

SMARTIEHS - INTELLIGENT MEMS TEST SYSTEM ON WAFER LEVEL

MEMS (micro-electro-mechanical systems) consist of one or more sensors, actuators and one electronic control system on a substratum respectively on a chip. Mostly their size is only a few micrometers (example see figure 1). These tiny systems have unlocked more and more new fields of application for years now and cannot be imagined away from today's everyday life. We are confronted with them as pressure and force sensors, in household appliances, but also, for example, in tires, to warn of a sudden decrease in pressure. Their low size makes them to ideal microphones for mobile phones since a more and more compact style is hereby substantial. Furthermore, they offer new functionalities due to their small size, as for example the possibility of orientation of the screen content to the position of the telephone. But MEMS are also applied as acceleration sensors in airbags, to inkjet print heads and much more. A multitude of devices gets more compact, more reliable, more efficient and more capable due to the integration of MEMS

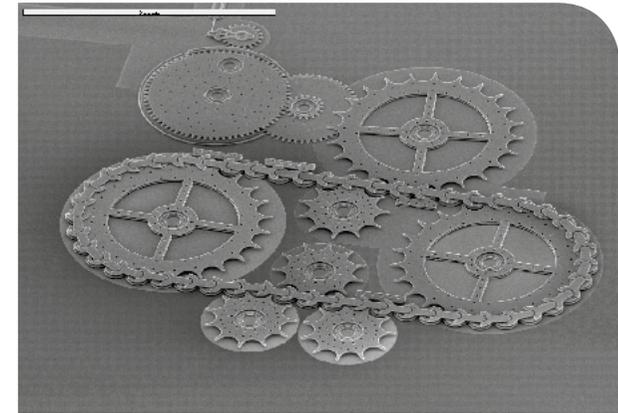


Figure 1: MEMS-Chain of only 500 micrometers

Source: www.sandia.gov/media/NewsRel/NR2002/images/jpg/chain1.jpg



Figure 2: Typical application of MEMS

Optimized Test of MEMS

The fabrication processes of MEMS require a sequence of test steps for the monitoring of quality and for the safeguarding of performance parameters. Test procedures for MEMS applied so far, are based on a sequential measurement of single components and are therefore very time-consuming and cost-intensive. With the project SMARTIEHS, a concept for a parallel measurement system is implemented, which allows to measure up to 100 MEMS structures at the same time. Thereby, the measurement of the parameters is effected directly on the wafer, whereby following manufacturing steps like separation, contacting and housing can be dropped, if the defect of the component is detected.

Besides capture of geometric and topological parameters, the system allows by means of a static and dynamic stimulation of the mostly membranous structures also the capture of natural frequencies and natural modes of the devices under test. These are again a very good indicator for the correct behavior of the MEMS component.

IMMS works on a clutch of different, challenging, constructive and control technical developmental tasks in the course of the project SMARTIEHS.

Hence, as an example, the whole conception of the test system has been worked out, which integrates the components of the project partners. Another subtask is the development of the regulation of the scanning unit. But IMMS brings in already existing competences regarding development of hard- and software for the processing of camera signals and interconnects the MEMS test system software-sided with a SUESS prober station PA200.

Novel Measurement Method

Core components of the system are micro-optical processed interferometer matrices which measure 25 Dies each (MEMS structure within the wafer composite) in the arranged laboratory sample. The inspection system (figure 3) has thereby two different 5 x 5 interferometer matrices, which are realized as "probing wafer". A laser interferometer (LI), Twyman-Green configured, permits the measurement of dynamic parameters, like natural frequencies and natural modes, whilst a low coherence interferometer (LCI), Mirau configured, allows the measurement of profiles respectively deformations. The evaluation of interferometer signals is effected respectively by a 5 x 5 matrix of smart pixels cameras.

