

OMM-Drehraten- und Beschleunigungssensoren

Dr. F. Lärmer

Dr. Franz Lärmer

Forschung und Vorausbentwicklung
Robert Bosch GmbH
Abteilung FV/FLD
Postfach 10 60 50

70049 Stuttgart

OMM-Beschleunigungssensoren

1. Universeller Basisprozeß zur Herstellung von Sensoren in Oberflächenmikromechanik

basierend auf epitaktisch abgeschiedenem Polysilicium (EpiPoly):

- Schichtsystem
- Technologieablauf 4-Maskenprozeß
- Einsatzpotential

2. Funktionsweise von OMM-Beschleunigungssensoren in dickem EpiPoly

- laterale Sensierrichtung
- vertikale Sensierrichtung

3. OMM-Foundry Service im EUROPRACTICE-Programm (Framework IV der EU)

- 4-Masken-EpiPolyprozeß als flexible Ausgangsbasis für OMM-Anwendungen
- Multichip-Costumer Runs (Planung: Zwei Prozeßdurchläufe/Jahr)
- Kostengünstiger Technologiezugang für Forschungseinrichtungen und KMU's

Inhalt

Die Oberflächenmikromechanik beschränkt sich zur Herstellung von Mikrostrukturen auf die Prozessierung der Wafervorderseite, auf der eine Folge von Schichtdepositionen, Strukturierungsschritten und Schritten zur lokalen und selektiven Entfernung einzelner Schichten vorgenommen wird. Durch den Verzicht auf die flächenverzehrende anisotrope Naßätzung des Bulk-Siliciums ist der Flächenbedarf auch bei der Herstellung sehr komplexer mikromechanischer Gebilde in dieser Technologie minimal, da nur die für das Element selbst benötigte Chipfläche verbraucht wird. Die Oberflächenmikromechanik gilt daher als die Schlüsseltechnologie zur Herstellung besonders kostengünstiger, leistungsfähiger Sensoren, wie sie besonders im Automobilbereich zunehmend gefordert werden.

Bei Bosch wurde ein flexibler Oberflächenmikromechanik-Basisprozeß entwickelt, der eine möglichst große Palette von Sensoranwendungen abdecken soll, unter anderem die besonders wichtigen Anwendungen im Bereich der Beschleunigungssensierung z.B. für Rückhaltesysteme im Kfz. Der Prozeß stellt eine dicke epitaktisch abgeschiedene Polysiliciumschicht zur Herstellung der beweglichen Sensorelemente, Opfer- und Isolationsschichten sowie eine vergrabene Polysiliciumebene zur Herstellung unterer Elektroden oder vergrabener Leiterbahnen zur Verfügung.

Dieser Technologieablauf ist in den nachfolgenden Abbildungen skizziert: Nach dem Aufwachsen eines thermischen Oxids auf einem Siliciumwafer als spätere Isolationsschicht (Abbildung 1) wird dünnes Polysilicium abgeschieden, dotiert und strukturiert (Abbildung 2). Aus diesem elektrisch sehr gut leitfähigen Material werden Leiterbahnen für vergrabene elektrische Kontaktierungen bzw. Elektrodenfelder etc. erzeugt. Über dem Leit-Polysilicium wird eine Oxidschicht als spätere Opferschicht abgeschieden (Abbildung 3). Die Dicke dieses Oxids bestimmt den Abstand der am Prozeßende freiliegenden beweglichen Strukturen zum Leitpolysilicium. Über diesem Oxid wird nochmals eine dünne Polysiliciumschicht aufgebracht und an denjenigen Stellen entfernt, wo später eine Verbindung zum unteren Polysilicium bzw. zum Substrat benötigt wird (Abbildung 4). In diesen Öffnungen wird das Opferoxid bzw. das Opfer- und das Isolationsoxid bis zum vergrabenen Polysilicium bzw. zum Siliciumsubstrat durchgeätzt (Abbildung 5). Im nächsten Schritt wird in einem Epitaxiereaktor das dünne Polysilicium, das als Start für das epitaktische Aufwachsen dient, auf eine Dicke von 12 µm verstärkt. Darüber wird eine Metallschicht gesputtert und darin Kontaktpads strukturiert (Abbildung 6). Im Anschluß daran wird durch einen anisotropen Plasmaätzprozeß das EpiPoly mit Hilfe einer Photolackmaske bis zum vergrabenen Opferoxid durchgetrennt und der Photolack entfernt (Abbildung 7). Im letzten Schritt erfolgt das selektive Entfernen der Opferschicht in einem flußsäurehaltigen Medium (Abbildung 8), so daß frei bewegliche Strukturen entstehen.

Als Einsatzgebiete für diesen Prozeß seien beispielhaft Beschleunigungssensoren genannt. In Abbildung 9 sind mögliche Grundprinzipien von lateral bzw. vertikal sensierenden Beschleunigungssensoren skizziert, die in dieser Technik realisiert wurden. Die Sensierung erfolgt in beiden Fällen kapazitiv. Eine Auslenkung der seismischen Masse aufgrund einer auf den Sensor einwirkenden Beschleunigung führt zu einer Abstandsänderung in einer Kondensatorstruktur, die eine entsprechende Kapazitätsänderung zur Folge hat, welche gemessen wird. Bei lateraler Sensierungsrichtung geschieht diese Kapazitätsauswertung über Fingerstrukturen¹, die sowohl am beweglichen Sensorelement als auch (auf der isolierenden Zwischenschicht) auf dem Siliciumfestland befestigt sind und einander in geringem Abstand gegenüberstehen. Die Dicke des EpiPolysiliciums schafft in Verbindung mit den hohen erreichbaren Aspektverhältnissen des Trenchprozesses, d.h. Ätztiefe zu Breite der Trenchgräben zwischen den Fingern eine so hohe Grundkapazität im pF-Bereich, daß diese Sensorkapazitäten durch einen separaten Elektronikchip ausgewertet werden können und die Notwendigkeit einer Schaltungsintegration entfällt. Ein Chipfoto eines solchen Sensors mit separatem elektronischen Auswertechip ist in Abbildung 11 gezeigt.

