.2.10 b) vergleichbar sind. Die in Abb. 4.4.1.5 a) andeutungsweise zu erkennende Struktur weist eine Periodizität von 0,591 nm in Richtung des Linienprofils B auf, was für eine  $MnSi(111)$ -Oberfläche zu wenig ist. Auch hier kann keine Identifizierung der Insel vorgenommen werden.

Neben dieser nicht identifizierten Inselform finden sich noch andere Formationen. So befand sich zum Beispiel in einer Region mit unstrukturierten Clustern eine Insel, die auf mindestens

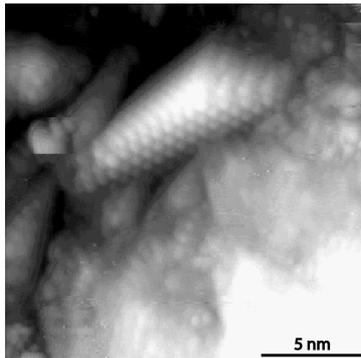


Abb.: 4.4.1.6  
Das STM-Bild entstand durch Mischen mit der Ableitung. Gut zu erkennen ist oberhalb der Bildmitte die Insel mit einer hexagonalen Struktur auf einer Fläche.

einer Seite klare hexagonale Strukturen aufweist. Die atomaren Abstände dieser Struktur passen, soweit diese sich ohne das Vorhandensein von Dimerreihen bestimmen lassen, zu einer  $\text{MnSi}(111)$ -Oberfläche. Diese Situation ist in der Abbildung 4.4.1.6 zu sehen. Bei der Probe handelt es sich um eine mit 1,5 ML Mn beschichtete,  $4^\circ$  fehlorientierte  $\text{Si}(100)$ - $(2\times 1)$  Probe. Bei  $445^\circ\text{C}$  scheint hier der Formationsprozess des  $\text{MnSi}$  einerseits schon weit fortgeschritten, andererseits ist bei einer Mangandicke von 1,5 ML das Substrat größtenteils bedeckt. Daher wurden weitere Untersuchungen bei 0,5 ML Mangandicke vorgenommen. Dabei wurden Bereiche, ähnlich denen in Abb. 4.4.1.6

gefunden. In Abbildung 4.4.1.7 ist so ein Bereich zu erkennen. Zwar sind dort keine klar als  $\text{MnSi}$  zu identifizierenden Strukturen zu sehen; aber es existiert ein Gebiet, in dem das Mangan zusammengelaufen ist und teilweise an  $\text{MnSi}$  erinnernde Strukturen zeigt. Daneben

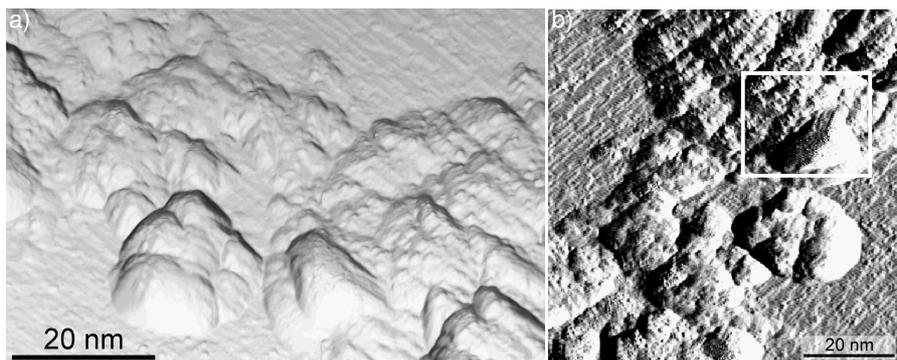


Abb.: 4.4.1.7

- Dreidimensionale Darstellung einer mit 0,5 ML Mangan beschichteten  $4^\circ$  fehlorientierten  $\text{Si}(100)$ - $(2\times 1)$  Probe, die auf  $445^\circ\text{C}$  erwärmt wurde.
- Strombild der Aufnahme aus a). Gut erkennbar sind die beiden Bereiche, in denen das Substrat sichtbar ist (oben links und unten rechts). Im Bereich der großen Cluster sind teilweise schichtartige Strukturen zu erkennen, die an die  $\text{MnSi}$ -Strukturen erinnern (weißer Kasten).

