

# Abstract

This thesis studies residual stress issue caused by differing coefficients of thermal expansion (CTE) between silicon and glass materials and their influences on MEMS-based sensors. Among many aspects of the factors than caused the stress effects, the main concern was the effect of bonding temperature, materials properties and structure of the bonding materials. These are the factors have the largest effect on stress issue and the bond performance. The structure of this thesis was based on four steps.

Classic laminate theory (CLT) was employed to develop an analytical mode for predicting the wafer bow and the residual stress, which are created due to the mismatch in CTE between silicon and glass materials. The analytical solution was critically verified by experimental results. A software based on the mathematics model was then developed by using MATLAB tools to predict the wafer bow and residual thermal stress. These MATLAB codes are shown in the appendix A.

Experiments were carried out with several types of anodic bondable materials and their bond behaviour are investigated. The bonding data of these materials can be used as the database for the developed software and the results of this work provide a comprehensive overview of bonding parameters for different bondable materials and can be used to achieve a higher degree of freedom in the design of hermetic wafer level packaging for various MEMS devices.

Finite element analysis (FEA) was employed to study the influence of residual stress generated from the mismatched CTE after anodic bonding on the output signal of a piezoresistive pressure sensor. The relationship between residual stress and output signal is direct setup by numerical simulation. This relationship can be then used to evaluate the residual stress on different sensitivity MEMS structure and different bonding materials to give an optimized bonding and design solution for sensitive MEMS.

A real MEMS sensor with two different bonding structures are fabricated and bonded to evaluate the anodic bond stress effect. These concepts consist of a thin glass layer, which is deposited onto a silicon wafer containing silicon vias using bulk micromachining technology, and a bulk glass material SW-YY with glass vias, which CTE is much similar with that of silicon's. Two of the proposed concepts are verified with electrical measurement after the fabrication process.

This thesis has contributed to an improved knowledge of stress analysis for the anodic bonding process and the MEMS sensor packaging process. With the help of developed mathematics model and simulation process, they can be used to optimize structure design and bonding parameters of MEMS packaging.

Key words: MEMS packaging, anodic bonding, stress-free bonding

# Zusammenfassung

Diese Arbeit untersucht das Problem der Eigenspannung, die durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE) zwischen Silizium- und Glasmaterialien verursacht wird und deren Einflüsse auf MEMS-basierte Sensoren. Neben vielen Einflussfaktoren, die die Spannungseffekte verursachen, bestand die hauptsächliche Problematik in der Auswirkung der Verbindungstemperatur, der Werkstoffeigenschaften und der Struktur der Verbindungsmaterialien. Diese Faktoren üben den größten Einfluss auf die Stressemission und die Bondperformance aus. Die Struktur dieser Arbeit basierte auf vier Schritten.

Mit Hilfe der klassischen Laminattheorie (CLT) wurde ein Analysemodus zur Vorhersage des Waferbows und der Restspannung, die aufgrund der Fehlanpassung des CTE zwischen Silizium- und Glasmaterialien entstehen, entwickelt. Die analytische Lösung wurde durch experimentelle Ergebnisse kritisch überprüft. Anschließend wurde eine auf dem mathematischen Modell basierende Software unter Verwendung von MATLAB entwickelt, um den Waferbow und die verbleibende thermische Spannung vorherzusagen. Diese MATLAB-Codes sind im Anhang A angefügt.

Es wurden Versuche mit verschiedenen Arten von anodisch bindenden Materialien durchgeführt und deren Bindungsverhalten untersucht. Die Bonddaten dieser Materialien wurden in die Datenbank der entwickelten Software eingebunden. Die Ergebnisse dieser Arbeit geben einen umfassenden Überblick über die Bondparameter für verschiedene bondfähige Materialien. Diese können verwendet werden, um einen höheren Freiheitsgrad bei der Gestaltung von hermetischen Wafer-Level-Packaging für verschiedene MEMS-Bauelemente zu erreichen.

Mithilfe der Finite-Elemente-Analyse (FEA) wurde der Einfluss der Restspannung, die durch den fehlangepassten CTE nach anodischer Bindung erzeugt wird, auf das Ausgangssignal eines piezoresistiven Drucksensors untersucht. Die Beziehung zwischen Restspannung und Ausgangssignal wird direkt durch eine numerische Simulation ermittelt. Diese Beziehung kann verwendet werden, um die Restspannung auf MEMS-Strukturen mit unterschiedlicher Empfindlichkeit und unterschiedlichen Verbindungsmaterialien zu bewerten. Dadurch ist es möglich ein optimiertes Verbindungs- und Designkonzept für empfindliche MEMS zu generieren.

Ein MEMS-Sensor mit zwei unterschiedlichen Bindungsstrukturen wird hergestellt und gebondet, um den anodischen Bindungsspannungseffekt zu realisieren. Diese Systeme bestehen aus einer dünnen Glasschicht, die mit Hilfe der Bulk-Mikrobearbeitungstechnologie auf einen Siliziumwafer mit Silizium-Vias aufgebracht wird, und einem Bulk-Glasmaterial SW-YY mit Glas-Vias, dessen CTE dem von Silizium sehr ähnlich ist. Zwei der vorgeschlagenen Systeme werden nach dem Herstellungsprozess durch elektrische Messung verifiziert.

Diese Arbeit dient dazu ein besseres Verständnis der Spannungsanalyse des anodischen Bondprozesses und MEMS-Sensor-Packaging's zu erlangen. Mithilfe des entwickelten mathematischen Modells und des Simulationsprozesses können Strukturdesign und Bindungsparameter von MEMS-Packages optimiert werden.

Stichwörter: MEMS-Packaging, anodisches Bonden, stressfreies Bonden