Im rechten Teil von Abbildung 9 findet sich die Skizze eines Beschleunigungssensors mit vertikaler Sensierrichtung in dieser Technik, wobei die seismische Masse asymmetrisch über Torsionsfedern beidseitig drehbar gelagert ist. Wirkt eine Beschleunigung in Richtung senkrecht zum Wafer auf diese ein, kommt es infolge der zum Drehgelenk unsymmetrischen Masseverteilung zu einer Drehbewegung aus der Waferebene heraus, die durch Gegenelektroden unter den beiden ungleichen Teilen der Masse kapazitiv ausgewertet wird. Der Vorteil der Verwendung von dickem EpiPoly in diesem Design mit out-of-plane Torsionsfreiheitsgrad verglichen zu Konzepten, welche auf dünnen LPCVD-Polysili-

¹ The Analog Devices ADXL 50, Electronic Design, Aug. 8, 1991, p45

cium-Strukturen mit out-of-plane-Biegefreiheitsgrad basieren² besteht darin, daß aufgrund der größeren Materialdicke und -Qualität wesentlich spannungsärmere, verwölbungsfreie Gebilde realisiert werden können und keine zusätzlichen oberen Gegenelektroden für die Auswertung der Differenzkapazitäten benötigt werden.

Abbildung 10 zeigt das Selbsttestkonzept eines lateral sensierenden Kammstruktur-Beschleunigungsaufnehmers, bei dem die kapazitive Fingerstruktur als elektrostatischer Aktor eingesetzt wird, um das Sensorelement auszulenken. Die infolge einer angelegten Prüfspannung zwischen den Fingern der seismischen Masse und des Festlands bewirkte Auslenkung wird anschließend kapazitiv detektiert und die Integrität des Sensors damit nachgewiesen.

Die aufgeführten Beispiele von Beschleunigungssensoren für laterale und vertikale Sensierrichtung demonstrieren das Potential dieser Oberflächenmikromechanik-Technologie, die von Bosch im Rahmen des EUROPRACTICE-Programms der EU (Framework IV) als Foundry-Service angeboten wird. Externen Interessenten wird damit ein einfacher Zugang zu einer zukunftsweisenden Technologie eröffnet, was insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen von großem Interesse sein sollte. Dem bereits mit der Materie vertrauten Experten einer Forschungseinrichtung bietet sich die Chance, in einem industrienahen Prozeß zu designen und Muster aus einer laufenden industriellen Fertigung zu beziehen. Interessenten werden gebeten, sich für nähere Auskünfte und detaillierte Designrules an die in Abbildung 12 angegebene Kontaktadresse zu wenden.

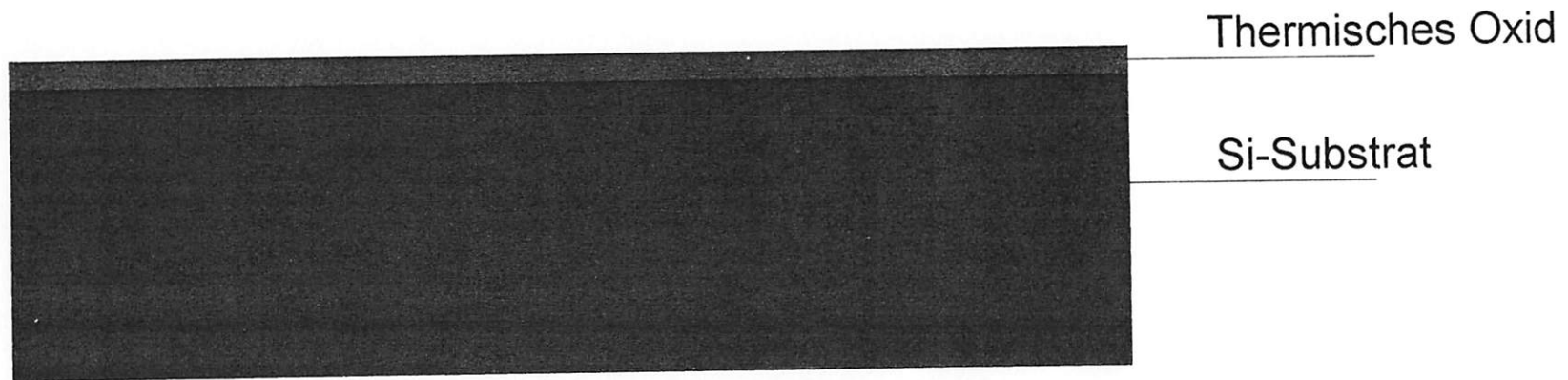
² Lj. Ristic, D. Koury, E. Joseph, F. Shemansky, and M. Kniffin, Microsystem Technologies'94 Conference, Berlin (Germany), p77

OMM-Beschleunigungssensoren)

- * Universeller Oberflächenmikromechanikprozeß:
Schichtsystem, Technologieablauf
- * Funktionsweise OMM-Beschleunigungssensoren:
 - laterale Sensierrichtung
 - vertikale Sensierrichtung
- * OMM-Foundry Service
(EUROPRACTICE-Programm im Framework IV der EU)

