

MEMS/NEMS – Simulation and Test

Micro- and nanoelectromechanical systems (MEMS/NEMS) mostly are structures with a size of only a few micrometers, consisting of sensors, actors and control electronics on a substrate or a chip. MEMS are increasingly used in places where miniaturizing and improved functionality are essential. They are an important foundation for innovation. MEMS trigger airbags, are used for stability control in vehicles and as blood pressure sensors in intensive care facilities.

Nondestructive Indirect Parameter Identification

If, for example, the gyroscope sensor for position detection of a smart phone and its microphone are tested, both are quality checked at the earliest to minimize the reject rate of assemblies or even complete phones. The tiny MEMS structures of a gyroscope or a microphone, which are only a few micrometers in size, are too delicate towards mechanical touching and would be destroyed by such a check-up. Therefore, recently IMMS has developed a procedure for nondestructive indirect parameter identification. It checks production relevant geometry and material parameters and has been used for beam and membrane structures. Before taking further production steps, the procedure checks directly on the wafer. It is based on a vibrometric measurement of resonance frequencies of test structures. On the other hand, in a finite elements simulation, the functional relationship between resonance frequency and the parameters to be measured is described.

Currently, IMMS is taking part in the USENEMS project, further developing this procedure. It can nondestructively identify the mechanical characteristics of new materials and can be integrated into production processes.

Going beyond silicon technology, modern high performance materials like group III nitrides, nano laminates, or graphene will be the base for ultra-sensitive integrated MEMS and NEMS in the near

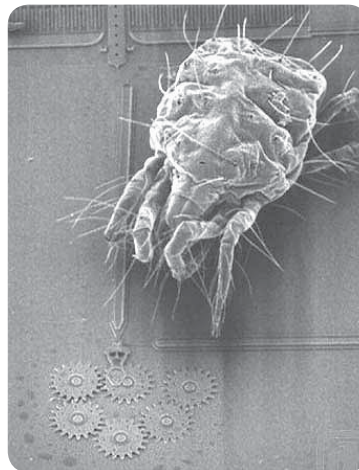


Figure 1:
Comparison of the Sizes of a Mite and a Micro System.

Source:
Sandia National Laboratories

future. IMMS' research focuses on easing their development significantly. For sensor and actor units, it is important to recognize, monitor and targetedly influence mechanical characteristics like anisotropic elasticity and in-/ homogeneous stress. For this, IMMS and its project partners have designed optimal indicator structures, as for example doubly-clamped beams, as shown in figure 3. Parameter identification is used on these structures to identify their material characteristics.

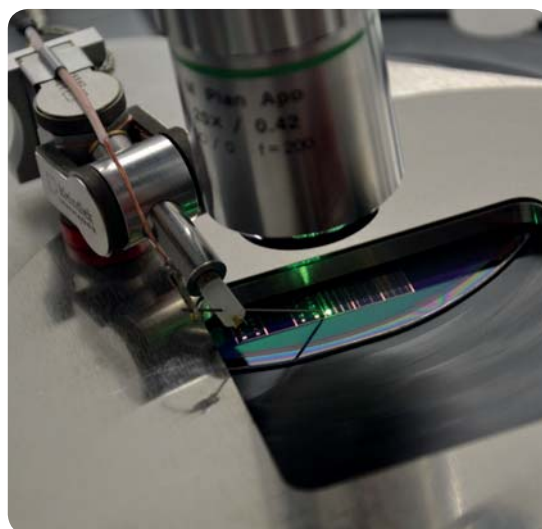
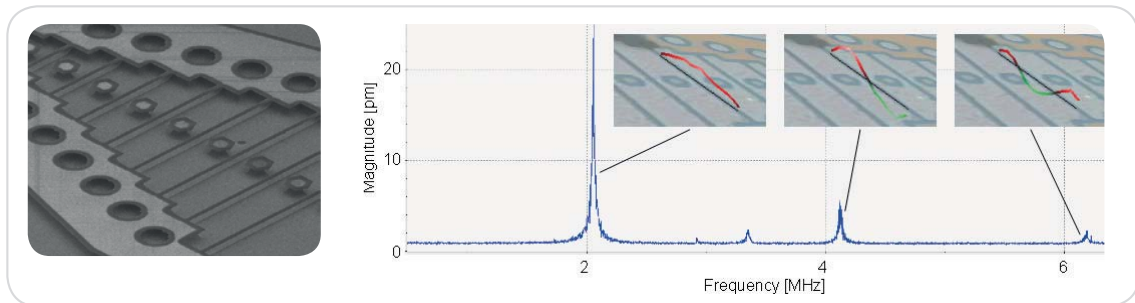


