

Christian Meyer

Darstellung der Forschungsaktivitäten

Im Rahmen dieser Arbeit werden die lokalen elektronischen Eigenschaften von Halbleiter-Grenzflächen mittels Tieftemperatur-Rastertunnelspektroskopie untersucht. Ein interessantes System in diesem Zusammenhang sind Halbleiter(HL)/Supraleiter(SL)-Grenzflächen. Wesentliche Voraussetzung ist die Herstellung entsprechender Grenzflächen, insbesondere die Herstellung von ausreichend großen Inseln, die supraleitende Eigenschaften besitzen. Somit wurde zunächst das Wachstum von Niob(Nb) auf der Indiumarsenid(110)-Oberfläche untersucht. Von besonderem Interesse ist hier die Herstellung von 5 bis 20 nm großen **supraleitenden** Niob-Inseln auf der InAs-Oberfläche. An diesen SL/HL-Übergängen sollen später ortsaufgelöste rastertunnelspektroskopische Untersuchungen mit der von den Stipendiaten Andre Wachowiak und Jens Wiebe aufgebauten Tieftemperatur-Rastertunnelmikroskopie-Anlage durchgeführt werden.

Für die Untersuchungen zum Wachstum wurde ein in dieser Gruppe entwickeltes Rastertunnelmikroskop (RTM) benutzt. Bei diesem RTM handelt es sich um ein speziell für Wachstumsuntersuchungen konzipiertes Mikroskop. Hierbei findet die Annäherung der Probe an die Spitze nicht senkrecht, sondern unter einem Winkel von 30° statt. Dies hat den Vorteil, dass bei zurückgezogener Probe senkrecht auf die Probe aufgedampft werden kann, ohne dass der Verdampferstrahl durch die Tunnelspitze abgeschattet wird, oder die Probe aus dem Mikroskop entfernt werden muss. Dies erlaubt auf Zeitskalen von etwa 1 h unterschiedliche Bedeckungen des Verdampfermaterials auf dem gleichen Substrat zu untersuchen, und dabei dieselbe Probenstelle abzubilden.

Um bei späteren spektroskopischen Messungen an Niob-Inseln eine definierte Aussage über die Abhängigkeit der SL-Bandlücke von der Größe und der Dicke der Niob-Inseln treffen zu können, ist es essentiell, Verunreinigungen des Niobs zu minimieren. Deshalb wurde zunächst ein Verfahren entwickelt, um sehr reine Niobfilme mittels eines Elektronenstrahlverdampfers auf das Substrat aufzubringen. Hierzu wurde der Verdampferstrahl mit Hilfe der massenspektrometrischen Analyse untersucht. Es zeigte sich, dass die Verunreinigungen im Verdampferstrahl (H_2 , CH_4 , O_2) sehr stark von der Temperatur des Verdampferkörpers abhängen. Für die Erhöhung der Reinheit wurde eine bessere Kühlankopplung des auf Hochspannung liegenden Niobdrahtes an den Verdampferkörper entwickelt und zusätzlich der Verdampferkühlkörper mit flüssigem Stickstoff gekühlt. Tatsächlich konnten die wesentlichen Verunreinigungen CH_4 und O_2 des Verdampferstrahls unter die Nachweisgrenze reduziert werden. Der H_2 -Anteil wurde um ca. 2 Größenordnungen gesenkt, wurde jedoch immer noch als Erhöhung gegenüber dem Restgasdruck nachgewiesen. Zur Überprüfung der Reinheit wurde Niob in verschiedenen Filmdicken auf einer InAs-Probe deponiert und diese mit Augerelektronenspektroskopie (AES) untersucht (Abb. 1). Hierbei zeigte sich, dass die durch den Aufdampfprozess verursachten Verunreinigungen von Sauerstoff und Kohlenstoff unterhalb der AES-Nachweisgrenze liegen.

