Oberflächen vom Nanometer bis zum Meter messen

Dr. Thomas Fries
Fries Research & Technology GmbH (FRT), www.frt-gmbh.com

In den Bereichen F&E und Produktionskontrolle spielt die präzise Messung von Oberflächen eine zentrale Rolle: Die Bauteile müssen zerstörungsfrei und mit hoher Auflösung charakterisiert werden, um bestimmte Eigenschaften zu optimieren oder diese zu überprüfen. Die relevanten Größen einer Oberflächenmessung sind Rauheit, Kontur, Struktur oder Schichtdicke, da das Finish einzelner funktionaler Flächen am Bauteil (zum Beispiel in der Mikrofluidik) ebenso wichtig ist wie die Profile spezieller Strukturen (etwa Kanäle für Glasfasern) oder die Geometrie des gesamten Bauteils (zum Beispiel Halbleiterwafer – Abbildung 1). Ebenso können Rauheit und Welligkeit quantitativ ausgewertet werden. Das Material kann hoch reflektiv, transparent oder schwarz sein.

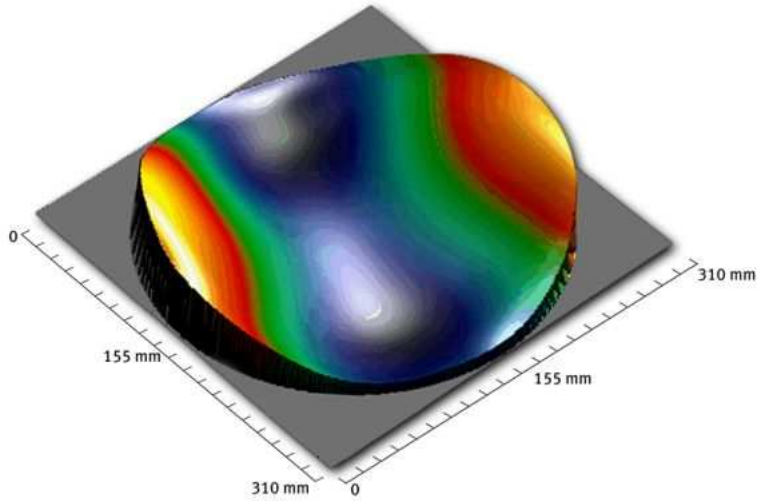

Abbildung 1: Durchbiegung eines Wafers (bow)

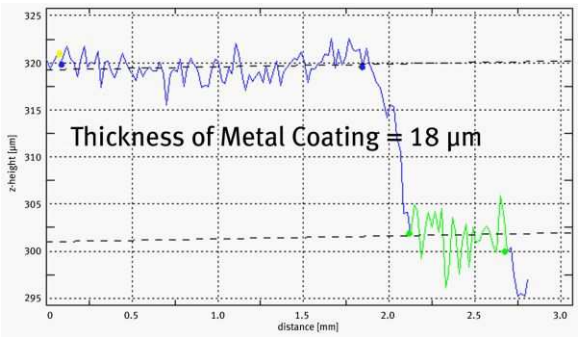

Abbildung 2: 2D-Profil einer Solar-Metallisierung (Stufenhöhe)

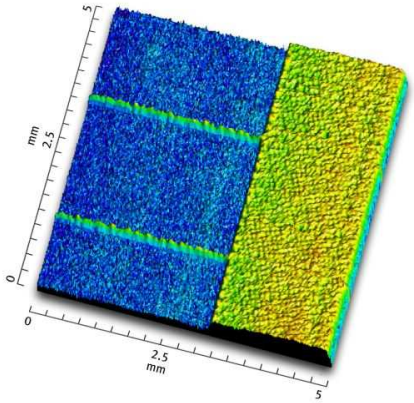

Abbildung 3: 3D-Struktur einer Solar-Metallisierung (Stufenhöhe)

Bei der Messung stehen eine Vielzahl von Parametern zur Beschreibung der Oberfläche zur Verfügung. Die Auswahl des geeigneten Parameters hängt von der jeweiligen Fragestellung ab. Entscheidend ist hier, ob die gesuchte Information eher im Millimeter-, Mikrometer- oder im Nanometer-Bereich, im Flächeninhalt oder in der Profilstruktur liegt.