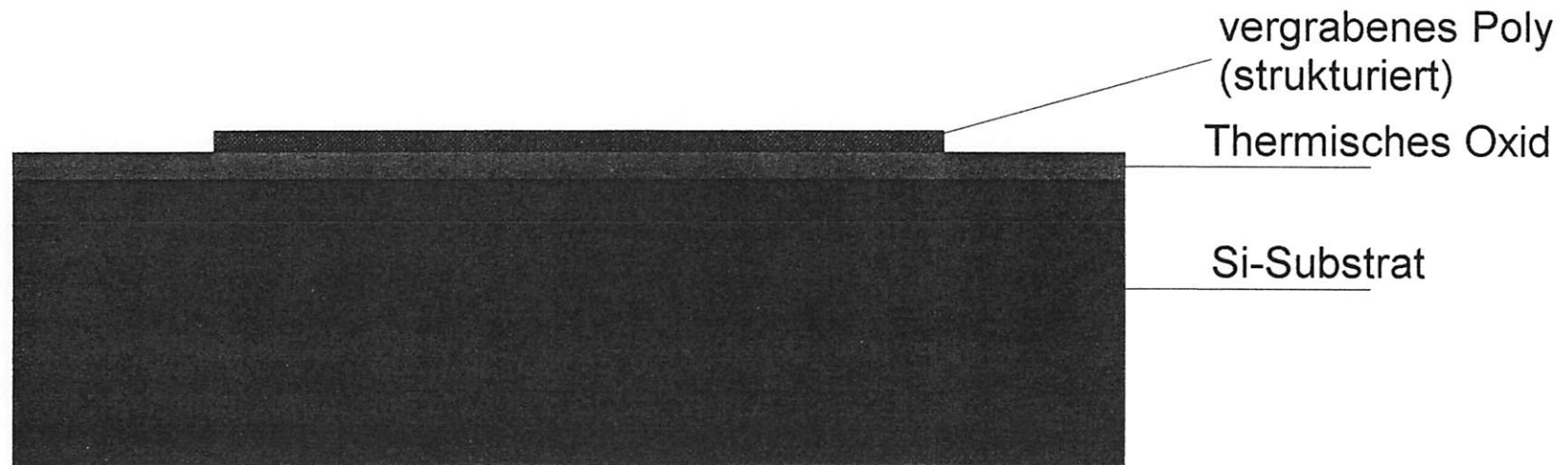
OMM-Prozeß für Beschleunigungssensor

Aufwachsen thermisches Oxid (Isolationsoxid)