sind Regionen sichtbar, in denen die gestörte Substratoberfläche erkennbar ist. Die stark gestörte Oberfläche des Substrates lässt wiederum den Schluss zu, dass die Cluster nicht nur aus Mangan sondern aus einem Mangansilizid bestehen. Diese großen Mengen an Siliziden lassen vermuten, dass es auf der  $4^\circ$  fehlorientierten Oberfläche für das Mangan leichter ist Silizium aus der Substratoberfläche herauszulösen als auf der „glatten“  $\text{Si}(100)$ -Oberfläche.

Neben den zuvor beschriebenen großen Clustern, existieren auch Regionen, in denen kleinere Cluster geformt werden. Bisher sind keine Hinweise gefunden worden, die die Unterschiede in der Clusterform, auf identisch präparierten Proben, erklären würden. Inhomogenitäten in Bezug auf den Aufdampfprozess können ausgeschlossen werden, da sowohl die Aufdampfparameter als auch die Geometrien möglichst konstant gehalten

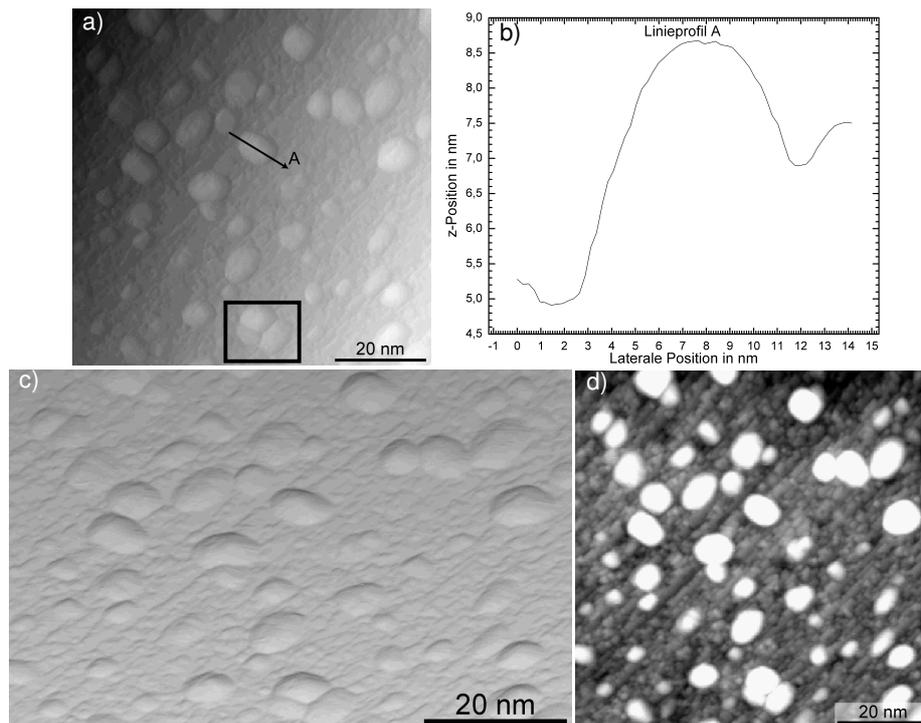


Abb. 4.4.1.8

Darstellungen einer mit 0,5 ML Mangan beschichteten,  $4^\circ$  fehlorientierten Si(100)-(2x1) Probe.

- Übersichtsbild, das mit seiner Ableitung gemischt wurde. Der Pfeil markiert die Lage des Linienprofils A in b). Der schwarze Kasten markiert einen Cluster, der aus drei kleineren Clustern gebildet wurde.
- Linienprofil entlang des Pfeils in a). erkennbar ist, dass sich der Cluster über mehrere Terrassen erstreckt.
- Dreidimensionale Darstellung des STM-Bildes aus a),
- Selber Bildausschnitt wie in a). Die Hintergrundkorrektur, die hier vorgenommen wurde macht besonders gut die Terrassen des Substrats sichtbar und zeigt die Störungen der Substratoberfläche.