Figure 2: Electrostatic Excitation of Test Structures using a Probe Needle for Vibrometric Measurement,
Source: IMMS



Piezo-Electrically Coupled MEMS Resonators

The use of vibrating quartzes that control the clock signal of computers, could soon be a story from the past. Vibrating quartzes cannot be produced together with microprocessors, but must be integrated later on. Therefore, MEMS are about to be used as clock generators in future. To implement this, IMMS is involved in the PRIMOS project, developing piezo-electrically coupled MEMS resonators. Already at frequencies up to 125 MHz, they are a real alternative to conventional vibrating quartzes. In addition, they can be integrated into production processes, are really tiny and lower in cost. To significantly extend the frequency spectrum and to make such resonators available for new applications, the institute attempts to create HF clock generator frequencies from 200 MHz up to GHz values. As HF local oscillators, they become the core of mobile devices for telecommunication, near field radio technology and ultrafast bus systems. For that, multifrequency oscillators are necessary. Their multifrequency character is caused by different longitudinal modes. In cooperation with the Ilmenau University of Technology, IMMS created

Figure 3, left: SEM micrograph of doubly spanned beams from aluminum nitride with lengths of 35 - 255 µm (Source: Ilmenau University of Technology, Institute for Materials Engineering/Institute of Micro-and Nanotechnologies). Right: Results of a doppler vibrometric measurement: Frequency response and inherent forms of the first three bending vibrations (Source: IMMS).

design guidelines and an optimal design process using finite elements simulations of the structures. In addition, the institute has automatized the well known Assurance Criterion Method for recognition of longitudinal modes, thus allowing a much higher work efficiency. Based on this method, scientists have researched the influence of different boundary conditions on the resonator. To validate the results of this calculation, measurements are carried out at the test structures using a laser doppler vibrometer. The analysis allows a successive improvement of the simulation model and the development of an optimal resonator design. Apart from this, with the results of the finite elements simulations, parameters can be identified and optimized to accomplish certain characteristics of components.

Contact:

Dr.-Ing. Christoph Schäffel
 christoph.schaeffel@imms.de

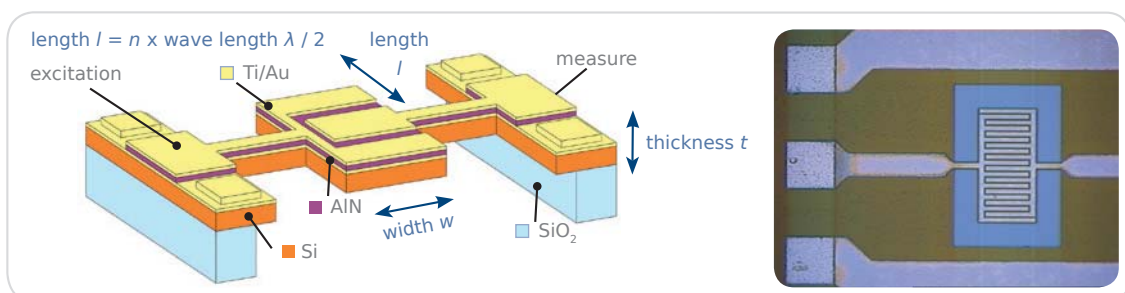


Figure 4: Model of a MEMS resonator (left; source: Ilmenau University of Technology, Institute of Micro- and Nanotechnologies) and processed structure with a length of 240 microns (right; source: IMMS).

MEMS/NEMS – Simulation und Test

Mikro- und Nanoelektromechanische Systeme (MEMS/NEMS) sind meist nur wenige Mikrometer große Strukturen, die aus Sensoren, Aktoren und einer Steuerungselektronik auf einem Substrat oder Chip bestehen. Dort, wo Miniaturisierung und erhöhte Funktionalität entscheidend sind, kommen MEMS zunehmend zum Einsatz und bilden eine entscheidende Grundlage für Innovationen. MEMS lösen Airbags aus, dienen der Stabilitätskontrolle von Fahrzeugen oder stehen als Blutdrucksensoren der Intensivmedizin zur Verfügung.