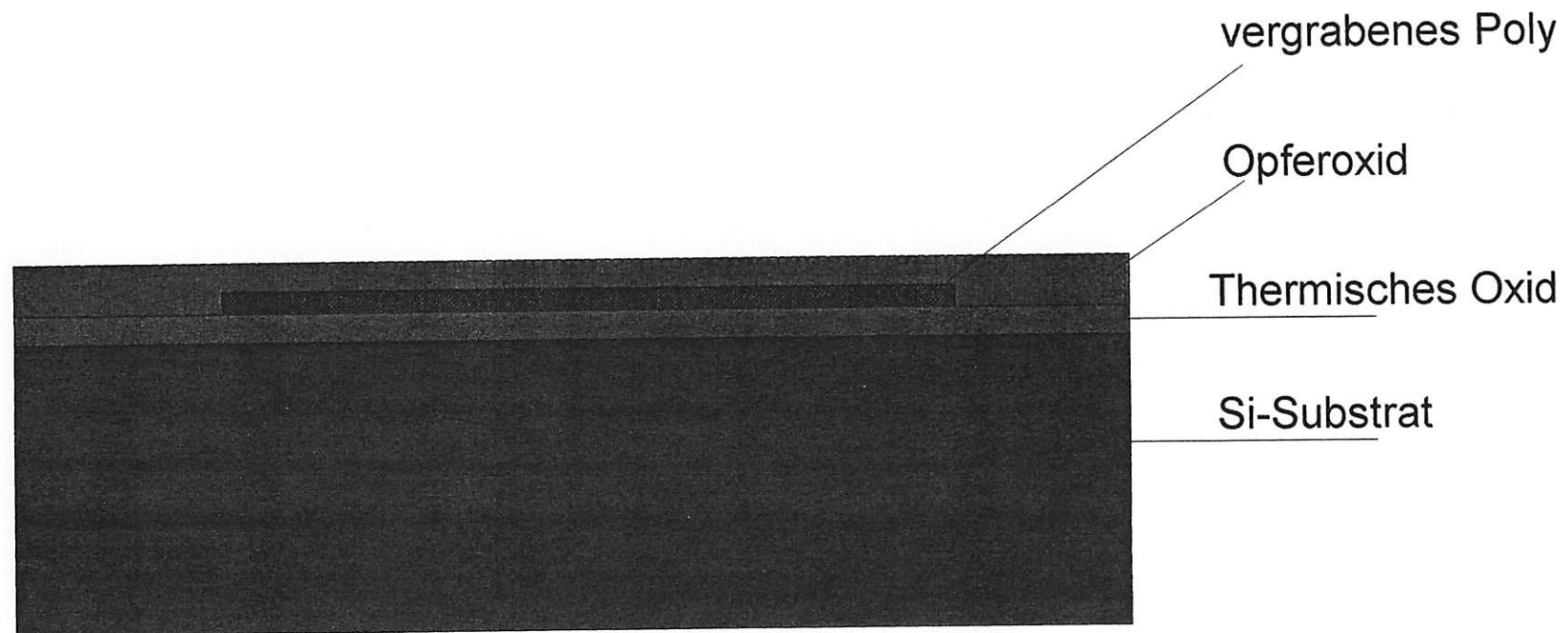
OMM-Prozeß für Beschleunigungssensor

Deposition und Strukturierung vergrabenes Leitpoly



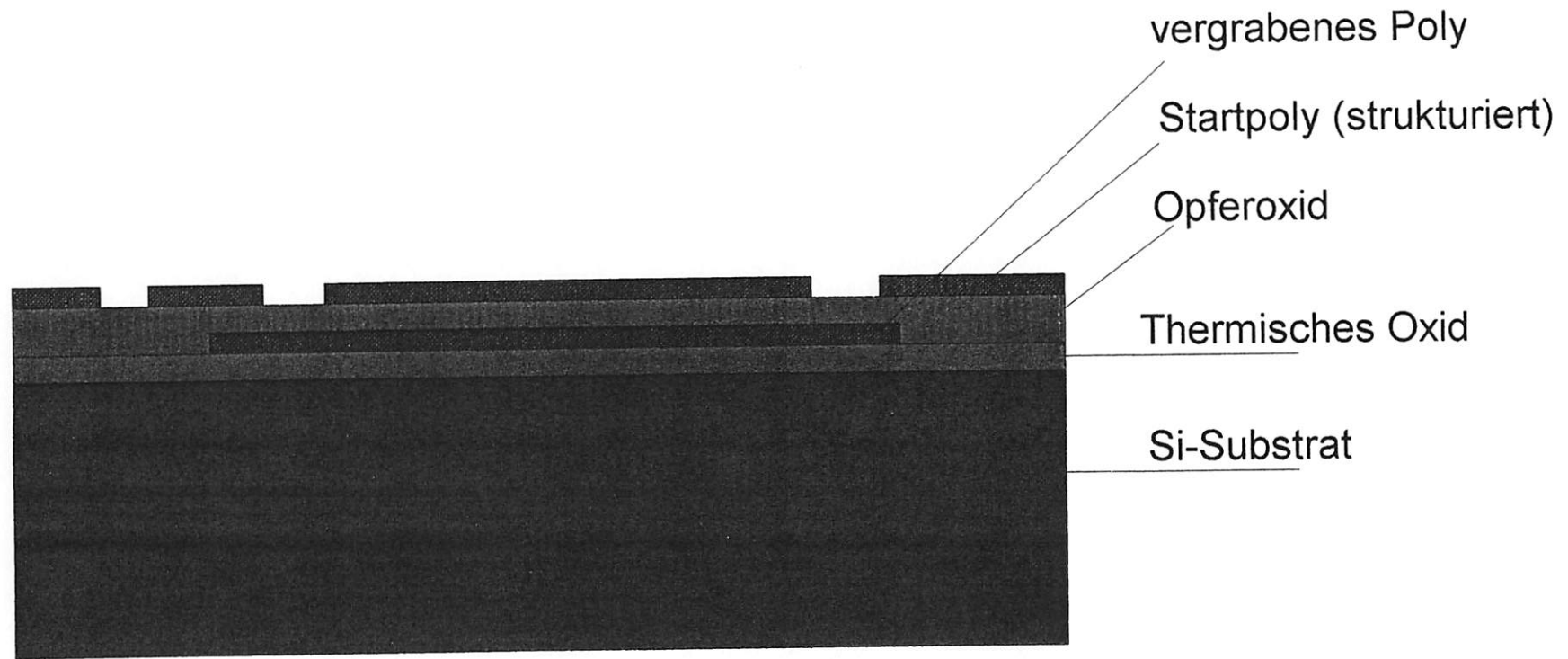
OMM-Prozeß für Beschleunigungssensor

Deposition Opferoxid



