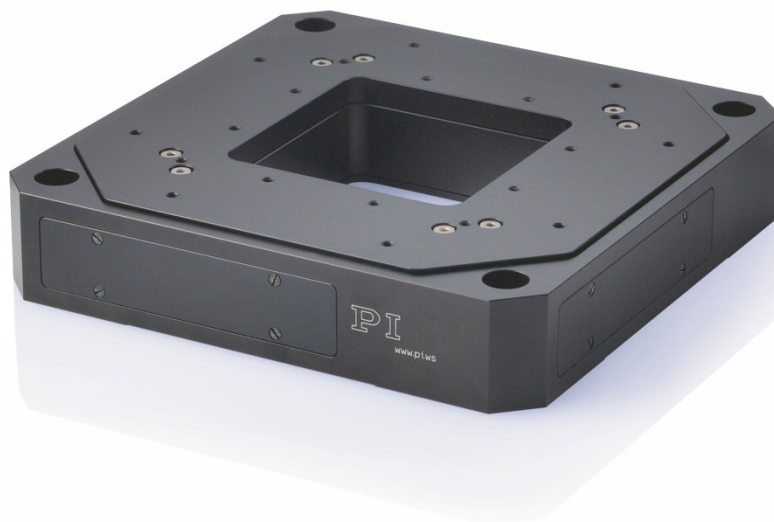


Piezo-Scantische für höchste Präzision und Dynamik

Unterschiedliche Mikroskopieverfahren, die sich kombinieren lassen



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 treiben die Technik voran.

In 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 kann es oft sinnvoll sein, unterschiedliche Methoden miteinander zu kombinieren, um möglichst umfangreiche Informationen über eine Probe zu erhalten.

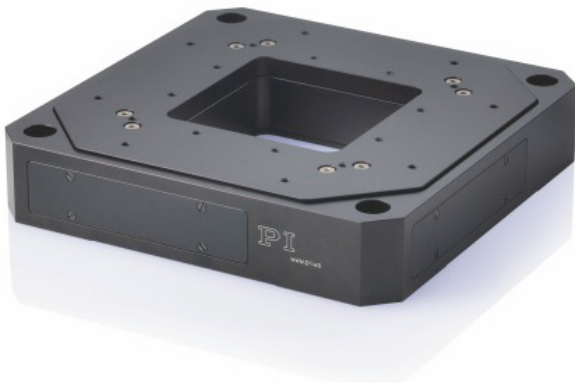


Abb. 1 Für die in jedem Fall notwendige, hochgenaue und dynamische Probenpositionierung bieten piezobasierte Scantische, die sich dank ihrer kompakten Bauweise gut in die Mikroskope integrieren lassen, gute Voraussetzungen

Modular aufgebaute, hochauflösende Mikroskopsysteme erschließen hier interessante Möglichkeiten, da sich unterschiedliche Mikroskopieverfahren 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 (Abb. 1).

Auflösungen im Sub-Nanometer-Bereich bei kurzen Ansprechzeiten

Die piezobasierten Scantische von PI arbeiten mit Auflösungen im Sub-Nanometer-Bereich und Ansprechzeiten unter einer Millisekunde, wodurch ein dynamischer Betrieb mit Scanfrequenzen bis zu eintausend Hertz möglich ist.

Diese sehr hohe Bewegungsauflösung wird erreicht, weil die Bewegung der piezoelektrischen Antriebe ausschließlich auf Verschieben in der kristallinen Struktur des keramischen Werkstoffes unter elektrischen Feldern basiert und es dadurch keine klassischen mechanischen Komponenten gibt mit Reibung oder mechanischem Spiel.

Auch die hohe Dynamik kommt der Genauigkeit zugute. Die hohe Dynamik in der z-Achse für Fokussierprozesse oder Topografiescans ermöglicht auch ein schnelles Rastern der Probe in der x- und y-Richtung. Dadurch werden Messzeiten verkürzt, der 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. Außerdem findet man auch die fürs hochpräzise Positionieren notwendige Sensorik im Programm der Karlsruher Spezialisten. Kein Wunder also, dass sich den piezobasierten Scantischen immer neue Anwendungsbereiche erschließen.