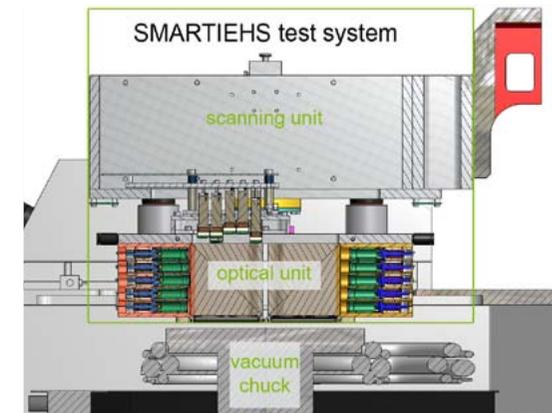
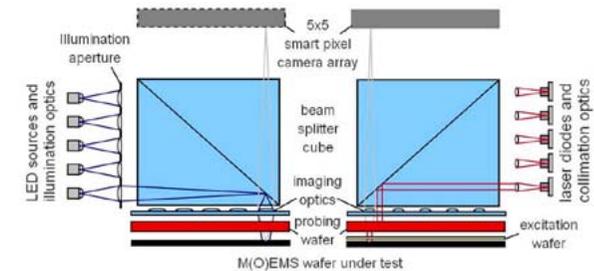


Figure 3: Principle construction of SMARTIEHS instrument: optical unit (above), whole system (beneath)

By dint of the LI configuration, from the determination of the natural frequencies of the structures, their material tensions can be gathered, which are an important indicator for a correct manufacturing process (figure 4). For that purpose, the MEMS under test are stimulated electro-statically and the occurring oscillations are detected via the LI matrix.

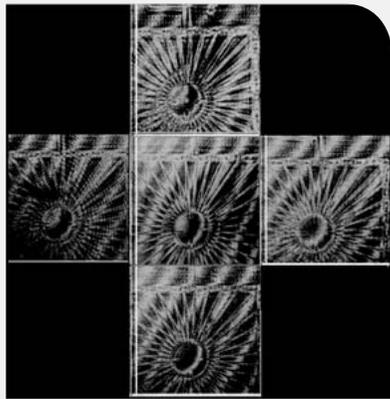


Figure 4: Interference pictures of five channels, by LI matrix

The second configuration (LCI) serves inter alia the measurements of topology of MEMS structures. During a test run at constant speed equidistant interference pictures (figure 5) of MEMS structures are captured by dint of the LCI matrix, from which the altitude profile can be reconstructed very precisely.

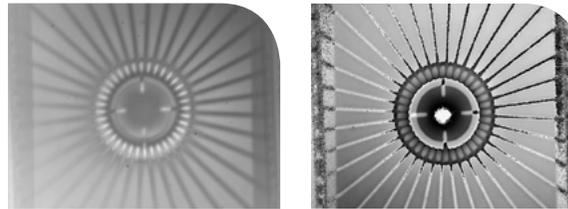


Figure 5: Interference picture (left) and phase picture (right) of an IR sensor, measured by a LCI channel

Precision Drive allows Maximum Accuracy

Both measurement methods require a high-precision arrangement of the optical unit (lighting, beam guidance and interferometer matrices) for the MEMS wafer under test. Additionally, a relative movement with 0.1 to 1 mm/s at a permanence of below one percent has to be ensured for the topological measurement by means of a LCI adjustment, whereupon disturbing tipping may not influence the adjustment towards the tested object.

The measurement by dint of LI matrix requires an accuracy of positioning of below 10 nm, whereupon the precise parallel adjustment of the optical unit towards the MEMS wafer has to enable a pitching and rolling movement of +/- 0.02 degrees.

The scanning unit, realized by IMMS, for the movement of the optical unit consists of three plunger coil drives, whose position is regulated by three high-resolution laser interferometers. As solid body guidance of the scanning unit serves three star-shaped compound springs, which enable a very high stiffness ratio within and across the direction of movement. Thereby, a very stiff mechanical connection of the inactively regulated axes between optical unit and the device under test is managed. Additional coil springs compensate the weight of the arrangement and lead to a drastic reduction of energy within the plunger coil drives.