Die Oberfläche als Funktionsträger

Werkstoffoberflächen bestimmen viele Eigenschaften von Produkten, nicht nur das optische Erscheinungsbild, sondern auch elektrische oder mechanische Eigenschaften. Häufig sind solche Eigenschaften wichtig für die Funktion von Bauteilen. Um diese Funktion zu gewährleisten, müssen Oberflächen in mehrfacher Hinsicht charakterisiert werden. Ein mögliches Verfahren ist die chemische (spektroskopische) Untersuchung der Oberflächen. Auch die mechanische Charakterisierung, zum Beispiel nach Härte oder Verschleiß, ist von Bedeutung. Bei vielen Anwendungen genügt es aber schon, die geometrischen Parameter der Oberfläche zu charakterisieren: Rauheit, Kontur und Topographie. Gerade in der mikrotechnischen Produktion ist die Charakterisierung von Oberflächen in Hinblick auf Rauheit, Kontur und Topographie in vielen Fällen unabdingbar für die Produktentwicklung, Prozessoptimierung, Prozessbegleitung und Schadensanalyse. Einer der wichtigsten Aspekte bei der Vermessung mikrotechnischer Bauteile ist die Möglichkeit, über mehrere räumliche Dimensionen und in verschiedenen Maßstäben arbeiten zu können.

Beispielmessung an einem Bauteil aus der Mikrofluidik

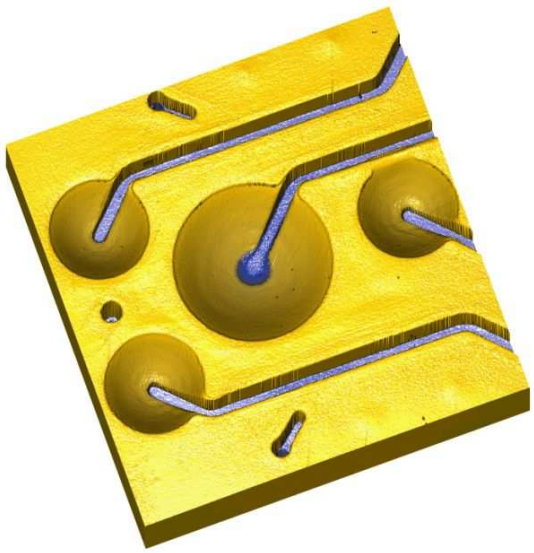

Abbildung 4: 3D-Darstellung einer Mikrofluid-struktur

Abbildung 4 zeigt ein typisches Beispiel: die Messung der Oberflächen einer Struktur aus der Mikrofluidik. Bei dieser Aufgabe müssen sowohl mehrere Dimensionen, als auch unterschiedliche Parameter der Oberfläche gemessen werden. Für den Produktionsprozess und das Assemblieren ist die Topographie im größeren Maßstab entscheidend. So muss bestimmt werden, wie einzelne Bauteile auf einem kompletten Wafer angeordnet sind. Aber auch deren Geometrie muss zum Beispiel bekannt sein, um die Verklebung von Deckeln zu gewährleisten. Während der Produktion müssen die Profile der Bauteile über die verschiedenen Kanäle überwacht werden. Hier spielt neben der Tiefe und der Breite der Strukturen auch die Form der Seitenwände eine große Rolle. Schließlich ist

für die Funktion mikrofluidischer Bauteile auch die Rauheit in den Kanälen entscheidend, da bei falscher Beschaffenheit der Oberflächen die Flüssigkeit nicht transportiert werden kann. Jeder dieser Messschritte erfordert spezielle Sensoren abhängig von Dimensionen und Auflösungen. Ein flexibles und kompaktes Gerät, das alle Möglichkeiten vereint, spart nicht nur Kosten, sondern auch Einarbeitungszeit und Platz.

