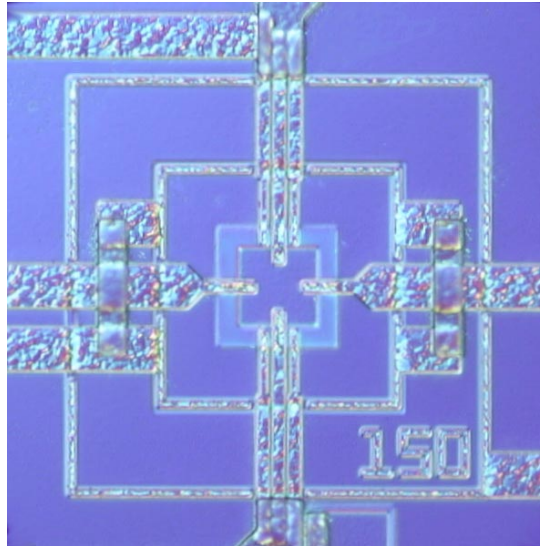


Diploma Thesis

Piezo Field Effect Transistors

Michael Dölle



Abstract

This diploma thesis evaluates the stress-sensitivity of MOSFET devices under the variation of the electrical and mechanical parameters. It reports on the design of a test chip with integrated MOSFET devices of different orientation and geometry. Beside standard CMOS devices, new test structures were integrated on the test chip. These structures enable the determination of the stress response of the inversion layer using transverse measurements (pseudo-Hall voltages). The test chips have been fabricated using a 0.6 μm double-metal double-poly CMOS process. The theory of the effect of mechanical stress on the performance of MOSFETs was described and modelled. A previously developed experimental setup consisting of a four-point bending bridge to apply mechanical stress to the test chip was modified. It was adapted to the specific needs of this thesis. Additionally, a sample preparation procedure including die-attachment of the test chip to silicon strips using epoxy resin adhesive was developed.

The operation of all the different test structures on the test chip was verified. The stress state on the surface of the test chip under different mechanical load was determined using (i) three-dimensional FE simulations and (ii) the diffused piezoresistive stress sensors. Pseudo-Hall offset voltages before and after die-attachment were measured. The piezoresistive coefficient $\Pi_{44,n}$ of an NMOS device was determined using its longitudinal response on mechanical stress. The $\Pi_{44,n} = 136 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ to $187 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ value is close to values reported in the literature. In addition, the $\Pi_{44,n}$ coefficient was determined using the transverse response, i.e., the pseudo-Hall voltage. The value for a device with channel length and channel width of 19.2 μm and 2.4 μm is $\Pi_{44,n} = 273 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ to $313 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$. In contrast, the coefficient of a device with a square geometry ($9.6 \times 9.6 \mu\text{m}^2$) was determined as $\Pi_{44,n} = 168 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ to $232 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$. It was found that the sensitivity of the transverse voltage is highest in the linear regime far from the pinch-off point. Creep effects in the epoxy resin adhesive were monitored using the diffused piezoresistive Wheatstone bridges. The signal variations were found to be considerably smaller than the signal changes due to the applied stress.

Zusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit untersucht die Sensitivität von MOSFET-Strukturen auf mechanische Belastung für verschiedene elektrische und mechanische Betriebsparameter. Sie beschreibt das Design eines Testchips mit integrierten MOSFETs unterschiedlicher Ausrichtung und Geometrie. Neben herkömmlichen CMOS-Strukturen sind neuartige Teststrukturen auf dem Chip integriert, die es ermöglichen, den Stressrespons der Inversionsschicht unter Verwendung von transversalen Messungen (Pseudo-Hall Spannungen) zu bestimmen. Die Testchips wurden mit einem 0.6 μm CMOS-Prozess (*double-metal, double-poly*) gefertigt. Der Einfluss von mechanischem Stress auf den Betrieb von MOSFETs wurde theoretisch beschrieben und modelliert. Ein im Vorfeld entwickelter experimenteller Aufbau bestehend aus einer Vierpunkt-Biegebrücke, mit der mechanischer Stress aufgebracht wird, wurde für die spezifischen Anforderungen dieser Arbeit modifiziert. Zusätzlich wurde ein Verfahren zur Probenvorbereitung entwickelt, das die Befestigung des Testchips auf Siliziumstreifen mit Hilfe von Epoxidharzkleber beinhaltet.

Der korrekte Betrieb aller Teststrukturen auf dem Testchip wurde nachgewiesen. Die Stressverteilung auf der Oberfläche des Testchips wurde unter verschiedenen mechanischen Lasten mit Hilfe von (i) dreidimensionalen FE Simulationen und (ii) diffundierten piezoresistiven Stresssensoren bestimmt. Die Pseudo-Hall Offsetspannungen wurden vor und nach der Fixierung der Testchips auf den Siliziumstreifen bestimmt. Die piezoresistiven Koeffizienten $\Pi_{44,n}$ von NMOS Strukturen wurden mit Hilfe von longitudinalen Messungen ermittelt. Werte von $\Pi_{44,n}$ liegen zwischen $136 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ und $187 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ und somit nahe an Werten, die aus der Literatur bekannt sind. Zusätzlich wurde der $\Pi_{44,n}$ Koeffizient über den transversalen Respons der MOSFET-Strukturen, d.h. über die Pseudo-Hall Spannung, bestimmt. Hierbei ergeben sich für eine Struktur mit einer Kanallänge und -breite von 19.2 μm bzw. 2.4 μm Werte für $\Pi_{44,n}$ zwischen $273 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ und $313 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$. Im Gegensatz hierzu liegen die Werte von $\Pi_{44,n}$ für eine Struktur mit quadratischer Geometrie (9.6 \times 9.6 μm^2) zwischen $168 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ und $232 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$. Es konnte gezeigt werden, dass die Sensitivität der Transversalspannung auf mechanische Belastung im linearen Betriebsmodus weit entfernt von der Abschnürspannung (*pinch-off*) am höchsten ist. Das Kriechen des Epoxidharzklebers wurde mit Hilfe der diffundierten, piezoresistiven Stresssensoren untersucht. Die hierdurch hervorgerufenen Signaländerungen sind vernachlässigbar im Vergleich zu den Signaländerungen, die durch den aufgetragenen Stress verursacht werden.

For further information, please contact:

Michael Doelle
Institute for Microsystem Technology IMTEK
Microsystem Materials Laboratory MML
Georges-Koehler Allee 103
79110 Freiburg, Germany
phone ++49/761-203-7193
fax ++49/761-203-7192
e-mail doelle@imtek.de