The approximate positioning of the MEMS wafer relatively towards the scanning unit is effected by a probe station (SUESS PA200), in which the total measuring arrangement is integrated.

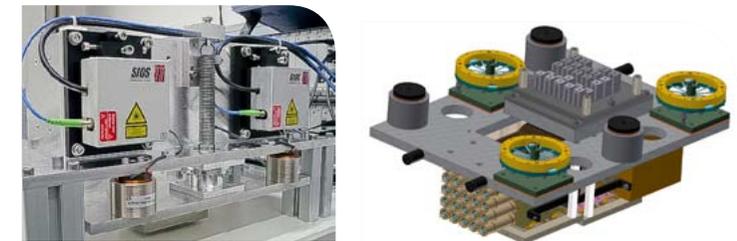


Figure 6: plunger coil drives of the scanning unit (on the left); schematic arrangement of the scanning unit developed at IMMS (on the right) which arranges the optical unit relatively towards the MEMS wafer and moves it precisely

Parameter Identification by Means of Dynamic Measurements

Besides the capture of topological characteristics of MEMS objects, especially the material tensions within the MEMS, mostly arranged of several layers, are determining for their correct functioning. If process parameters deviate from the standards during fabrication, undesired mechanical tensioning and forming can lead to maloperation and to early failure of the components.

By dint of measurement of natural frequencies of the MEMS components, their stress condition can be gathered from a FE model.

An identification tool, developed at IMMS, permits now the detection of parameters depending on natural frequency, as for example layer thickness or stress, from the frequency response of the MEMS component. The parameter range, to be captured by measurements, is scanned before via FE simulations and is polynomial approximated for easier handling.

The initially not definite allocation of peaks of the frequency response to the natural frequencies of the systems is effected together with the actual parameter identification within an optimization sub-module.

Efficient and Fast Tests

The SMARTIEHS concept allows an efficient and considerably accelerated test of MEMS on wafer level by the simultaneous measurement of several dozens of Dies at the same time. Besides topological parameters, also layer thicknesses and layer tensions can be captured via frequency measurement on basis of a parametric FE model.

The further works focus now on the gradual optimization of the interaction of all modules of the test systems and the integration of a superior control. Continuate, the system is to be checked for aptitude within a multitude of MEMS systems. The determination of layer tensions and the elasticity modulus in very thin layers are the center of these processes.

The project SMARTIEHS is sponsored by EU/FP7-ICT2007-2, project ID 223935.

Contact:

Dr.-Ing. Christoph Schäffel

christoph.schaeffel@imms.de

SMARTIEHS - INTELLIGENTES MEMS-TEST- SYSTEM AUF WAFEREBENE

MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) bestehen aus einem oder mehreren Sensoren, Aktoren und einer Steuerungselektronik auf einem Substrat bzw. einem Chip und sind meist nur wenige Mikrometer groß (Beispiel siehe Abbildung 1). Diese winzigen Systeme erschließen sich seit einigen Jahren immer neue Anwendungsgebiete und sind heute aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Sie begegnen uns als Druck- und Kraftsensoren in Haushaltgeräten, aber auch zum Beispiel in Autoreifen, um vor einem plötzlichen Druckabfall zu warnen. Ihre geringe Größe macht sie zu idealen Mikrofonen in Handys, da hier eine immer kompaktere Bauweise wesentlich ist. Auch bringen sie trotz ihrer geringen Größe neue Funktionalitäten mit sich, wie zum Beispiel die Möglichkeit, dass ein Bewegungssensor die Lage des Telefons erkennt und den Bildschirminhalt danach ausrichtet. Aber auch als Beschleunigungssensoren in Airbags, in Inkjet-Druckköpfen und vielem mehr werden MEMS eingesetzt. MEMS zu integrieren macht eine Vielzahl von Geräten kompakter, zuverlässiger, effizienter und leistungsfähiger.

