

Berichte aus der Physik

Bernhard Knoll

**Abtastende Nahfeldmikroskopie
mit Infrarot- und Mikrowellen**

Shaker Verlag
Aachen 1999

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Knoll, Bernhard:

Abtastende Nahfeldmikroskopie mit Infrarot- und Mikrowellen/

Bernhard Knoll. - Als Ms. gedr. - Aachen : Shaker, 1999

(Berichte aus der Physik)

Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 1999

ISBN3-8265-6606-8

Copyright Shaker Verlag 1999

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 3-8265-6606-8

ISSN 0945-0963

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Kurzfassung. Im mittleren Infrarot (MIR) können Moleküle durch Anregung charakteristischer Vibrationen chemisch identifiziert werden. Wegen der Beugung kann dies jedoch nicht mit räumlicher Auflösung unterhalb von ca. einer Wellenlänge geschehen. Da im sichtbaren Spektralbereich seit einiger Zeit mit Nahfeldmikroskopen (scanning near-field optical microscope: SNOM) eine Auflösung von 50 nm und besser erreicht wird, stellt sich die Frage, ob dies auch im mittleren Infrarot erreicht werden kann. Im Sichtbaren dienen meist sog. Apertursonden als lokale Lichtquelle oder als lokaler Detektor. Diese Sonden sind miniaturisierte im cutoff betriebene Wellenleiter. Die Transmission ist deshalb im Sichtbaren relativ gering (10^{-7} - 10^{-4} je nach Geometrie der Sonde). Für das MIR berechnete Werte sind jedoch mindestens 20 Größenordnungen geringer [1] und schließen daher die Verwendung von Apertursonden aus.

Koaxialleitungen hingegen führen Wellen beliebig langer Wellenlänge. Da sie allerdings für den Einsatz im IR oder gar Sichtbaren wegen der notwendigen kleinen Dimensionierung noch nicht zur Verfügung stehen, wird ihre Brauchbarkeit mit wesentlich längeren Wellen (Mikrowellen mit $\lambda = 30$ cm) gezeigt. Der im Mikrowellen-SNOM (MW-SNOM) an strukturierten Pt/C-Filmen beobachtete Kontrast ist im Rahmen eines eindimensionalen Kondensatormodells erklärbar und hebt die Bedeutung von longitudinalen Feldern für die Kontrastbildung hervor. Die erzielte Auflösung von $200 \text{ nm} \approx \lambda / 10^6$ ist nicht durch die Eindringtiefe des Sondenmaterials ($1.6 \mu\text{m}$) beschränkt [2].

Für Experimente im MIR (CO_2 -Laser, $\lambda = 9.2 - 10.8 \mu\text{m}$) wird der Außenleiter der Koaxsonde gedanklich entfernt, die verbleibende metallische Spitze direkt bestrahlt und als Streusonde eingesetzt. Die an der Sonde gestreute oder absorbierte Leistung ist eine Funktion des komplexen Brechungsindex der Probenoberfläche. Berechnungen zeigen eine starke Kopplung von Sonde und „Spiegelsonde“ im lokalen Feld, d. h. bei kleinen Abständen von der Größenordnung eines Sondenradius. Da die Streusonde gleichzeitig als Spitze eines dynamisch betriebenen Rasterkraftmikroskops (AFM) fungiert, kann durch lock-in-Detektion gerade diese Wechselwirkung im lokalen Feld nachgewiesen werden. Experimente an strukturierten Au-Filmen auf Silizium demonstrieren Materialkontrast von bis zu 32 %, in Übereinstimmung mit den Vorhersagen des Spiegelsondenmodells. Zahlreiche Details, die im IR-SNOM sichtbar werden, aber keine Entsprechung im gleichzeitig aufgezeichneten Topographiebild haben, beweisen die Entkopplung zwischen optischem und topographischem Abbildungsmechanismus. Kontrast ist nur zu erzielen, wenn das eingestrahlte Licht wenigstens eine Komponente des elektrischen Feldes parallel zur Sondenachse hat [3]. Die Auflösung beträgt 35 nm.

Vibrationsabsorptionskontrast ermöglicht die Identifizierung von zwei Polymeren, Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polystyrol (PS). Beide Materialien haben bei unterschiedlichen Wellenlängen im Bereich des CO_2 -Lasers Absorptionslinien, die zu Kontrastumkehr an Polymermischproben führen, wenn zunächst bei der Absorptionslinie von PMMA und dann bei einer solchen von PS gemessen wird. Der mit einer Auflösung von 100 nm beobachtete Absorptionskontrast von 4 - 5 % wird in herkömmlichen Transmissionsexperimenten erst bei einer Filmdicke von $1.7 \mu\text{m}$ erreicht. Da die Wechselwirkungstiefe im IR-SNOM ungefähr mit der lateralen Auflösung übereinstimmt, erscheint der Kontrast im IR-SNOM 17-mal verstärkt. Die Kontrastverstärkung resultiert aus der Kopplung der optischen Eigenschaften von Sonde und Probe und macht eine Abbildung mit nm-Auflösung überhaupt erst möglich [4].

Damit sind in dieser Arbeit die Grundlagen für die Nahfeldmikroskopie im MIR geschaffen. Die Implementierung weiterer Laser mit vibrationspezifischen Wellenlängen ermöglicht erstmals hochauflösende „chemische“ Mikroskopie.

- [1] Knoll, B. und Keilmann, F., *Electromagnetic fields in the cutoff regime of tapered metallic waveguides*, Optics Communications **162** 177-181 (1999).
- [2] Knoll, B., Keilmann, F., Kramer, A., Guckenberger, R., *Contrast of microwave near-field microscopy*, Applied Physics Letters **70** 2667-2669 (1997).
- [3] Knoll, B. und Keilmann, F., *Mid-infrared scanning near-field optical microscope resolves 30 nm*, Journal of Microscopy **194** 512-515 (1999).
- [4] Knoll, B. und Keilmann, F., *Near-field probing of vibrational absorption for chemical microscopy*, Nature **399** 134-137 (1999).