

Good Vibrations

Optimierung von Energy Harvestern und RF-MEMS

Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) werden in der Halbleiterprozesstechnik mittels spezieller Mikrobearbeitungs-Verfahren hergestellt. MEMS nutzen elektrostatische, piezoelektrische, thermische oder magnetische Effekte, um mikrometergroße, bewegliche Bauteile zu steuern. Mittlerweile werden jährlich Milliarden von MEMS-Sensoren und -Aktoren hergestellt. Verwendung finden Sie in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens: in der Automobilindustrie, in Konsumgütern und in digitalen Projektions-Systemen.

Das Tyndall National Institute wurde gegründet, um Industrie und Forschung bei der Entwicklung marktreifer Produkte zu unterstützen. Es ist eins der führenden Forschungszentren für Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und die größte Einrichtung dieser Art in Irland. Tyndall beschäftigt sich auch intensiv mit der Entwicklung von MEMS-Bauteilen, hauptsächlich für die Elektronik-, Medizingeräte-, Energie- und Telekommunikations-Industrie. Bei diesen Forschungen setzt das Institut routinemäßig zerstörungsfreie optische Messverfahren ein, um diese Strukturen zu charakterisieren.

Der folgende Artikel stellt die Polytec Laservibrometrie-Einrichtung in Tyndall vor und präsentiert zwei Anwendungen: Radio Frequency (RF) MEMS für die Telekommunikation und piezoelektrische MEMS-Kantilever für das Energy Harvesting (Wandlung von Umgebungsenergie in nutzbare elektrische Energie).

HARDWARE

Das Labor besitzt ein 30 MHz Polytec MSA-400 mit 1x- bis 50x-Objektiven. Es befindet sich auf einem schwingungsgedämpften Tisch für hochpräzise Messungen (Bild 1). Das System hat außerdem eine maßgefertigte Vakuum-Kammer mit 150 mm

Durchmesser, eine Glasabdeckung und Anschluss einer Turbomolekular-Pumpe. Die Kammer enthält Ultraschall-Transducer zur Anregung von Bauelementen sowie einige Durchführungen für elektrische Verbindungen. Ein 300 Volt-Verstärker sorgt für die hohen Spannungen, die für die Charakterisierung von MEMS gebraucht werden. Das System ermöglicht die vollständige Charakterisierung von MEMS, d.h. sowohl Messung der Oberflächentopographie als auch des In-Plane- und Out-of-Plane-Schwingverhaltens bei einem regelbaren Druck von 0,01 mbar bis atmosphärisch.

RF-MEMS

RF-MEMS-Komponenten, wie etwa Schalter, Resonatoren und Varaktoren, nutzen elektrostatische Anregung, um die Position eines mikro-mechanischen Stellelements oberhalb eines Hochfrequenzleiters zu ändern und dadurch der Eigenschaften dieser Leitung und des Schaltkreises, in den es eingebaut ist. RF-MEMS-Bauelemente zeigen eine überlegene RF-Leistung, sind klein, leicht und einfach integrierbar. Für Anwendungen wie etwa phasenschiebende Schaltkreise, RF-Radio-Frontends und rekonfigurierbare Antennen sind sie vielversprechende Kandidaten. ►

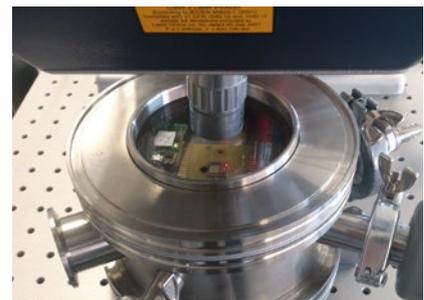


Bild 1: Links: Polytec MSA-400, das mit einer maßgefertigten Vakuum-Kammer und einem aktiv schwingungs isolierten Tisch ausgestattet ist. Rechts: Nahaufnahme der Vakuum-Kammer und des anregenden Transducers.

Eine Hauptcharakteristik eines Mikroschalters ist die effektive mechanische Steifigkeit (k) der beweglichen Elektrode. Sie legt die für die Betätigung des Schalters nötige Spannung fest. Normalerweise ist diese effektive Steifigkeit eine Funktion der Materialeigenschaften und der Geometrie der beweglichen Elektrode. Die Steifigkeit kann experimentell festgelegt werden, indem die mechanische Schwing-Frequenz (f) einer Elektrode mit der Masse (m) gemessen und der Ausdruck $k = (2\pi f)^2 m$ angewandt wird. Bild 2 zeigt die Frequenzspektren von 100 μm -großen, rechteckigen Aluminium-Elektroden, die an drei unterschiedlichen Feder- Typen aufgehängt sind: gerade, mäander- und spiralförmig. Es ist klar, dass die Resonanzfrequenz (und Steifigkeit) stark von jener der Geometrie der Aufhängung abhängt.

