

Automatisches multiskaliges Messsystem zur Inspektion von mikro-elektromechanischen Systemen

W. Lyda, A. Burla, T. Haist, M. Gronle und W. Osten

Institut für Technische Optik, Stuttgart Research Center of Photonic Engineering, Universität Stuttgart

<mailto:lyda@ito.uni-stuttgart.de>

Mit aktuellen Messsystemen ist eine schnelle und gleichzeitig mikrometergenaue Inspektion von ausgedehnten Objekten nur schwer zu realisieren. In diesem Beitrag wird ein multiskaliges Messsystem auf Basis einer hierarchischen Sensorverkopplung zur Inspektion von technischen Objekten auf Waferbasis beschrieben, um dieses Problem zu lösen.

1 Einführung

Die Inspektion ausgedehnter Objekte mit Abmaßen und kritischen Komponenten im Mikrometerbereich stellt eine Herausforderung für die fertigungsnahe Messtechnik da. Inspektionssysteme mit nur einem Sensor können dieser durch das Spannungsfeld zwischen Auflösung, Messfeld und Messdauer meist nicht gerecht werden. Durch den Einsatz von Multisensorsystemen kann dieses Spannungsfeld jedoch entspannt werden.

Solche Multisensorinspektionssysteme lassen sich anhand der Art der Sensorverkopplung in unterschiedliche Klassen einteilen. Für die Inspektion von ausgedehnten Objekten aus der Mikrosystemtechnik eignen sich besonders die folgenden zwei Typen: hierarchisch-sequenzielle [1] und massiv parallelisierte Systeme [2]. Letztere bieten die höhere Auflösung bei einer kürzeren Messzeit durch die direkte Zuordnung von Sensorsystemen zu bestimmten Messstellen. Andererseits ist die Anordnung der Sensoren stark an das Objekt gebunden, was zu einer verringerten Flexibilität gegenüber Designänderungen führt. Dadurch eignen sich solche Systeme weniger zur Inspektion von Objekten im Prototypenstadium und Kleinserien.

Eine deutlich höhere Flexibilität bieten die hierarchisch-sequenziellen Systeme. Bei diesen Systemen wird zuerst das Objekt mit einer grob aufgelösten Einzelmessung erfasst und dann nur dort, wo es notwendig ist, mit höher auflösenden Sensoren gemessen. Um die Navigation zwischen den unterschiedlichen Sensorskalen und interessanten Regionen zu ermöglichen, wird eine merkmalsbasierte Kommunikation verwendet, welche mögliche Defekte aus unteraufgelösten Daten indiziert.

In diesem Beitrag wird ein automatisches multiskaliges Messsystem (AMMS) auf Basis des hierarchisch-sequenziellen Ansatzes zur Inspektion von mikro-elektromechanischen Systemen (MEMS) am Beispiel der Inspektion von Mikrokalibriersystemen vorgestellt.

2 Messaufgabe

Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit des AMMS werden Mikrokalibrierobjekte als beispielhafte Testobjekte verwendet. Diese Mikrokalibrierobjekte wurden vom Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK, Universität Freiburg) zur Kalibrierung von Form- und Kraftmessgeräten entwickelt (Abb. 1). Dazu besitzen die Systeme eine bewegliche Masse, welche durch einen Kammantrieb definiert bewegt werden kann. Weitere kritische Komponenten sind die Feder Elemente zur Lagerung der Masse und optische Flächen zur Antastung der Masse mit optischen Messsystemen. Jeweils 72 der Kalibrierobjekte werden parallel auf Wafern gefertigt.

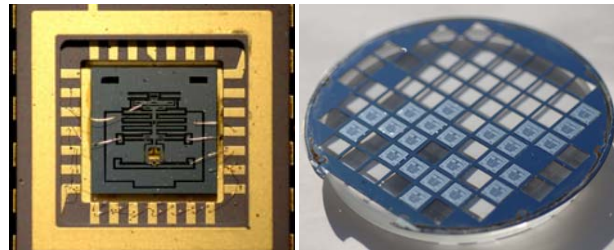


Abb. 1 Foto eines fertigen MEMS-Kalibriersystems (links) und Foto eines MEMS-Wafer (rechts)

Typische Defekte für solche MEMS sind Kratzer und Brüche auf dem Substrat, Ausbrüche oder fehlende Zähne des Kammantriebes, sowie Verschmutzungen, welche die optischen Fenster verdecken oder die Kammantriebe blockieren. Die Kammantriebe sind dabei ein besonders kritisches Detail. Die Ausdehnung der Kammantriebe beträgt ca. $500\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ je Antrieb. Die einzelnen Zähne haben eine Länge von $50\ \mu\text{m}$ und eine Breite von $10\ \mu\text{m}$. Der Abstand zwischen den Zähnen beträgt $4\ \mu\text{m}$.

3 Messstrategie und Messergebnisse

Die prinzipielle Messstrategie für die MEMS basiert auf der in [1] und [3] vorgestellten, hierarchischen Vorgehensweise.