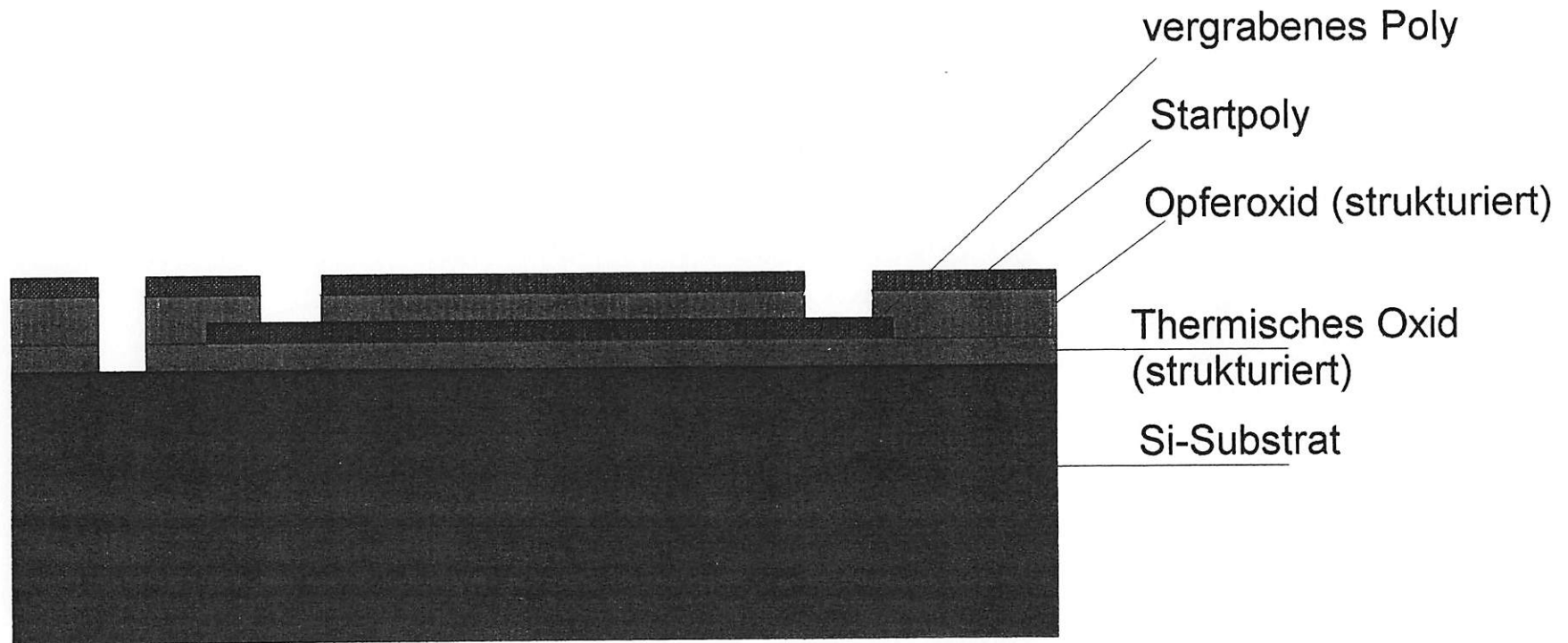
OMM-Prozeß für Beschleunigungssensor

Deposition und Strukturierung Startpoly



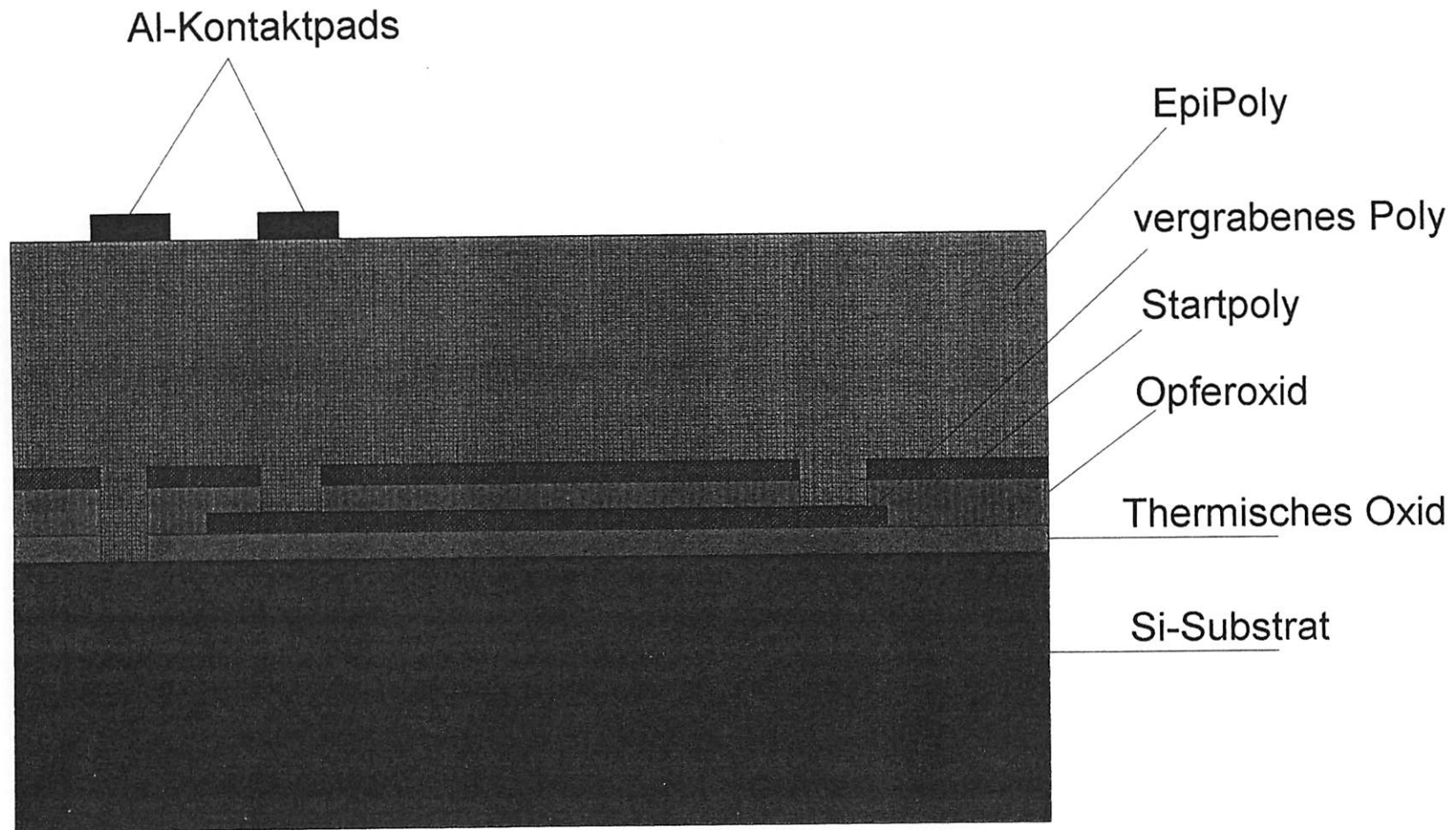
OMM-Prozeß für Beschleunigungssensor

Strukturierung Oxid



