

6 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden Raumtemperatur-BEEM-Messungen an Au/Si(111)- und an Au/Pr₂O₃/Si-Proben durchgeführt. Die Proben wiesen einen geringen ohmschen Widerstand auf. Wir haben die Ursache des geringen Widerstands untersucht und die Präparation diesbezüglich optimiert. Es wurde eine Lock-In-Messmethode angewandt, bei der der Tunnelstrom mit sehr kleiner Frequenz moduliert wird, um trotz des geringen Probenwiderstands BEEM-Messungen durchführen zu können. Damit ist uns gelungen, BEEM-Bilder hoher Auflösung bei Proben mit bis zu 30 k Ω Widerstand durchzuführen, was den Horizont für BEEM sehr erweitert, da bisher Proben mit kleiner als 1 M Ω als nicht messbar galten.

Im Hinblick auf den Proben-Widerstand haben wir zwei Präparationsmethoden aus der Literatur für das System Gold/Silizium getestet, die sich mit thermischer Präparation und einer einfachen Schattenmaske in situ durchführen lassen. Die Problematik von geringen Widerständen wird in der BEEM-Literatur zu diesem "idealen" BEEM-System zwar ab und zu erwähnt, wurde aber bisher nicht genauer untersucht. Die Probenwiderstände, die wir für die verschiedenen Präparationsmethoden gemessen haben, unterscheiden sich deutlich. Diese Unterschiede können wir mit Hilfe eines Oberflächenmodells erklären. Gemäß diesem Modell werden die geringen Widerstände durch die Oberflächenleitung der den Goldkontakt umgebenden Si-Oberfläche verursacht. Einen etwas höheren Widerstand kann man erhalten, indem die Präparationstemperatur niedrig genug wählt, um eine Restrauigkeit der Siliziumoberfläche zu erhalten und so die Oberflächenleitung zu reduzieren. Für BEEM-Messungen kann man dann flache Bereiche wählen. An diesen Proben konnten wir bei Raumtemperatur mit Hilfe der Lock-In-Methode sowohl Spektren als auch Bilder aufnehmen.

Mit BEEM-Messungen an Praseodymoxid-Proben haben wir ein bisher nicht bearbeitetes Feld betreten. Zum einen sind Au/Pr₂O₃/Si-Schichtsysteme erst in den letzten Jahren bei der Suche nach alternativen Isolatormaterialien für die Halbleitertechnik hergestellt und untersucht worden, zum anderen wurden bisher überhaupt nur wenige Isolatormaterialien mit BEEM untersucht, nämlich SiO₂, Al₂O₃ und CaF₂. Sowohl die in situ-Präparation der Pr₂O₃-Proben in einer kleinen an die BEEM-Apparatur angebauten Präparationskammer, als auch die BEEM-Messung an den niederohmigen Proben mit starker Signaldämpfung stellten eine Herausforderung dar. Es ist uns gelungen an Au/Pr₂O₃/Si mit einer Submonolagen-Pr₂O₃-Zwischenschicht BEEM-Messungen durchführen und die Zwischenschicht direkt abbilden. Wir konnten anhand von BEEM-Spektren die Isolatorbarrierenhöhe bestimmen. Außerdem konnten wir die mittlere Schottkybarriere der teilbedeckten Probe bestimmen, welche niedriger als die der Au/Si-Grenzfläche ist. Aus diesen

Größen haben wir den Leitungsbandoffset und das Bandgap abgeschätzt.

Ausblick

Wir haben festgestellt, dass die Präparation der Siliziumoberfläche den Widerstand der Au/Si(111)-(7x7)-Kontakte beeinflusst. Diese Beobachtung kann mit Leckströmen über die den Goldkontakt umgebenden Siliziumoberfläche erklärt werden. Neben der thermischen Präparation der Silizium-Oberfläche, die wir verwendet haben, wird in der BEEM-Literatur auch noch eine andere Methode verwendet, um Au/Si(111) zu präparieren, bei der Gold auf eine wasserstoffpassivierte Oberfläche aufgedampft wird. Auch hier stellt sich eine ähnliche Frage, nämlich ob die Anwesenheit des Wasserstoffs für den Widerstand essentiell ist. Es gibt Hinweise darauf, dass die Schottkydioden sehr viel geringeren Widerstand haben, falls der Wasserstoff vor dem Aufdampfen des Golds desorbiert wird [43], weshalb die Goldkontakte auf die wasserstoffgesättigte Oberfläche aufgedampft werden. Es ist nicht geklärt, in welcher Weise der Wasserstoff das System beeinflusst, ob die Wasserstoffpassivierung die Schottkybarriere erhöht, oder ob es sich um einen Leckstromeffekt handelt. Beides ist denkbar, da bekannt ist, dass Wasserstoffpassivierung durch Reaktion mit der Dotierung zu einem Pinning des Fermi-niveaus führen kann. Dies könnte ebenfalls einen Effekt auf die Höhe der gemessenen Au/Si-Schottkybarriere haben.

Wir konnten an Au/Pr₂O₃/Si -Proben mit einer Submonolagen Pr₂O₃-Zwischenschicht die Isolatorbarrierenhöhe und die Bandverbiegung in Silizium messen und daraus den Leitungsbandoffset bestimmen. Da sich im allgemeinen die Bandstruktur der Submonolagenschicht von der Volumenbandstruktur unterscheidet, wäre es von großem Interesse, BEEM-Spektren von dickeren Schichten zu messen. Bei unseren Messungen an dickeren Filmen war der Probenwiderstand zu gering und das Rauschen überlagerte das kleine BEEM-Signal. Eine Möglichkeit das Signal-Rauschen-Verhältnis zu verbessern ist die Messung bei tiefen Temperaturen (z.B. 77 K). Bei tiefen Temperaturen steigt der Widerstand für alle thermisch angeregten Ströme und somit reduziert sich der Leckstrom, der das Rauschen verursacht.

Es wäre auch interessant, andere Seltenerdoxidfilme zum Vergleich heranzuziehen. Auf der Si(111)-Oberfläche wachsen auch Gd₂O₃ [89], Nd₂O₃ [90] und Sc₂O₃ [91] mit hoher Qualität epitaktisch, allerdings nicht hexagonal wie Pr₂O₃, sondern in der C-Struktur. Ho₂O₃ und Dy₂O₃ wachsen ebenfalls epitaktisch auf der Si(111), die Qualität der Grenzfläche ist noch nicht untersucht [92]. Es könnten so die Leitungsbandoffsets der Seltenerdoxide mit BEEM bestimmt werden. Die Isolatorbandstruktur der Seltenerdoxide wird zur Zeit intensiv untersucht, es sind aber noch viele Fragen offen. So bleibt z.B. bei den Rechnungen zu Pr₂O₃ unklar, ob das Leitungsband nun f und d-Zustände besitzt oder nur aus d-artigen aufgebaut ist. Da BEEM-Spektren die Isolator-Bandstruktur widerspiegeln, ist zu erwarten, dass ein Vergleich der BEEM-Spektrenform unterschiedlicher Seltenerdoxide zur Klärung dieser Fragen beitragen kann.