

# **Electrostatically Actuated All-Polymer Microbeam Resonators - Characterization and Application**

Dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

**SILVAN SCHMID**  
Dipl. Ing. ETH, ETH Zurich

born 17.03.1977

citizen of Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. C. Hierold, examiner

Prof. A. Hierlemann, co-examiner

2009

# Abstract

With recent advances in polymer science, the ability to customize the physical properties of polymers have pushed the application of these materials beyond simple processing layers and onto the center stage as active device materials in microelectromechanical systems, e.g. as soft hinges in micromirrors or as sensitive layers in chemical or biosensors. In this work, electrostatically actuated all-polymer resonant microbeams are mechanically characterized and applied as biosensors.

In order to actuate microstructures made from pure nonconductive polymers, a novel electrostatic actuation principle based on the Kelvin polarization force is developed. Single and double-clamped microbeams made from SU-8 which are actuated therewith are fabricated with a sacrificial layer technique. The samples are characterized by means of the resonant method.

The beamlike single-clamped microbeams are mainly damped by the internal material damping whereas the stringlike double-clamped microbeams are mainly damped by clamping loss. At atmospheric pressure, at low frequencies, the damping is dominated by air damping and at higher frequencies by the intrinsic damping.

Eventhough SU-8 is a highly crosslinked polymer, it shows a typical viscoelastic behavior. The mean Young's modulus is increasing from 4.54 GPa at 19 kHz to 5.24 GPa at 318 kHz. The modulus is linearly decreasing with temperature by  $-0.31 \pm 0.01 \text{ \%} / \text{ }^\circ\text{C}$ . Antiplasticization followed by a plasticization for low and high relative humidity values, respectively, were observed. The material also showed some significant aging of several percent in one month. The tensile stress in the double-clamped microbeams is changing with temperature ( $\alpha_{th} = 47.9 \pm 3.9 \text{ ppm/K}$ ) and humidity ( $\alpha_{hyg} = 25.3 \pm 1.0 \text{ ppm/\%RH}$ ). The relaxation was measured over a period of 250 days. The tensile stress follows an exponential decay with a relaxation time of 114 days.

To demonstrate a potential application of polymer microresonators, the selective adsorption of streptavidin molecules on the biotinylated SU-8 microbeam surface in water was detected by measuring a shift in the self-excited oscillation frequency. A minimal concentration of 25 ng/ml of streptavidin was detected in 10–30 seconds. A main advantage of a resonant polymer microbeam biosensor is the possibility to directly adsorb the receptor biomolecules on the polymer without the need of an additional functional coating.

# Zusammenfassung

Die Entwicklung von Polymeren mit vielfältigen physikalischen Eigenschaften hat das Anwendungsfeld dieser Materialien verändert von einfachen Prozess-Schichten hin zum aktiven mechanischen Bauteil in mikro-elektromechanischen Systemen. In dieser Arbeit werden elektrostatisch angeregte polymere Mikro-Schwingbalken mechanisch charakterisiert und als Biosensoren verwendet.

Um pure polymere Mikro-Strukturen zum Schwingen anzuregen wurde ein neues Aktuatorprinzip entwickelt welches auf der elektrostatischen Kelvin Polarisationskraft beruht. Einfach und doppelt eingespannte Mikro-Balken aus SU-8 wurden durch einen Opferschicht-Prozess hergestellt. Die mechanische Charakterisierung basiert auf der Resonanz-Methode.

Die balkenartigen einfach eingespannten Mikrobalken werden hauptsächlich durch die interne Materialdämpfung gedämpft und die saitenartigen doppelt eingespannten Mikrobalken hingegen durch Verluste über die Einspannungen. Bei atmosphärem Druck und tiefen Frequenzen wird die Dämpfung durch die Luftdämpfung dominiert und bei hohen Frequenzen durch die intrinsische Dämpfung.

Trotz der starken Vernetzung zeigt SU-8 ein typische viskoelastisches Verhalten. Der mittlere E-Modul steigt von 4.54 GPa bei 19 kHz bis auf 5.24 GPa bei 318 kHz. Der E-Modul nimmt linear mit steigender Temperatur ab ( $\alpha_{Y,T} = -0.31 \pm 0.01 \text{ \%} / \text{ }^\circ\text{C}$ ). Antiplastifizierung gefolgt von einer Plastifizierung wurde beobachtet bei niedrigen beziehungsweise hohen relativen Luftfeuchtigkeits Werten. Das Material zeigte eine signifikante Alterung von mehreren Prozent in einem Monat. Die Zugspannung in den doppelt eingespannten Mikrobalken änderte sich mit der Temperatur ( $\alpha_{th} = 47.9 \pm 3.9 \text{ ppm/K}$ ) und der relativen Luftfeuchtigkeit ( $\alpha_{hyg} = 25.3 \pm 1.0 \text{ ppm/\%RH}$ ). Die Relaxation der Zugspannung wurde über einen Zeitraum von 250 Tagen gemessen und folgt einer exponentiellen Abnahme mit einer Relaxationszeit von 114 Tagen.

Um eine mögliche Anwendung von polymeren Mikro-Resonatoren zu demonstrieren, wurde die selektive Adsorption von Streptavidin-Molekülen in Wasser auf der biotinylierten SU-8 Oberfläche durch Messen der Schwing-Frequenz-Veränderung detektiert. Eine minimale Konzentration von 25 ng/ml Streptavidin wurde in 10 - 30 Sekunden detektiert. Ein wesentlicher Vorteil eines Biosensors aus polymeren Mikro-Schwinger ist die Möglichkeit die Rezeptor Biomoleküle direkt auf SU-8 zu adsorbieren ohne die Notwendigkeit einer zusätzlichen funktionellen Beschichtungen.