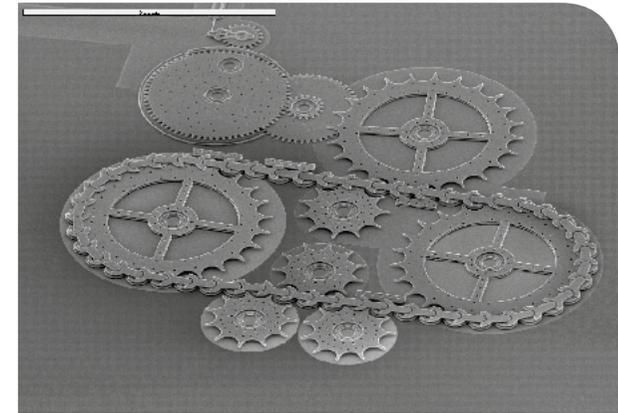


Abbildung 1: MEMS-Chain nur 500 Mikrometer groß

Quelle: www.sandia.gov/media/NewsRel/NR2002/images/jpg/chain1.jpg



Abbildung 2: Typische Applikationen von MEMS

Optimierter Test von MEMS

Die Herstellungsprozesse von MEMS erfordern eine Reihe von Testschritten zur Überwachung der Qualität und zur Sicherung der Leistungsparameter. Bisher angewandte Testverfahren für MEMS stützen sich dabei auf eine sequentielle Messung einzelner Bauelemente und sind daher sehr zeit- und kostenintensiv. Im Projekt SMARTIEHS wird das Konzept eines parallelen Messsystems umgesetzt, welches gestattet, bis zu 100 MEMS-Strukturen gleichzeitig zu vermessen. Die Messung der Parameter erfolgt dabei direkt auf dem Wafer, wodurch nachfolgende Fertigungsschritte wie Vereinzelung, Kontaktierung und Einhausung entfallen können, sofern der Defekt eines Bauelementes detektiert wird.

Neben der Erfassung von geometrischen und topologischen Parametern gestattet das System mittels einer statischen und dynamischen Anregung der meist membranartigen Strukturen auch die Bestimmung von Eigenfrequenzen und Eigenformen der Messobjekte. Diese sind wiederum ein sehr guter Indikator für das korrekte Verhalten des MEMS-Bauelements.

Das IMMS bearbeitet eine Reihe verschiedener anspruchsvoller konstruktiver und regelungstechnischer Entwicklungsaufgaben im Projekt SMARTIEHS. So wurde zum Beispiel die Gesamtkonzeption des Testsystems erarbeitet, welche die Komponenten der Projektpartner integriert. Eine weitere Teilaufgabe ist die Entwicklung der Regelung der Scan-Einheit. Das IMMS bringt aber auch die vorhandenen Kompetenzen bei der Entwicklung von Hard- und Software zur Verarbeitung der Kamerasignale ein und koppelt das MEMS-Testsystem softwareseitig mit einer SÜSS-Prober-Station PA200.

Neuartiges Messverfahren

Kernkomponenten des Systems sind mikrooptisch prozessierte Interferometer-Matrizen, die im aufgebauten Labormuster jeweils 25 Dies (MEMS-Struktur im Waferverbund) parallel messen.

Das Inspektionssystem (Abbildung 3) besitzt dabei zwei verschiedene 5 x 5 Interferometer-Matrizen, die als „Probing-Wafer“ realisiert sind. Ein Laser-Interferometer (LI) in Twyman-Green-Konfiguration ermöglicht die Messung dynamischer Parameter, wie Eigenfrequenzen und Eigenformen, während ein Low-Coherence-Interferometer (LCI) in Mirau-Konfiguration die Messung von Profilen bzw. Verformun-

gen gestattet. Die Auswertung der Interferometersignale erfolgt jeweils durch eine 5 x 5 Matrix von Smart-Pixel-Kameras.

