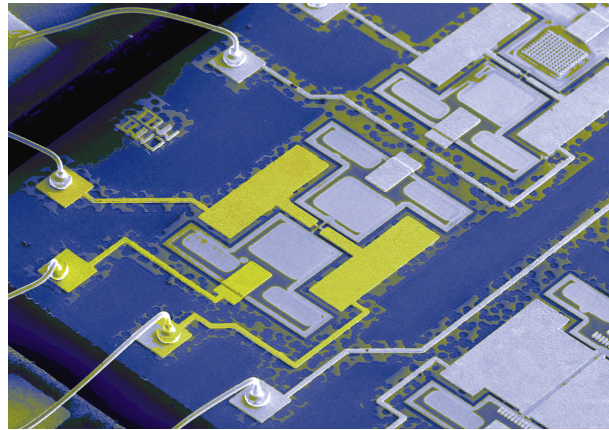


Diploma Thesis

Micro-Electromechanical Resonators — Technology and Design

Julian Patrick Bartholomeyczik



Abstract

This thesis reports on the design, process development, fabrication and preliminary testing of micro-electro-mechanical high frequency filters. The filter design is based on a novel combination of (i) silicon on insulator (SOI) substrates, (ii) bulk silicon micromachining applying the ASE process, (iii) thick DNQ / Novolak photoresist lithography on non planar substrates with subsequent patterning of metal layers and (iv) electroplating of microstructures. The advantages of the technology are seen in the CMOS compatibility of the postprocessing steps through low processing temperatures, the expected low insertion losses of these filters through sub-micrometer electrode to resonator gaps, and finally low fabrication costs through a four mask process being performed on standard processing equipment and a small micro-resonator die area.

Although the process uses standard equipment, extensive adaptations and optimizations of the available technology had to be made. The new developments concern thick resist lithography, lithography on non-planar substrates, patterning of metal layers on non-planar substrates, electroplating, and die separation. Most critical among these process steps is the DNQ / Novolak photolithography process featuring 20 μm thick photoresist with critical dimensions in the micrometer range.

The fabricated micro-resonator features a 10 μm thick, single crystal silicon, clamped-clamped resonating beam. The beam is flanked by electroplated input and output electrodes made of gold. Through the input electrode, the beam is electrostatically actuated into mechanical resonance. The change in capacitance between the beam and the output electrode converts the mechanical oscillation back into an electrical signal. A key design feature are 200 nm wide resonator to electrode gaps, which are much smaller than the critical dimen-

sions of the applied photolithography process. The small gap size is necessary for the realization of low insertion loss micro-resonator filters. Structures with calculated resonance frequencies between 600 kHz and 526 MHz have been fabricated with the majority of the micro-resonators having an expected resonance frequency of 10 MHz. In first device evaluation measurements a mechanical beam deflection under electrostatic forces has been confirmed.

Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit beschreibt den Entwurf, die Prozessentwicklung, die Fertigung und erste experimentelle Ergebnisse zur Charakteristik von mikro-elektromechanischen Hochfrequenzfiltern. Der Filterentwurf basiert auf einer neuartigen Kombination von (i) Silicon on Insulator (SOI) Micromachining, (ii) Bulk Micromachining unter der Verwendung des ASE-Prozesses, (iii) DNQ / Novolak Photolithographie von dicken Lacken mit der anschließenden Strukturierung metallischer Schichten und (iv) galvanischer Abscheidung von Mikrostrukturen. Vorteile dieser neuen Technik werden in der CMOS-Kompatibilität des Prozesses aufgrund der geringen Prozesstemperaturen, einer niedrigen Filterimpedanz, die aufgrund einer Spaltbreite zwischen Balken und Elektrode im Submikrometer-Bereich erwartet wird, den potentiell geringen Fertigungskosten des Viermaskenprozesses und (iv) des geringen Flächenbedarfs des Filters gesehen.

Obwohl Standardprozesse der Mikrosystemtechnik verwendet werden, waren weit-reichende Anpassungen und Optimierungen der verfügbaren Technologie erforderlich. Diese wurden im Bereich der Lithographie dicker Lacke, der Lithographie auf nicht planaren Substraten, der Strukturierung metallischer Schichten, der galvanischen Abscheidung von Mikrostrukturen und der Chip-Vereinzelung durchgeführt. Einer der kritischsten Prozessschritte hierbei ist die DNQ / Novolak-Photolithographie von 20 µm dicken Lacken mit Auflösungen im Mikrometerbereich.

Die gefertigten Mikroresonatoren bestehen aus 10 µm hohen, beidseitig eingespannten, einkristallinen Siliziumbalken, die beidseitig von galvanisierten Goldelektroden flankiert werden. Durch die Eingangselektrode wird der Balken elektrostatisch zu mechanischen Schwingungen angeregt. Diese bewirken eine Änderung der Kapazität der Ausgangselektrode, welche das mechanische Signal wiederum in ein elektrisches wandelt. Ein Hauptmerkmal des Designs ist der 200 nm breite Spalt zwischen Resonator und Elektrode, der weit unterhalb der kleinsten Auflösung der zur Verfügung stehenden Photolithographie liegt. Ein geringer Spalt ist notwendig, um Mikroresonatoren mit geringer Übertragungsimpedanz zu realisieren. Die gefertigten Filter sind für Resonanzfrequenzen zwischen 600 kHz und 526 MHz ausgelegt, wobei das Hauptaugenmerk auf Resonatoren mit einer Resonanzfrequenz von 10 MHz liegt. Erste Messungen haben die mechanische Auslenkung der Balken aufgrund elektrostatischer Kräfte zwischen Elektrode und Balken nachgewiesen.

For further information, please contact:

Prof. Dr. Oliver Paul
 Institute for Microsystem Technology IMTEK
 Microsystem Materials Laboratory MML
 Georges-Koehler Allee 103
 79110 Freiburg, Germany
 phone ++49/761-203-7190
 fax ++49/761-203-7192
 e-mail paul@imtek.de