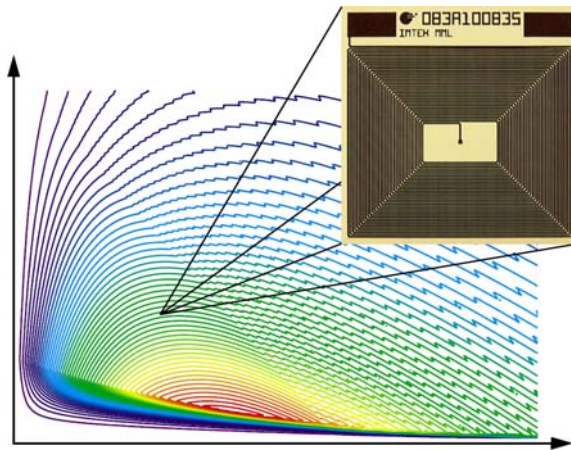


Diploma Thesis

Wireless Power Transmission for Autonomous Microsystems

Jürgen Wolf



Abstract

This diploma thesis evaluates and proposes systems for the wireless power supply of the orthodontic *Smart Bracket* application. The *Smart Bracket* system has the goal to measure and transmit all forces and torques in orthodontic brackets using an integrated stress sensor without a wire connecting the system to the environment. The outer dimensions for this CMOS-based sensor system have to be smaller than $3 \times 3 \text{ mm}^2$. After proposing an optimal solution to supply such a sensor system with energy, a novel process to fabricate SU-8 embedded multilayer copper coils has been developed.

The application of several power supply systems such as batteries, thermopiles, photo voltaic cells, and inductive power supplies has been investigated. It was shown that microcoils are the best suitable power supply of the *Smart Bracket* system. These coils are supplied by power through a time varying magnetic field generated by a transmitter coil. The coils enable (i) a power supply of several 100 mW, (ii) simple CMOS integration through post-CMOS processing, and (iii) integration of bidirectional data transmission of the system.

To define an optimum coil design, an analytical electrical model for the coils was implemented. Three different design approaches were investigated: (i) planar electroplated coils, (ii) planar CMOS-metal-based coils, and (iii) three-dimensional coils. It was shown that CMOS-metal based coils being fabricated in the available CMOS process, do not supply a sufficient amount power. Three dimensional coils would supply enough power, but require a rather complex fabrication process. Planar coils, fabricated with thick photoresists and standard electroplating processes, have the advantage of supplying enough power and further increasing the transmitted power by fabricating several layers of planar coils on top of each other. Planar coils with varying line widths, line spacings, and number of windings were fully investigated with respect to the transmitted power for a given available receiver area.

A process capable of fabricating the desired coils has been developed. It combines (i) thick photoresist lithography, (ii) electroplating, and (iii) coil packaging using SU-8 lithography on non-planar substrates. The designed mask layout features widely varying design parameters to fully

investigate the behavior of the coils and enables the fabrication of n-layer coils. The successful application of all necessary processing steps was verified and the packaging of consecutive coil layers on top of the substrate was demonstrated. These coils can either be fabricated on top of the processed CMOS wafer or attached to the CMOS system with the help of electroplated solder bumps. This process is an important step for the successful fabrication of a *Smart Bracket* power supply and data transmission system.

Zusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit untersucht Systeme und schlägt Lösungen zur drahtlosen Energieübertrag für das *Smart Bracket* System vor. Das *Smart Bracket* Projekt hat das Ziel, alle über eine feste Zahnspanne auf einen Zahn aufgebrachten Spannungen und Drehmomente mit einem integrierten Stresssensor-System zu messen. Die Energie- und Datenübertragung des Systems erfolgt drahtlos. Dieses auf CMOS Technologie basierende Sensor System sollte kleiner als $3 \times 3 \text{ mm}^2$ sein. Ein neuartiger Fertigungsprozess zur Herstellung von SU-8 verpackten mehrlagigen Mikrospulen für die induktive Energie- und Datenübertragung wurde entwickelt.

Die Anwendung von mehreren Energieversorgungsarten, wie z.B. Batterien und induktive Kopplung wurden untersucht. Es wurde gezeigt, dass Mikrospulen die beste Energieversorgung darstellen. Diese Spulen sind induktiv an eine Erregerspule gekoppelt, welche durch ein zeitlich verändertes Magnetfeld die Spulen mit Energie versorgt. Die Vorteile von Spulen sind (i) die Möglichkeit der Bereitstellung von mehreren 100 mW Leistung, (ii) die Integration auf CMOS Chips durch Prozessierung auf diesen und (iii) die Integration von bidirektionaler Datenübertragung des Systems.

Um eine optimales Spulendesign zu finden, wurde ein analytisches Ersatzschaltbild für die Spulen erstellt. Drei verschiedene Ansätze wurden betrachtet: (i) planare galvanisierte Spulen, (ii) planare, CMOS prozessierte Spulen und (iii) dreidimensionale (3D) Spulen. Es wurde gezeigt, dass Spulen, die in dem verfügbaren CMOS Prozesses gefertigt würden, nicht genügend Leistung zur Verfügung stellen können. 3D Spulen könnten das System mit genügend Leistung versorgen, wären aber schwer zu realisieren. Planare Spulen, die mittels dickem Fotolack und gängigen Galvanikprozessen gefertigt werden, haben den Vorteil, dass sie genügend Leistung zur Verfügung stellen, und dass diese Leistung durch zusätzliche Spulenlagen erhöht werden kann. Planare Spulen mit unterschiedlichen Linienbreiten, Linienabständen und Windungen wurden auf die übertragene Leistung für eine gegebene, verfügbare Spulenfläche untersucht.

Es wurde ein Prozess zum Herstellen der gewünschten Spulen entwickelt. Er kombiniert (i) die Lithographie dicker Photolacke, (ii) galvanische Schichtabscheidung und (iii) das Verpacken der Spulen mit Hilfe von SU-8 auf nicht-planaren Substraten. Das Layout beinhaltet Spulen mit verschiedensten Geometrieparametern und ermöglicht die Fertigung von n-lagigen, verpackten Spulen. Die erfolgreiche Anwendung aller benötigten Schritte wurde verifiziert. Diese Spulen könne entweder auf einem bereits prozessierten CMOS Wafer hergestellt werden, oder sie werden mit Hilfe von galvanisch abgeschiedenen Lötstellen auf das CMOS System gelötet. Dieser Prozess ist ein wichtiger Schritt zur erfolgreichen Herstellung eines Energie- und Datenübertragungssystems für das *Smart Bracket*.

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