

Das volle Potential abbilden

Die Sideband-Kelvin-Sonden-Mikroskopie steigert die Messgenauigkeit erheblich.

Ilka M. Hermes und Andrea Cerreta

Die elektrischen Eigenschaften von Materialien für elektronische und optoelektronische Anwendungen variieren häufig lokal, was die Funktionsweise der Bauteile beeinträchtigen kann. Die Kelvin-Sonden-Mikroskopie kann diese Unterschiede durch das Oberflächenpotential nanometergenau abbilden. In diesem Artikel zeigen wir, wie der Sideband-Modus der Kelvin-Sonden-Mikroskopie in Rasterkraftmikroskopen die Potential- und räumliche Auflösung erhöht und damit die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Materialcharakterisierung steigert.

Die aktiven Schichten elektronischer und optoelektronischer Bauteile sind oftmals polykristallin oder Materialmischungen. So bestehen Solarzellen der dritten Generation aus polykristallinen Dünnschichten oder Polymergemischen,

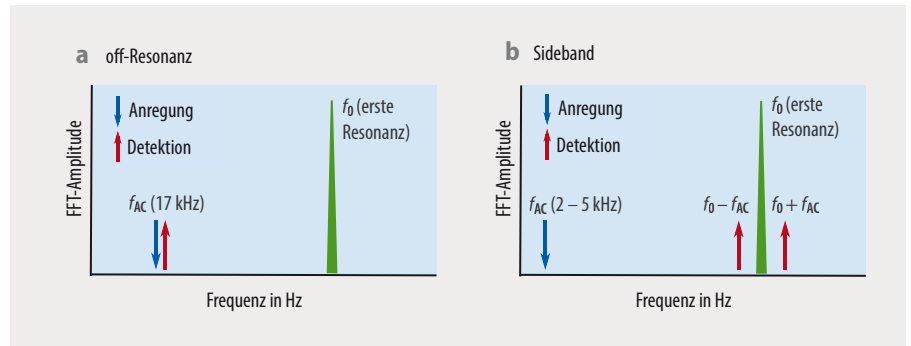


Abb. 1 Im Betriebsmodus „off-Resonanz“ (a) moduliert die Wechselspannung die elektrostatische Kraft bei einer Frequenz weit unterhalb der ersten Resonanz des Cantilevers. Bei der Sideband-Kelvin-Sonden-Mikroskopie (b) moduliert eine Wechselspannung den Kraftgradienten. Dies ruft Frequenzbänder links und rechts von der ersten Resonanzfrequenz hervor.

die es den Ladungsträgern erlauben, aus der Absorberschicht zu fließen. Um die Polymergemische oder die polykristallinen Dünnschichten zu charakterisieren, ist eine Mikroskopietechnik mit hoher räumlicher Auflösung erforderlich, die lokale Veränderungen der elektrischen Eigenschaften mit hoher Sensitivität detektiert [1].

Die Kelvin-Sonden-Mikroskopie (KPFM) kann neben der Topografie auch das Oberflächenpotential und die materialspezifische Austrittsarbeit darstellen. Hierfür scannt ein oszillierender, leitfähiger Cantilever mit einer nanometer-scharfen Spitze die Probenoberfläche. Während des Scans wird sowohl eine Wechsel- als auch eine Gleichspannung

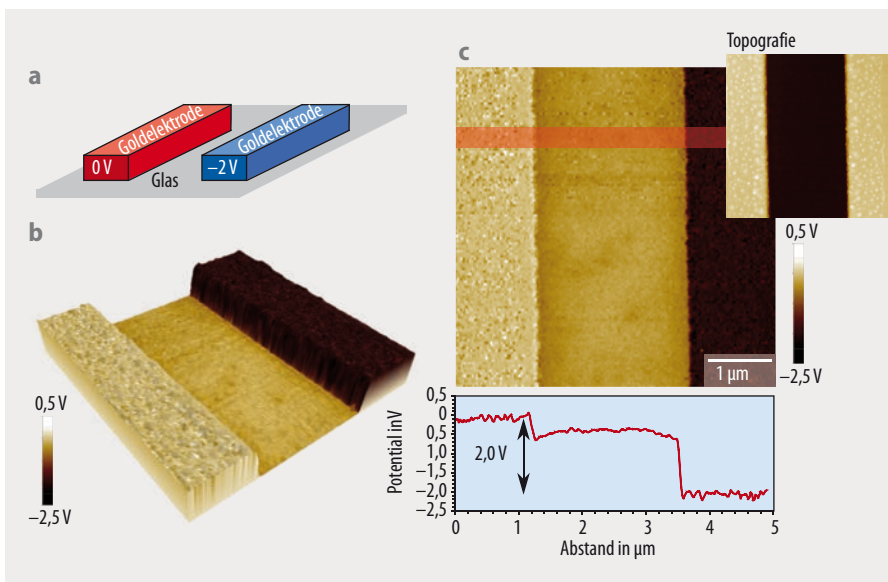


Abb. 2 Das Elektrodenarray besteht aus Goldelektroden, an die je 0 und -2 V angelegt sind (a). Die 3D-Überlagerung des Sideband-KPFM-Potentials und der Topografie zeigt die zwei unterschiedlichen Potentiale auf beiden Elektroden entsprechend der angelegten Spannung (b) sowie scharfe Übergänge in dem Potential von Elektroden zu Substrat. Das Sideband-KPFM-Signal (c) stimmt auf den Elektroden in dem gemittelten Profil entlang der roten Markierung genau mit den angelegten Spannungen überein.