Mit Multisensor-Technik den Brückenschlag vom Nanometer zum Meter schaffen

Führende Hersteller von Oberflächenmesstechnik bieten innovative optische Messgeräte, die mit unterschiedlichen Sensoren für die Bestimmung verschiedener Parameter ausgestattet werden können.

Abbildung 5: FRT MicroProf ®

Um die Brücke vom Meter zum Nanometer zu schlagen, können solche Geräte optional mit einem Rasterkraftmikroskop (AFM = Atomic Force Microscope) bestückt werden. Das AFM ist dann parallel zum normalen optischen Topographiesensor an das Gerät angebaut. Bei Bedarf wird in der Übersichtsmessung mittels eines optischen Sensors mit Mikrometerauflösung eine Stelle ausgewählt, die den Messbereich des AFM bestimmt. Dieses ist dann in der Lage, Oberflächenstrukturen bis in den Nanometerbereich zu untersuchen. Umgekehrt kann jede hochaufgelöste AFM-Messung automatisch in den Messbereich des optischen Topographiesensors gebracht werden, um größere Profile oder Flächen zu untersuchen.

Optische Sensoren ermöglichen schnelle und akkurate Topographiemessungen. Dazu wird die Probe auf einem hochgenauen mechanischen oder luftgelagerten Rastertisch mit elektromagnetischen Linearantrieben unterhalb des Sensors in horizontaler Ebene (x und y) verfahren. Für jede x,y-Position verzeichnet der optische Sensor eine Höheninformation, die nach vollständiger Rasterung der Probe mittels Software zu einem Höhenmapping zusammengesetzt wird. So können Profile in beliebiger Länge und Richtung oder auch Rechtecke mit beliebigen Kantenlängen bis zur maximalen Rastergröße gemessen werden. Die laterale Auflösung beträgt hierbei 1 bis 2 Mikrometer. Der Höhenmessbereich reicht von 300 Mikrometern bis 25 Millimetern oder mehr. Die maximale Auflösung in der Höhenmessung liegt bei 3 Nanometern. Um die Bedienung zu erleichtern, wird der optische Sensor durch eine CCD Kamera (Mikroskop) ergänzt, die es ermöglicht, die gewünschte Messregion zu definieren.

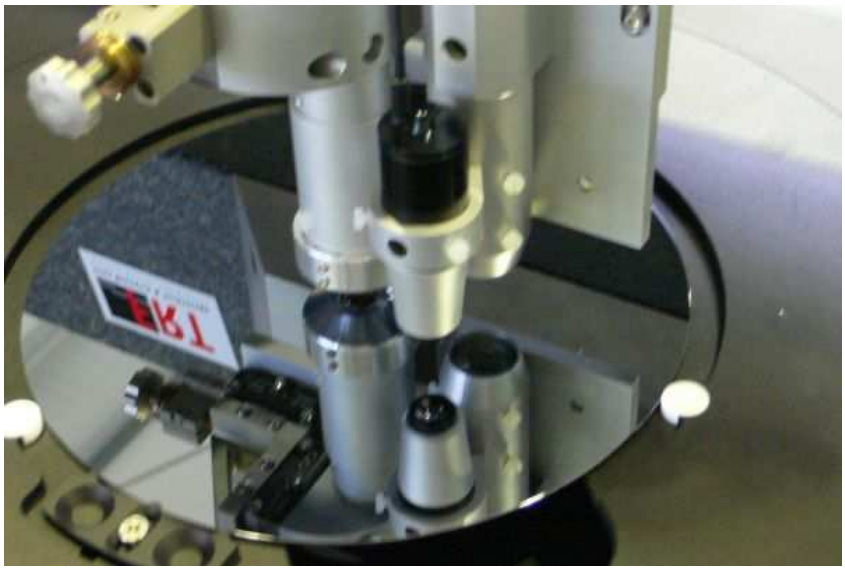

Abbildung 6: Multisensoranordnung mit CCD-Kamera und Topographiesensoren

Der optische Sensor ist auf einer motorisierten Achse angebracht, die eine automatische Annäherung an den Messbereich erlaubt.