Zerstörungsfreie indirekte Parameteridentifikation

Werden beispielsweise der in einem Smartphone verbaute Gyroskop-Sensor zur Lageerkennung und das Mikrofon getestet, prüft man beide möglichst frühzeitig auf ihre Qualität, um Ausschussraten von Baugruppen oder gar fertigen Telefonen zu minimieren. Die Mikrometer kleinen MEMS-Strukturen von Gyroskop oder Mikrofon sind für mechanisches Antasten jedoch zu empfindlich und würden bei einer solchen Prüfung zerstört. Daher hat das IMMS bereits in den letzten Jahren ein Verfahren zur zerstörungsfreien indirekten Parameteridentifikation entwickelt. Es bestimmt fertigungsrelevante Geometrie- und Materialparameter und wurde für Balken- sowie Membranstrukturen angewandt. Das Verfahren prüft vor weiteren Prozessschritten direkt auf dem Wafer und beruht zum einen auf der vibrometrischen Messung von Eigenfrequenzen von Teststrukturen. Zum anderen wird mit einer Finite-Elemente-Simulation der funktionale Zusammenhang zwischen Eigenfrequenzen und den zu bestimmenden Parametern beschrieben.

Aktuell beteiligt sich das IMMS im Projekt USE-NEMS (Förderkennzeichen: B714-10012) an der Weiterentwicklung dieses Verfahrens, das die mechanischen Eigenschaften neuer Materialien zerstörungsfrei bestimmen kann und das sich in die Herstellung integrieren lässt. Moderne Hochleistungswerkstoffe, wie Gruppe-III-Nitride, Nanolamine oder Graphen, werden jenseits der Silizi-

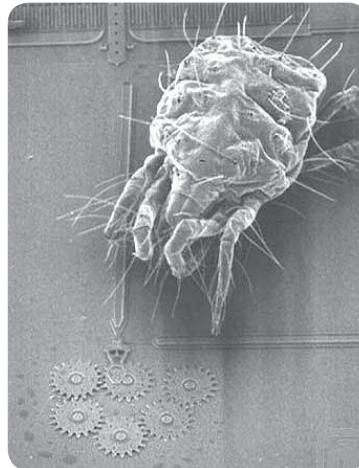


Abbildung 1:
Größenvergleich zwischen einer Milbe und einem Mikrosystem,

Quelle:
Sandia
National
Laboratories

umtechnologie künftig die Basis für ultrasensitive, integrierte MEMS bzw. NEMS sein. Deren Entwicklung soll durch die Forschung des IMMS vereinfacht werden. Bei Sensor- und Aktor-Bauelementen ist es bedeutsam, mechanische Eigenschaften, wie anisotrope Elastizität und homogene bzw. inhomogene Verspannung, zu kennen, zu überwachen und gezielt zu beeinflussen. Dafür hat das IMMS gemeinsam mit den Projektpartnern optimale Indikatorstrukturen, wie z.B. zweiseitig eingespannte Balken in Abbildung 3, entworfen. Auf diese Strukturen wird das Verfahren der Parameteridentifikation angewandt, um die Materialeigenschaften zu bestimmen.

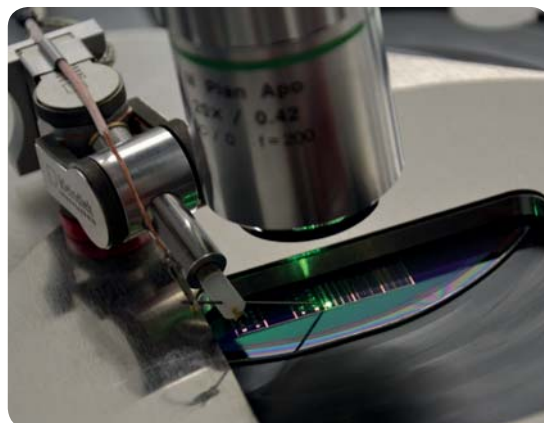


Abbildung 2: Elektrostatische Anregung von Teststrukturen durch eine Probenadel für die vibrometrische Parameteridentifikation. Quelle: IMMS

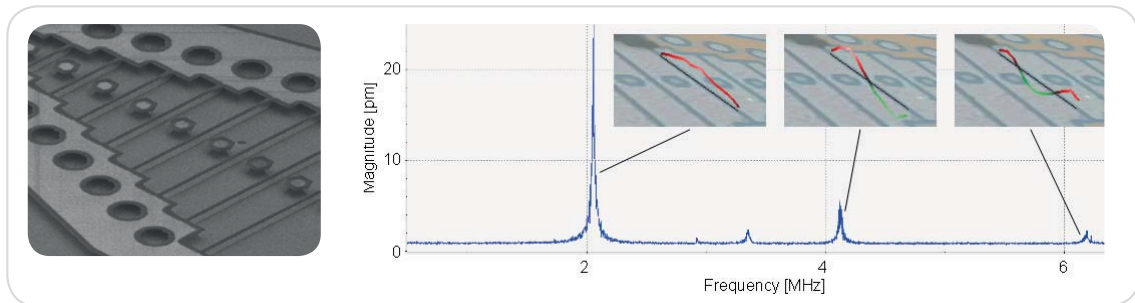


Abbildung 3, links: REM-Aufnahme von zweiseitig eingespannten Balken aus Aluminiumnitrid mit Längen von 35–250 µm, rechts: Messergebnisse der Laser-Doppler-Vibrometrie: Frequenzantwort und Eigenformen der ersten drei Biegeschwingungen. Quelle der REM-Aufnahme: TU Ilmenau, Institut für Werkstofftechnik/Institut für Mikro- und Nanotechnologie