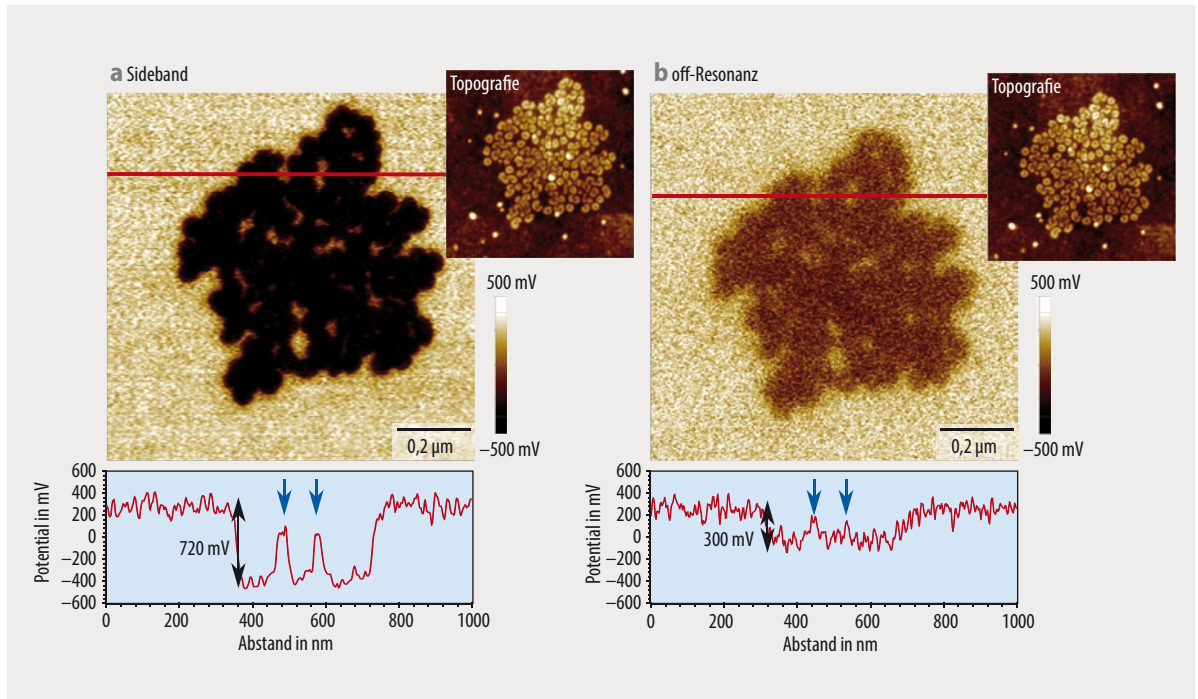


Abb. 3 Der Vergleich der beiden Betriebsarten – Sideband-KPFM (a) und off-Resonanz-KPFM (b) – auf demselben F14H20-Aggregat zeigt die Überlegenheit des Sideband-Betriebsmodus. Die Profile entlang der roten Linie in a) und b) verdeutlichen die bessere Potential- und räumliche Auflösung der Sideband-Kelvin-Sonden-Mikroskopie.

angelegt, um Veränderungen der elektrostatischen Kraft zwischen der Spitze und der Probe zu detektieren. Diese Kraftänderungen stammen von lokalen Variationen des Oberflächenpotentials. [2]

In einer einfachen Betriebsart der Kelvin-Sonden-Mikroskopie „off-Resonanz“ moduliert die Wechselspannung die elektrostatische Kraft bei Frequenzen f_{AC} weit unterhalb der ersten Resonanz des Cantilevers f_0 , die zur Abbildung der Topografie dient (**Abb. 1a**). Die elektrostatische Kraft wird über die Schwingungsamplitude des Cantilevers bei der Anregungsfrequenz f_{AC} detektiert und durch die Gleichspannung ausgeglichen, die theoretisch der elektrischen Potentialdifferenz zwischen Spitze und Probe entspricht. Durch die lange Reichweite der elektrostatischen Kraft ist bei dieser Betriebsart jedoch das lokale Messsignal zwischen Spitze und Probe von weiteren Wechselwirkungen

zwischen der Probe und dem Cantilever überlagert [2].

