

Zwischenbericht zum Verbundvorhaben

"Einsatz der Mikromechanik zur Herstellung frequenzanaloger Sensoren"

Laufzeit: 1.7.1989 - 30.6.1992

Berichtszeitraum: 1.7.1991 - 31.12.1991

**Verbundpartner: Bizerba-Werke, Balingen
Bosch GmbH, Stuttgart
GMS, St. Georgen
Moto Meter AG, Leonberg
Hahn-Schickard-Institut für Mikro- und
Informationstechnik, Villingen-Schwenningen**

Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung von Technologien zur Herstellung miniaturisierter Resonatoren aus Quarz und Silizium und die Untersuchung ihrer Eignung als frequenzanaloge Sensoren. Über die im Zeitraum 1.7.1991-31.12.1991 durchgeführten Arbeiten haben die Verbundpartner auf dem Statusseminar am 17.1.1992 in Gerlingen ausführlich berichtet (siehe die schriftlichen Einzeldarstellungen).

Die wichtigsten Resultate werden im folgenden kurz zusammengefaßt.

1. Es wurden Muster thermisch angeregter Silizium-Balkenstrukturen hergestellt und auf ihre Eignung als frequenzanaloge Kraftsensoren untersucht. Die thermische Anregung erfolgt mit Hilfe von zwei Heizelementen, die sich an den Enden des Balkens befinden. Die Signalabnahme geschieht mit vier NiCr-Dehnungsmeßstreifen, die in der Mitte des Balkens angeordnet sind. Untersuchungen an diesen Mustern führten zu folgenden Erkenntnissen:
 - Die Strukturierungsgenauigkeit muß noch wesentlich erhöht werden. Dazu ist die Entwicklung einer neuen Technologiefolge erforderlich.
 - Das zur Kontaktierung verwendete Metallschichtsystem ist für den Einsatz oberhalb von ca. 125°C aufgrund von Alterungsprozessen nicht geeignet. Zur Sicherung einer Hochtemperaturbeständigkeit ist die Entwicklung eines thermisch stabileren Kontaktsystems notwendig.
 - Mit Hilfe einer elektronischen Erregerschaltung wurde nachgewiesen, daß ein stationärer, selbsterregter Betrieb des Resonators möglich ist. Die Resonanzfrequenz hängt jedoch stark von den Verhältnissen der Wärmeabgabe an die Umgebung ab, so daß eine direkte Anwendung in Kraftaufnehmern nicht möglich ist. Diese Querempfindlichkeit ist im wesentlichen durch die Wärmeerzeugung der NiCr-Dehnungsmeßstreifen bedingt. Eine Verbesserung ist daher bei Verwendung von Dehnungsmeßstreifen mit wesentlich höherem K-Faktor (z.B. Poly-Silizium) bei gleichzeitiger Reduzierung der Speisespannung denkbar. Die große gemessene Abhängigkeit der Resonanzfrequenz von der Strömungsgeschwindigkeit der umgebenden Luft bietet andererseits die Möglichkeit, einen Aufnehmer zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten mit frequenzanalogem Ausgangssignal zu entwickeln.
2. Es wurden Muster piezoelektrisch angeregter Quarz-Membranen hergestellt und auf ihre Eignung als frequenzanaloge Drucksensoren untersucht. Die neuartige Anregungsart beruht auf der Erzeugung von Biegeschwingungen durch Anregung von Scherschwingungen und erfolgt über ZnO-Elektroden, die mittels Laserstrahl strukturiert werden. Es wurde nachgewiesen, daß diese Sensorstruktur elektrisch anregbar ist und eine brauchbare Druckempfindlichkeit besitzt. Die Ätzstruktur muß jedoch verbessert werden bezogen auf den Kopplungsfaktor und auf die optimalen Einspannverhältnisse.