Piezelektrisch gekoppelte MEMS-Resonatoren

Der Einsatz von Schwingquarzen, die in Computern den Takt vorgeben, könnte bald der Vergangenheit angehören. Schwingquarze können nicht zusammen mit den Mikroprozessoren gefertigt, sondern müssen im Nachhinein integriert werden. Künftig sollen daher MEMS als Taktgeneratoren für Mikroprozessoren eingesetzt werden. Um das zu realisieren, ist das IMMS im Projekt PRIMOS (Förderkennzeichen: B714-09060) in die Entwicklung von piezelektrisch gekoppelten MEMS-Resonatoren involviert. Diese bieten bereits im Frequenzbereich bis zu 125 MHz eine Alternative zu konventionellen Schwingquarzen und zeichnen sich durch Prozessintegrierbarkeit und geringe Baugröße sowie Kosten aus. Um das heute bekannte Spektrum signifikant zu erweitern und derartige Resonatoren neuen Anwendungen zugänglich zu machen, gehen die Bestrebungen des Instituts dahin, höherfrequente (HF) Taktgeneratoren von 200 MHz bis in den GHz-Bereich hinein zu realisieren. Als HF-Lokaloszillator werden sie zum Kern von tragbaren Geräten für Telekommunikation und Nahbereichsfunktechnik, von Mikroprozessoren und ultraschnellen Bussystemen. Um das zu erreichen, sind Multifrequenz-

Oszillatoren notwendig, deren Mehrfachfrequenzcharakter durch die Anregung unterschiedlicher Longitudinalmoden realisiert wird. Zusammen mit der TU Ilmenau erstellte das IMMS die Designrichtlinien und einen optimalen Entwurfsprozess mit Hilfe von Finite-Elemente-Simulationen der Strukturen. Das Institut hat zudem das bekannte Modal-Assurance-Criterion-Verfahren für die Erkennung der Longitudinalmoden automatisiert und so ein wesentlich effektiveres Arbeiten ermöglicht. Auf dieser Basis haben die Forscher den Einfluss verschiedener Randbedingungen auf die Resonatoren untersucht. Um die Ergebnisse dieser Rechnungen zu validieren, werden Messungen an den Teststrukturen mittels eines Laser-Doppler-Vibrometers durchgeführt. Die Auswertung erlaubt eine sukzessive Verbesserung des Simulationsmodells und somit die Erarbeitung eines optimalen Resonatordesigns. Zudem können mit den Ergebnissen der Finite-Elemente-Simulationen Parameter identifiziert und optimiert werden, um bestimmte Eigenschaften von Bauelementen zu erreichen.

Kontakt:

Dr.-Ing. Christoph Schäffel
christoph.schaeffel@imms.de

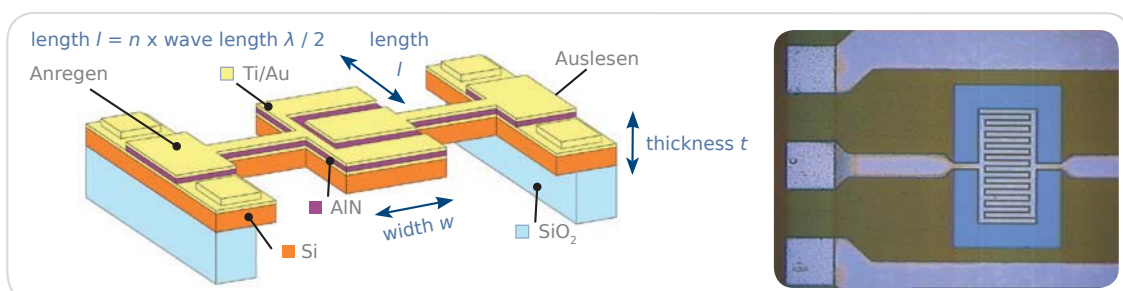


Abbildung 4: Modell eines MEMS-Resonators (links) und prozessierte Struktur mit einer Längenausdehnung von 240 µm (rechts). Quelle rechtes Bild: TU Ilmenau, Institut für Mikro- und Nanotechnologie, Quelle linkes Bild: IMMS