Harald Fischer (Abb. 2), Marketing Direktor bei der WITec GmbH in Ulm, bestätigt das: „Die breite Palette an Scantischen hat PI für uns als Anbieter hochauflösender modularer Mikroskopielösungen zu einem idealen Partner gemacht. Unsere Systeme erfordern flexible Gerätekomponenten, die höchste Präzision über ein breites Anwendungsspektrum bieten, angefangen von der pharmazeutischen Forschung und Lebendzelluntersuchungen über Nanophotonik, Forensik bis hin zu Analysen in Photovoltaik- oder Halbleitertechnik.“



Abb. 2 Harald Fischer, Marketing Direktor bei der WITec GmbH in Ulm: „Die präzise Positionierung in allen drei Achsen ist Voraussetzung für die Genauigkeit des Bildes.“ (Bild: WITec GmbH)

Höchstaflösende Mikroskopie aus dem Baukasten

Durch den modularen Aufbau dieser Mikroskopiesysteme (Abb. 3) ist es beispielsweise möglich, ein konfokales Ramanmikroskop bei Bedarf mit Rasterkraft-Mikroskopie zu kombinieren (AFM). Das gleiche Gerät kann dann 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 (Scanning Near Field Optical Microscopy oder SNOM) ausstatten.

Dadurch sind ganz nach Bedarf der jeweiligen Anwendung präzise optische, topografische und molekulare Analysen möglich.



Abb. 3 Einfache Integration des Piezoscanners in ein modular aufgebautes Mikroskopiesystem aus dem Hause WITec, das es beispielsweise ermöglicht, ein konfokales Ramanmikroskop bei Bedarf mit Rasterkraft-Mikroskopie zu kombinieren (AFM) (Bild: WITec GmbH)

„Der für die Probenpositionierung eingesetzte Scantisch ist ausgelegt für Verfahrenswege von 100 oder 200 μm in den Achsen der Scanebene und 20 μm in Richtung der z-Achse. Er ermöglicht eine Positionsauflösung besser als 2 nm und bietet damit für alle drei Verfahren beste Voraussetzungen“, erläutert Fischer.

Molekulare und hochaufgelöste topografische Informationen sind kombinierbar

Die Ramanmikroskopie basiert auf einem konfokalen, optischen Mikroskop, kombiniert mit einem Ramanspektrometer. Bei einem konfokalen System werden Blenden verwendet, um Licht außerhalb der Fokusebene des Mikroskops zu unterdrücken. Somit werden nur Lichtinformationen aus der Fokusebene zum Spektrometer weitergeleitet. Im Spektrometer wird dieses Licht spektral aufgetrennt und detektiert.

Die Probe wird Punkt für Punkt und Linie für Linie gescannt. Die laterale Auflösung liegt bei grünem Anregungslicht bei ca. 200 nm. Bei der Messung wird für jeden Bildpunkt ein komplettes Ramanspektrum aufgenommen. Diese Ramanspektren sind für jede Molekülart wie ein spezifischer Fingerabdruck, sodass die chemischen Bestandteile einer Probe für jeden Bildpunkt identifiziert und deren Verteilung in der Probe dargestellt werden können (Abb. 4).

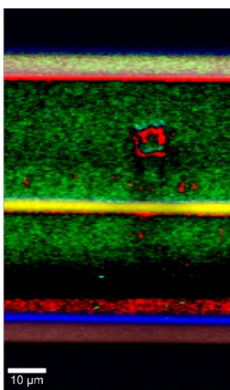


Abb. 4 Das ortsaufgelöste Ramanspektrum für den Tiefenscan einer mehrfach beschichteten Papieroberfläche verhält sich für jede Molekülart wie ein spezifischer Fingerabdruck, sodass die chemischen Bestandteile einer Probe für jeden Bildpunkt identifiziert und deren Verteilung dargestellt werden können (Bild: WITec GmbH)

Kombiniert man das Raman Imaging 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“, fährt Fischer fort.