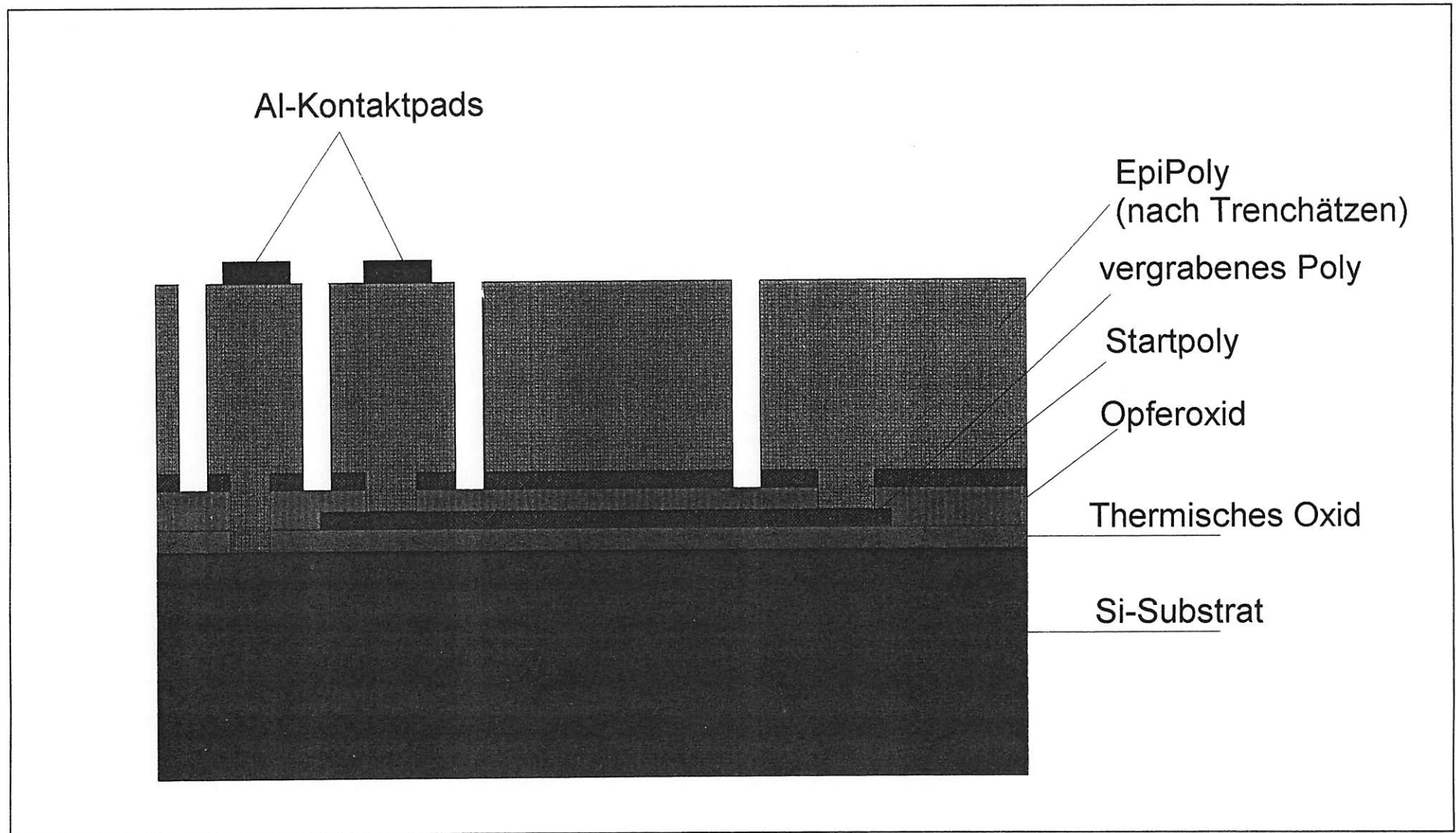
OMM-Prozeß für Beschleunigungssensor

Aufwachsen EpiPoly, Metallisierung, Ätzen Kontakte



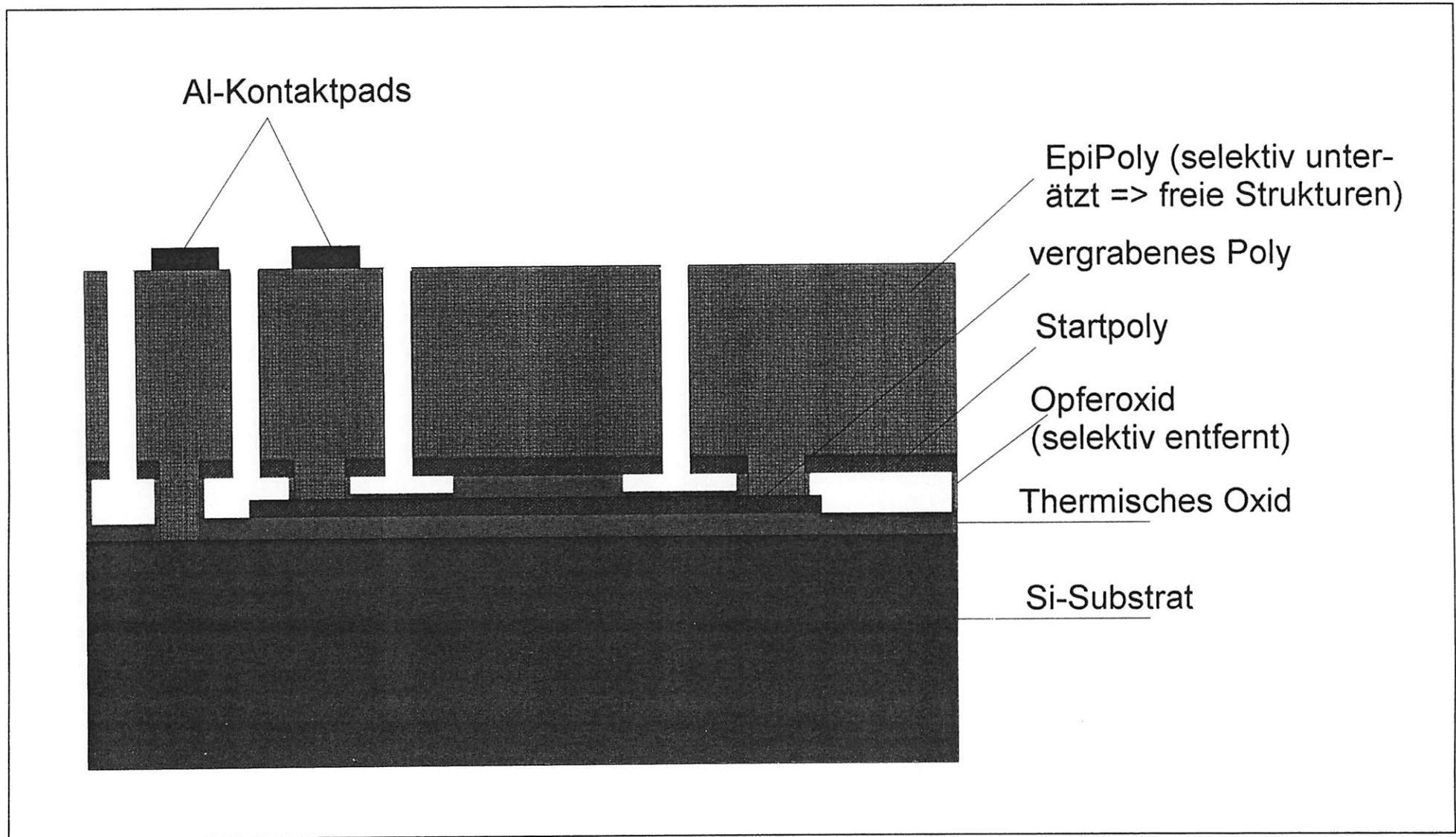
OMM-Prozeß für Beschleunigungssensor

Tieftrench EpiPoly



