

Piezobasierte Scantische für exakte Probenpositionierung und -messung

Höchstaflösende Mikroskopie aus dem Baukasten



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. 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 sorgen piezobasierte Scantische, die sich dank ihrer kompakten Bauweise gut in die Mikroskope integrieren lassen.



Abb. 1 Die modular aufgebauten Mikroskopsysteme aus dem Hause WITec ermöglichen es beispielsweise, ein konfokales Ramanmikroskop bei Bedarf mit Rasterkraft-Mikroskopie zu kombinieren (AFM) (Bild: WITec GmbH)

Die höchstaufösenden Mikroskopsysteme aus dem Hause WITec sind modular aufgebaut (Abb. 1). Dadurch 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 (SNOM) ausstatten. Dadurch sind ganz nach Bedarf der jeweiligen Anwendung präzise optische, topografische und molekulare Analysen möglich, von denen die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche profitieren. Das Einsatzspektrum der modular aufgebauten Hochpräzisionsmikroskope reicht von der pharmazeutischen Forschung und Lebzell-Untersuchungen über Nanophotonik, Forensik bis hin zu Analysen in Photovoltaik- oder Halbleitertechnik.

Nahaufnahmen unterhalb der Beugungsgrenze

Die optische Nahfeldmikroskopie (Scanning Near Field Optical Microscopy oder SNOM) erlaubt die Abbildung von wesentlich kleineren Strukturen, als es mit der konventionellen Mikroskoptechnik möglich ist (Bild 2). 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. Bis zu ca. 60 nm laterale Auflösung sind erzielbar, während der Wert bei konfokaler (Licht)Mikroskopie üblicherweise zwischen etwa 200-300 nm liegt.

Die Probe wird dann Punkt für Punkt abgerastert, dazu wird sie unter der Messspitze von einem piezogetriebenen, hochauflösenden Scantischverfahren. 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 von der Positioniergenauigkeit und -Stabilität des Scantisches abhängig (Abb. 2).

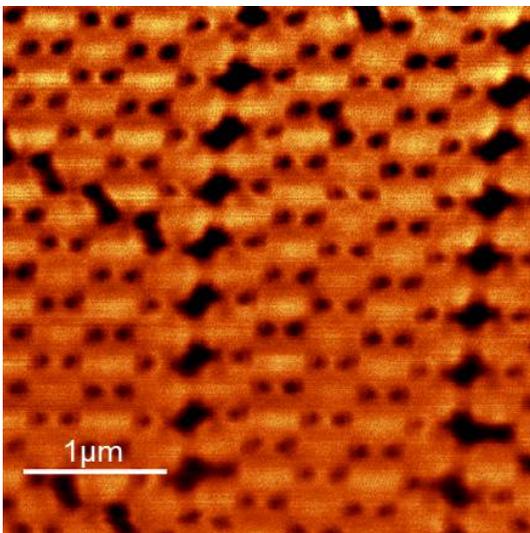


Abb. 2 Für hochauflösende optische Informationen lässt sich das Mikroskop auch zusätzlich mit Nahfeldmikroskopie (SNOM) ausstatten. Dies erlaubt die Abbildung von wesentlich kleineren Strukturen, als es mit der konventionellen Mikroskoptechnik möglich ist (Bild: WITec GmbH)

Informationen über die Oberflächentopologie

SNOM liefert gleichzeitig auch Informationen zur Oberflächentopologie: Da der Abstand zwischen Messspitze und Oberfläche konstant gehalten werden muss und praktisch keine Oberfläche wirklich eben ist, muss die Probenposition in z-Richtung nachgeregelt werden.

Diese Aufgabe übernimmt ebenfalls der Scantisch. Dieses Nachregeln der z-Position liefert topologische Informationen zusätzlich zum optischen SNOM-Bild.

Auch beim AFM-Verfahren wird die Messspitze zeilenweise in einem definierten Raster über die Probenoberfläche geführt. Gemessen werden Kräfte zwischen einer sehr dünnen Messspitze und der Objektoberfläche, die dann Aufschluss über die Topografie der Oberfläche geben. Zudem können Probeneigenschaften wie Adhäsion, Steifigkeit oder Viskosität bestimmt werden.

Das laterale Auflösungsvermögen liegt bei 10 nm und darunter. Auch hier wird die Position der Probe in Richtung der z-Achse nachgeregelt. 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. 3).

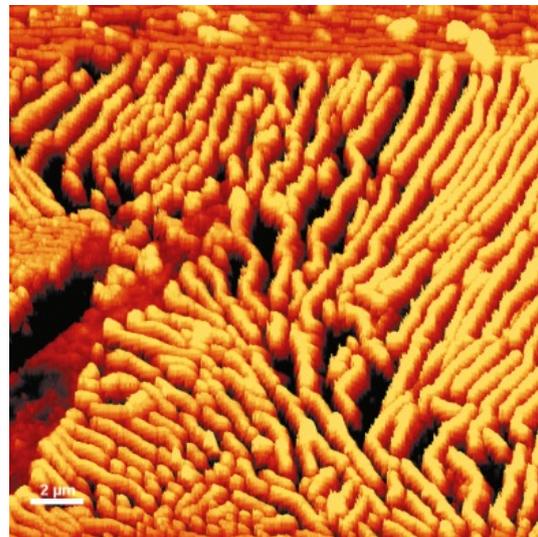


Abb. 3 Die Rasterkraft-Mikroskopie AFM liefert präzise Informationen über die Oberflächentopologie (Bild: WITec GmbH)