Rasterkraftmikroskopie zur nanometergenauen Oberflächenmessung

Das AFM hat einen maximalen Rasterbereich von 80 x 80 Mikrometern und einen maximalen Höhenbereich von 6 Mikrometern. Die Auflösung des AFM ist besser als 1 Nanometer in allen 3 Achsen. Es ist auf einer separaten Achse montiert, um eine vom optischen Sensor unabhängige Annäherung des AFM-Kopfes zu gewährleisten.

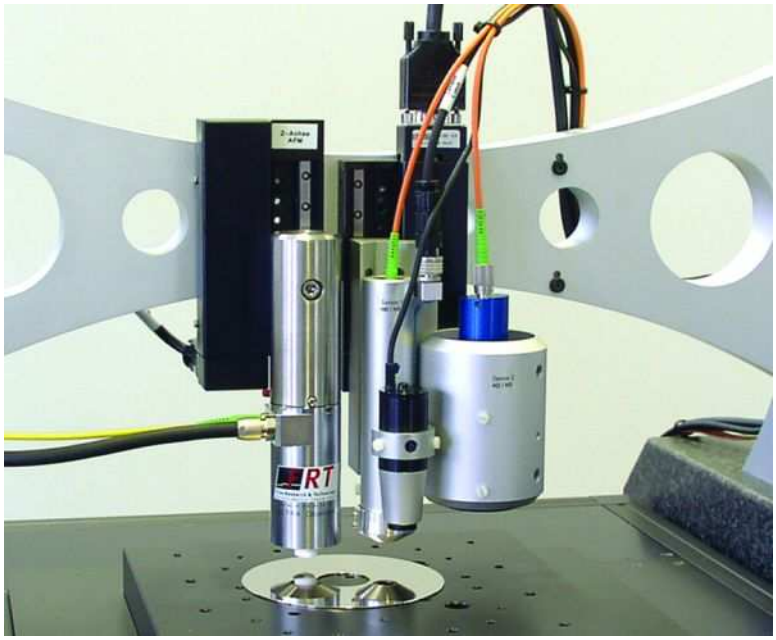

Abbildung 7: Multisensoranordnung mit AFM

Die Probe wird einfach mit dem Rastertisch unter dem AFM positioniert, indem entweder das Mikroskopbild der Kamera oder eine Messung mit dem optischen Sensor als Positionierhilfe genutzt wird. Das AFM kann mit weiteren Messmodi ausgestattet werden. Dies sind zum Beispiel Lateralkraft, Magnetkraft. Phasenmodulation, Kelvin Probe oder Flüssigkeitsmessung. Darüber hinaus kann das AFM zum AFAM (Ultraschall-Kraftmikroskop) ausgebaut werden. Bei dieser Methode wird die Probe mit Ultraschall angeregt. Die Analyse der Wechselwirkung der angeregten Probe mit dem AFM ermöglicht dann die Charakterisierung mechanischer Eigenschaften und des elastischen Moduls der Oberfläche. Mit dieser Konfiguration können metrologische Messungen von Rauheit, Profilen und Struktur/Form über den gesamten Messbereich und mit Auflösungen bis kleiner 1 Nanometer durchgeführt werden. Durch die Closed-Loop Integration der unterschiedlichen Methoden ist ein leichtes und sicheres Auffinden der Messposition jederzeit gewährleistet.