wurden. In Abbildung 4.4.1.8 ist eine Region mit kleineren Clustern gezeigt. Betrachtet man Clustergrößen und die aufgedampfte Menge Mangan, so erhält man auch hier deutliche Hinweise auf ein Vorhandensein von Siliziden. Auffällig ist, dass die Cluster hier kaum noch entlang der Stufenkanten orientiert sind und sich über mehrere Terrassen erstrecken. Dem Linienprofil in Abb. 4.4.1.8 b) ist zu entnehmen, dass sich der Cluster über 7 Terrassen erstreckt. Auch die Verteilung der Cluster hat sich im Vergleich zu den noch nicht erwärmten Proben (Abb.: 4.4.1.1 und 3) verändert. Während die Cluster vor dem Erwärmen ungefähr gleichmäßig über die Terrassen verteilt sind, ist dies in den Darstellungen in Abb. 4.4.1.8 nicht mehr gegeben. Es kann vermutet werden, dass die Cluster sich um kleinere Anhäufungen gebildet haben, die aus unbekanntem Gründen nicht die Mobilität der anderen Cluster auf der Oberfläche besitzen. Das kann zum Beispiel der Fall sein, wenn sich diese an Defekten des Substrates angelagert haben. Das würde auch die Doppel- und Dreifachcluster erklären. Warum hier keine atomaren Strukturen gefunden wurden ist bisher nicht geklärt. Die einzige, momentan in Betracht gezogene, Möglichkeit ist, dass die Heiztemperaturen geringfügig voneinander abweichen, was sich durch einen veränderten Anpressdruck nach der Wartung der Direktstromheizung, erklären ließe. Das würde bedeuten, dass die Temperaturen, die zum Formieren von  $\text{MnSi}$  oder  $\text{Mn}_5\text{Si}_3$  notwendig sind, gerade nicht erreicht worden sind.

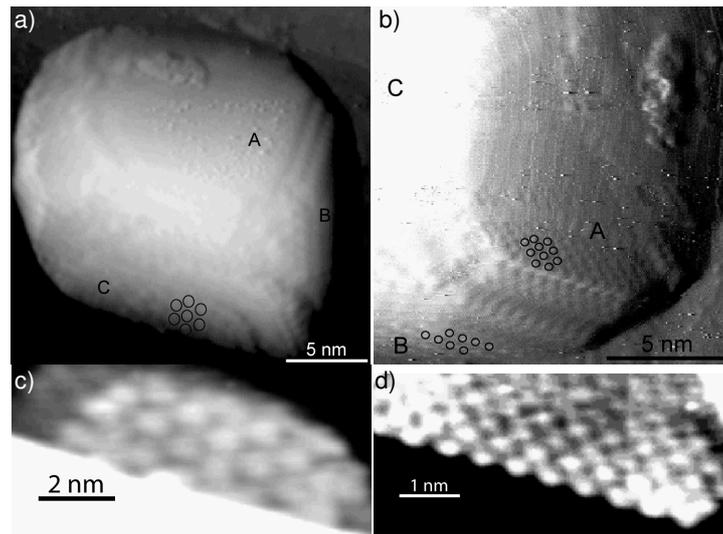


Abb. 4.4.1.9

- a) MnSi-Insel auf eines mit 0,5 ML Mn beschichteten,  $4^\circ$  fehlorientierten Si(100)-(2 $\times$ 1)-Substrates, das auf  $465^\circ\text{C}$  erwärmt wurde. Das Bild wurde mit seiner Ableitung gemischt um die atomaren Strukturen sichtbar zu machen. Es sind drei Flächen mit den Buchstaben A, B und C gekennzeichnet. Auf der Fläche C sind atomare Strukturen sichtbar. Mit Hilfe eines Linienprofils wurden die atomaren Abstände in der kurzen Richtung zu 1,29 nm bestimmt. Die schwarzen Kreise markieren die Positionen der atomaren Strukturen.
- b) Strombild der gleichen Insel wie in a), allerdings wurde die Scannrichtung um  $90^\circ$  im Uhrzeigersinn gedreht. Es sind atomare Strukturen auf den anderen beiden Flächen (A und B) sichtbar und mit Kreisen markiert. Die atomaren Abstände auf A passen zu denen einer MnSi(111)-Oberfläche.
- c) Ausschnitt, der den Bereich der Fläche C vergrößert zeigt.
- d) Ausschnitt, der den Bereich der Fläche A vergrößert zeigt.