Für die Inspektion wird ein Demonstrator auf Basis einer modifizierten Mahr MFU 100 verwendet [3]. Diese trägt drei Sensoren mit unterschiedlichen Auflösungen und Messfeldern. Für die erste, grobe Übersichtsmessung der Probe wird ein Videomikroskop mit telezentrischer Optik verwendet. Das Messfeld beträgt 19 mm x 13 mm. Mit Hilfe dieses Sensors können Kratzer und Verschmutzungen indiziert werden und die Lage der MEMS und seiner kritischen Komponenten (z.B. Kammantrieb, Federn) erfasst werden [4]. In der mittleren Skala werden alle Kammantriebe auf dem Wafer mit einem konfokalen Mikroskop mit 10x Vergrößerung und einer lateralen Auflösung von 10 µm erfasst. In der höchst aufgelösten Skala wird das konfokale Mikroskop mit 50x Vergrößerung verwendet. Dieses bietet eine laterale Auflösung von besser 2 µm bei Topografiemessungen.

Für die Identifikation der MEMS-Orientierung auf dem Messsystem, der Indikation von Kratzern und Verschmutzung sowie der Inspektion von Kammantrieben und Federn kommen unterschiedliche Algorithmenketten zum Einsatz. In der ersten Skala wird ein Algorithmus auf Basis von Sobel-Kantenfilterung und Hough-Transformation verwendet, um die Lage der MEMS und der kritischen Komponenten zu finden. Für Verschmutzungen und Kratzer kommen Streulicht- und Dunkelfeldbeleuchtungen zum Einsatz [4]. Für die Kammantriebe wird ein spezieller Algorithmus auf Basis der Wavelettransformation eingesetzt [3].

Die Algorithmen sind zusammen mit der Sensoransteuerung in einer automatischen Messablaufsteuerung integriert, welche auf Basis der Indikatorauswertung automatisch neue Messfelder und Positionen für den nachfolgenden Sensor plant. In Abbildung 2 ist die Inspektion von einem MEMS in den drei unterschiedlichen Skalen dargestellt. Abbildung 2d zeigt, dass Defekte mit einer Ausdehnung von deutlich unterhalb der Auflösung der zweiten Stufe indiziert und bei höherer Auflösung sicher identifiziert werden können.

Die Inspektionsdauer für einen Wafer mit dem AMMS-System ist von der Anzahl von Defekten, sowie der Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit der Indikatoren anhängig. Für das hier gezeigte Beispiel und einer Annahme von 20 möglichen Defekten je MEMS ist die Inspektionszeit ohne Sensorpositionierung ca. 9h. Im Vergleich dazu benötigt eine komplette, konfokale Vermessung des Wafers mit einem 50x Objektiv ca. 180 h ohne Positionierung.

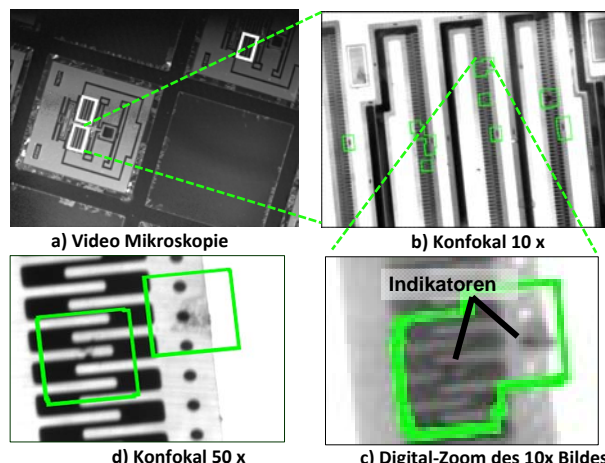


Abb. 2 Multiskalige Inspektion eines MEMS auf dem Wafer, MEMS mit identifizierten Kamm-Antrieben (a), Intensitätsbild mit 10x konfokaler Vergrößerung (b), digitaler Zoom vom Bild b mit zwei möglichen Defekten, Intensitätsbild mit 50x konfokaler Vergrößerung (d).

4 Zusammenfassung und Ausblick

Multiskalige Messsysteme bieten eine deutlich verbesserte Flexibilität hinsichtlich des Spannungsfeldes aus Auflösung, Messfeld und Messdauer. Am Beispiel eines MEMS-Wafers konnte durch die Reduktion der Anzahl der Messungen gegenüber einer kompletten Waferinspektion mit 50x Vergrößerung die Inspektionszeit deutlich verringert werden.

Zukünftige Arbeiten zielen auf die Erweiterung der Messstrategie hinsichtlich Datenfusion und ROI-Planung ab, um zukünftig auch komplexere Inspektionsaufgaben wie z.B. dreidimensional ausgedehnte Objekte inspizieren zu können.

5 Danksagung

Wir danken der deutschen Forschungsgemeinschaft und der Landesstiftung Baden-Württemberg für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit, sowie unserem Projektpartner, dem Institut für Systemdynamik der Universität Stuttgart

Literatur

- [1] Osten et. al. „Hochauflösende Vermessung ausgedehnter technischer Oberflächen mit skalierbarer Topometrie“ in: *tm* 11, 413-428 (1999)
- [2] Gasteringer, K. „Next-generation test equipment for micro-production“ in: Proc. of SPIE 7718 (2010)
- [3] Lyda, W. et. al. „Automated multiscale measurement system for MEMS characterisation“ in: Proc. of SPIE 7718 (2010)
- [4] Burla, A. et. al. „Verlässlichkeitsanalyse von Indikator-Funktionen in einem automatisierten Multiskalen-Messsystem“ in: *tm* 77(9), 493-499 (2010)