

Entwicklung von und Untersuchungen an Mikrofluidik-Systemkomponenten

F. Kohl, F. Keplinger, R. Fasching, P. Svasek, J. Steurer, A. Jachimowicz
Institut für industrielle Elektronik und Materialwissenschaften, TU Wien,
Gusshausstraße 27-29, 1040 Wien, Austria

Die Erzeugung komplexer dreidimensionaler Mikrostrukturen auf einem Chip mittels planarer Beschichtungs- und Photolithographieprozesse und photovernetzbarer Epoxide wird vorgestellt. Thermische Strömungssensoren auf der Basis von Thermistoren aus amorphem Germanium, die auch in Mikrosysteme integrierbar sind, wurden über einen extrem weiten Messbereich und unter extremen dynamischen Betriebsbedingungen charakterisiert. Aus der Antwort des Sensors auf akustische Schockwellen konnte unter Freifeldbedingungen eine Kleinsignal-Ansprechzeit von weniger als 1 ms nachgewiesen werden. Bei Strömungsquerschnitten unter 1 mm^2 bietet der Sensor einen Gasflussmessbereich von mehr als fünf Größenordnungen. Grundlage der hohen Auflösung ist das geringe Stromrauschen der Thermistoren.

1. Einleitung

Um den Weg zur Lab-on-Chip-basierten medizinische Diagnostik zu ebnet, werden heute allorts Mikrosystemkomponenten und mikrotechnologischen Verfahren entwickelt. Dabei erfordert die effiziente Analytaufbereitung dreidimensionale Mikrostrukturen, deren Realisierung nun mit Hilfe einer neuen Generation von Photolacken gelungen ist. Bereits entwickelte, miniaturisierte Strömungssensoren können als Systemkomponenten zur Steuerung und Überwachung von Mikroanalysatoren dienen. Je nach Anwendungsfall werden dabei sehr unterschiedliche Eigenschaften gefordert, von empfindlicher Anzeige geringer Strömungsgeschwindigkeiten bis hin zur schnellen Reaktion auf sprunghafte Änderungen der Strömung. Die vorgestellten Untersuchungsergebnisse an einem thermischen Mikroströmungssensor demonstrieren die extrem kurze Ansprechzeit und den außergewöhnlich weiten Messbereich dieser Sensoren.

2. Experimentelle Resultate

2.1 Technologien für Mikrofluidikkomponenten

Der Negativ-Photolack EPON-SU8 auf Epoxy-Basis ist für die Fertigung von mikromechanischen Strukturen besonders geeignet, da er für bestimmte mikrotechnologische Aufgaben eine Alternative zu den bisher eingesetzten Materialien, wie Siliziumnitrid, anisotrop geätztes Silizium, geätztes Pyrex usw. darstellt und darüber hinaus völlig neue Möglichkeiten erschließt. Nach Prozessierung der Strukturen (Belichten, Entwickeln und Härten) ist dieser Photolack mechanisch und chemisch sehr belastbar.

Die Strömung durch Mikrokanäle ist generell laminar ausgebildet. Bei einfacher Zusammenführung von Kanälen fließen Flüssigkeitsströme weiterhin kompakt nebeneinander und nur die Querdiffusion sorgt für eine allmähliche Durchmischung der Reagenzien.

Zur Abhilfe wurden daher miniaturisierte Anordnungen gesucht, welche einerseits die Durchmischung zweier Reagenzien forcieren und andererseits weiterhin die Möglichkeit zur dünnschichttechnischen Herstellung und damit auch zur bequemen Miniaturisierung bieten. Simulationen ließen erwarten, dass die laterale Führung der Strömung mittels Mikrostrukturen, die vor der Vereinigungsstelle der Kanäle platziert sind, bereits eine wesentliche Verbesserung bewirken. Fig. 1 zeigt derartige Führungsstrukturen, die dafür sorgen, dass die Berührungszone der abgehenden Teilströme parallel zur großen Kanalgrenzfläche liegt.