Weitere interessante Beobachtungen wurden nach dem Erwärmen der Proben auf  $465^\circ\text{C}$  gemacht. Gerade hier unterscheiden sich die dünneren Proben (0,5 ML) von den dickeren (1,5 ML). Zuerst soll hier auf die dünneren Proben eingegangen werden. Besonders glücklich ist hier der Umstand, dass die Tunnelspitze bei einer Insel hinreichend gut war, um die Strukturen auf allen Flächen der Insel aufzulösen. In Abbildung 4.4.1.9 a) und b) wird diese Insel gezeigt. In a) ist vor allem die mit C gekennzeichnete Fläche interessant. Die dort beobachteten atomaren Strukturen sind mit 1,29 nm doppelt so groß, wie die für MnSi(111) erwarteten. Die auf der Fläche A gefundenen Strukturen weisen atomare Abstände auf, die wieder gut zu denen einer MnSi(111)-Oberfläche passen (kurze Richtung je 0,664 nm, soll: 0,645 nm, lange Richtung 1,059 nm, soll: 1,115 nm). Der Winkel zwischen den Flächen A und C beträgt  $114^\circ$ , der Winkel zwischen dem Substrat und der Fläche A beträgt  $40^\circ$ . Die beiden genannten Winkel widersprechen denen, die auf den glatten Siliziumsubstraten gefunden wurden. Für die Abweichung des Winkels zwischen der Fläche A und dem Substrat gibt es eine einfache Erklärung. Da der Winkel stark von der Substratgeometrie abhängt, ist der Wechsel von einer glatten zu einer  $4^\circ$  fehlorientierten Si(100)-Oberfläche sicherlich ausreichend um eine solche Änderung des Winkels zu bewirken. Zusätzlich bestehen bei der betrachteten Probe Probleme mit der z-Kalibrierung, da die Doppelstufen zu stark gestört sind um eine hochwertige Kalibrierung in z-Richtung vorzunehmen. Das beeinflusst auch die Bestimmung des Winkels zwischen der Fläche A und C. Daher soll hier

nur geschlussfolgert werden, dass die MnSi(111)-Oberfläche, die auf dem gestuften Substrat gefunden wird, einen von dem auf der glatten Si(100)-Oberfläche abweichenden Winkel zwischen Substratoberfläche und der MnSi(111)-Oberfläche aufweist. Gerade diese Abweichung (Änderung des Winkels) scheint aber auch erst die Messung der Strukturen auf der Fläche C (Rückseite) möglich zu machen. Diese wird noch später von Bedeutung sein. Im nächsten Abschnitt werden nun die mit 1,5 ML Mn beschichteten Proben behandelt, die auf 465°C geheizt wurden. Zur Erinnerung, nach dem Erwärmen auf 375°C zeigten diese Proben in Bereichen, die komplett mit Mangan oder einem Mangansilizid bedeckt waren, Strukturen, die aus MnSi bestehen (s. Abb. 4.4.1.6). Wie erwartet führte das Heizen der Probe auf 465°C zu einem weiteren Zusammenlaufen des auf der Oberfläche vorhandenen,

