



Exakte Waferdicke zur PV-Produktion

von Florian Hofmann und R&D-Gruppenleiter Norbert Reindl, Micro-Epsilon

Egal ob polykristallin oder monokristallin, für die Chipherstellung oder die Photovoltaik – für die unterschiedlichsten Silizium-Wafer-Anwendungen gilt: möglichst geringer Rohstoffeinsatz, hohe Effizienz und Zuverlässigkeit der Produktionsschritte. Messtechnik-Spezialist Micro-Epsilon, ein bekannter Name beim Messen von Nanometern, stellt Lösungen für die Messung der Prozessstabilität etwa von Ätz- und Beschichtungsprozessen bereit.

Nachdem die Wafer aus den Bricks gesägt wurden, erfolgt meist eine mehrgängige mechanische Nachbearbeitung, die die Oberfläche zunehmend feiner werden lässt. Weiterhin werden Wafer auch in Ätzbädern behandelt, beispielsweise in der Herstellung von PV-Elementen. Die Soll-dicke der Wafer für die Nutzung in PV-Modulen beträgt beispielsweise nur ca. 200 µm. Sie sind damit wesentlich dünner als Wafer für die Herstellung von Mikrochips. Eine Anlage zur Nassätzung setzt in der Größenordnung von 3.600 Wafer je Stunde durch. Da bei jedem Wafer Material auf der Oberfläche abgetragen wird, beeinflussen Rückstände in der Lösung die Säurekonzentration und reduzieren damit den Abtrag je definierter Zeiteinheit ständig. Um feststellen zu können, ob die Lösung im Ätzbad noch ausreichend ist oder bereits zu wenig Material abgelöst wird, gilt es nach dem Bad die Dicke der Wafer zu überprüfen. Wird in den verschiedenen Prozessschritten zu viel Material abgetragen, steigt die Gefahr für das Brechen des Wafers bei der Bearbeitung. Bei signifikantem Abweichen der Dicke vom Sollmaß 200 µm kann im laufenden Prozess die Prozessqualität nicht mit ausreichender Sicherheit zugesagt werden. Die Waferdicke ist das entscheidende Kriterium für den Erfolg der Bearbeitung. Es liegt daher nahe, die Dicke direkt zu erfassen und so auf die Qualität des Ätzbades zu schließen. Neben dem Ätzbad ist die Dicke auch in weiteren Prozessschritten, wie der Antireflexbeschichtung oder der Diffusion ein wichtiges Erfolgskriterium. Hersteller von PV-Zellen sind daher auf der Suche nach Möglichkeiten die Dicke von Wafern in jedem Prozessschritt exakt zu bestimmen.

Die Dicke bestimmen

Für die exakte Dickenmessung haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Verfahren entwickelt. Unter anderem wird beispielsweise beim Nassabtrag versucht, mit hochpräzisen Waagen über Masse und Größe auf die Dicke bzw. den Materialabtrag zu schließen. Dieser Umweg führt zu unzuverlässigen Ergebnissen. Von Vorteil wäre jedoch ein materialunabhängiges Messverfahren für den Einsatz an beliebigen Prozessschritten. Eine andere Möglichkeit ist es, die Dicke mit kapazitiver Sensorik zu bestimmen. Dabei können nicht nur die Dicke, sondern auch andere Parameter wie Durchbiegung oder Sägeriefen zuverlässig erfasst werden.

Von beiden Seiten berührungslos Abstände messen

Das Prinzip der kapazitiven Wegmessung basiert auf der Wirkungsweise des idealen Plattenkondensators. Die beiden Plattenelektroden werden durch den Sensor und das gegenüberliegende Messobjekt gebildet. Durchfließt ein Wechselstrom mit konstanter Amplitude den Messkondensator, so ist die Amplitude der Wechselspannung am Sensor dem Abstand zwischen Messkondensator und Messobjekt proportional. Für eine Dickenmessung von elektrisch leitenden Stoffen, zu denen auch Halbleiter zu zählen sind, werden zwei Sensoren gegenüberliegend angebracht. Damit wird durch die berührungslose Messung der Abstände von beiden Seiten eine Dickenmessung ermöglicht. Die Lage des Objekts im Messspalt spielt bei hochwertiger Technik keine Rolle. Mit dieser Methode lassen sich Waferdicken bis in den Sub-Mikrometerbereich bestimmen. Jeder Sensor liefert ein diskretes Ausgangssignal in Abhängigkeit vom Abstand der Sensoroberfläche zur Waferoberfläche. Durch

4 | Kapazitive Sensoren arbeiten nach dem Prinzip des idealen Plattenkondensators.

