

Hauptsache berührungslos: Optische Sensoren erobern 3D-Oberflächenmessgeräte



3D-Messtechnik für elektronische Bauteile: Kameras, optische Sensoren, Konfokalmikroskope. © cyberTECHNOLOGIES

Wie funktioniert die 3D-Vermessung elektronischer Bauteile? Die hier zum Einsatz kommenden Messmaschinen sehen auf den ersten Blick ihren Verwandten aus der mechanischen Welt, den High-End-Koordinatenmessmaschinen, recht ähnlich. Brücken- bzw. Portalbauweise sind auch hier vorherrschende Bauformen. Und doch ist vieles anders, was schon bei der Namensgebung anfängt. Man spricht von 3D-Oberflächenmesssystemen für die Mikroelektronik bzw. Mikrosystemtechnik, der Feinwerktechnik oder für die Werkzeugindustrie, und die Alleskönner unter ihnen bieten gleich mehrere Sensorsysteme. Den Löwenanteil der Messaufgaben übernehmen optische Sensoren. Bis zu vier unterschiedliche Messsysteme finden sich auf den Sensorträgern der 3D-Oberflächenmessgeräte von cyberTECHNOLOGIES.

Oberflächlich gesehen

Neben den eigentlichen Basisdimensionen elektronischer Bauteile stehen in der Qualitätssicherung zunehmend die Eigenschaften deren Oberflächen im Mittelpunkt. Hierzu zählen Rauheit und Ebenheit, aber auch Stufenhöhen und Schichtdicke von Beschichtungen, Koplanarität und globale Dickenschwankung. Letztere wird auch TTV genannt (Total Thickness Variation).

In der Produktion elektronischer Bauelemente geht es um sehr große Mengen bei gleichzeitiger Nachverfolgbarkeit jedes individuellen Bauteils, so dass eine 100%-Prüfung nicht in Frage kommt. Das hat natürlich Folgen für die fertigungsbegleitende Qualitätssicherung: Wenn für ein Smartphone am Tag 70.000 hochwertige elektronische Basiskomponenten gefertigt werden, darf ein Qualitätscheck einer Kontrollgruppe keinen Tag dauern – so viel potenziellen Ausschuss kann heute niemand mehr riskieren. Je länger die Feedbackzeit, desto größer das Risiko für Ausschuss.

Um die Feedbackzeit so gering wie möglich zu halten kann man mehrere Wege gehen. Am einfachsten – aber auch am teuersten – ist das parallele Aufstellen mehrerer Messsysteme, um Produktionslinien parallel prüfen zu können. Weniger kostentreibend, aber technisch anspruchsvoller ist die Beschleunigung des Messvorgangs durch parallele Messvorgänge sowie die Optimierung der Einzelmessungen durch spezialisierte Sensoren.

3D-Oberflächenmessgeräte verfügen dazu je nach Aufgabenstellung über ein Ensemble von Messsystemen unterschiedlicher Technologien, die auf ihre jeweilige Aufgabe spezialisiert sind. Immer dabei ist ein Kamerasystem zur einfacheren Bedienung. Durch simples Markieren mit Hilfe der Live-Ansicht der Probe wird der Messausschnitt definiert. Zusätzlich wird die Kamera genutzt, um Proben bei automatisierten Messungen selbstständig auszurichten und Versatz und Verdrehung zu kompensieren.

Damit können die Messmaschinen direkt in der Produktion eingesetzt werden. Messdaten werden schnell und ohne Benutzereingriff mit maximaler Wiederholgenauigkeit aufgenommen. Parallel zum Einsatz kommen 3D-Weißlichtinterferometer. Sie spielen messtechnisch in der Oberliga und sind die erste Wahl, wenn es um Rauheiten z. B. auf Wafern geht und Auflösungen in der Größenordnung unter einem Nanometer erreicht werden müssen. Ebenso wie Weißlichtinterferometer sind konfokale Mikroskope Flächensensoren mit Auflösungen im Nanometerbereich und Messflächen von typischerweise unter einem Quadratzentimeter. Auch sie werden häufig in Oberflächenmessgeräte eingebaut. Für den Scan größerer Flächen bieten sich Linien- bzw. Punktsensoren an, was die Kombination beider Technologien interessant macht.



