



Besser schalten
Charakterisierung und Optimierung
BiCMOS-integrierter RF-MEMS-Schalter

Die monolithische Integration von RF-MEMS in einer SiGe-BiCMOS-Technologie ermöglicht die Entwicklung kostengünstiger und hochintegrierter Schaltkreise für zukünftige Radar- und Imaging-Systeme. Durch den Einsatz von Laser-Doppler-Vibrometrie (LDV) und Weißlichtinterferometrie (WLI) wurden RF-MEMS-Schalter mit ausgezeichneter Performance und Zuverlässigkeit entwickelt.

BICMOS-INTEGRATION VON RF-MEMS-SCHALTERN

SiGe-BiCMOS-Technologien werden zunehmend interessanter für mm-Wellen-Anwendungen wie z.B. WLAN, Radar und Imaging. Diese benötigen oftmals elektronische Schaltungen für verschiedene Frequenzbänder, Schalter zur Steuerung des Signalpfads zwischen Sender, Empfänger und Antenne sowie phasengesteuerte Systeme, welche mit RF-MEMS-Schaltern realisierbar sind und von den verbesserten Hochfrequenz-Eigenschaften profitieren (Bild 1).

Der am IHP entwickelte kapazitive RF-MEMS-Schalter wird monolithisch innerhalb des Backend-of-Line (BEOL) der SiGe-BiCMOS-Technologie integriert (Bild 2), wodurch minimale Leitungslängen zwischen den Transistoren und MEMS realisiert und damit bei hohen Frequenzen auftretende parasitäre Effekte minimiert werden.

Die ersten drei Metallisierungsebenen beinhalten den Schalter. In Metall 1 befinden sich die Elektroden zur elektrostatischen Anregung des Schalters, Metall 2 dient als Signalleitung und die bewegliche Membran befindet sich in Metall 3. Durch elektrost-

atische Ansteuerung wird die Membranposition und damit die kapazitive Kopplung zwischen Signalleitung und beweglicher Membran verändert und damit Hochfrequenz-Signale effizient geschaltet.

EXPERIMENTELLES SETUP

Die Entwicklung eines RF-MEMS-Schalters erfordert vielseitige Messmethoden zur Charakterisierung der mechanischen, elektrischen und Hochfrequenz-Eigenschaften. Die Analyse der elektromechanischen Eigenschaften ist wichtig, da diese die Hochfrequenz-Eigenschaften signifikant beeinflussen. Dabei ►

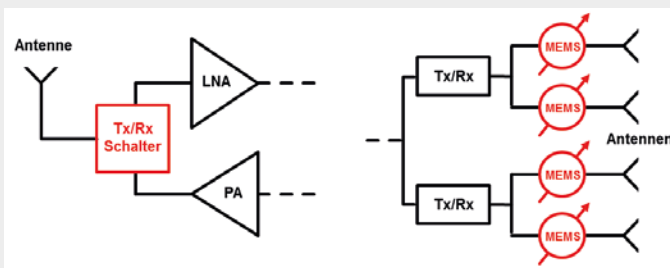


Bild 1: Einsatz eines RF-MEMS-Schalters als Tx/Rx-Schalter (links) oder Phasenschieber (rechts)

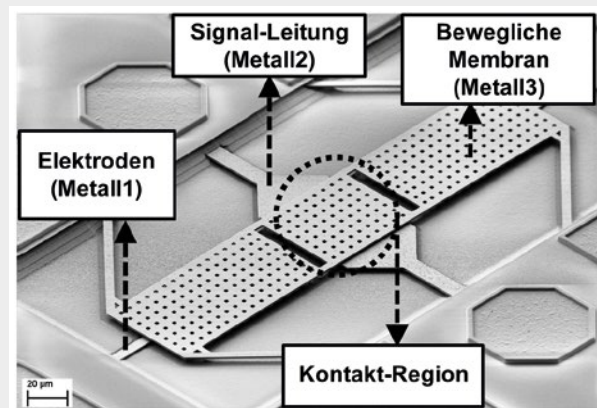


Bild 2: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme des RF-MEMS-Schalters.

