

# Qualitätssicherung der Mikrogeometrie in der Verbindungstechnik

## Laserprofilometer für alle Messaufgaben in der Elektronikfertigung und Fehleranalyse

**V**orgestellt wird ein neues flexibles Laserprofilometer zur Erfassung der Oberflächenstruktur vom Mikrometer- bis Millimeterbereich mit dem Ziel, Fertigungsprozesse statistisch zu kontrollieren oder Fehler in der Verbindungstechnik komplexer Packaging Systeme zu analysieren. Einsatzgebiete sind u.a. die Prozesskontrolle von ‚Chip-Size-Packaging Modulen‘, der Ultrafinepitch, Lotpastendruck und die Mikrogeometrie-kontrolle von Leiterplatten und Steckern.

In der heutigen Elektronikfertigung ist der Trend zur Miniaturisierung der Module bei gleichzeitiger Erhöhung der Funktionalität eine permanente Herausforderung für den Entwicklungs- und Fertigungsingenieur, die Prozesse zu beherrschen, die Kosten zu senken und fehlerfreie Produkte zu liefern. Dies führt insbesondere in der Back-End-Fertigung von IC-Gehäusen und bei der Herstellung von komplexen, hochintegrierten Elektronikmodulen u.a. zu Problemen, die mit den geometrischen Toleranzen der Anschlüsse, des Gehäuses oder der gedruckten Lotpaste zu tun haben. Mehr und mehr ist es deshalb wichtig Oberflächenparameter wie Koplanarität von Kontaktpads oder Bumps, die Durchbiegung (Warpage) von Gehäusen und Substraten, die Tiefe von Lasermarkierung oder das Volumen dispensierter Klebetrophen messtechnisch zu erfassen und während des Prozesses zu kontrollieren.

Bisherige berührungslose Messmethoden nutzen die Bildverarbeitung oder das Triangulationsverfahren zum Erfassen von dimensionellen Messgrößen. Beide Verfahren sind



Abb. 1:  
 Laserprofilometer  
 „µSCAN Pro“ mit x/y-  
 Messtischen und  
 Autofocussensor

in vielen Prozessen u.a. zur On-line-Inspektion von Lotpastendruck im Einsatz und haben sich bei der Qualitätssicherung und Prozesskontrolle sehr bewährt. Bei hochgenauen Fertigungsprozessen, deren Toleranzen im µm-Bereich liegen, stoßen diese Verfahren aber an ihre Grenzen. Ein typischer Triangulations-sensor arbeitet zum Beispiel mit einem Mess-fleck von 20 – 30 µm und hat Probleme in einem Scan metallisch reflektierendes Material und diffus streuenden Kunststoff oder Keramik messtechnisch mit hoher Genauigkeit (<1µm) zu erfassen. Der Trend im ‚Chip Scale Packaging‘ (CSP) und bei den ‚Multichipmodulen‘ (MCP) erfordern aber z.T. Toleranzen, die bei einem µm liegen. D.h. ein Messgerät zur Überprüfung muss ca. 10 mal genauer messen. Damit liegt die Forderung an die Gerätegenauigkeit für bestimmte Anwendungen im Bereich von 0,1 µm. Die Messtechniken, die diese Forderung erfüllen, sind:

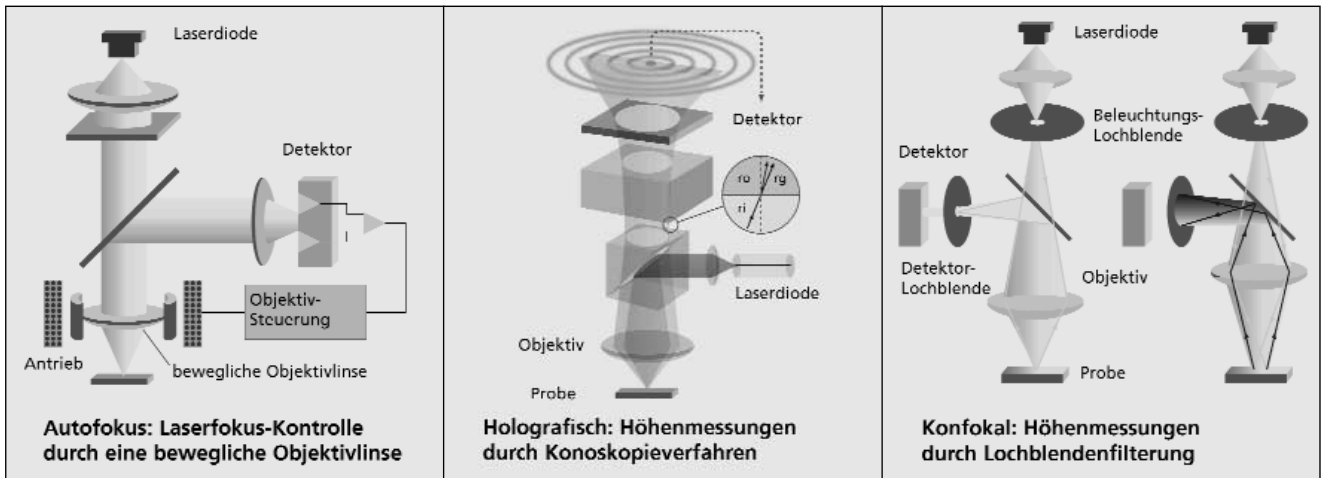
- ▶ die konfokale Messmikroskopie [1],
- ▶ die Weißlichtinterferometrie [2],
- ▶ das Autofokusverfahren [3],
- ▶ die chromatische Aberration [4],
- ▶ der konfokale Multispot-Sensor [5].

Die ersten beiden Verfahren sind flächenhafte Messmethoden, die mit Mikroskopoptiken arbeiten. Sie sind gut geeignet, wenn es um die Erfassung kleiner (max. 2 x 2 mm<sup>2</sup>) Bereiche geht. Müssen größere Flächen bis 200 x 200 mm<sup>2</sup> oder mehr messtechnisch erfasst werden, so kommen nur die später erwähnten punktförmigen Verfahren in Betracht, die alle in der Lage sind mit hoher Genauigkeit Oberflächenprofile abzuscannen oder bei genügender Dichte auch 3D-Messdaten zu liefern. In dieser Veröffentlichung wird ein schnelles, kostengünstiges und flexibles Laserprofilometer beschrieben, das je nach Aufgabe wahlweise mit unterschiedlichen Sensoren ausgerüstet werden kann, um damit das gesamte Spektrum von Messaufgaben in der modernen Elektronikfertigung und Fehleranalyse abzudecken.

### 3D-Laser-Profilometer mit Multisensorfunktion

Abb. 2 zeigt die Messanordnung mit Autofokus-Sensor und x/y-Messtischen. Das Messprinzip der Nachregelung eines Laserfokus

Autoren
DR. RAINER BRODMANN
BERND KAGERER
DR. FRANZ GILBERT
MARCUS GRIGAT
Nanofocus AG;
Bismarckstr. 120, D-47057 Duisburg
Betriebsstätte Ettlingen,
Nobelstraße 9-13, D-76275 Ettlingen
Fon: 0203/306-1890, Fax: 0203/306-1891
e-Mail: brodmann@nanofocus.de



**Abb. 2 a–c:** Zur Verfügung stehende Sensoren: Autofokussensor, holographischer Sensor und konfokaler Punktsensor (vo.li.n.re)

mit einem Astigmatismusedetektor wird in Abb. 2a gezeigt. Die Messprobe wird auf dem x/y-Tisch positioniert und dann mittels Messprogramm vom Sensor vermessen. Entsprechend der Nachregelung des Fokus auf der Oberfläche, registriert der Sensor Oberflächenstrukturen von wenigen Nanometern. Die Stellung des Abtastobjektivs zusammen mit der x/y-Position des Messtisches entspricht damit den x/y/z-Koordinaten auf der Oberfläche. Das System verhält sich damit sehr ähnlich der herkömmlichen Messtechnik, die Oberflächen mit einer Diamantspitze abtastet. Es lässt sich deshalb auch mit den üblichen PTB-Standards überprüfen. Aufgrund einer digitalen Erfassung aller Messsignale, zeichnet sich das System durch eine hohe Linearität bei gleichzeitig großem Messbereich aus.