Fotos: Micro-Epsilon

Die Lage des Objekts im Messspalt spielt bei hochwertiger Technik keine Rolle.

2

1 | Photovoltaikanlagen sind in Deutschland keine Seltenheit. Nur bei bester Qualität erreichen sie den gewünschten Wirkungsgrad.

2 | Per Dickenmessbügel messen die kapazitiven Sensoren die Dicke der Wafer. Auch eine Si-Ni-Beschichtung stört die Messung nicht.

3 | Mit dem multichannel System capaNCDT 6500 können bis zu vier Spuren betrieben werden. Durch externe Vorverstärker sind bis zu 20 m zwischen Controller und Sensor möglich.

sein können bedeutet dies ein vollständiges Messsystem am Eingang und Ausgang aufzubauen. Beim System von Micro-Epsilon entfällt diese Notwendigkeit eines zweiten Controllers. Per externen Vorverstärker wird der Abstand zwischen Sensor und Controller auf mehr als 20 m erweitert. Durch den hohen Abstand kann der Controller mittig positioniert und bis zu vier Sensoren können je Anlagenseite montiert werden. Damit kann die Dicke je Anlagenseite mit hoher Wirtschaftlichkeit in zwei Spuren gemessen werden. Die Sensoren werden dazu ans Wafertransportband verbaut, sodass die Wafer zwischen den beiden Sensoren laufen.

Modulares Konzept mit offener Schnittstelle

Je nach Sensor kann der Abstand von der Stirnfläche zum Wafer unter 1 oder bis zu 4 mm betragen.

Speziell für die Dickenmessung von Wafern werden die kapazitiven Sensoren als ein „offenes“ System angeboten. Völlig modular kann sich der Anwender zwischen reiner Sensortechnik oder einem fertigen Messbügel entscheiden. Durch den speziellen Sensoraufbau sind die Sensoren in jeder Ausrichtung für präzise Messungen geeignet. In der Basis-Variante wird das capaNCDT 6500 mit einer speziellen Auswertesoftware geliefert. Die Abstandsinformationen der einzelnen Sensoren können damit entweder als Spurdicke ausgegeben werden oder aber als Rohdaten der einzelnen Sensoren. Anstelle der mitgelieferten Software können Anwender aber auch eigene Auswerte-Algorithmen verwenden. Die integrierte Ethernet-Schnittstelle mit den dokumentierten Datenformaten und Befehlen bietet dazu eine gute Basis. Je nach Sensor kann der Abstand von der Sensorstirnfläche zum Wafer unter einem Millimeter oder bis zu vier Millimeter betragen. Erreicht wird eine Reproduzierbarkeit von bis zu $0,3 \mu\text{m}$. Marktüblich sind lediglich $0,5 \mu\text{m}$. Die Wiederholgenauigkeit liegt sensorabhängig zwischen 50 und 100 nm. Diese Technik setzt damit neue Maßstäbe hinsichtlich Präzision, einfache Anwendung und Wirtschaftlichkeit. ■

www.micro-epsilon.de

3



das kapazitive Messverfahren erfolgt die Messung nur gegen die Oberfläche ohne Eindringen des Feldes ins Messobjekt, also unabhängig vom Material. Es ist also unbedeutend, ob es sich um dotierte oder undotierte Wafer handelt, ob amorph, mono- oder polykristallin. Selbst nach Aufdampfen der Antireflexschicht aus Silizium-Nitrit wird mit geeigneten Sensoren die Dicke zuverlässig erfasst.

Die Sensoren besitzen typischerweise eine Elektrode, die von einem Guard umgeben wird. Herkömmliche Sensoren bauen sehr tief und können nur bedingt in kompakte Messgeräte integriert werden. Anders sind dazu die ECT-Sensoren von Micro-Epsilon. Diese nach der „Embedded Capa Technology“ gefertigten Sensoren sind nur 4 mm tief und können daher sehr gut in einen kompakten Messbügel appliziert werden.

Waferdicke per Messbügel

Micro-Epsilon bietet die kapazitiven Sensoren zusammen mit ihrem Racksystem capaNCDT 6500 an. An dieses System können wahlweise zwei oder bis zu acht Sensoren angeschlossen werden, was bis zu vier Dickenmessstellen ergibt. Die Auflösung der Sensoren ist dabei sehr hoch, je nach Geschwindigkeit und Messbereich kann durchaus 1 Nanometer erreicht werden. Besonders geschätzt wird die hohe Distanz zwischen Sensor und Controller. Marktüblich sind hier Abstände unter 1 m. Bei Produktionsanlagen, die durchaus bis zu 30 m lang