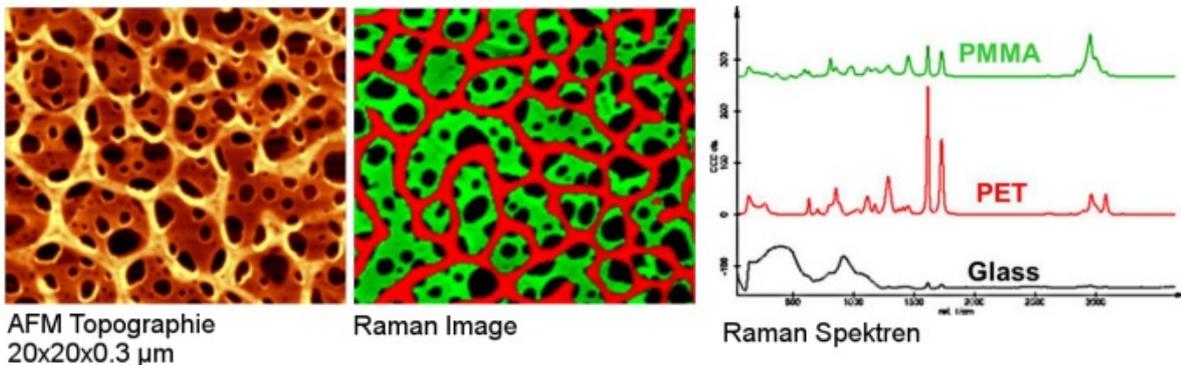


Abb. 4 Topografie eines PEET-PET-Polymerfilms auf einem Glassubstrats mit einem AFM aufgenommen (links) sowie das Ramanspektrum (rechts) und die Falschfarbendarstellung des Ramanbildes (Mitte) (Bild: WITec GmbH)

Der chemische Fingerabdruck

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 erhält man nur Licht-Information aus der Fokusebene, die zum Spektrometer weitergeleitet wird. 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.

Kombiniert man das Raman Imaging mit AFM hat man sowohl hoch aufgelöste topografische als auch molekulare Informationen über die Probenoberfläche. Da die entsprechenden Bilder nacheinander aufgenommen und dann überlagert werden (Abb. 4), sind die Anforderungen an den Scantisch extrem hoch. Schließlich ist die präzise Positionierung in allen drei Achsen Voraussetzung für die Genauigkeit des Bildes.

Positionieren mit höchster Auflösung und Dynamik

Die Auflösung muss im Sub-Nanometerbereich liegen, da das beim Scannen eingesetzte Positioniersystem die Ortsauflösung liefert. Gleichzeitig sind die Anforderungen an die Dynamik hoch, denn je schneller die Topographienachführung in z-Richtung erfolgt, desto schneller ist auch die Positionierung in x- und y-Achse möglich. Das verkürzt nicht nur die Messdauer, sondern reduziert auch eventuell vorhandene Temperatur-Drift, die sich zeitabhängig vergrößert. Eine hohe Dynamik kommt damit auch der Genauigkeit zugute.

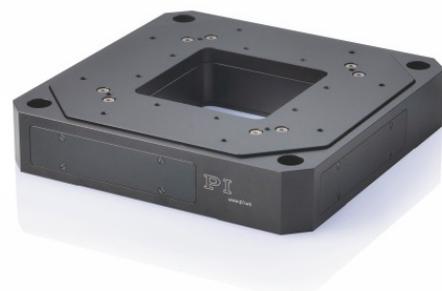


Abb. 5 Bei der Probenpositionierung übernimmt der piezobasierte Scantisch eine Schlüsselrolle. Er ist ausgelegt für Verfahrenswege von 100 oder 200 µm in den Achsen der Scanebene und 30 µm in Richtung der z-Achse, ermöglicht eine Positionsauflösung besser als 2 nm. Kapazitive Sensoren und Digitalelektronik sorgen für höchste Stabilität

Bei der Positionierung entschied sich WITec aus diesen Gründen für einen piezobasierten Scantisch (Abb. 5) von PI. Er ist ausgelegt für Verfahrswege von 100 oder 200 µm in den Achsen der Scanebene und 30 µm in Richtung der z-Achse, ermöglicht eine Positionsauflösung besser als 2 nm und bietet damit beim Einsatz in den modular aufgebauten Mikroskopen für alle drei Verfahren beste Voraussetzungen.

Diese sehr hohe Bewegungsauflösung ist nur möglich, weil es bei der Bewegung der Piezoantriebe keine klassischen mechanischen Komponenten gibt, die Reibung oder mechanisches Spiel besitzen.

Kapazitive Sensoren und Digitalelektronik sorgen für Stabilität

Die Stabilität bzw. Bahngenaugkeiten während des Scans ist vor allem beim Raman Imaging in Kombination mit AFM wichtig, da die Messungen hier durchaus einige Minuten dauern und auftretende Drift die Aufnahmen verzerren würden. Zusätzlich erhöht die aktive Führung mit Hilfe kapazitiver Sensoren die Bahntreue: 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). Das piezobasierte Scansystem übernimmt damit eine wesentliche Rolle in den Hochpräzisionsmikroskopen.

Dass er sich dank seiner kompakten Abmessungen gut integrieren ließ, kam der beschriebenen Anwendung natürlich ebenfalls entgegen, schließlich ist der Einbauplatz gerade bei Mikroskopen immer knapp bemessen.

Autoren



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 Positionssensoren.

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.



PI Hauptsitz in Karlsruhe: Mehr als 350 Mitarbeiter entwickeln und fertigen hier eine breit gefächerte Palette hochauflösender Antriebssysteme und Positionierlösungen