Die Trennschicht zwischen den beiden Rippenstrukturen kann nur auf eine planare Oberfläche aufgebracht werden, weshalb die Entwicklung der tragenden Rippenstruktur erst nach der Prozessierung dieser Trennschicht erfolgen kann. Bis dahin ist die untere Lackschicht, etwa mit Hilfe einer Metall-Zwischenschicht, gegen Belichtung zu schützen. Eine elegante Variante des Verfahrens arbeitet mit einer selbsttragenden Metalllage und verzichtet so auf zusätzliche Resistschichten. Das so erreichte extreme Seitenverhältnis des abgehenden Kanals sorgt für maximale Interdiffusion und typischen Durchmischungszeiten von 100ms. Weiters ist die Zahl der Ebenen prinzipiell nicht begrenzt. Erste Versuche einer Mehrlagenlithographie sind sehr zufriedenstellend verlaufen.

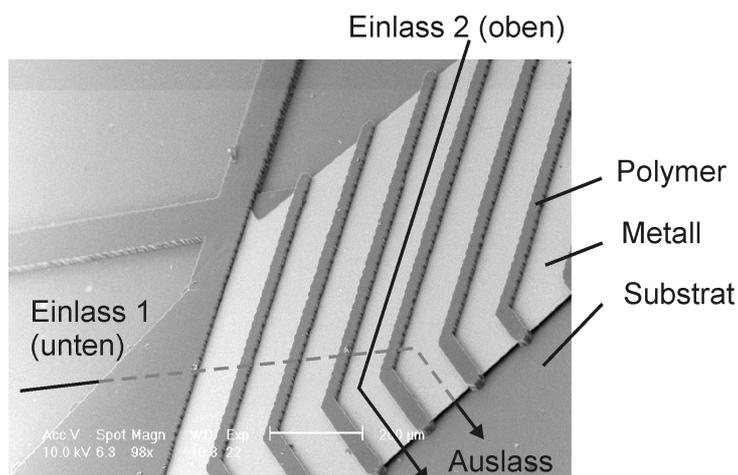


Fig. 1: REM-Aufnahme der Mikrostrukturen zur Strömungsführung (ohne Decklage).

2.2 Mikromechanischer Strömungssensor

Ein hochempfindlicher Strömungssensor basierend auf Thermistoren aus amorphem Germanium wurde mittels Silicon Micromachining realisiert [1]. Zur Bestimmung des Messbereichs als Durchflussmesser wurde der thermische Strömungssensor in die Wand eines Mikroströmungskanals integriert und sowohl mit konstanter Differenztemperatur als auch mit konstanter Betriebsleistung vermessen. Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass im temperaturgeregelten Betrieb ein maximaler Messbereich erzielbar ist. Geringe Ansprechzeiten sind allerdings wesentlich einfacher mit konstanter Betriebsleistung zu erreichen. Für diese Betriebsart wurden mit Hilfe von Schockwellen Ansprechzeiten von weniger als 1 ms nachgewiesen. Die vorgestellten Resultate wurden mit gasförmigen Medien gewonnen, wobei alle Erkenntnisse unter Berücksichtigung der entsprechenden Stoffkennzahlen auch auf Flüssigkeiten übertragbar sind.

