

3.4 Temperaturmessung im Probenkontakt und im thermischen Gleichgewicht

Zentraler Punkt bei den Untersuchungen zur Abhängigkeit des Schmelzpunktes von Bismutinseln in Abhängigkeit von der Bismutbedeckung ist eine zuverlässige Temperaturmessung. Bisher war in der verwendeten UHV-Anlage nur eine Temperaturmessung mit einem Thermoelement fern von der Probe möglich. Das lieferte zwar eine ausreichende Reproduzierbarkeit für Wachstumsstudien bei erhöhter Substrattemperatur, ist aber inadäquat für die oben genannten Untersuchungen. Die Temperaturmessung im Probenkontakt wurde im Rahmen einer Doktorarbeit [Deffke2002] und einer Diplomarbeit [Sommer2002] konzipiert. Im Zuge der hier vorliegenden Arbeit wurde der Messkopf hergestellt und die Temperaturmessung, in Zusammenarbeit mit Fr. Dr. Deffke, fertig gestellt.

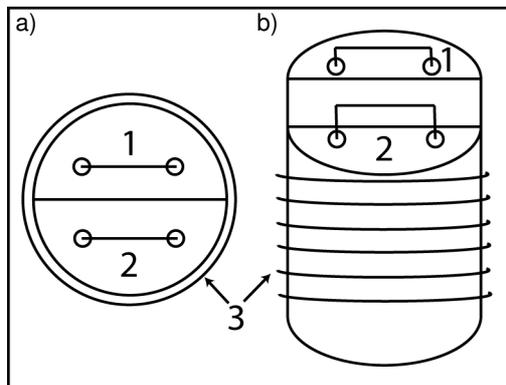


Abb. 3.4.1
Skizze des Temperaturmesskopfes. Mit 1 ist das höher liegende Thermoelement bezeichnet, mit 2 das tiefer liegende. Die Thermoelemente stecken in einer 4-Lochkeramik.

Ein Heizspirale ist mit 3 gekennzeichnet.

- a) Aufsicht.
b) Seitenansicht.

Das Konzept beruht auf einer privaten Mitteilung [Theis]. In der Abbildung 3.4.1 ist der Messkopf abgebildet. Er besteht aus zwei Thermoelementen, die in einer 4-Lochkeramik stecken. Der Messkopf ist mit einer Heizspirale (dünner Wolframdraht) versehen und so heizbar. Bei den Thermoelementen handelt es sich um Typ-C Thermoelemente. Im Folgenden soll kurz auf das Messprinzip eingegangen werden. Zur Temperaturmessung wird der Messkopf über eine Mechanik so nahe an die Probe gebracht, dass das obere Thermoelement diese Probe berührt. Anschließend wird der Messkopf solange geheizt, bis die Thermoelemente die gleiche Temperatur

anzeigen (die Probe wird während dieser Zeit kontinuierlich weiter indirekt geheizt). An diesem Punkt wird angenommen, dass sich der Messkopf und die Probe im thermischen Gleichgewicht befinden und so die Temperatur abgelesen werden kann. Der Vorgang des Heizens des Messkopfes muss relativ langsam (<1 K/min) erfolgen, damit nicht ein Heizen der Probe mit der Messkopfheizung stattfindet. Damit sind problemlos Messungen möglich, die eine relative Genauigkeit von 1 K erreichen. Das ist für die vorgenommenen Messungen vollkommen ausreichend. Die Thermoelemente wurden gegeneinander (an Luft) abgeglichen. Bei genügend geringen Heizraten sollte die Genauigkeit noch zu steigern sein. Eine absolute Kalibrierung des Messkopfes steht noch aus, ist aber prinzipiell möglich. Die Temperaturmessung ist so konzipiert, dass generell RHEED-Aufnahmen während der

Temperaturmessung möglich sind, allerdings führt der Andruck, der für eine gute Temperaturbestimmung notwendig ist, zu einer Verkippung der Probe. Diese Verkippung verhindert im Augenblick noch eine gleichzeitige Temperaturmessung und RHEED-Beobachtung. Da die Temperaturmessung in der Wachstumskammer eingebaut ist, ist es möglich, die Substrattemperatur vor Aufdampfprozessen zu bestimmen und so eine bessere Reproduzierbarkeit zu erreichen.

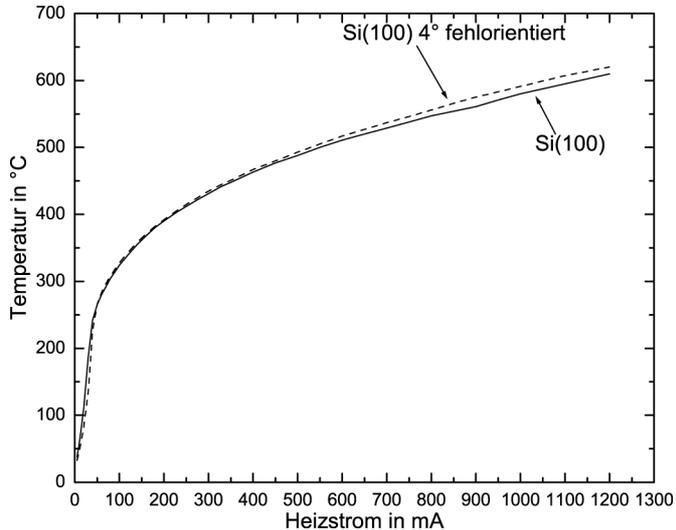


Abb. 3.4.2
Temperaturkalibrierung der Direktstromheizung für Si(100)
(volle Linie) und 4° fehlorientierte Si(100)-Substrate
(gestrichelt).

relevanten Kurven dargestellt. Damit ist es möglich den Heizströmen, die für die Ausheilprozesse verwendet werden, eine Temperatur zuzuordnen. Der Fehler beträgt lediglich ± 5 K, was mit dem Fehler einer Pyrometermessung unter den gegebenen Bedingungen vergleichbar ist. Die Erzielte Genauigkeit reicht für eine reproduzierbare Probenpräparation aus.

Neben der hier vorgestellten Temperaturmessung in Probenkontakt, wurde die Direktstromheizung, die im Rahmen der Arbeit [Schwinge2005] in die Analysenkammer implementiert wurde, kalibriert. Dazu wurde ein Thermoelement direkt auf die jeweilige Testprobe {Si(111), Si(111) 4° fehlorientiert, Si(100) und Si(100) 4° fehlorientiert} aufgesetzt. Es wurden Kalibrierungskurven für die unterschiedlichen Proben angefertigt. In Abb. 3.4.2 sind die für diese Arbeit