Umgebungsparameter wie Gasdruck und -konzentration haben einen starken Einfluss auf die optimale Leistung und Zuverlässigkeit eines MEMS-Bausteins. Bild 3 zeigt den Einfluss der Luftdämpfung auf die Resonanzlinie eines einfachen MEMS-Kantilever-Resonators. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass der Umgebungsdruck im Element unter einem bestimmten kritischen Level liegen muss, um einen hohen Q-Faktor des Resonators zu gewährleisten. In diesem Fall ist das etwa 1 mbar.

der Medizintechnik, betrieben werden können. Der Harvester selbst ist ein mechanisches System, dessen Resonanzfrequenz auf die spektrale Verteilung der Umgebungsenergie abgestimmt ist. Regt die Umgebung den Wandler zu Schwingungen an, wird er zum Signal-Verstärker für die externen Schwingungen bei genau dieser Frequenz. Der Wandler muss dann in der Lage sein, die Schwingungs-Energie in nutzbare elektrische Energie zu transformieren. Piezoelektrische Harvester tun dies, indem sie die Fähigkeit des piezoelektrischen Materials, bei mechanischer Belastung Ladungen auf ihrer kristallinen Fläche zu sammeln, nutzen. Tyndall hat MEMS-Wandler mit einer Schwing-Frequenz von unter 150 Hz entwickelt. Die Bauelemente werden durch eine Kombination von Verfahren der Volumen- und

PIEZOELEKTRISCHES ENERGY HARVESTING

Energy Harvester wandeln frei verfügbare kinetische Umgebungsenergie in elektrische Energie, mit der autonome Niederspannungs-Systeme, wie etwa drahtlose Sensorknoten in

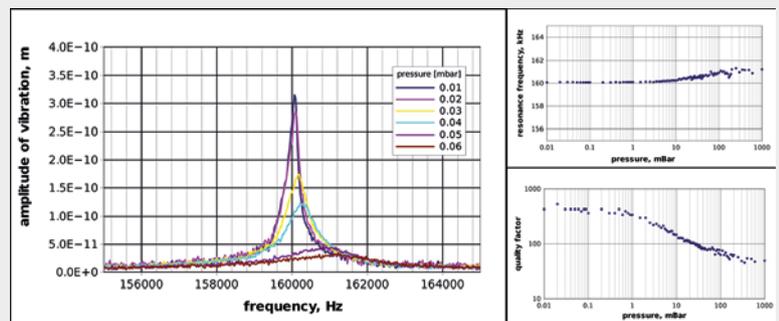
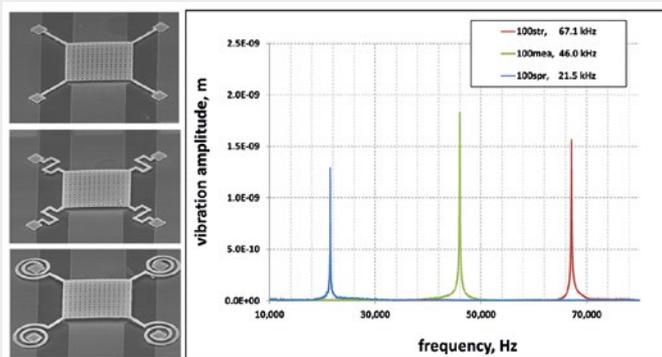


Bild 2: 100 μm -große, rechteckige kapazitive RF-MEMS-Schalter mit drei unterschiedlichen Feder-Designs und die jeweils gemessenen mechanischen Resonanz-Frequenzen.

Bild 3: Gemessene Resonanzfrequenz eines MEMS-Kantilever-Resonators in Abhängigkeit vom Umgebungsdruck (links) und die entsprechende Druckabhängigkeit der Resonanzfrequenz und des Gütefaktors Q.