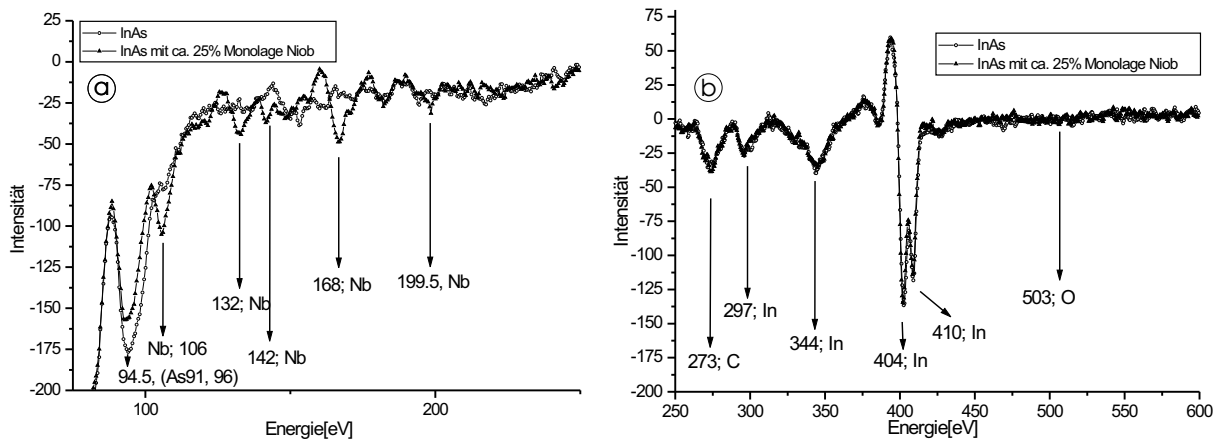


Abbildung 1: Augerelektronenspektroskopische Aufnahmen der reinen InAs(110)-Oberfläche und der InAs-Oberfläche bei einer Nb-Bedeckung von 25 % einer Monolage (ML). Peakenergien und zugehörige chemische Elemente sind markiert. a) 75 – 250 eV b) 250 – 600 eV.

Zur Untersuchung des Wachstums wurde zunächst die Clusterbildung der Niobatome auf der InAs-Oberfläche bei Raumtemperatur beobachtet. Niob bildet bei Raumtemperatur auf der Oberfläche Cluster aus ein bis vier Atomen (Abb. 2). Die Bindung findet bevorzugt (bis zu einer Größe von drei Atomen) quer zu den InAs-Reihen statt. Die Diffusionsgeschwindigkeit einzelner Atome ist bei Raumtemperatur sehr niedrig und Dimere bilden bereits einen stabilen Keim. Um die Diffusion der Niobatome auf der Oberfläche zu erhöhen, wurden die Proben nach der Niob-Deposition geheizt. Durch kurzzeitiges Heizen auf 200°C konnten Niob-Inseln in einer Größe von ca. 10 nm präpariert werden (Abb. 3). Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass ein längeres Heizen (1 h) bei 200°C Leerstellen von 1 bis 3 nm Durchmesser erzeugt. Für die weiteren Untersuchungen muss also eine niedrigere Substrat-

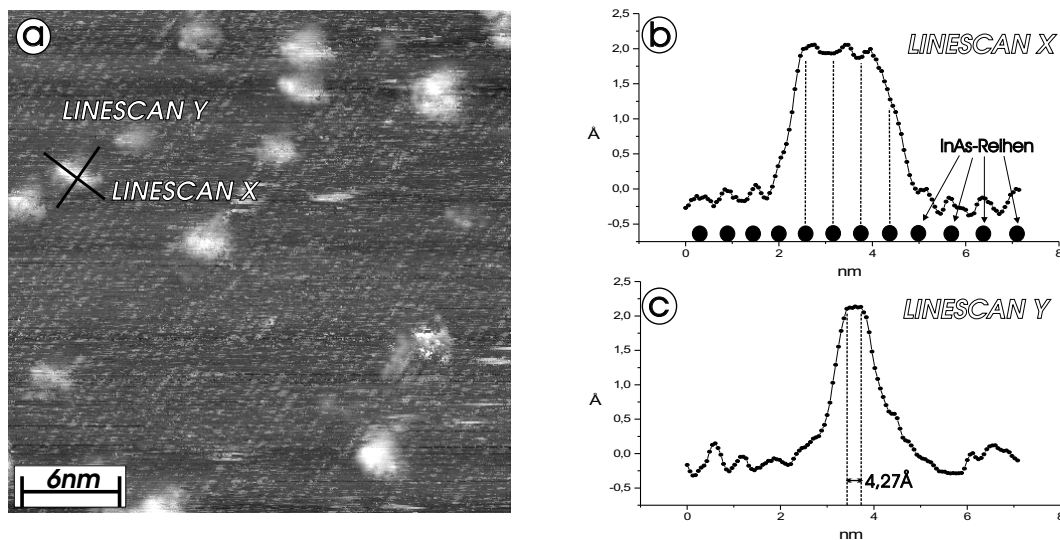


Abbildung 2: a) RTM-Aufnahme der InAs(110)-Oberfläche nach dem Aufdampfen von 1,2% ML Niob bei 300K ($U = -1,76$ V, $I = 25$ pA). b) Linescan quer zu den Reihen über einen Cluster. Die schwarzen Punkte markieren die InAs-Reihen. c) Linescan entlang der Reihen über ein Cluster. Der Abstand von Einheitszellen der InAs(110)-Oberfläche ($4,27\text{\AA}$) ist markiert.