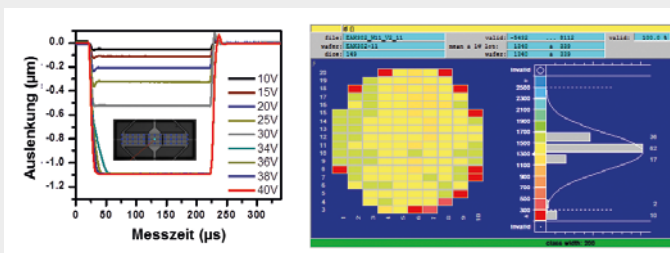


Bild 3: LDV-Messung zeigt Auslenkung der Membran bei verschiedenen Anregungsspannungen (links) und die Homogenität über den Wafer (rechts).

werden optische Verfahren bevorzugt, da Messungen mit höchster Genauigkeit ohne Beeinflussung des Messobjektes möglich sind. Zur elektromechanischen Charakterisierung der Schalter wird das MSA-500 von Polytec verwendet. Es analysiert Bewegungen mittels LDV sowie statische Verformungen mittels WLI automatisiert auf 200-mm-Wafern. Speziell LDV ist hier eine hervorragende Messmethode zur prozessbegleitenden Charakterisierung, da diese Technik Out-of-Plane-Schwingungen mit Wegauflösungen im nm- bei örtlicher Auflösung im μm -Bereich detektiert.

ERGEBNISSE

Durch Anregung des Schalters mit verschiedenen Spannungen werden Parameter wie die Pull-In Spannung und Schaltzeiten extrahiert, wobei eine sehr gute Homogenität über den Wafer erreicht wird (Bild 3).

Über die Auslenkung der Membran werden Rückschlüsse auf die mechanische Federkonstante der Membran und den Einfluss von Materialverspannungen gezogen. Letztere führen zur Beeinflussung der mechanischen, elektrischen und Hochfrequenz-Eigenschaften und werden deshalb analysiert und durch Prozessanpassungen optimiert.

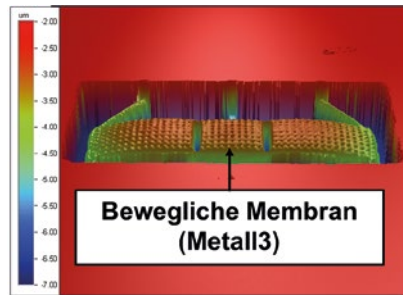


Bild 4: WLI-Analyse eines RF-MEMS-Schalters zeigt den Einfluss von Verspannungen in den dünnen Schichten.

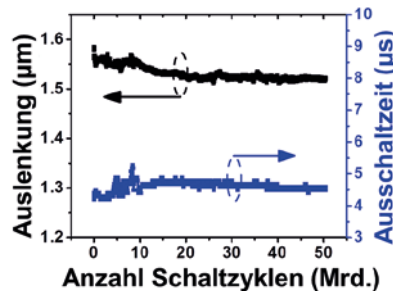


Bild 5: LDV-Zuverlässigkeitstest eines RF-MEMS-Schalters.

Zuverlässigkeit ist eines der größten Hindernisse für den Einsatz von MEMS, da etwa das sogenannte Charging oder Materialermüdung schnell zum Ausfall führen. Auch dabei ist LDV behilflich, da eine Vielzahl an Schaltern parallel und damit schnell und kostengünstig über viele Milliarden Schaltzyklen getestet werden (Bild 5).

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In Bezug auf monolithisch-integrierte RF-MEMS-Schalter wurden in den letzten Jahren große Fortschritte hinsichtlich der Performance, Prozessstabilität, Ausbeute und Zuverlässigkeit erzielt. Diese schnelle Entwicklung ermöglichte nicht zuletzt LDV und WLI. Durch den Einsatz dieser Messmethoden ist es möglich, schnelle und kostengünstige Analysen der elektromechanischen Eigenschaften auf Wafer-Level durchzuführen und damit zuverlässige mm-Wellen Systeme wie das in Bild 6 dargestellte intelligente Antennen-Array mit integrierten RF-MEMS-Schaltern zu entwickeln. ■

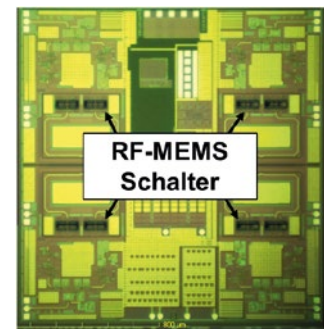


Bild 6: Transceiver Quad-Chip für intelligente Antennen-Arrays.

Kontakt

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Wietstruck
IHP – Innovations for High Performance
wietstruck@ihp-microelectronics.com
Microelectronics
Im Technologiepark 25
15236 Frankfurt (Oder)