

Raman-Imaging für lokale Analysen keramischer Werkstoffe, Grenzflächen und metastabiler Phasen

Dipl.-Ing. Louis Stroh, Dr. Björn Matthey

Raman-Imaging ermöglicht die zerstörungsfreie, mikroskopisch aufgelöste Bestimmung von Zusammensetzung, Phasen und lokalen Eigenspannungen in keramischen Werkstoffen. Durch die Nutzung von Flächen-Mappings der Raman-Spektren entstehen sogenannte Raman-Images. Diese enthalten je nach segmentierten Informationen verschiedene Phasen-sensitive Informationen, wie Phasenverteilungen, Bindungszustände, Defekte und Grenzflächen sowie die Verteilung von Eigenspannungen. Die resultierenden Verteilungsbilder liefern wertvolle Informationen über die Mikrostruktur von keramischen Phasen. Diese können optional durch korrelative Analytik (REM/EDS, EBSD, XRD) ergänzt werden. Aufgrund ihrer Sensitivität ist das Raman-Imaging ein wertvolles Werkzeug für die Entwicklung superharter Kompositwerkstoffe, insbesondere bei vorliegender Polytypie, also dem Auftreten verschiedener Kristallstrukturen bzw. Metastabilität einer Verbindung wie z. B. Siliciumcarbid (SiC), Bornitrid (BN) und Diamant.

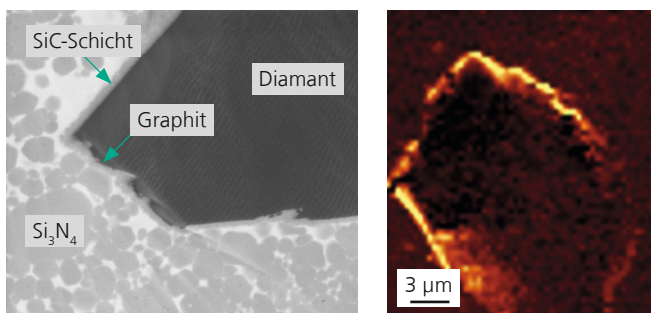


Abb. 1: FE-REM-Aufnahme eines Diamant-Si₃N₄-Komposits (links). Mittels Raman-Imaging ist die Verteilung der Diamant-Graphit-Umwandlung sichtbar (rechts).

Ein Anwendungsbeispiel des Raman-Imaging ist der lokale Nachweis von SiC als Partikelbeschichtung auf kubischem Bornitrid (cBN) – hier konnte die dünne SiC-Beschichtung als kubische Phase an den Grenzflächen eindeutig nachgewiesen werden. Flächige Kartierungen zeigen Bedeckungsgrad, Homogenität und Schichtkontinuität, Inselbildung oder Agglomeration derartiger Schichtmorphologien. Von großem Interesse ist auch der Nachweis metastabiler Umwandlungen unter thermischer

oder chemischer Belastung, bei denen z. B. Diamant in Graphit oder kubisches (cBN) in hexagonales Bornitrid (hBN) übergehen. Raman-Imaging identifiziert diese Umwandlungen über charakteristische Banden und kartiert ihre räumliche Verteilung bis in den Mikrometerbereich (Abb. 1). So lassen sich kritische Prozessschritte wie Sintern, Fügen oder Schleifen hinsichtlich Temperatur-Zeit-Regimen und Kühlung optimieren, um Härte, Einbindung und Funktionalität dieser metastabilen Phasen zu erhalten.

In hartstoffverstärkten Keramiken oder in Keramik-Matrix-Verbunden entstehen Eigenspannungen durch unterschiedliche thermische Ausdehnungen von Matrix- und Hartstoffpartikeln. Über kleinste Raman-Peak-Verschiebungen werden diese Spannungen lokal erfasst und als Karten dargestellt – von Zug-/Druckfeldern an Partikelrändern bis zu Gradienten über Schichten und Grenzflächen. Die Ergebnisse zeigen potenzielle Rissinitiationszonen und liefern belastbare Eingangsgrößen für bruchmechanische Auslegung, FEM-Modelle und optimierte Wärmebehandlungen.

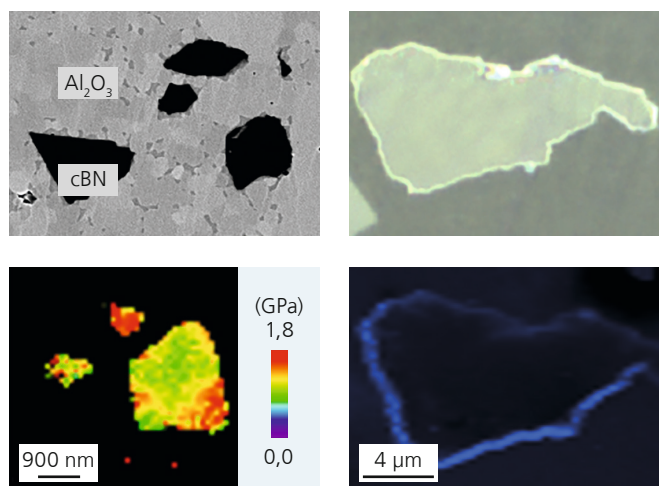


Abb. 2: FE-REM-Aufnahme eines Al₂O₃-cBN-Komposits und die Raman-Map der Eigenspannungen.

Abb. 3: Lichtmikroskop-Aufnahme eines Al₂O₃-cBN-Komposits und Mapping der SiC-Beschichtung auf einem cBN-Korn.

Leistungs- und Kooperationsangebot

- Keramographische artefaktfreie Präparation mittels mechanischer und ionenstrahlbasierter Methoden
- Analyse der lokalen Grenzflächenphänomene mittels Raman-Spektroskopie und Raman-Imaging
- Nutzung komplementärer Methoden zum Nachweis der Zusammensetzung lokaler Phasen