

Optimierung der Analytik nano-strukturierter Schichten

Prof. Dr. Günther Benstetter, Technische Hochschule Deggendorf

Thermogeneratoren sind zur Energiekonvertierung geeignet, da z. B. die Restwärme (von elektrischen Generatoren, Verbrennungsmotoren etc.) in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Ein geeignetes Material sollte neben einem hohen Seebeck-Koeffizienten eine hohe elektrische und eine niedrige thermische Leitfähigkeit aufweisen. Durch Nanostrukturierung besteht die Möglichkeit, dass sich elektrische und thermische Eigenschaften teilweise unabhängig voneinander modifizieren lassen. Für eine systematische Optimierung von Thermogeneratoren ist deshalb die genaue Kenntnis der thermischen und elektrischen Leitfähigkeit von dünnen und nanostrukturierten Schichten ausschlaggebend.

Ziel des Projektes war es, durch die Kombination von Raster-Sonden basierten Verfahren und makroskopischen Messmethoden, eine messtechnische Ermittlung von elektrischen und thermischen Materialeigenschaften von Schichtsystemen und strukturierten Bereichen realisieren zu können. Dabei besteht prinzipiell die Möglichkeit, Schichteigenschaften integrierend, d. h. über größere zusammenhängende Bereiche mittelnd, zu bestimmen. Bei diesen sogenannten makroskopischen Messverfahren kann beispielsweise die elektrische Leitfähigkeit eines Leiterstreifens mit Hilfe der Vier-Punkt-Messung bestimmt werden. Die Wärmeleitfähigkeit eines Volumenmaterials oder einer Schicht lässt sich mit der 3-Omega-Methode ermitteln. Um jedoch Einflüsse des Schichtherstellungsverfahrens und damit einhergehenden Änderungen des mesoskopischen Schichtgefüges auf die elektrischen und thermischen Schichteigenschaften lokal zu untersuchen, müssen mikroskopische Messverfahren eingesetzt werden. Daher standen diese im Fokus dieser Arbeit.

Unterschiedliche Verfahren der Rasterkraftmikroskopie sowie der Rasterelektronenmikroskopie wurden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die Charakterisierung von Materialsystemen für Thermogeneratoren evaluiert, angepasst und optimiert.



Abbildung: Germanium-Nanostruktur mit unterschiedlichen Kristallorientierungen

Mit Hilfe der Rasterkraftmikroskopie konnte die Topographie des nach Lasersinterung der Nanopartikeln entstandenen mesoskopischen Gefüges ermittelt werden. Insbesondere durch die Bestimmung der zweidimensionalen Stromverteilung bei Abtastung der Strukturen mit elektrisch leitfähigen Rastersonden, wie sie bei der Conductive AFM (CAFM) Methodik verwendet werden, konnten starke lokale Schwankungen im Mikro- und Nanometerbereich be-



obachtet werden. Es zeigte sich ein starker Einfluss der Strukturgröße auf die elektrische Leitfähigkeit. Diese wurde quantitativ bestimmt. Um den Einfluss der leitfähigen Spitzen auf die Messergebnisse zu untersuchen, wurden neben kommerziell verfügbaren dotierten Volldiamantspitzen Rastersonden mit Graphen beschichtet und eingesetzt. Im Vergleich zu den dotierten Volldiamantspitzen zeigte sie eine erhöhte Haltbarkeit bei vergleichbarer zweidimensionaler Stromverteilung.

Neben den Verfahren der Rasterkraftmikroskopie wurden elektronenstrahlbasierte Analysemethoden eingesetzt. Mit Hilfe der Raster-Transmissionselektronenmikroskopie (STEM) konnte die Größenverteilung der Nanopartikel bestimmt werden und mittels der Elektronenrückstreubeugung (EBSD) die Korngrößenverteilung sowie die kristallographische Orientierung der Körner. Es zeigte sich, dass die Korngrößen weitgehend unabhängig von der mesoskopischen Struktur des Gefüges sind, die wiederum durch Variationen der Laserenergie während des Sinterprozesses beeinflusst wird, was wiederum sehr gut für Thermogeneratoren ist.

Die mikroskopischen Verfahren zur Analyse von nanostrukturierten Oberflächen stehen zur Verfügung und können damit bei der weiteren Optimierung von Materialsystemen z. B. für Thermogeneratoren eingesetzt werden.