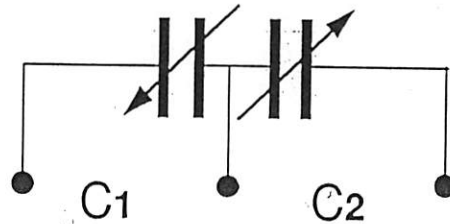
OMM-Prozeß für Beschleunigungssensor

Selektives Entfernen der vergrabenen Opferschicht



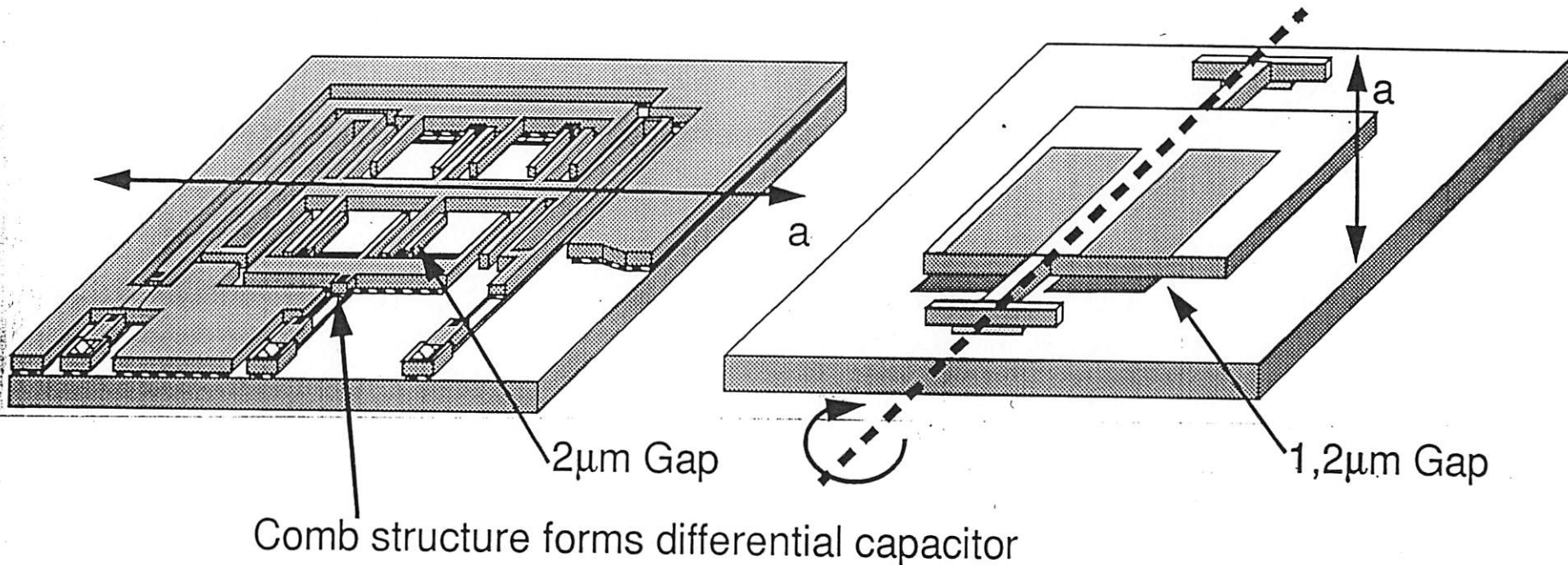
Maxima

Detection principle: Differential capacitive system.