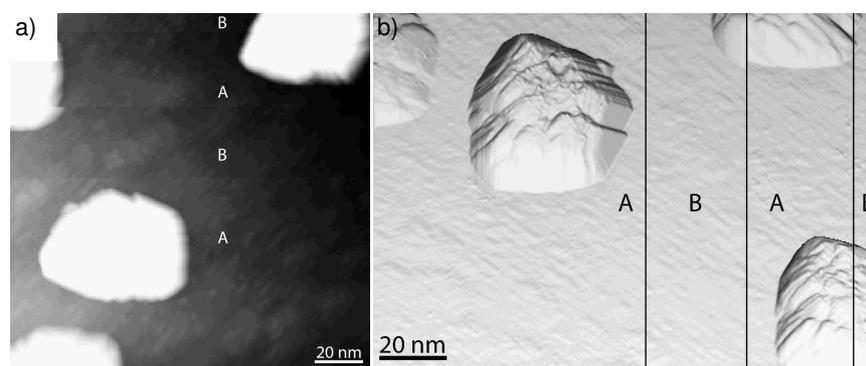


Abb. 4.4.1.10

- a) STM-Bild eines mit 1,5 ML Mn beschichteten, 4° fehlorientierten Si(100)-(2×1) Substrates. Es sind hauptsächlich die Konturen der Inseln zu erkennen. Die mit A gekennzeichneten Bereiche markieren Regionen, in der „Loop Gain“ (Geschwindigkeit mit der der z-Piezo auf den veränderten Tunnelstrom reagiert) an die Inselgröße angepasst ist (schlechte Auflösung des Substrates). Die mit B gekennzeichneten Regionen wurden mit einem „Loop Gain“, der für das Substrat optimiert ist gemessen.
- b) Dreidimensionale Darstellung des Bereichs aus a). Das Bild ist um 90° (im Uhrzeigersinn) zu a) gedreht. Die mit A und B bezeichneten Regionen entsprechen denen in a). Die nahe der Mitte liegende Insel zeigt teilweise atomar glatte Flächen.

nicht strukturierten Mangans oder Mangansilizids. Überraschenderweise wurden auf der Substratoberfläche jedoch keine Strukturen gefunden, die sich eindeutig dem MnSi zuordnen lassen. Wie in Abbildung 4.4.1.10 zu ersehen ist, sind die gefundenen Strukturen größer (sowohl was die Fläche, als auch das Volumen betrifft, wie in der Abb. 4.4.1.11 ersichtlich). Die Markierungen A und B kennzeichnen Regionen, die mit unterschiedlichem „Loop Gain“ (Geschwindigkeit mit der der z-Piezo auf den veränderten Tunnelstrom reagiert) gemessen wurden (s. Bildunterschrift Abb. 4.4.1.10 a). Zu erkennen ist, dass speziell die Insel, die nahe der Mitte der Abbildungen zu sehen ist, Flächen besitzt, die atomar glatt sind. Daraus wird geschlossen, dass die Inseln teilweise kristallin sind. Eine Zuordnung, um welches Mangansilizid es sich handelt, ist nicht möglich. In Abb. 4.4.1.10 b) sind zudem die Terrassen des Substrats sichtbar. Nicht aufgelöst werden die Dimerreihen des Substrates. Um eine Zuordnung treffen zu können wurde die mittlere Insel genauer betrachtet. Diese Betrachtungen stützen sich auf die Abbildung 4.4.1.11. In a) ist die Insel zu erkennen. Aus dem Linienprofil, das in b) dargestellt ist, kann der Winkel  $\beta$  berechnet werden. Er beträgt

