

4.6 Vergleich der Beobachtungen auf den verschiedenen Siliziumsubstraten und Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel sollen die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Beobachtungen miteinander verglichen werden.

Besonders auffällig ist die Bildung von unstrukturierten, aber entlang der Stufenkanten orientierten Clustern auf der 4° fehlorientierten Si(100)-(2 \times 1) Oberfläche, bei Raumtemperatur. Unter vergleichbaren Bedingungen werden auf der „glatten“ Siliziumoberfläche keine Cluster beobachtet. Diese bilden sich dort erst bei Ausheiltemperaturen um 385°C . Allein diese Beobachtung regt bereits die Überlegung an, dass sich entweder die Mobilität des Mangans auf den zwei Oberflächen unterscheidet, oder aber, dass es sich bei den beobachteten Clustern bereits um ein Silizid handelt und dieses Silizid auf der Substratoberfläche mobiler ist als das Mangan. Das wiederum erfordert, dass das Mangan auf der 4° fehlorientierten Oberfläche Silizium aus derselben herauslösen kann, was auf der „glatten“ Oberfläche nicht möglich ist. Diese Tatsache kann darauf zurückgeführt werden, dass der nötige Energieaufwand für die Herauslösung des Siliziums an den Stufenkanten geringer ist und diese bei dem 4° fehlorientierten Substrat eine deutlich höhere Dichte aufweisen. Diese Vermutung wird auch dadurch gestützt, dass sich bei vergleichbaren Ausheiltemperaturen auf dem 4° fehlorientierten Substrat früher kristalline Strukturen ausbilden. Nach dem Erwärmen auf 465°C finden sich auf den fehlorientierten Substraten signifikant (bis zu einem Faktor 2) größere Strukturen. Auch finden sich nach dem Ausheilen bei 465°C nur die beobachteten großen Inseln, die vermutlich aus MnSi bestehen. Im Gegensatz dazu werden auf dem glatten Substrat sowohl MnSi-, als auch Mn_5Si_3 -Inseln gefunden. Die Bildung von Mn_5Si_3 -Inseln wurde auf eine reduzierte Siliziumzufuhr zur Silizidbildung zurückgeführt, was im Vergleich mit den fehlorientierten Substraten bedeutet, dass es auf diesen nicht zu einem solchen Mangel kommt [Lippitz2005]. Das Silizium zur Bildung der Mn_5Si_3 -Inseln wird zum Teil aus den Vertiefungen in der Inselperipherie und möglicherweise unter der Insel abgebaut. Auch das stützt die Hypothese einer vereinfachten „Siliziumgewinnung“ auf der fehlorientierten Oberfläche. Die oben genannte Vermutung, dass Mangansilizide auf der Siliziumoberfläche mobiler sind als Mangan selbst wird durch die auf den Substraten gefundenen Defekte nach der Clusterbildung unterstützt. Auch die Beobachtung, dass die MnSi-Inseln auf der glatten Oberfläche von der Rückseite aus aufgebaut werden und dabei großflächige Defektbereiche hinterlassen, widersprechen dieser Vermutung nicht, da es sich bei den mobilen Mangansiliziden vermutlich weder um MnSi noch Mn_5Si_3 handelt, sondern um ein Silizium ärmeres Silizid. Das Modell, das die Formierung einer MnSi-Insel von der „hinteren“ Seite aus beschreibt, ist in Abb. 4.6.1

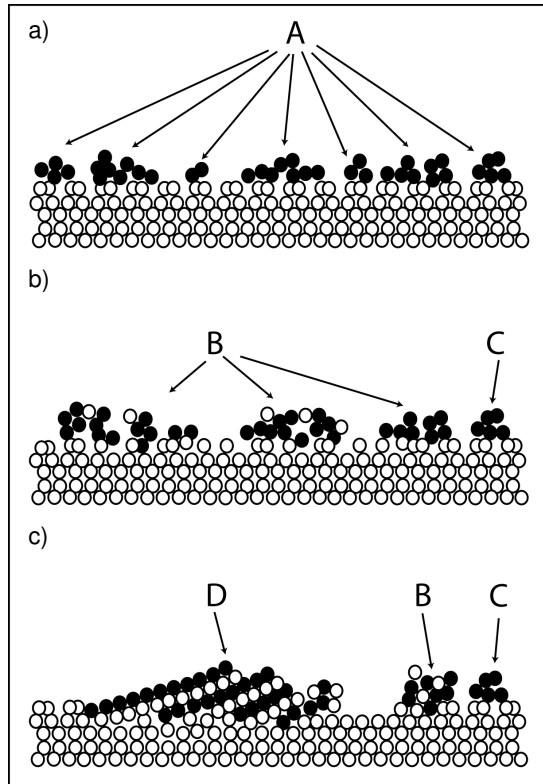


Abb. 4.6.1

Schematisches Modell der MnSi-Formierung:

- Si(100)-(2x1) Oberfläche nach dem Aufdampfen ~1 ML Mn (schwarze Kugeln), mit A markiert sind die unstrukturierten Cluster.
- Nach Heizen auf 385°C haben sich mobile (mit Si angereicherte) Cluster (B) und weniger mobile Cluster (C) gebildet.
- Nach dem Heizen auf 465°C hat sich eine MnSi-Insel (D), ein mobiler Cluster (B) und ein weniger mobiler Cluster (C) gebildet. An der MnSi-Insel (D) ist angedeutet wie sie von hinten (rechts) wächst.

dargestellt. Auch wird dort illustriert, was unter den „mobilen“ Mangansiliziden zu verstehen ist (mit B gekennzeichnete Cluster in b) und c)). In b) und c) ist auch gut erkennbar, was mit den gestörten Flächen unter den Clustern und Inseln gemeint ist. Auch das in Kapitel 4.3.2 in Abb. 4.3.2.11 a) als „chipartiges“ bezeichnete Wachstum ist hier nachvollziehbar. Die MnSi-Ebene, die parallel zu der Si(100)-Oberfläche liegt ist eine MnSi(122)-Ebene. Versucht man, diese an die Si(100)-Oberfläche anzupassen werden keine einfachen Periodizitäten, die die Lage der Insel (z.B. den 12° Winkel zwischen Inselkante und Dimerreihen) erklären können gefunden.

Um den Vergleich zwischen glatten und vizinalen Substraten abzuschließen, soll hier noch festgehalten werden, dass auch das Fehlen von Vertiefungen in der Peripherie von Inseln auf der fehlorientierten Oberfläche die Annahme stützt, dass auf der vizinalen Oberfläche das Silizium unter geringerem Energieaufwand aus dem Substrat gewonnen werden kann.

Der Vergleich zwischen den mit Bismut

beschichteten Substraten und den direkt mit Mangan bedampften Substraten zeigt, dass das Bismut in der Lage ist, eine Silizidbildung zu verhindern. Als problematisch stellt sich jedoch dar, dass sich bei Temperaturen, bei denen das Bismut auf der Siliziumoberfläche stabil ist, keine Manganfilme ausbilden. Es werden lediglich unstrukturierte Cluster gefunden. Erst wenn ausreichend Bismut von der Oberfläche abgedampft ist und somit Silizium wieder zur Verfügung steht, bilden sich kristalline Strukturen. Diese werden als MnSi identifiziert.

Auf den mit Bismut beschichteten 4° fehlorientierten Oberflächen finden sich nicht die großen Strukturen, wie sie oben und in Kapitel 5.4 beschrieben und in Abb. 4.4.1.10 und 11 dargestellt sind. Zusätzlich treten zu den als MnSi identifizierten Inseln noch Mn₅Si₃-Strukturen auf. Das heißt auch hier findet durch das Bismut erst eine Blockade der Silizidbildung statt und verhindert im Weiteren die Bildung der großen Inseln, dadurch, dass das Silizium nicht in der ausreichenden Menge, unter geringem Energieaufwand, zu

erreichen ist. Interessant sind auch die in Abb. 4.4.1.9 c) und Abb. 4.5.2.3 c) gezeigten atomaren Strukturen. Sie sind mit 1,29 nm und 1,24 nm etwa doppelt so groß wie der für eine MnSi(111)-Oberfläche zu erwartende atomare Abstand. Dieser Abstand lässt sich rein geometrisch nicht erklären. Hier wird vermutet, dass es sich um eine Rekonstruktion auf der Oberfläche handelt. Eine Bestimmung der Ebene, in der diese Rekonstruktion auftritt war nicht möglich, da der Winkel zwischen dieser und der MnSi(111)-Ebene nicht mit ausreichender Präzision bestimmt werden konnte.

Für weitere Untersuchungen werden Versuche mit anderen Materialien vorgeschlagen, die eine Blockade der Silizidbildung auch bei höheren Temperaturen noch gewährleisten. Verwenden könnte man dazu zum Beispiel Antimon. Dieses zeigt eine der Si(100)-(2×1) Oberfläche verwandte Struktur [Richter1990] und ist temperaturstabiler als Bismut. Die Begründung für die Verwendung von Bismut findet sich in der Einleitung.