

Mikroskope aus dem Baukasten

Modulare Piezo-Scan-Tische für höchste Präzision und Dynamik

Gernot Hamann und Ellen-Christine Reiff

Größtmögliche Positioniergenauigkeit ist heute in vielen Anwendungsbereichen obligatorisch. Beispiele reichen von der Halbleiterfertigung über die Biotechnologie bis hin zur optischen Messtechnik und Mikroskopie. Piezobasierte Scantische sind aus solchen Anwendungsbereichen kaum mehr wegzudenken. Durch ihre hohe Genauigkeit und Dynamik erschließen sie oftmals neue Möglichkeiten und erweitern die Techniken.

In den Life-Sciences, der chemisch-pharmazeutischen Analytik oder auch in den modernen Materialwissenschaften reichen klassische mikroskopische Verfahren hinsichtlich optischer Auflösung oder Informationsgehalt nicht mehr aus. Daher ist es oft sinnvoll, unterschiedliche Methoden miteinander zu kombinieren, um möglichst viel über eine Probe zu erfahren. Modular aufgebaute, hochauflösende Mikroskopsysteme eröffnen hier interessante Möglichkeiten, da sich unterschiedliche Verfahren wahlweise einzeln oder in Kombination nutzen lassen. Für die in jedem Fall notwendige, hochgenaue und dynamische Probenpositionierung bieten piezobasierte Scantische, die sich dank ihrer kompakten Bauweise gut in die Mikroskope integrieren lassen, gute Voraussetzungen.

Die piezobasierten Scantische von Physik Instrumente (PI) arbeiten beispielsweise mit Auflösungen im Sub-Nanometer-Bereich und Ansprechzeiten unter einer Millisekunde, was einen dynamischen Betrieb mit Scan-Frequenzen bis zu 1000 Hz ermöglicht. Diese sehr hohe Bewegungsauflösung lässt sich erreichen, weil die Bewegung der piezoelektrischen Antriebe ausschließlich auf Verschiebungen

alle Bilder: Physik Instrumente (PI) / WITec

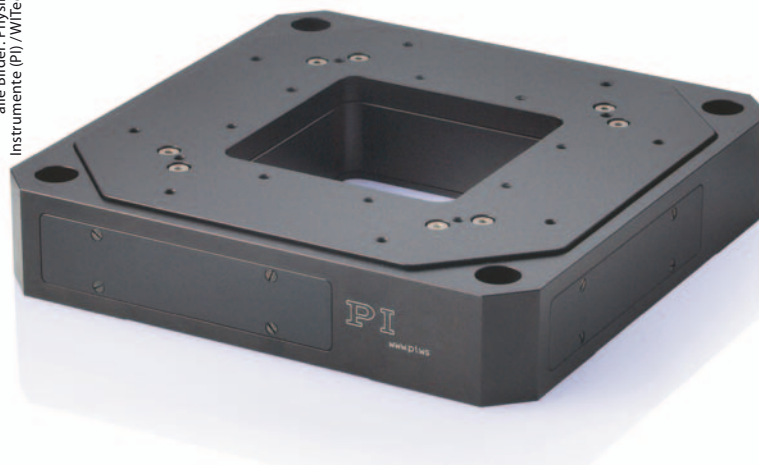


Abb. 1 Für die in jedem Fall notwendige, hochgenaue und dynamische Probenpositionierung bieten piezobasierte Scan-

tische, die sich dank ihrer kompakten Bauweise gut in die Mikroskope integrieren lassen, gute Voraussetzungen.

in der kristallinen Struktur des keramischen Werkstoffes unter elektrischen Feldern basiert. Es sind keine klassischen mechanischen Komponenten mit Reibung oder mechanischem Spiel vorhanden. Die hohe Dynamik in der z -Achse für Fokussierprozesse oder Topografiescans ermöglicht darüber hinaus ein schnelles Rastern der Probe in der x - und y -Richtung, was die Messzeiten verkürzt, den Durchsatz erhöht und zeitabhängige Einflüsse auf die Messung reduziert.

Die auf die jeweiligen Positioniersysteme abgestimmten, analogen oder digitalen Controller ermöglichen zudem eine einfache Integration in die jeweilige Applikation. Das Karlsruher Unternehmen hat auch die fürs hochpräzise Positionieren notwendige Sensorik im Programm.

Den piezobasierten Scantischen erschließen sich immer neue Anwendungsbereiche. Als Partner von PI bietet die WITec GmbH in Ulm darauf basierende hochauflösende modulare Mikroskopielösungen an. Diese Systeme

erfordern flexible Gerätekomponenten, die höchste Präzision über ein breites Anwendungsspektrum bieten, angefangen von der pharmazeutischen Forschung und Lebzell-Untersuchungen über Nanophotonik, Forensik bis hin zu Analysen in Photovoltaik- oder Halbleitertechnik.