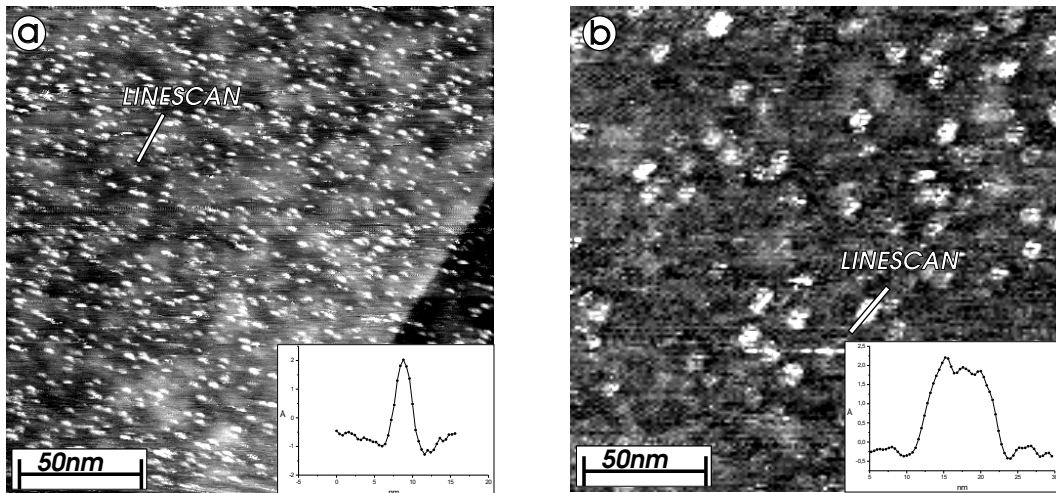


Abbildung 3: a) InAs(110)-Oberfläche mit einer Stufenkante nach dem Aufdampfen von ca. 2% ML Niob ($U = -500$ mV, $I = 46$ pA). Der Inset zeigt einen Linescan über einen Niob-Cluster. b) Die gleiche Probe nach 15 Minuten Heizen bei 200°C ($U = -1$ V, $I = 43$ pA). Der Inset zeigt einen Linescan über eine Insel nach dem Heizen.

temperatur gewählt werden, um diese möglichen Nukleations-Zentren der Inselbildung zu minimieren und eine saubere Niob-InAs Grenzfläche zu erhalten.

Neben den Wachstumsuntersuchungen wurden Photoelektronenspektroskopie(UPS)-Messungen zur Bestimmung der elektronischen Struktur der Grenzfläche auf der makroskopischen Skala durchgeführt. Insbesondere wurde die Bildung des zweidimensionalen Elektronensystems (2DES) an der Grenzfläche untersucht. Aus der bedeckungsabhängigen Untersuchung von Valenzbandpeaks konnte die Nb-induzierte Bandverbiegung ermittelt werden (Abb. 4a). Auch der 2DES-Peak war in den UPS-Messungen auflösbar (Abb. 4b). Offensichtlich wächst die Elektronendichte des 2DES mit zunehmender Nb-Bedeckung an. Die kleinste einstellbare Dichte betrug dabei $1 \cdot 10^{11}/\text{cm}^2$. Anzeichen für die Dispersion des 2DES lassen sich in Abb. 4c erkennen, in der die Winkelabhängigkeit des 2DES-Peaks gezeigt ist. Der 2DES-Peak schiebt mit zunehmendem Winkel zu etwas höheren Energien. Die UPS-Messungen dienen als Kalibrationsmessungen für die sehr viel schwieriger zu interpretierenden späteren RTS-Messungen.