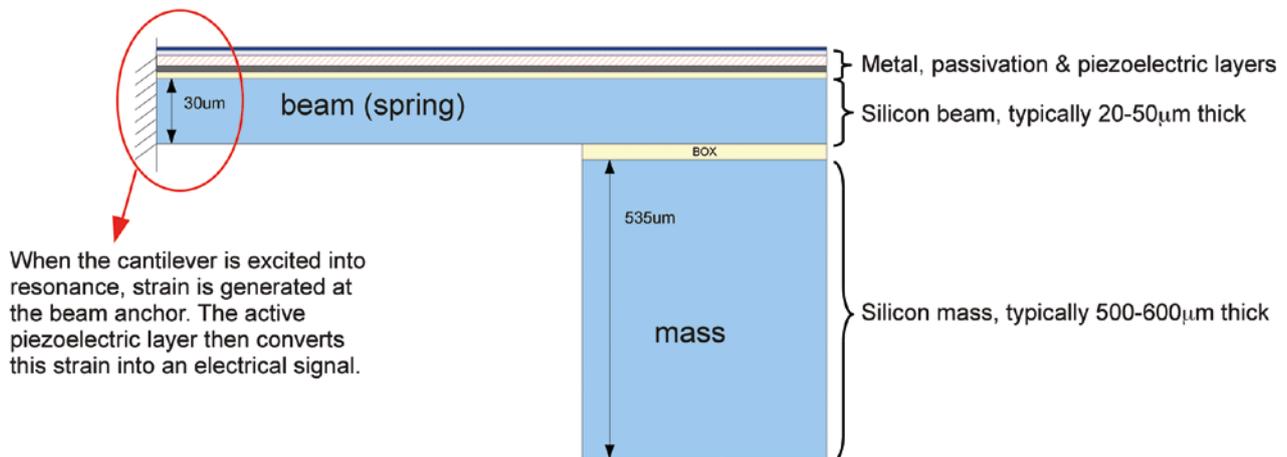


Bild 4: Schematische Darstellung des Profils eines Silizium-basierten, piezoelektrischen Energy Harvesters.

Oberflächenmikromechanik hergestellt. Bild 4 zeigt das Profil eines Silizium-Kantilever-Harvesters. Für die gewünschten Resonanzen von unter 150 Hz müssen die Biegebalken (Kantilever), die die Systemfeder darstellen, lang (~8 mm – 10 mm) und dünn (<50 μm) sein. Die gesamte Waferdicke wird herangezogen, um die Masse zu bilden. Zwei der

größten Herausforderungen bei Energieharvestern ist ihre geringe Ausgangsleistung und ihre von Natur aus schmale Bandbreite. Ein Lösungsansatz ist, mehrere Elemente elektrisch zusammenzuschalten, um so die Ausgangsleistung zu erhöhen. Bild 5 zeigt die Ergebnisse für die Kombination von drei Kantilever-Harvestern, die identische Massen aber

unterschiedlich gestaltete Biegebalken haben. Diese Elemente wurden so konstruiert, dass sie etwa bei derselben Frequenz schwingen. Die Resonanzfrequenz der Biegebalken wurde mittels der Laservibrometrie erfasst. Die Elemente schwingen resonant zwischen 115 Hz und 118 Hz mit einem Schwingweg von mehreren Mikrometern. Den Aufbau der Messung zeigt Bild 1. ■

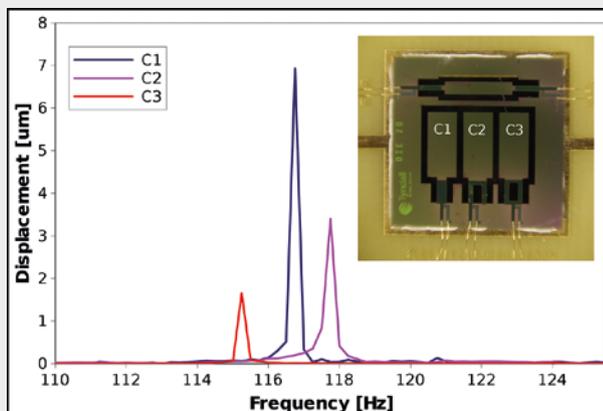


Bild 5: Mit dem Vibrometer gemessenes Schwingungsspektrum von drei leicht unterschiedlichen Kantilever-Strukturen.

Kontakt

Dr. Conor O'Mahony, Dr. Oskar Olszewski und Dr. Ruth Houlihan vom Microsystems Centre des Tyndall National Institute, University College Cork, Irland

conor.omahony@tyndall.ie
+353 21 2346200

Die Forschung wurde unterstützt von Enterprise Ireland, der Science-Foundation Ireland, der European Space Agency und der Europäischen Union.