Bild 1 Sensoren eines 3D-Oberflächenmessgeräts: Kamera mit Ringlicht, chromatisch-konfokaler Sensor.
© cyberTECHNOLOGIES

Chromatisch-konfokaler Geschwindigkeitsrausch

Wenn es um Geschwindigkeit geht, schlägt die Stunde der neuen chromatisch-konfokalen Liniensensoren. Sie verfügen an Stelle eines Einzelmesspunkts über eine Messpunktzeile, also eine Linie aus benachbarten Messpunkten. Je nach Anzahl der Messpunkte und Linienlänge lassen sich so erhebliche Messzeiteinsparungen erreichen. So ist der von Precitec Optronik in Neu-Isenburg gelieferte und in den 3D-Oberflächenmessgeräten eingesetzte CLS-Liniensensor nach Einschätzung von Frank Kemnitzer, Vertriebsleiter bei cyberTECHNOLOGIES in Eching-Dietersheim um den Faktor 100 schneller als vergleichbare Punktsensoren aus gleichem Hause. Erreicht wird dieser Geschwindigkeitsvorteil durch das parallele Auslesen von 192 Messpunkten, die auf einer bis zu 5 Millimeter langen Messpunktlinie angeordnet sein können. Damit lassen sich in vergleichbaren Zeiträumen viel größere Flächen scannen als mit konventionellen Punktsensoren. Die hier eingesetzte chromatisch-konfokale Messtechnik hat neben dem berührungslosen Messprinzip weitere Vorteile: Durch ihre hohe Dynamik und ihr exzellentes Signal/Rauschverhältnis kommt sie mit allen Materialien zurecht - polierte und spiegelnde Oberflächen eingeschlossen. Dieser Umstand ist sehr wichtig, wenn es um das Messen von Bauteilen und Substraten geht. So bestehen Bumps, Kontaktierelemente zur Montage ungehäuster Halbleiter, meist aus hochreflektierenden, beinahe spiegelnden Materialien; diese Oberflächen sind für konventionelle optische Systeme schwierig zu messen.

Bei Systemen, die sowohl über einen Punktsensor wie auch ein konfokales Mikroskop verfügen, übernehmen die Punktsensoren nicht nur das Scannen größerer Flächen, sondern leisten auch als Abstandssensoren gute Dienste. Konfokalmikroskope benötigen für Tischbewegungen in X-Y-Richtung eine aktive Abstandsregelung für

die Z-Achse, da der Betrachtungsabstand zwischen Mikroskopobjektiv und Messoberfläche typischerweise nur einen Millimeter beträgt. Ein chromatischer Abstandssensor mit einem Arbeitsbereich in der Größenordnung von 20 Millimeter kann hier auch bei hohen Verfahrensgeschwindigkeiten sicherstellen, dass das Objektiv des Konfokalmikroskops zu keinem Zeitpunkt mit dem zu messenden Bauteil kollidiert und der erforderliche Abstand eingehalten wird. Eine fortlaufende Abstandskontrolle ist besonders wichtig für automatisierte Messprozesse. Mit ihnen können kundenspezifische Messprogramme eingelernt werden. Die Programme dazu kann der Kunde selbst erstellen. Das Bestücken der Anlage erfolgt entweder manuell oder durch ein automatisiertes Handlingsystem (Roboter).

Wofür werden 3D-Oberflächenmesssysteme in der Praxis eingesetzt? Anhand der Herstellung von elektronischen Bauteilen kann dies gut veranschaulicht werden.



Bild 2 Eine Messanlage für Wafer, bestehend aus Handlingszelle (Roboter) und Messmaschine.
© cyberTECHNOLOGIES

1. Waferüberprüfung

Ein erster Schritt bei der Herstellung von elektronischen Bauteilen ist die Prüfung des Wafers. Hierbei sind insbesondere die Rauheit, Verbiegung und Verwölbung (Bow & Warp) sowie die Dickenschwankungen (TTV) wichtig. Zu Beginn der Herstellung eines Wafers wird die Siliziumscheibe nach dem Schneiden optisch spiegelnd poliert. Die Oberflächenrauheit darf für die Weiterverarbeitung nur wenige Nanometer betragen. Um dies zu gewährleisten wird die Rauheit vor den kommenden Prozessschritten überprüft und die hochreflektierende Oberfläche auf kleinste Defekte untersucht. Hier führt kein Weg an berührungslosen 3D-Oberflächenmessgeräten vorbei. Aufgrund der empfindlichen Oberfläche und der geringen Rauheit werden 3D-Weißlicht-Interferometer eingesetzt. Sie ermöglichen zerstörungsfreie, schnelle und flächige 3D-Messungen mit einer Höhenauflösung im Sub-Nanometerbereich zur genauen Rauheitskontrolle.

Neben der Rauheit ist auch eine möglichst geringe Verbiegung und Verwölbung für die weiteren Prozessschritte ausschlaggebend. Werden diese Qualitätskriterien nicht eingehalten, führt dies zu mechanischen Spannungen im Wafer. Beim Sägen des Wafers (Dicing) können dann Fehler auftreten. Deshalb wird der Waferoberfläche vor dem nächsten Produktionsschritt mit einem konfokalem Weißlichtsensor abgescannt und Bow und Warp gemessen.