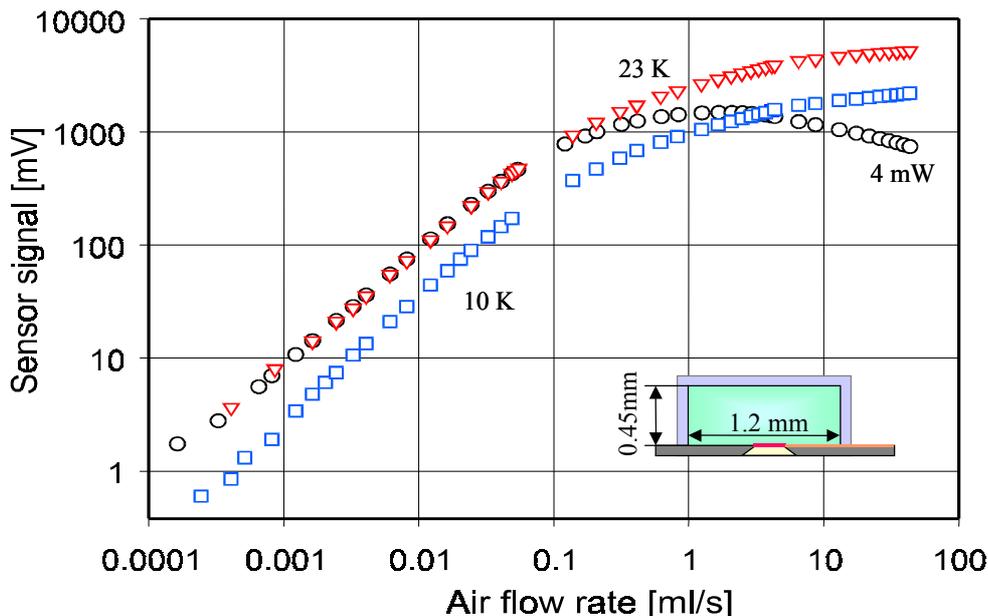


Fig. 2: Sensorsignal in Abhängigkeit vom Durchfluss. Die Resultate für konstante Übertemperatur (23 K (∇), 10 K (○)) und für konstante Betriebsleistung (□) gelten für den skizzierten Querschnitt des Durchflusskanals.

2.3 Untersuchung Temperatursensorstabilität

Für die zuverlässige direkte Messung kleiner Schwankungen bei niedrigen Frequenzen ist ein hoher apparativer Aufwand nötig. Es sind dafür die vom Sensor bewirkten Schwankungserscheinungen von allen anderen unvermeidlichen Störungen sauber zu trennen. Fig. 3 zeigt schematisch das Prinzip der verwendeten Messmethode.

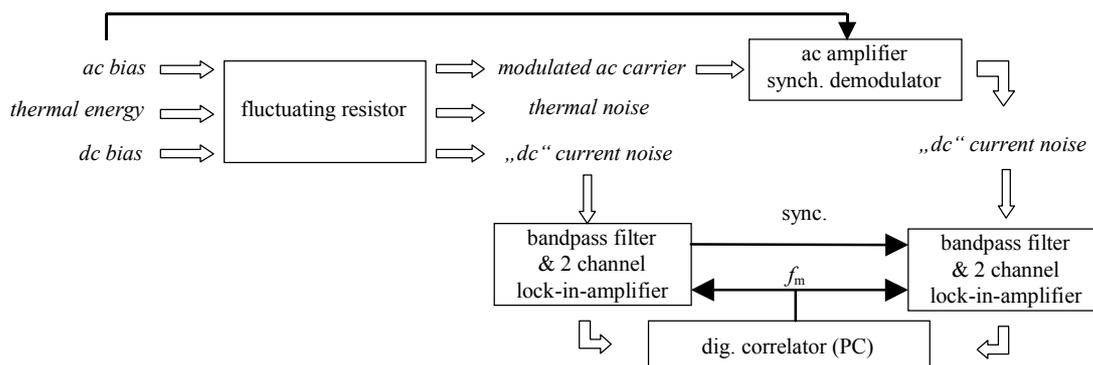


Fig. 3: Prinzip der Messung der spektralen Leistungsdichte des 1/f-Rauschens. Zwei Trägerfrequenzen (dc und 55 kHz) werden durch das Stromrauschen moduliert. Durch kohärente Demodulation entstehen daraus korrelierte Anteile in den digitalisierten Ausgangssignalen.

Fig. 4 gibt Resultate von Messungen an Germaniumthermistoren und an Metallfilmwi-
 derständen wieder. Man erkennt, dass der korrelierte Anteil der Rauschleistung wie er-

wartet annähernd mit $1/f_m$ variiert. Er wächst annähernd quadratisch mit der Vorspannung an den Proben. Zur Orientierung ist in Fig. 4 auch der frequenzunabhängige Pegel des thermischen Widerstandsrauschens eingetragen. Für Messergebnisse mit ausreichender Qualität sind lange Messzeiten (typisch 30 h je Frequenzgang) und damit eine automatische Steuerung der Messung erforderlich.