Um diese Störfaktoren zu vermeiden und die Messgenauigkeit zu erhöhen, hat Park Systems in ihren Rasterkraftmikroskopen den Sideband-Betriebsmodus eingeführt. Hier wird die Wechselspannung bei niedrigen Frequenzen zwischen 2 und 5 kHz angelegt, was zu einer Modulation des Kraftgradienten führt. Dadurch entstehen Frequenzbänder links und rechts von der ersten Resonanz, die sich durch das Anlegen der Gleichspannung ausgleichen lassen (**Abb. 1b**). Der Vorteil dieser Betriebsart beruht auf der Abhängigkeit der Seitenbänder vom Kraftgradienten. Die deutlich kürzere Reichweite des Kraftgradienten im Vergleich zur Kraft führt dazu, dass der Einfluss anderer Wechselwirkungen sinkt und die Potential- und räumliche Auflösung signifikant steigen [2].

Auf dem Elektrodenarray

Um die Potentialauflösung der Sideband-Kelvin-Sonden-Mikroskopie zu testen, haben wir auf einem Elektrodenarray zwei unterschiedliche Spannungen an benachbarten Elektroden angelegt (**Abb. 2a**). Die Überlagerung des Sideband-KPFM-Potentials und der Topografie zeigt die unterschiedlichen Spannungen auf den benachbarten Elektroden sowie einen scharfen Übergang der Elektroden zum Glassubstrat (**Abb. 2b**). Die detaillierte Analyse der Sideband-KPFM-Messungen mit einem gemittelten Linienprofil in **Abb. 2c** zeigt die angelegte Spannung von 0 V auf der linken und -2 V auf der rechten Elektrode. Diese Betriebsart erlaubt es somit, das volle Oberflächenpotential mit hoher räumlicher Auflösung abzubilden.

Auf weichen Molekülaggregaten **Fazit**

Für den Vergleich der beiden Betriebsarten messen wir auf einem Molekülaggregat von weichen semi-fluorinierten Alkanen (F14H20). Der elektrische Dipol des F14H20-Moleküls führt zu einer signifikanten Potentialdifferenz zwischen Molekülaggregat und Substrat [3].

Die Auswertung beider Messungen zeigt eine deutlich erhöhte Potentialauflösung bei der Sideband-Kelvin-Sonden-Mikroskopie (**Abb. 3a**) gegenüber dem off-Resonanz-Modus (**Abb. 3b**). So beträgt die Potentialdifferenz zwischen Molekülaggregat und Substrat gemessen mit Sideband-KPFM 750 bis 700 mV, während off-Resonanz-KPFM nur eine Potentialdifferenz von 200 bis 300 mV abbildet. Ebenso ist die räumliche Auflösung der Sideband-KPFM signifikant höher und stellt auch die kleinen Lücken zwischen den F14H20-Ringen dar, die mittels off-Resonanz nur verschwommen sichtbar sind.

Alle Park NX Research-Rasterkraftmikroskope erlauben nun Messungen mittels Sideband-KPFM und bieten genaue Potentialmessungen für die Charakterisierung leitfähiger Proben. In dieser Betriebsart hängt das Messsignal vom elektrostatischen Kraftgradienten ab, der eine höhere lokale Sensitivität aufweist als die Kraft bei den herkömmlichen Methoden. In diesem Artikel haben wir die Messgenauigkeit der Technik auf einem Elektrodenarray vorgestellt und die verbesserte Potential- und räumliche Auflösung im Vergleich zum off-Resonanz-Betriebsmodus auf F14H20-Molekülaggregaten gezeigt.

- [1] W. Melitz, J. Shen, A. C. Kummel und S. Lee, Surf. Sci. Rep. **66**, 1 (2011)
- [2] U. Zerweck et al., Phys. Rev. B **71**, 125424 (2005)
- [3] A. El Abd, M.-C. Fauré, E. Pouzet und O. Abillon, Phys. Rev. E **65**, 51603 (2002)

Die Autoren

Ilka M. Hermes und **Andrea Cerreta**, Park Systems Europe GmbH, Mannheim, Deutschland

FIBER OPTIC COMPONENTS

polarization-maintaining for wavelengths 360 – 1800nm

60SMF series
with super fine thread



60FC-SF series with
super fine-focussing



Fiber Port Clusters
2 → 6

Used in quantum optics,
e.g. for cooling and
trapping experiments (MOT)



Schäfter+Kirchhoff develop and manufacture laser sources, line scan camera systems and fiber optic products for worldwide distribution and use.



FIBER CABLES

optional
with End Caps

**LASERS FOR
MACHINE VISION**



Visit our newly relaunched website
www.sukhamburg.com

Schäfter+Kirchhoff 
info@sukhamburg.de www.sukhamburg.com