

DISS. ETH No. 13463

AN INDUSTRIAL CMOS PROCESS FAMILY FOR INTEGRATED SILICON SENSORS

A thesis submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by
THOMAS MÜLLER
DIPL. PHYS. UNIVERSITÄT KONSTANZ, GERMANY

BORN APRIL 12, 1965
IN DRESDEN, GERMANY

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. H. Baltes, supervisor

Dr. G. Kissinger, co-examiner

Dr. O. Brand, co-examiner

1999

ABSTRACT

An industrial fabrication technology for CMOS-integrated silicon microsensors has been developed. To this end, commercial 2 μm and 0.8 μm CMOS device technologies of Austria Mikro Systeme International AG, Unterpremstätten, Austria were adapted to prepare for post-processing micromachining using wet anisotropic etching of silicon with an electrochemical etch-stop. The developed adaptive process steps include (1) the formation of a contact network and a contact field for the application of the electrochemical potentials to the sensor structures, (2) the planarization of the wafer back, and (3) the deposition of the etch mask on wafer back. Only standard submicron resolution photolithography and deposition steps of advanced CMOS processing were used. Therefore, the method can be applied to IC device technologies irrespective of their minimum feature size or the wafer diameter used. Implementation into, e.g., 0.25 μm device technologies processed on 200 mm wafers is possible with only minor changes.

Several integrated microsystems were fabricated using the adapted CMOS processes and micromachining, e.g., ultrasonic sensors, force sensors for atomic force microscopy co-integrated with fully differential low noise amplifiers, and chemical sensor systems for the detection of volatile organic compounds.

A new silicon wafer starting material with reduced concentration of interstitial oxygen and external gettering has been introduced for the adapted CMOS processes. It was found that bulk crystal defects generated due to oxygen precipitation strongly degrade the quality of structures obtained by wet anisotropic etching. The reduction of the initial concentration of interstitial oxygen in the wafer starting material from around $8 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$ to $6.0 - 6.9 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$ led to a strongly improved quality of the fabricated structures due to low bulk crystal defect generation.

Since wafer material with reduced density of defects has low internal gettering capability, external gettering was evaluated. The gettering capability of polysilicon back sides and mechanical damages at the wafer back were investigated at various stages of CMOS processes by monitoring the density of crystal defects at the wafer back. Only crystal defects resulting from a hard mechanical damage

were found to be stable and gettering-active during CMOS processing. As a result, a silicon wafer starting material with an interstitial oxygen concentration of $6.0 - 6.9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ and a hard mechanical damage was employed for the fabrication of CMOS-integrated silicon microsensors using the developed technology.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wird eine modifizierte CMOS Prozessfamilie vorgestellt mit der im Rahmen einer Nachprozessierung der Wafer integrierte Mikrosensoren hergestellt werden können. Als Fabrikationstechnologie für die Mikrosensoren wurde anisotropes Nassätzen mit einem elektrochemischen Ätzstop eingesetzt. Zu diesem Zweck wurde eine $2\ \mu\text{m}$ und eine $0.8\ \mu\text{m}$ CMOS Technologie der Austria Mikro Systeme International AG, Unterpremstätten, Österreich um eine Reihe von Fabrikationsschritten erweitert. Die zusätzlichen Schritte umfassen (1) die Herstellung eines leitenden Netzwerkes auf den Wafern für die Verteilung der für den elektrochemischen Ätzstop notwendigen Potentiale, (2) die Herstellung eines Kontaktfeldes auf den Wafern für die elektrische Kontaktierung der Wafer während des Ätzens und (3) das chemische Polieren der Rückseite der Wafer sowie das Abscheiden einer Siliziumnitridschicht als Ätzmaske. Um die Kompatibilität der zusätzlichen Schritte mit anderen Prozesstechnologien und die Prozessierbarkeit auf anderen Waferdurchmessern zu gewährleisten, wurden ausschliesslich Standard Submikrometer-Photolithographie und -Depositionsschritte verwendet. Eine Reihe von integrierten Mikrosensoren und -systemen wurde mit der entwickelten Sensorprozesstechnologie hergestellt, u.a. Ultraschallsensoren, integrierte Kraftsensoren für Rasterkraftmikroskope und chemische Sensorsysteme zur Detektion leicht flüchtiger Gase.

Ebenfalls im Rahmen dieser Arbeit wurde ein neues Silizium Wafer Startmaterial für die Sensorprozesstechnologie entwickelt. Grundlage dafür war die Beobachtung, dass nass geätzte Strukturen in CMOS prozessiertem Wafer Material von sehr schlechter geometrischer Qualität sind. Als Ursache wurden Kristalldefekte gefunden, die an Sauerstoffausscheidungen im Inneren der Wafer während der Hochtemperaturschritte der Prozesse erzeugt werden. In IC Prozessen werden Sauerstoffausscheidungen und Kristalldefekte zum Gettern von Verunreinigungen benutzt. Eine Untersuchung des Verhaltens von Wafern mit verschiedenen Sauerstoffgehalten in CMOS Prozessen ergab, dass Material mit einer reduzierten Sauerstoffkonzentration von $6.0 - 6.9 \cdot 10^{17}\text{cm}^{-3}$ zu einer stark verbesserten Qualität der geätzten Strukturen führt. Da dieses Material aber nur eine geringe Defektdichte aufweist, ist die interne Getterwirkung stark abgeschwächt. Daraufhin wurden verschiedene Methoden des externen Getterns mit Polysilizium-

schichten auf der Rückseite der Wafer und mit mechanischen Damages (kontrolliertes Beschädigen der Rückseite der Wafer, um Kristalldefekte einzuführen) untersucht. Bei diesen Untersuchungen zeigte sich, dass die Getterwirkung bei beiden Methoden im Verlauf der CMOS Prozesse stark nachlässt. Eine signifikante Dichte von getteraktiven Defekten an der Rückseite der Wafer verbleibt nach den Hochtemperaturschritten der Prozesse nur auf Wafern mit einem starken mechanischen Damage. Als Ergebnis wurden in Folge dieser Untersuchung für die Sensorprozesstechnologie Wafer mit einer Sauerstoffspezifikation von $6.0 - 6.9 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$ und einem harten mechanischen Damage eingesetzt.