„Gemessen werden Kräfte zwischen einer sehr dünnen Messspitze und der Objekt Oberfläche, die dann mit einem lateralen Auflösungsvermögen von 10 nm und darunter Aufschluss über die Topografie der Oberfläche geben. Zudem können Probeneigenschaften wie Adhäsion, Steifigkeit oder Viskosität bestimmt werden.“

Da der Abstand zwischen Messspitze und Oberfläche konstant gehalten werden muss, wird die Probenposition in z-Richtung nachgeregelt. 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. 5).

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“, betont Fischer.

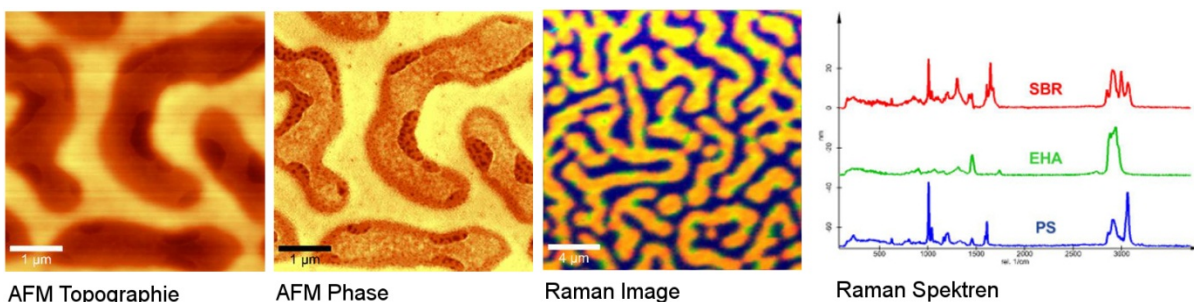


Abb. 5 Kombiniert man das Raman Imaging mit AFM hat man sowohl molekulare als auch hoch aufgelöste topografische Informationen über die Probenoberfläche. Die Abbildung zeigt ein Polymergemisch aus drei Polymeren (PS, EHA, SBR) auf einem Glasträger (Bild: WITec GmbH)

Stabilität und Bahngenaugigkeit

Die Stabilität bzw. 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. Fischer erläutert: „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 z. B. durch externe Krafteinwirkung oder mechanisches Übersprechen in eine andere Achse kann so detektiert und in Echtzeit aktiv ausgeglichen werden.“

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

Nahfeldmikroskopie für optische Informationen unterhalb der Beugungsgrenze

Die optische Nahfeldmikroskopie (SNOM) schließlich erlaubt die Abbildung von wesentlich kleineren Strukturen, als es mit der konventionellen Mikroskoptechnik möglich ist (Bild 6). Denn bei Letzteren 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 an der Spitze 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.

Eine laterale Auflösung von bis zu ca. 60 nm ist erzielbar, während der Wert bei der konfokalen Lichtmikroskopie üblicherweise zwischen etwa 200 – 300 nm liegt.

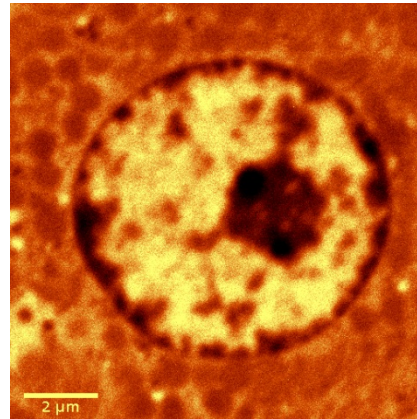


Abb. 6 Für hochauflösende optische Informationen lässt sich das Mikroskop auch zusätzlich mit Nahfeldmikroskopie (SNOM) ausstatten: hier die SNOM-Abbildung eines Nukleus (Zellkerns) einer Ratten-Leberzelle (Bild: WITec GmbH)

Die Probe wird Punkt für Punkt abgerastert und dazu wieder unter der Messspitze des hochauflösenden Scantisches verfahren. An jeder Position nimmt die im Mikroskop integrierte Kamera die ankommende Lichtintensität auf und speichert diesen Wert zusammen mit der Positionsinformation. Daraus wird dann das Bild zusammengesetzt.