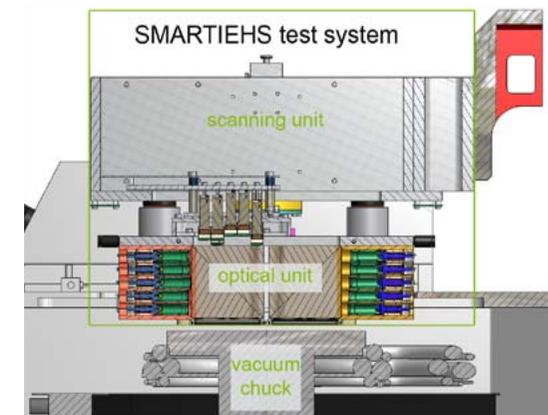
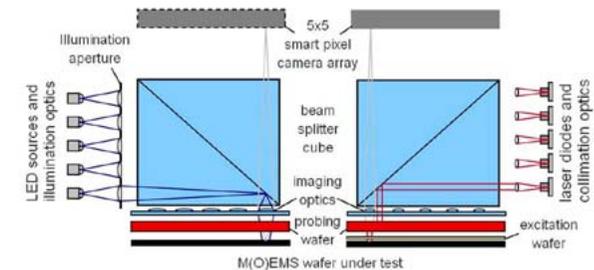


Abbildung 3: Prinzipaufbau des SMARTIEHS Instruments: optische Einheit (oben), Gesamtsystem (unten)

Mit Hilfe der LI-Konfiguration kann aus der Bestimmung der Eigenfrequenzen der Strukturen z. B. auf deren Materialspannungen geschlossen werden, die ein wichtiger Indikator für einen korrekten Herstellungsprozess sind (Abbildung 4). Dazu werden die im Test befindlichen MEMS elektrostatisch angeregt und die entstehenden Schwingungen über die LI-Matrix detektiert.

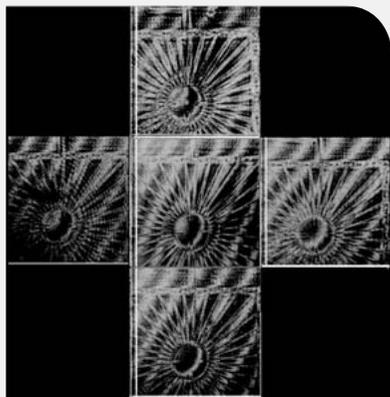


Abbildung 4: Interferenzbilder von fünf Kanälen der LI-Matrix

Die zweite Konfiguration (LCI) dient u. a. den Topologiemessungen der MEMS-Strukturen. Während einer Messfahrt mit konstanter Geschwindigkeit werden mit Hilfe der LCI-Matrix äquidistante Interferenzbilder (Abbildung 5) der MEMS-Strukturen erfasst, aus denen sich das Höhenprofil sehr präzise rekonstruieren lässt.

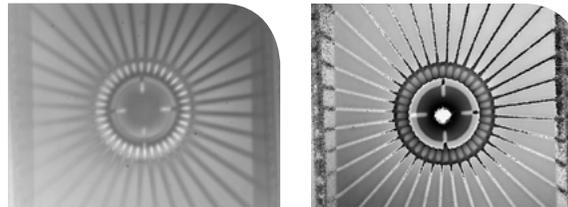


Abbildung 5: Interferenzbild (links) und Phasenbild (rechts) eines IR-Sensors gemessen mit einem LCI-Kanal

Präzisionsantrieb ermöglicht höchste Genauigkeit

Beide Messverfahren erfordern eine hochpräzise Ausrichtung der optischen Einheit (Beleuchtung, Strahlführung und Interferometer-Matrizen) zum testenden MEMS-Wafer. Für die topologischen Messungen mit der LCI-Anordnung muss zusätzlich eine Relativbewegung mit 0,1 bis 1 mm/s bei einer Konstanz von unter einem Prozent gewährleistet werden, wobei die Ausrichtung zum Testobjekt nicht durch störende Verkippungen beeinträchtigt werden darf.

Die Messung mit der LI-Matrix erfordert eine Positioniergenauigkeit von unter 10 nm, wobei für die präzise parallele Ausrichtung der optischen Einheit zum MEMS-Wafer Nick- und Roll-Bewegungen um $\pm 0,02$ Grad ermöglicht werden müssen.