Lateral: Comb structure with movable and fixed electrodes

Vertical: Rotating plate, Asymmetrically suspended



Comb structure forms differential capacitor

BOSCH

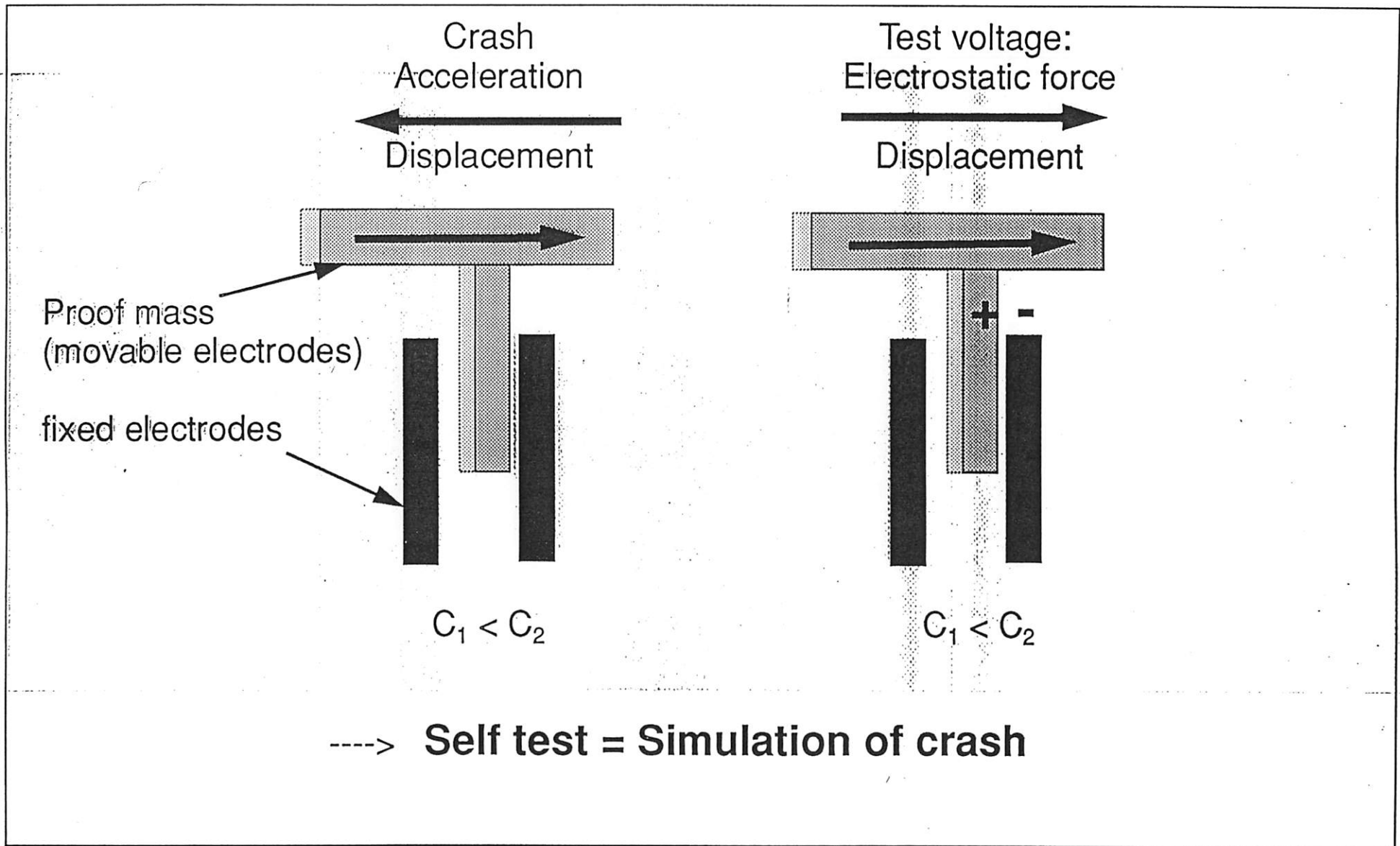


Abb. 9

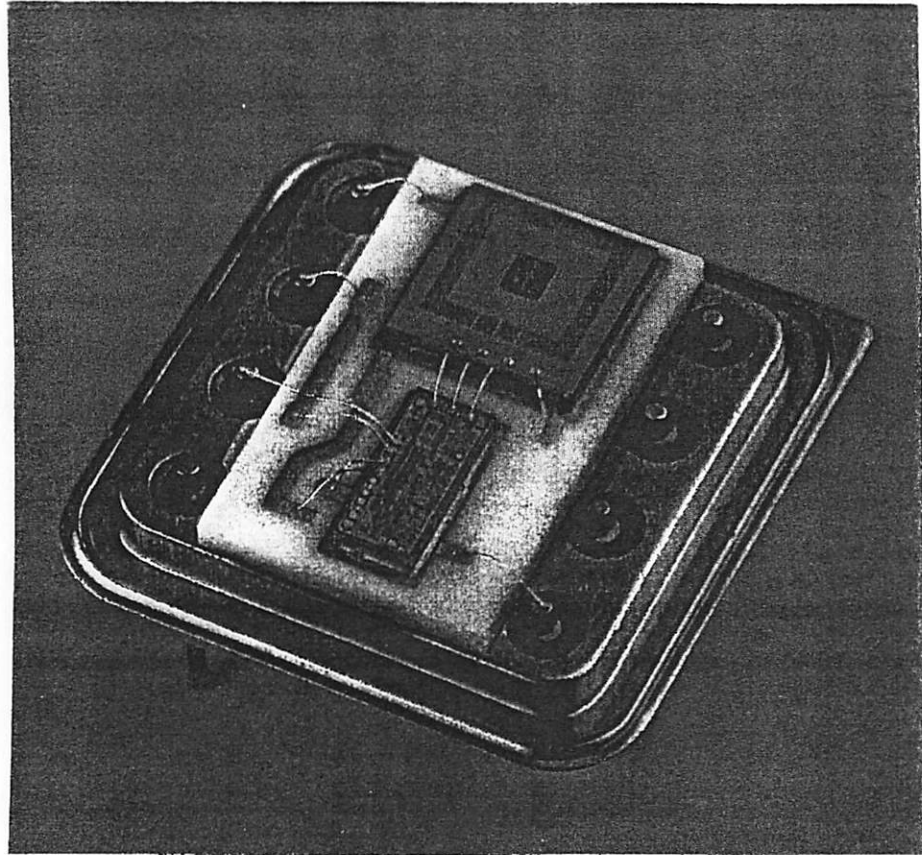
K8/ESE3-Og

11/95

Self Test in Safety-Critical Systems



Accelerometer for airbag control units



Based on MAXIMA technology:

Surface micro machining

Epipoly

Off-chip evaluation

1 and 2 sensitivity axes

Electrostatic self test feature

OMM-Beschleunigungssensoren)

OMM-Foundry Service

(EUROPRACTICE Programm im FRAMEWORK IV der EU)

- * Flexibler Basisprozeß mit universellem Einsatzpotential
- * Einfacher Zugang zur Mikrosystemtechnik, kostengünstiger Einstieg in die Technologie insbesondere für KMU's
- * Chance für Forschungseinrichtungen, in einem industrienahen Prozeß zu designen und kostengünstig Muster zu erhalten
- * Kontaktadresse: Robert Bosch GmbH Reutlingen
Dr. Michael Offenberg
Abteilung K8/ESE
Tel.: 07121 35 1966
Fax: 07121 35 1493