3. Es wurden Muster piezoelektrisch angeregter Silizium-Biegebalken hergestellt. Die Anregung erfolgt mit Hilfe piezoelektrischer ZnO-Schichten. Der Herstellungsprozeß wurde weiter verbessert. Insbesondere konnte mit einem modifizierten Plasmaprozeß zur Abscheidung von Siliziumoxid bei niedriger Temperatur eine beständige Passivierung von metallisiertem ZnO erzielt werden, ohne letzteres hinsichtlich seiner elektrischen Eigenschaften zu schädigen. Durch Kombination dieser Plasmaoxidschicht mit einer noch ätzbeständigeren sehr dünnen aufgesputterten Siliziumnitridschicht wurde eine praktisch perfekte Passivierung von ZnO erreicht. Das bei den Sensoren der ersten Generation aufgetretene Problem des elektrischen Übersprechens vom Antriebs- zum Aufnehmerelement wurde mit einer Reihe von technologischen Verbesserungen überwunden, so daß die Sensorstrukturen nun direkt elektrisch ausgewertet werden können. Mit Hilfe einer elektronischen Oszillatorschaltung konnten die Sensormuster auf ihrer Grundfrequenz stabil betrieben werden.
4. Es wurde ein Prozeß zur Herstellung piezoelektrisch angeregter Silizium-Dreifachbalkenstrukturen, der acht Lithographieschritte umfaßt, entworfen. Vorversuche zum Prozeßablauf, insbesondere zum naßchemischen Ätzen dünner ZnO-Schichten wurden durchgeführt. Ein erster Prozeßdurchlauf erfolgt nach Fertigstellung des Maskensatzes.
5. Es wurden dynamische Berechnungen an Siliziummembranen durchgeführt und der Einfluß der Parameter des Finite-Elemente-Modells auf die Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, daß nichtlineare Effekte und verschiedene Einspannbedingungen nur numerisch exakt berechnet werden können, d.h. analytische Rechnungen sollten lediglich für die Membrangrobdimensionierung und als Startwerte für FEM-Berechnungen verwendet werden.

Trotz unerwarteter technischer Schwierigkeiten, personeller Engpässe und zeitlicher Verzögerungen bei der Fertigstellung von Forschungslabors sind nun erste funktionsfähige Sensorstrukturen verfügbar. Um das Projekt zu einem sinnvollen Abschluß zu bringen, sind schwerpunktmäßig folgende weitere Arbeiten vorgesehen:

Thermisch angeregter Si-Biegebalken:

- Erprobung einer neuen Technologiefolge zur Erhöhung der Strukturierungsgenauigkeit,
- Untersuchungen am Metallschichtsystem zur Sicherung einer Hochtemperaturbeständigkeit,
- Test der Sensormuster hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit bezüglich Gasströmungen.

Quarz-Membran:

- Verbesserung der Ätzstruktur und Optimierung der elektronischen Schaltung mit dem Ziel, einen Drucksensor-Prototyp mit entsprechender Auswerteelektronik aufzubauen.

Piezoelektrisch angeregter Si-Biegebalken:

- Entwicklung eines vollständigen Batch-Prozesses zur Herstellung der Sensorstrukturen unter Einbeziehung von Hochratenplasmaätzverfahren,
- Redesign und Optimierung der Sensorstruktur mit dem Ziel, funktionsfähige Waagen als Demonstratoren mit frequenzanalogen Kraftsensoren auszustatten.

Silizium-Dreifachbalkenstrukturen:

- Entwicklung des vollständigen Batch-Prozesses zur Herstellung der Strukturen,
- Optimierung der Resonatorstruktur und Aufbau eines Kraftsensor-Prototyps.

Simulation:

- Berechnung verschiedener Stegquerschnittsgeometrien und deren Einfluß auf die Eigenschaften von Kraftsensoren,
- Piezoelektrische Finite-Elemente-Berechnungen zur Optimierung des Anregungsmechanismus.

Die Durchführung dieser Arbeiten, die zu einem sehr schönen Projektabschluß führen würden, sind nicht innerhalb der noch verbleibenden sechs Monate der Projektlaufzeit möglich. Daher ist eine Verlängerung des Projektes bis zum 31.12.1992 sehr wünschenswert. Diese wird von den Partnern einzeln beantragt.

S. Büttgenbach

Prof. Dr. S. Büttgenbach
Projekt-Koordinator