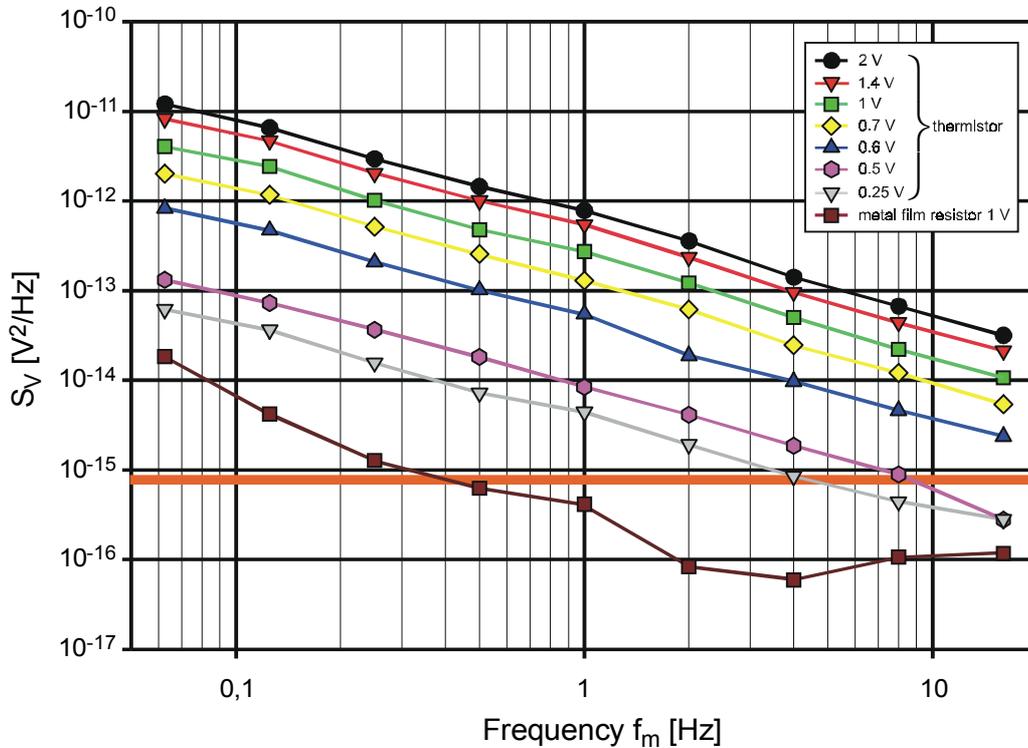


Fig. 4: Spektrale Leistungsdichte der Rauschspannung eines aGe-Thermistors und eines Metallfilmwiderstandes in Abhängigkeit der angelegten Spannung.

Ein umfangreiches Softwarepaket, bestehend aus einem Steuer- und einem Analysemodul, wurde auf der Basis der graphischen Programmiersprache G (LabView) entwickelt. Diese Plattform bot sich durch ihr umfangreiches Angebot an Gerätetreibern und Analyse- und Darstellungsfunktionen für die Signalbearbeitung an.

3. Zusammenfassung

Es ist gelungen, eine Technologie zur Herstellung dreidimensionaler Strukturen zu entwickeln, welche die Integration von unterschiedlichsten Sensoren und Mikrofluidikkomponenten entscheidend erleichtert. Mit Hilfe der neuen Photoresisttechnologie lassen sich Verbindungskanäle, Reaktoren, Mischer und dergleichen, wie sie für das *Lab on Chip*-Konzept benötigt werden, realisieren, wobei weitgehende Freiheit in der Dimensionierung der Mikrofluidikkomponenten gegeben ist. Die Charakterisierung von thermischen Strömungssensoren hat gezeigt, dass in Mikrofluidiksystemen außergewöhnlich große Messspannen bei hoher Dynamik erreichbar sind. Die vorgestellte Methode zur Untersuchung der Stabilität von Germaniumthermistoren stellt eine wesentliche Verbesserung für die Qualitätskontrolle resistiver Bauelemente dar. Mit Hilfe dieses Messaufbaus kann beispielsweise die Qualität der in Biosensorsystemen integrierten

thermischen Messfühler quantitativ erfasst werden und so die Verbesserung der Integrationstechnologien weiter vorangetrieben werden.

Referenzen

- [1] A. Glaninger, A. Jachimowicz, F. Kohl, R. Chabicovsky, G. Urban, "Wide Range Semiconductor Flow Sensors", *Sensors & Actuators A, Physical*, Vol. 85/1–3, 2000, p139 – 146.