Der große Vorteil des Autofokusverfahrens ist seine hohe Genauigkeit und Messgeschwindigkeit, die u.a. für Rauheits- und Waferverwölbungsmessungen wichtig ist. Bei unterbrochenen Flächen und Bumps erzeugt der Sensor häufig störende ‚Überschwinger‘ aufgrund der Nachregelung. Für solche Strukturen eignet sich der konfokale Punkt-

sensor besser. Das Messprinzip wird in der Abb. 2b gezeigt. Der Detektor erhält nur dann ein Signal von der Messfläche, wenn die konfokale Bedingung eingehalten erfüllt ist, d.h. wenn der Oberflächenpunkt sich exakt im Brennpunkt der Linse befindet. Ist dies nicht erfüllt, liefert der Sensor kein Signal und damit auch keine Störeffekte. Für Messungen mit weniger hohen Genauigkeitsansprüchen, wie z.B. die Verwölbungsmessung von Leiterplatten oder die Volumenmessung von Lotpaste eignet sich ein holografisch arbeitender Sensortyp, dessen Prinzip in Abb. 2c dargestellt ist. Dieses Messverfahren zeichnet sich durch einen großen Arbeitsabstand und leicht veränderbaren Messbereich (bis einige mm) aus. Das Messprinzip ähnelt interferometrischen Verfahren und vermeidet Abschattungseffekte und Reflexionsprobleme wie sie bei Triangulationssensoren auftreten können.

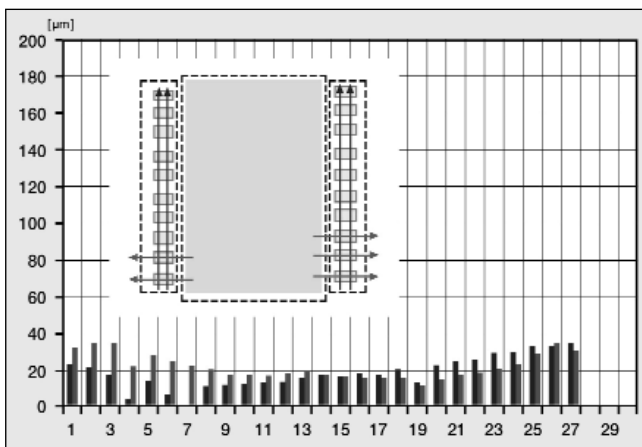
Typische Messzeiten für ein Profil mit automatischer Profilhöhenberechnung beträgt ca. eine Sekunde. Eine detaillierte 3D-Messung mit 50 bis 100 Profilen dauert dann entsprechend 20 Sekunden bis einige Minuten. Das Profilometer lässt sich einfach über

‚Visual Basic‘ aus Excel heraus programmieren und damit für automatisierte Messabläufe in der Fertigung einsetzen.

