

Gas-Phase Synthesis of Bismuth and Antimony Chalcogenide Nanostructures

M.Sc. Ren Bin Yang
Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Halle

In dieser Arbeit wurde die Präparation von Antimon- und Bismutchalkogenid Dünnschichten und Nanostrukturen untersucht. Dafür wurde das Verfahren der Atomlagenabscheidung (ALD - englische Abkürzung für Atomic Layer Deposition) für Dünnschichten-Abscheidung bei niedrigen Temperaturen bzw. gepulstes Vapor-Liquid-Solid (pulsed-VLS) Wachstum für Nanostäbe bei höheren Temperaturen verwendet.

Amorphe Dünnschichten aus Sb_2O_5 und Sb_2S_3 wurden unter Nutzung von $\text{Sb}(\text{NMe}_2)_3$ und Ozon bzw. Schwefelwasserstoff abgeschieden. Das selbstlimitierende Verhalten der neuen ALD Prozesse konnte gezeigt werden. Mit diesen ALD-Verfahren sind stöchiometrisch Filme von hoher Reinheit erreicht worden, wobei die abgeschiedenen Sb_2O_5 Filme in einem Temperaturbereich zwischen 65 °C und 330 °C beim Wachstum geringe Rauigkeiten auswiesen. Die Sb_2S_3 Filme hingegen zeigten ab 150 °C eine Zunahme der Oberflächenrauigkeit und ansatzweise anisotropes Kristallit-Wachstum. Weiterhin sind die Synthese von $\text{Bi}(\text{NMe}_2)_3$ als ALD-Quellenmaterial und daraus resultierend entsprechende ALD Prozesse für BiO_x und Bi_2S_3 entwickelt worden.

Der Sb_2S_3 ALD-Prozess hatte bei höheren Temperaturen (350 °C) in Verbindung mit katalytisch wirkenden Goldtröpfchen ein VLS-Wachstum der Nanostäbe zur Folge. Einkristalline Nanostäbe in der orthorhombischen Pbnm Phase mit einem Verhältnis von 2:3 für Sb zu S konnten hergestellt werden. Durch das Ersetzen von Schwefelwasserstoff mittels Diethyldiselenid war es ebenfalls möglich, Sb_2Se_3 Nanostäbe bei einer Temperatur von 350 °C zu wachsen. Segmentiertes VLS Wachstum der beiden Stäbmaterialien konnte bei 350 °C erreicht werden, indem ein Sb_2Se_3 Segment auf ein Sb_2S_3 Teilstück gewachsen wurde. Weiterhin konnte bei Temperaturen oberhalb von 400 °C ein mögliches Vapor-Solid (VS) Wachstum von Bi_2Se_3 Nanostäben unter Nutzung von $\text{Bi}(\text{CH}_3)_3$ zusammen mit Diethylselenid gezeigt werden.

Durch die Kombination von VLS gewachsenen Nanostäben mit den ALD Prozessen konnte homo- sowie hetero-epitaktisches Wachstum auf den Sb_2S_3 und Sb_2Se_3 Nanostäben durch Atomlagenepitaxie (ALE) bei niedrigen Temperaturen gezeigt werden. Der gut kontrollierbare ALE Prozess ermöglichte die Synthese mehrerer neuartiger Heterostrukturen, u.a. Kern-Hülle (core-shell) Strukturen, Stäbe mit rechteckigem Querschnitt oder axiales Wachstum konnten damit erreicht werden. Die potenziellen Vorteile des epitaktischen Wachstums dieser Heterostrukturen bei niedrigen Temperaturen wurden diskutiert. Messung der elektrischen Leitfähigkeit und der Fotoleitfähigkeit wurden durchgeführt, um die Bandlücke der Sb_2S_3 Filme als auch der Sb_2Se_3 Nanostäbe zu bestimmen, welche in guter Übereinstimmung mit Literaturwerten waren.