Durch den modularen Aufbau dieser Mikroskopiesysteme ist es beispielsweise möglich, ein konfokales Raman-Mikroskop bei Bedarf mit Rasterkraft-Mikroskopie (AFM) zu kombinieren (Abb. 2). Das gleiche Gerät kann damit molekulare Raman- und strukturelle AFM-Informationen derselben Probenregion liefern und in Zusammenhang bringen. Für hochauflösende optische Informationen lässt sich das Mikroskop auch zusätzlich noch mit Nahfeldmikroskopie (SNOM) ausstatten. Dadurch sind ganz nach Bedarf der jeweiligen Anwendung präzise optische, topografische und molekulare Analysen möglich.

Der für die Probenpositionierung eingesetzte Scan-Tisch ist ausgelegt für Verfahren von 100

Dipl.-Phys. Gernot Hamann, Business Development Manager für Mikroskopie, Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, Auf der Römerstr. 1, 76228 Karlsruhe; Ellen-Christine Reiff, M.A., Redaktionsbüro Stutensee

oder 200 μm in den Achsen der Scanebene und 20 μm in Richtung der z-Achse. Er ermöglicht eine Positionsauflösung besser als zwei Nanometer und bietet damit für alle drei Verfahren beste Voraussetzungen.

Molekular und hochaufgelöst

Die Raman-Mikroskopie basiert auf einem konfokalen, optischen Mikroskop, kombiniert mit einem Raman-Spektrometer. Bei einem konfokalen System dienen Blenden dazu, das Licht außerhalb der Fokusebene des Mikroskops zu unterdrücken. Somit erreichen das Spektrometer nur Lichtinformationen aus der Fokusebene, es trennt dieses Licht spektral und nimmt es auf. Die Probe wird dabei Punkt für Punkt und Linie für Linie gescannt. Die laterale Auflösung liegt bei grünem Anregungslicht bei rund 200 nm.

Für jeden Bildpunkt nimmt das Instrument ein komplettes Raman-Spektrum auf. Diese sind für jede Molekülart wie ein spezifischer Fingerabdruck, sodass sich die chemischen Bestandteile einer Probe für jeden Bildpunkt identifizieren und deren Verteilung in der Probe dargestellt lassen (Abb. 3).

Kombiniert man die Raman-Bildgebung mit AFM hat man sowohl molekulare als auch hoch aufgelöste topografische Informationen über die Probenoberfläche. Beim AFM-Verfahren wird die Messspitze ebenfalls zeilenweise in einem definierten Raster über die Probenoberfläche geführt. Grundlage des Verfahrens sind die Kräfte zwischen einer sehr dünnen Messspitze und der Objektoberfläche, die dann mit einem lateralen Auflösungsvermögen von zehn Nanometer und darunter Aufschluss über die Topografie der Oberfläche geben. Zudem lassen sich Probeneigenschaften wie Adhäsion, Steifigkeit oder Viskosität ermitteln.

Da der Abstand zwischen Messspitze und Oberfläche konstant gehalten werden muss, wird die Probenposition in z-Richtung nach-

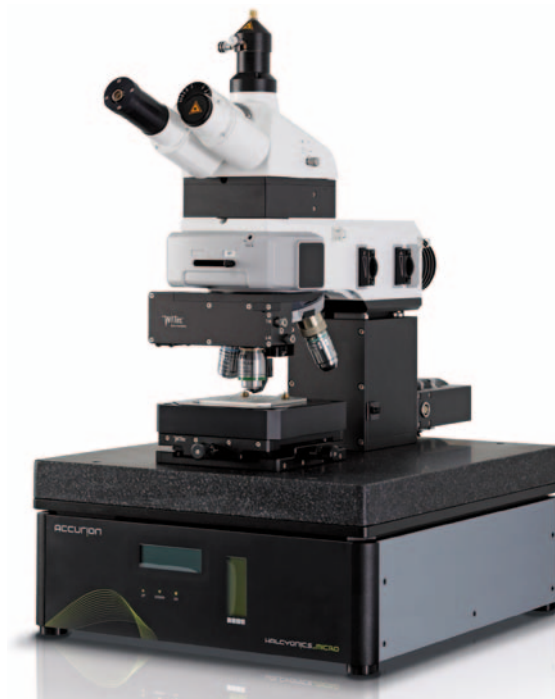


Abb. 2 Der Piezoscanner lässt sich einfach in ein modular aufgebautes Mikroskopiesystem wie dieses von WITec integrieren. Das ermöglicht es beispielsweise, ein konfokales Raman-Mikroskop bei Bedarf mit Rasterkraftmikroskopie (AFM) zu kombinieren.