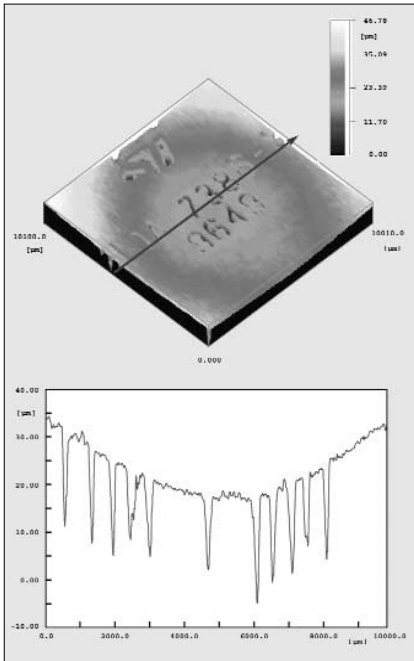
## Anwendungen

Aufgrund der unterschiedlichen Materialien mit variierenden Ausdehnungskoeffizienten kann es bei dünnen CSP-Modulen zu kritischen Verformungen kommen. Die Stichprobenerfassung der ‚Warpage‘ und der ‚Lead-Koplanarität‘ hilft, Prozessabweichungen aufzuspüren und schnell einzugreifen. Abb. 3 zeigt das Ergebnis einer Koplanaritätsmessung an einem TSOP-Memory-Device. Die Messung wird automatisch durchgeführt und ausgewertet. Dies ist möglich mit ‚Active X‘-Modulen und Visual-Basic-Programmierung. Die Warpagewerte beruhen auf 20 Profilmessungen und können ebenfalls im gleichen Messzyklus in eine Exceltabelle übergeben werden. Zum Einsatz kommt der Autofokussensor, da gleichzeitig auch noch Rauheitsmessungen durchgeführt werden.

Ein andere Anwendung für den Autofocus-Sensor ist die Bestimmung der Tiefe von Lasermarkierung wie sie in Abb. 4 gezeigt wird. Mit der 3D-Messung ist es möglich sowohl den Stress aufgrund des Mouldingprozesses als auch die Eindringtiefe des Lasers zu erfassen. Dies hat große Bedeutung bei der Produktion von dünnen Packaging-Modulen, wie sie immer häufiger z.B. im Speicherchipbereich vorkommen. Zu tiefe Markierungen können u.a. den Bonddraht zerstören. Bei der Bestückung von Leiterplatten mit ‚Flip-Chip‘-Technik oder mit CSP-Modulen ist die genaue Messung des aufgedruckten Lotpastenvolumens eine wichtige Voraussetzung für eine korrekte Verbindung. Bis heute wird die Lotpaste entweder 100 % In-line gemessen oder mit einfachen Lichtschnittverfahren als Stichprobenkontrolle.



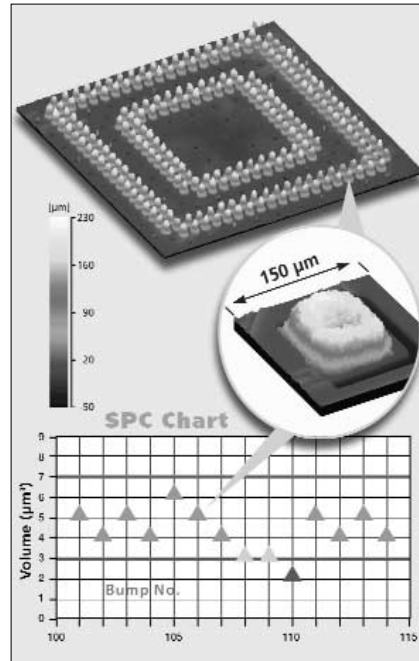
**Abb. 3:** Koplanaritätsmessung an ‚TSOP Memory Chip‘



**Abb. 4: Lasermarkierung auf CSP-Modul mit Profilauswertung**

Beide Verfahren sind für die hochintegrierte Verbindungstechnik oftmals nicht mehr genau genug. Das Laserprofilometer, ausgerüstet mit dem konfokalen – oder dem holografischen Sensor, ist hierzu ideal geeignet. In der Abb. 5 wird das Ergebnis eines Finepitch-Lotpastendrucks gezeigt. Das Messprogramm gestattet Gerberfiles einzulesen und das Messfeld im Programm zu definieren. Anschließend scannt der Sensor das Messfeld ab und spezielle Auswerterroutinen berechnen das Volumen und die Position der einzelnen Lotbumps. Zusätzlich gibt es Möglichkeiten, auch die Verwölbung der Leiterplatte zu bestimmen.