Gleichzeitig müssen aber auch die Dicke bzw. Dickenschwankungen des Wafers geprüft werden. Für ein besseres Handling sind die Wafer meist auf einer dünnen Folie (Dicing Tape) aufgebracht. Mit einem Infrarotsensor kann die Waferdicke durch die Folie hindurch gemessen werden. Wenn Infrarot nicht einsetzbar ist wird die Dicke des Wafers mit zwei sich gegenüberstehende Sensoren gemessen. Beide Sensoren erfassen

die Höhendaten synchronisiert und ortsgenau. Sie müssen exakt axial ausgerichtet sein um eine präzise differentielle Dickenmessung zu gewährleisten. Insbesondere der Geschwindigkeitsvorteil von Liniensensoren wird auch bei der beidseitigen Dickenmessung genutzt, indem man zwei sich gegenüberstehende Sensoren einbaut. Mit dieser Anordnung lassen sich Dickenschwankungen selbst über große Scanbereiche in kürzester Zeit ermitteln.

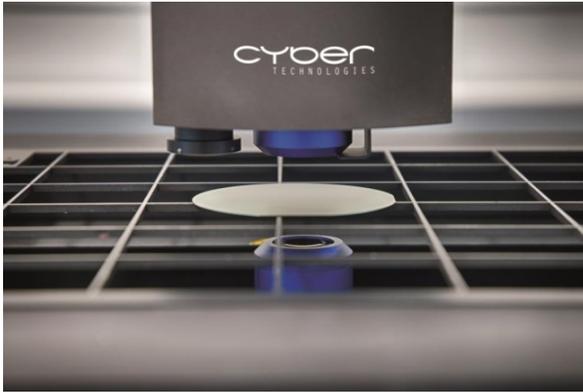


Bild 3 TTV-Messung über große Bereiche mittels gegenüberstehenden Liniensensoren (beidseitige Dickenmessung).

© cyberTECHNOLOGIES

2. Bauteilausrichtung und -position messen

Der vereinzelte Chip wird im nächsten Schritt auf ein Substrat oder einen Anschlussrahmen (Lead Frame) aufgebracht. Hierzu wird häufig Kleber verwendet. Der Klebstoff wird im Schablonendruckverfahren auf das Substrat aufgebracht. In Rakelrichtung wird am Ende eines Druckdepots häufig überschüssiger Kleber, sogenannte Hundeohren (Dog ears) angehäuft. Diese Erhöhungen können zur Verkipfung des Chips führen. Nun kommen die 3D-Oberflächenmessgeräte ins Spiel: Sie kontrollieren die Schichtdicke des Klebers und die Hundeohren. Sind die Werte außerhalb der Toleranz, werden die Druckparameter korrigiert.

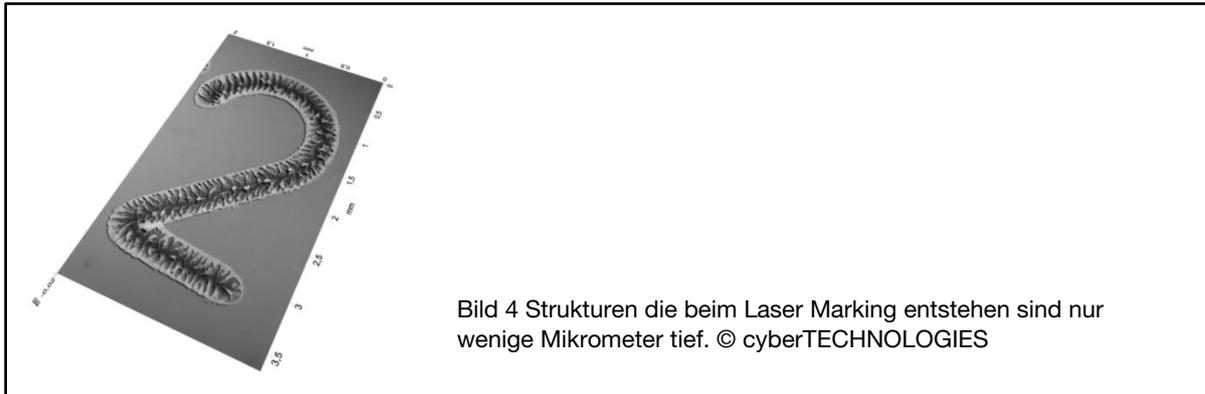
Die Verbindung zwischen Chip und Substrat erfolgt mittels Drahtbonden, das Verbindungen per Draht zwischen Chip und Anschlussrahmen herstellt. Entscheidend beim Positionieren des Bauteils ist, dass der Chip ohne Verkipfung auf dem Anschlussrahmen oder dem Substrat aufgebracht wird. Ein fehlerhaftes Aufbringen würde zu Problemen beim nachfolgenden Bondprozess führen und Ausschuss verursachen. Um dies zu vermeiden muss auch dieser Verarbeitungsschritt ständig kontrolliert werden. Ein Messsystem mit chromatisch-konfokalem Weißlichtsensor misst automatisch die Verkipfung des Siliziumchips. Ist diese zu groß, schlägt die Software umgehend Alarm. Die Produktion kann gestoppt und Prozessparameter korrigiert werden. Die gesamte Messung aller Chips auf einem Anschlussrahmen dauert mit einem Weißlicht-Punktsensor lediglich ca. 40 Sekunden, weshalb es sich anbietet, das Messsystem zusätzlich durch ein Handlingssystem zu unterstützen, das die Anschlussrahmenezuführung und -entnahme erledigt. Alternativ kann man auch inline messen.