geregelt. Diese Aufgabe übernimmt der Scantisch. Die Variation der z-Position zusammen mit den für die Ortsauflösung relevanten x- und y-Koordinaten liefern dann die hochpräzisen Topografie-Informationen der Proben (Abb. 4). Die AFM- und Raman-Bilder werden nacheinander aufgenommen und dann überlagert. Die präzise Positionierung in allen drei Achsen ist Voraussetzung für die Genauigkeit des Bildes.

Stabil und bahngenaue

Die Stabilität beziehungsweise Bahngenaugigkeiten während des Scans ist bei der Kombination Raman und AFM obligatorisch, da die Messungen durchaus einige Minuten dauern und auftretende Drift die Aufnahmen verzerren würde. Die aktive Führung mit Hilfe kapazitiver Sensoren erhöht die Bahntreue, denn die Sensoren messen eventuelle Abweichungen in der zur Bewegungsrichtung senkrechten Achse. Ein ungewolltes Übersprechen der Bewegung, etwa durch externe Krafteinwirkung oder mechanisches Übersprechen in eine andere Achse, lässt sich so detektieren und in Echtzeit aktiv ausregeln.

Die dafür notwendige Steuerung übernimmt ein digitaler Controller.

Er ist speziell auf den piezobasierten Scantisch abgestimmt und garantiert auch im dynamischen Betrieb eine gute Linearität. Die Digitalelektronik arbeitet außerdem mit hoher Taktrate, denn sie ist entscheidend für genaue Zuordnung der Positionswerte des Scanners und der Aufnahmekamera.

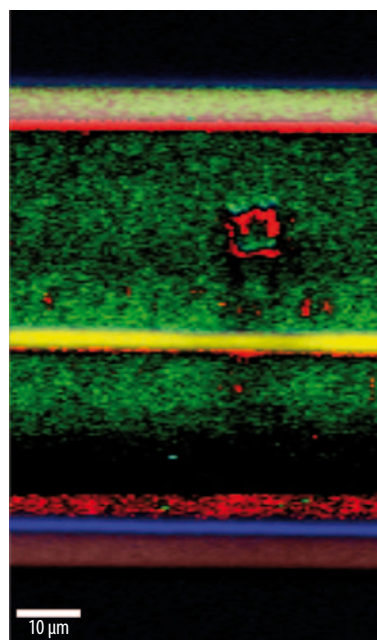


Abb. 3 Das ortsaufgelöste Raman-Spektrum für den Tiefen-Scan einer mehrfach beschichteten Papieroberfläche ist für jede Molekülart wie ein spezifischer Fingerabdruck. So lassen sich die chemischen Bestandteile einer Probe für jeden Bildpunkt identifizieren und deren Verteilung bestimmen.

Best of

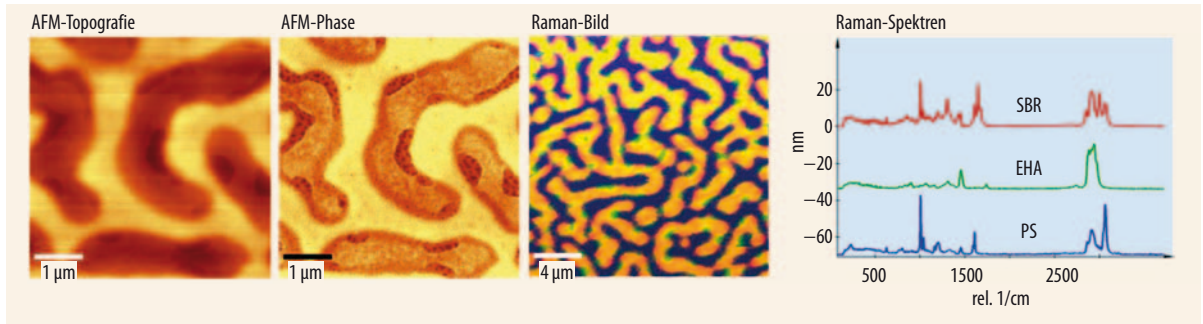


Abb. 4 Die Kombination von Raman-Bildgebung mit Rasterkraftmikroskopie liefert gleichzeitig sowohl molekulare als

auch hoch aufgelöste topografische Informationen einer Probenoberfläche. Die Abbildung zeigt die Analyse eines

Gemischs aus drei Polymeren (PS, EHA, SBR) auf einem Glasträger.