Die Durchbiegung und Dickenschwankungen von Waferoberflächen für die Sensorherstellung sind ein wichtiges Thema, das sich ebenfalls mit dem Laserprofilometer und dem Autofokus Sensor lösen lässt. Hierzu wird zu-

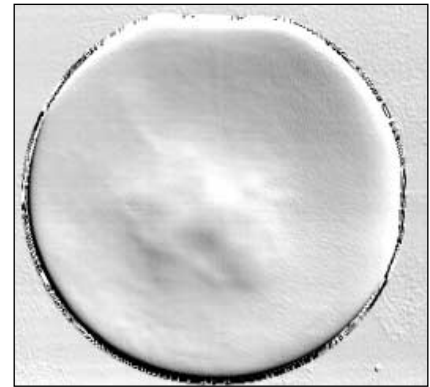


**Abb. 5: Finepitch-Lotpastendruck mit automatischer Volumenberechnung**

erst ein hochgenauer ‚Wafer-Chuck‘ vermessen und die Ebenheitsdaten als Referenz abgespeichert. Der zu vermessende Wafer wird jetzt einmal mit und einmal ohne Vakuum auf den Chuck positioniert und abgescannt. Die Höhendifferenz zu den Referenzdaten geben dann die Durchbiegung und Schwankungen in der Dicke wieder. In der Abb. 6 wird eine vollständig gemessene Waferoberfläche mit Dickenschwankungen im Bereich von einigen Mikrometern gezeigt.

### Zusammenfassung

Die berührungslose, hochgenaue dimensionelle Messtechnik findet mehr und mehr Eingang in der modernen Elektronikfertigung. Für Anwendungen mit Genauigkeiten < 1 µm über einen großen Messbereich von > 1 mm



**Abb. 6: Relative Waferdickenmessung (6 inch Wafer,  $\Delta d = 8 \mu\text{m}$ )**

können Laserprofilometer eingesetzt werden, die sich aufgrund verschiedener Sensoren sehr universell für diverse Messaufgaben verwenden lassen. Diese Systeme lassen sich u.a. für Messaufgaben bei der CSP-Fertigung oder beim kritischen Lotpastendruck zur statistischen Qualitätssicherung einsetzen. Weitere Einsatzgebiete sind: Rauheiten von Pads, Durchbiegung von Wafern, oder Stressmessungen in der hochintegrierten Verbindungstechnik.

**TEST**

### Literatur

- [1] Jordan, H.J., Brodmann, R.: „Highly accurate surface measurement by means of white light confocal microscopy“, X International Colloq. on Surfaces 2000, pp. 296 – 301
- [2] Wyant, J.C.: „Optical profilers for surface roughness“, Proc. of SPIE, 525, 174-180, 185
- [3] Brodmann, R., Smilga, W.: „Evaluation of a commercial microtopography sensor“, Proc of SPIE 802, 165, 1987
- [4] Dietz, Chr., Jurca, M.: „Eine Alternative zum Laser“, Sensor Magazin Nr. 4, 3.11.97
- [5] Schick, A., Kedziora, M.: „Inspektion und Prozesskontrolle für Flip Chip Bumping ..“, Flip Chip Scale Europe 2002, 20-21-3.2002, Elektronikforum

www.publish-industry.net  
 more @ click TK3C0104

C.01

## LESERTIPP

? **Sie suchen nach Beiträgen zu der Thematik EMV-Messtechnik?**

**Unter der Griffmarke B.03 finden Sie aktuelle und praxisnahe Beiträge!**

**TEST**  
**KOMPENDIUM**  
 Messen • Prüfen • Verifizieren

publish industry  
 TECHNIK KOMMUNIZIEREN

Gollierstraße 23 · D-80339 München · Fon. +49/89/500383-0 · Fax. +49/89/500383-10 · info@publish-industry.net · www.publish-industry.net