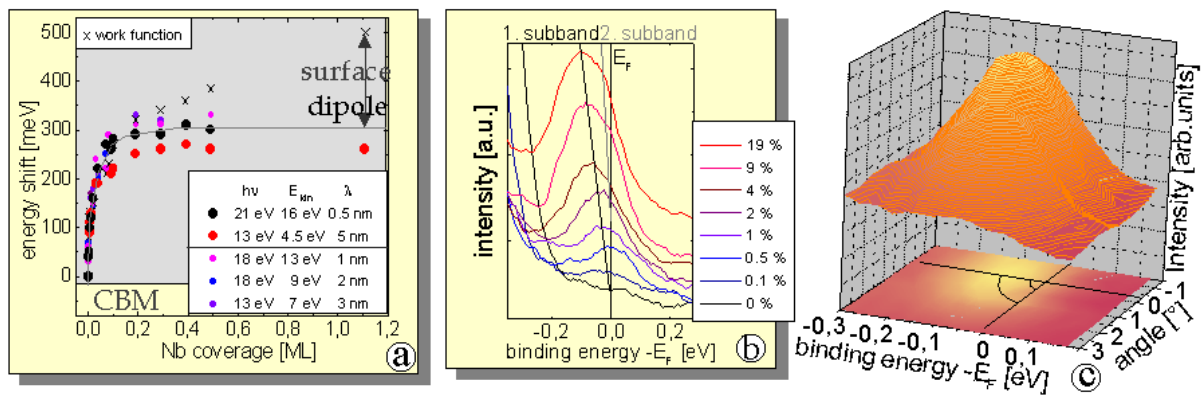


Abbildung 4: a) Verschiebung der Valenzbandpeaks des InAs-Spektrums als Funktion der Nb-Bedeckung. Die entsprechenden Photonenenergien ($h\nu$), Photoelektronenenergien (E_{kin}) und abgeschätzten Ausdringtiefen (λ) sind angegeben. Die graue Linie markiert die resultierende Oberflächenbandverbiegung. b) 2DES-Peak gemessen bei $h\nu=13$ eV und verschiedenen Nb-Bedeckungen. Die aus der Bandverbiegung erwarteten Subbandenergien sind als Linien dargestellt. c) Winkelabhängigkeit des 2DES-Peaks gemessen bei 8% ML Nb-Bedeckung und $h\nu=13$ eV. In der x-y-Ebene sind die erwarteten Dispersionen der beiden Subbänder markiert.

Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedern des Graduiertenkollegs

Bei dem Aufbau und Betrieb des Messsystems erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit den Stipendiaten Herrn

- Dipl.-Phys. J. Wiebe und Herrn
- Dipl.-Phys. A. Wachowiak.

Bei Fragen des Verdampfens und der Reinheit des Niobs besteht Austausch mit dem Stipendiaten Herrn

- Dipl. Phys. W. Naumann.

Die Photoelektronenspektroskopie-Messungen werden in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe von Herrn

- Prof. Dr. R. L. Johnson

durchgeführt.

Bezüglich der elektronischen Eigenschaften des Niob-InAs-Hybridsystems besteht ein näherer Kontakt zu der Forschungsgruppe von Herrn

- Prof. Dr. U. Merkt.

Ausblick

- Nachweis, ob Niob-Inseln der hergestellten Größe bereits supraleitende Eigenschaften besitzen. Dies legen Untersuchungen an Al-Clustern nahe [C. T. Black *et al.*, Phys. Rev. Lett. **76**, 688 (1996)].
- Herstellung größerer Niob-Inseln durch Optimierung der Aufdampf-Parameter.
- Tieftemperatur-Rastertunnelspektroskopie-Untersuchungen an den erzeugten supraleitenden Nb-Inseln.

Publikationen

Angehörige und Gäste des Graduiertenkollegs sind unterstrichen

- [1] M. Getzlaff, M. Morgenstern, Chr. Meyer, R. Brochier, R. L. Johnson und R. Wiesendanger: Anomalous coverage dependence of the Nb-induced two dimensional electron gas on n-InAs(110), eingereicht 2000.

Teilnahme an Tagungen

- „Das Wachstum von Niob auf InAs(110)“
Chr. Meyer, J. Wiebe, M. Morgenstern und R. Wiesendanger
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) in Regensburg, April 2000
Beitragsform: Poster

Tagungsbeiträge als Mitautor

- „Scanning tunneling spectroscopy of the Fe-induced two dimensional electron gas on InAs(110)“
J. Klijn, D. Haude, M. Getzlaff, Chr. Meyer, R. L. Johnson, M. Morgenstern, and R. Wiesendanger
Second International Conference on Scanning Probe Spectroscopy
in Hamburg, July 2000
Beitragsform: Poster

Eigene Vorträge im Rahmen des Graduiertenkollegs

- „Untersuchung des Wachstums von Niob auf InAs(110)“
Ringvorlesung: Graduiertenkolleg „Physik nanostrukturierter Festkörper“ (Physik der Mikrostrukturen) in Hamburg, April 2000
- „Rastertunnelmikroskopie auf InAs“
4. Workshop des Graduiertenkollegs „Physik nanostrukturierter Festkörper“
in Schwerin, Oktober 2000