Die vom IMMS realisierte Scan-Einheit zur Bewegung der optischen Einheit besteht aus drei Tauchspulantrieben, deren Position über drei hochauflösende Laserinterferometer geregelt wird. Als Festkörperführung der Scan-Einheit dienen drei sternförmige Blattfedern, die ein sehr hohes Steifigkeitsverhältnis in und quer zur Bewegungsrichtung ermöglichen. Damit gelingt eine sehr steife mechanische Verkopplung der nicht aktiv geregelten Achsen zwischen optischer Einheit und Messobjekt. Zusätzliche Schraubenfedern kompensieren das Gewicht der Anordnung und führen zu einer drastischen Energiereduktion in den Tauchspulantrieben.

Die Grobpositionierung des MEMS-Wafers relativ zur Scan-Einheit erfolgt durch eine Probe-Station der Firma SÜSS (PA200), in die der gesamte Messaufbau integriert ist.

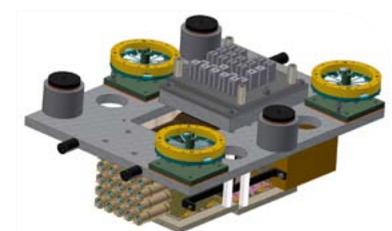


Abbildung 6: Tauchspulantriebe der Scan-Einheit (links); schematischer Aufbau der am IMMS entwickelten Scan-Einheit (rechts), welche die optische Einheit relativ zum MEMS-Wafer ausrichtet und präzise bewegt

Parameteridentifikation mittels dynamischer Messungen

Neben der Erfassung topologischer Eigenschaften der MEMS-Objekte sind insbesondere die Materialspannungen innerhalb der meist aus mehreren Layern aufgebauten MEMS für deren korrekte Funktion bestimmend. Weichen Prozessparameter während der Herstellung von der Norm ab, können unerwünschte mechanische Verspannungen und Verformungen zum Fehlverhalten und zum vorzeitigen Ausfall der Elemente führen.

Mit Hilfe der Messung von Eigenfrequenzen der MEMS-Elemente kann auf Basis eines FE-Modells auf deren Spannungszustand geschlossen werden.

Ein am IMMS entwickeltes Identifikationstool gestattet nun die Ermittlung eigenfrequenzabhängiger Parameter, wie z. B. Schichtdicke oder Schichtstress, aus der Frequenzantwort des MEMS-Elementes. Der durch die Messungen zu erfassende Parameterraum wird zuvor mittels FE-Simulationen abgescannt und zur leichteren Handhabbarkeit polynomial approximiert.

Die zunächst nicht eindeutige Zuordnung von Peaks aus der Frequenzantwort zu Eigenfrequenzen des Systems erfolgt zusammen mit der eigentlichen Parameteridentifikation in einem Optimierungssubmodul.

Effiziente und schnelle Tests

Das SMARTIEHS-Konzept ermöglicht einen effizienten und deutlich beschleunigten Test von MEMS auf Wafer-Level durch die simultane Messung mehrerer dutzend Dies in einem Zeitschritt. Neben topologischen Parametern können über Frequenzmessungen auch Schichtdicken und Schichtspannungen auf Basis eines parametrischen FE-Modells erfasst werden.

Die weiteren Arbeiten konzentrieren sich nun auf die schrittweise Optimierung des Zusammenspiels aller Module des Testsystems und die Einbindung in eine übergeordnete Steuerung. In Fortführung soll das System an einer Vielzahl von MEMS-Systemen auf seine Eignung überprüft werden. Die Bestimmung der Schichtspannungen und des Elastizitätsmoduls in sehr dünnen Schichten sind ein Schwerpunkt dieser Arbeiten.

Das Projekt SMARTIEHS wird gefördert von der EU/FP7-ICT2007-2, Projekt ID 223935.

Kontakt:

Dr.-Ing. Christoph Schäffel

christoph.schaeffel@imms.de