Auflösung und Genauigkeit des Bildes sind auch hier wieder von der Positioniergenauigkeit und -stabilität des Scantisches abhängig. Gleichzeitig liefert die Nahfeldmikroskopie auch Informationen zur Oberflächentopologie. Fischer erklärt: „Da der Abstand zwischen Messspitze und Oberfläche konstant gehalten werden muss und praktisch keine Oberfläche wirklich eben ist, wird die Probenposition in z-Richtung nachgeregelt. Diese Aufgabe übernimmt ebenfalls der Scantisch. Dieses Nachregeln der z-Position liefert topologische Informationen zusätzlich zum optischen SNOM-Bild. Die z-Auflösung der Topografieinformationen ist ungefähr mit AFM vergleichbar.“

Bei allen drei Mikroskopieverfahren übernimmt das piezobasierte Scansystem damit eine wesentliche Rolle in den Hochpräzisionsmikroskopen. „Dass es sich dank seiner kompakten Abmessungen gut integrieren ließ, kam uns natürlich ebenfalls entgegen, schließlich ist der Einbauplatz gerade bei Mikroskopen immer knapp bemessen“, so Fischer abschließend.

Autor



Dipl.-Physiker Gernot Hamann, Business Development Manager für Mikroskopie bei Physik Instrumente (PI)

Über Physik Instrumente (PI)

In den letzten vier Jahrzehnten hat sich Physik Instrumente (PI) mit Stammsitz in Karlsruhe zum führenden Hersteller von Positioniersystemen mit Genauigkeiten im Bereich einzelner Nanometer entwickelt. Das privat geführte Unternehmen ist mit vier Sitzen in Deutschland und zehn ausländischen Vertriebs- und Serviceniederlassungen international vertreten.

Über 700 hochqualifizierte Mitarbeiter rund um die Welt versetzen die PI Gruppe in die Lage, fast jede Anforderung aus dem Bereich innovativer Präzisions-Positioniertechnik zu erfüllen. Alle Schlüsseltechnologien werden im eigenen Haus entwickelt. Dadurch kann jede Phase vom Design bis hin zur Auslieferung kontrolliert werden: die Präzisionsmechanik und Elektronik ebenso wie die Positionssensorik.

Die dafür benötigten piezokeramischen Elemente werden bei der Tochterfirma PI Ceramic in Lederhose gefertigt, einem der weltweit führenden Unternehmen auf dem Gebiet aktorischer und sensorischer Piezoprodukte.

Die PI miCos GmbH in Eschbach bei Freiburg ist spezialisiert auf flexible Positioniersysteme für Ultrahochvakuum-Anwendungen sowie parallelkinematische Positioniersysteme mit sechs Freiheitsgraden und Sonderanfertigungen.

Über WITec

Seit der Gründung 1997 hat sich die WITec GmbH mit Stammsitz in Ulm zum Marktführer hochauflösender Mikroskopiesysteme (Raman, AFM und SNOM) entwickelt und konnte durchschnittlich Wachstumsraten von jährlich 10 % erwirtschaften. Heute beschäftigt das Unternehmen weltweit 52 Mitarbeiter und ist mit Zweigstellen in den USA und Asien sowie regionalen Büros in Spanien und Japan rund um den Globus vertreten. Hauptanwendungsgebiete für die modular aufgebauten Hochleistungs-Mikroskope, bei denen sich unterschiedliche Verfahren miteinander kombinieren lassen, finden sich in Nanotechnologie, Materialwissenschaften und Life Science. Die wichtigsten Absatzmärkte sind neben Europa die USA und der asiatisch-pazifische Raum, wobei die Anwender aus Forschung und Industrie kommen.