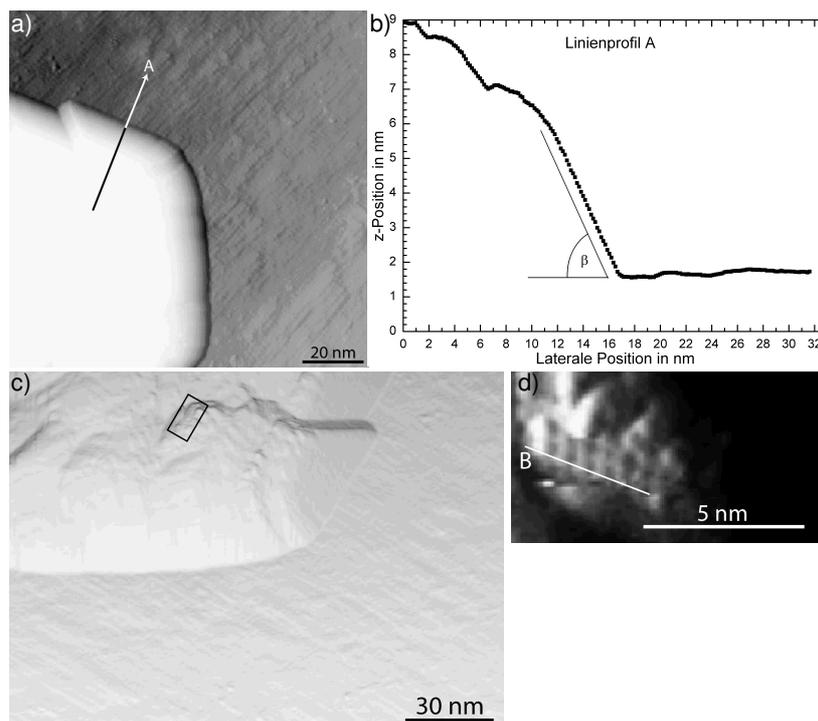


Abb. 4.4.1.11

- STM-Bild, gemischt mit seiner Ableitung. Auf dem Bild sind neben den Terrassen und den Dimerreihen, die Konturen der atomar glatten Fläche zu erkennen. Der Pfeil A kennzeichnet die Lage des Liniensprofils.
- Liniensprofil entlang des Pfeils A in a). Der Winkel  $\beta$  beträgt  $39^\circ$ .
- Dreidimensionale Darstellung des Bildes aus a). Der schwarze Rahmen markiert die Lage des in d) vergrößert dargestellten Bereiches.
- Vergrößerung des in c) markierten Bereiches. An der Linie B sind atomare Strukturen zu erkennen. Der atomare Abstand wurde einem Liniensprofil entnommen und beträgt:  $0,676 \text{ nm}$ .

$39^\circ$ . Das korrespondiert gut mit dem in Abb. 4.4.1.9 gefundenen Winkel von  $40^\circ$ . Dies lässt vermuten, dass es sich bei der Fläche, über die das Liniensprofil A gelegt wurde, um eine MnSi(111)-Oberfläche handelt. Zusätzlich zu diesem Indiz kommt, dass auf der Oberseite der Insel atomare Strukturen gefunden werden, die denen einer MnSi(111)-Oberfläche ähneln. Der atomare Abstand entlang der in Abb. 4.4.1.11 d) markierten Linie B beträgt  $0,676 \text{ nm}$ . Diese beiden Indizien werden als ausreichend angesehen um von einer MnSi-Insel zu reden, die aber aller Wahrscheinlichkeit nach nicht aus einem Einkristall besteht, sondern polykristallin ist. Über die Defektdichte des Substrates kann keine Aussage getroffen werden. Das liegt darin begründet, dass es auf Grund der geringeren Terrassenbreite schwierig ist klare Zuordnungen zu treffen, die eine Klassifizierung in Defekte und reguläre Bereiche zulassen würde.

Zusammenfassend ist anzumerken, dass:

- Die Bildung von am  $4^\circ$  fehlorientierten Si(100)-(2x1) Substrat ausgerichteten Clustern wird ohne das Heizen der Probe erreicht.
- Bei den mit nur 0,5 ML beschichteten Substraten werden Strukturen gefunden, die auf Dimerreihen hinweisen. Zumindest in diesen Bereichen sollte nach den Berechnungen der Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Scheffler, ausgehend von einem

glatten Substrat, keine Manganmengen größer als 0,5 ML unter der Substratoberfläche vorhanden sein. Es werden auch Strukturen auf den Clustern gefunden, die parallel zu den Dimerreihen des Substrates liegen.

- Ab Heiztemperaturen von 375°C werden kristalline Strukturen beobachtet, die auf Grund ihrer Form zuerst dem  $Mn_5Si_3$  zugeordnet werden. Diese Zuordnung scheint aber problematisch, da bei 445°C MnSi-artige Inseln gefunden werden, die ebenfalls diese Form besitzen.
- Bei Heiztemperaturen von 445°C werden zwischen unstrukturierten Clustern kristalline Strukturen gefunden, die, partiell, MnSi zugeordnet werden.
- Ab 465°C finden sich große, zumindest teilweise kristalline Inseln, die aus MnSi bestehen. Diese Inseln sind deutlich größer als die bisher, in dieser Arbeit, beobachteten Strukturen.