Wäre sie zu langsam oder ungenau, gäbe es bei der Zuordnung Auflösungsverlust und Verzerrungen (Jitter).

Unterhalb der Beugungsgrenze

Die optische Nahfeldmikroskopie (Scanning Near Field Optical Microscopy SNOM) schließlich erlaubt die Abbildung von wesentlich kleineren Strukturen, als es mit der konventionellen Mikroskopie möglich ist (Abb. 5). Denn bei Letzterer ist die Auflösung durch Beugungseffekte am Objektiv auf rund

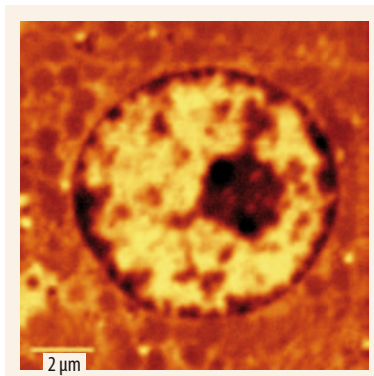
die Hälfte ihrer Strahlungswellenlänge begrenzt. Anders bei SNOM: Hier koppelt eine Glasfaser Laserlicht in eine innen hohle Messspitze. Das Licht tritt dort durch eine winzige Öffnung aus, die einen Durchmesser von weniger als 100 nm hat. Wird die Öffnung der Messspitze in geringen Abstand zur Probenoberfläche gebracht, lässt sich so ein Spot deutlich unterhalb der Beugungsgrenze klassischer Mikroskopie beleuchten. Somit ist eine laterale Auflösung von zirka sechzig Nanometer erreichbar, während der Wert bei der konfokalen Lichtmikroskopie üblicherweise zwischen etwa 200 bis 300 nm liegt.

Die Probe wird Punkt für Punkt abgerastert und dazu wieder unter der Messspitze des hochauflösenden Scan-Tisches verfahren. An jeder Position nimmt die im Mikroskop integrierte Kamera die ankommende Lichtintensität auf und speichert diesen Wert zusammen mit der Positionsinformation. Daraus lässt sich dann das Bild zusammensetzen. Seine Auflösung und Genauigkeit hängen auch hier

wieder von der Positioniergenauigkeit und -Stabilität des Scantisches ab. Gleichzeitig liefert die Nahfeldmikroskopie auch Informationen zur Oberflächentopologie. Da der Abstand zwischen Messspitze und dem Objekt konstant gehalten werden muss und praktisch keine Oberfläche wirklich eben ist, wird die Probenposition in z-Richtung nachgeregelt. Diese Aufgabe übernimmt ebenfalls der Scan-Tisch. Dieses Nachregeln liefert die topologische Informationen zusätzlich zum optischen SNOM-Bild. Die z-Auflösung der Topografieinformationen ist ungefähr mit der von AFM vergleichbar.

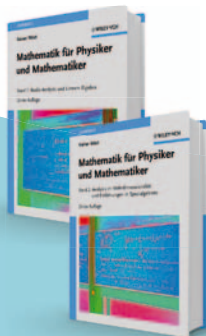
Bei allen drei Mikroskopieverfahren übernimmt das piezobasierte Scan-System damit eine wesentliche Rolle in der Hochpräzisionsmikroskopie. Dank seiner kompakten Abmessungen lässt es sich gut integrieren, was erst seinen häufigen Einsatz möglich macht – schließlich ist der Einbauplatz gerade bei Mikroskopen immer knapp bemessen.

Abb. 5 Für hochauflösende optische Informationen lässt sich das Mikroskop auch zusätzlich mit Nahfeldmikroskopie (SNOM) ausstatten: hier die SNOM-Abbildung eines Zellkerns (Nukleus) einer Ratten-Leberzelle.



Höhere Mathematik leicht gemacht

WILEY-VCH



RAINER WÜST

Mathematik für Physiker und Mathematiker

3. Auflage

Band 1:
Reelle Analysis und Lineare Algebra

ISBN: 978-3-527-40877-1

2009 600 S. Broschur € 49,90

Band 2: Analysis im Mehrdimensionalen und Einführungen in Spezialgebiete

ISBN: 978-3-527-40878-8

2009 672 S. Broschur € 54,90

Besuchen Sie uns unter www.wiley-vch.de

Wiley-VCH • Tel. +49 (0) 62 01-60 64 00 • E-mail: service@wiley-vch.de • Irrtum und Preisänderungen vorbehalten. Stand der Daten: November 2012