3. Dicke messen

Der nächste wichtige Prozess ist das Molding. Es dient der Verkapselung der empfindlichen Siliziumchips. Dabei werden die mit dem Lead Frame oder Substrat verbundenen Chips mit Kunststoff geschützt. Die Dicke dieser Schutzschicht, die so dünn wie möglich, aber auch so dick wie nötig zu sein hat, muss gemessen werden. Hier schlägt die Stunde berührungslos arbeitender Punktsensoren. Kein optischer Sensor kann durch ein aus verschiedenen Materialien bestehendes Bauteil hindurch messen oder gar seine Schichten erfassen. Stattdessen setzt man in diesem Schritt auf zwei sich gegenüberstehende Sensoren. Beide Sensoren erfassen die Höhendaten synchronisiert und ortsgenau. Sie müssen exakt axial ausgerichtet sein um eine präzise differentielle Dickenmessung zu gewährleisten. Man misst ähnlich wie schon bei der Ermittlung der Waferdicke, vor und nach dem Molding und ermittelt die Schichtdicke durch Differenzbildung.

4. Laser Marking

Um Bauteile eindeutig zu identifizieren werden diese nach dem Molding gekennzeichnet. Häufig nutzt man einen DataMatrix-Code als dauerhafte Direktbeschriftung. Dieser Code wird mittels Laser während der Produktion auf die Bauteile aufgebracht und kann von speziellen Lesegeräten ausgelesen werden. Der Laser Marking genannte Schreibprozess ist mit 1000 Zeichen pro Sekunde sehr schnell, kommt ohne Verbrauchsmaterialien aus und verursacht keine statische Aufladung. Bei korrekter Einstellung schreibt der Laser nur wenige Mikrometer tiefe Strukturen in die Oberfläche des Bauteils. Sind aber die Prozessparameter für das Laser Marking falsch eingestellt, kann der Laser den unter dem Molding liegenden Chip beschädigen. Im Rahmen der Qualitätssicherung kontrollieren deshalb 3D-Oberflächenmesssysteme die Schreiftiefe der Zeichen. Zur schnellen Messung wird ein Liniensensor verwendet.



Zusammenfassung

Wie man sieht unterscheiden sich 3D-Oberflächenmessgeräte erheblich von konventionellen Koordinatenmessmaschinen. Tastende Sensoren, so wie man sie aus der mechanischen Welt kennt, gibt es hier nicht mehr. Stattdessen setzt man voll auf optische und damit berührungslos arbeitende Sensoren. Die Messaufgaben für 3D-Oberflächenmessgeräte übernehmen chromatisch-konfokale Weißlichtsensoren, Weißlichtinterferometer und 3D-Konfokal-Mikroskope. Sie garantieren eine präzise und zerstörungsfreie Messung von Ebenheit, Kontur, Dicke, Schichtdicke, Stufenhöhe, Rauheit und anderen gängigen 2D- und 3D-Messgrößen. Ausgesprochen leistungsfähige Bauformen umfassen doppelseitig messende berührungslose Oberflächenmessgeräte, die mit CHRocodile-Liniensensoren von Precitec Optronik ausgestattet sind. Diese Messmaschinen zeichnen sich vor allem dadurch aus, dass sie großflächige Scans und präzise 3D-Messungen und 2D-Profile sowie 3D-Raster-Scans von der oberen und unteren Oberfläche in kürzester Zeit ausführen können. Eine wesentliche Gemeinsamkeit zwischen beiden Welten gibt es dennoch: Wie für High-End-Koordinatenmessmaschinen gilt auch für die Anlagen von cyberTECHNOLOGIES, dass ihre Genauigkeit nicht nur von den Sensoren sichergestellt wird, sondern in großem Maße von der Maschine selbst.

Kontakt:

cyberTECHNOLOGIES

Simon Cannonier

Marketing

www.cybertechologies.com

Georg-Kollmannsberger-Str. 3

85386 Eching-Dietersheim, Germany

Tel.: +49 89 4524666-0