

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit integriert Dünnschicht-DMS auf einer Leiterplatte und setzt diese in einem In-situ-Diagnosesystem ein. Es wurde ein Modul entworfen, welches Kraftmessung und Auswertelektronik vereint. Hierzu war es unter anderem notwendig, die mechanischen Eigenschaften der Leiterplatte hinsichtlich der Kraftübertragung beurteilen zu können.

Zunächst wurde daher die Zusammensetzung und der Aufbau von Leiterplattenmaterialien beschrieben und eine Entscheidung bezüglich einer für die Kraftmessung geeignete Leiterplatte getroffen. Da die recherchierten mechanischen Eigenschaften der ausgewählten FR4-Leiterplatte jedoch erheblich schwanken, wurde ein Teststand zur Dehnungsmessung der Platine konzipiert und gebaut. Der als einseitig eingespannter Biegebalken zu deutende Aufbau erlaubt es, über eine Stellschraube diesen verschieden auszulenken. Infolge der Auslenkung wird die Platine gedehnt. Die dadurch auftretende Dehnung der Ober- und Unterseite der Platine wurde zunächst theoretisch hergeleitet. Eine anschließend durchgeführte Validierungsmessung mithilfe eines aufgeklebten Folien-DMS an der Platinenoberseite zeigte, dass die aufgezeichnete Widerstandsänderung linear zur Auslenkung der Schraube ist. Ein Vergleich der theoretisch und der durch den Folien-DMS gemessenen Dehnung zeigte einen Unterschied in der Steigung der Messwertgeraden. Dieser Unterschied wird durch das Glasfasergewebe der Platine hervorgerufen. Aus diesem Grund wurde eine effektive Platinendicke von 1,11 mm ermittelt, welche diese Abweichung korrigieren soll. Mit der effektiven Platinendicke ist es gelungen, den durch den Hersteller vorgegebenen k-Faktor von 2,17 des verwendeten Folien-DMS mit einer Abweichung von 0,005 nachzumessen. Eine Abschätzung der Messunsicherheiten ergab eine Unsicherheit bei der Ermittlung des k-Faktors von $\pm 15\%$. Die Verwendung von FR4-Leiterplatten zur Messung von Kräften erscheint somit sinnvoll. Zur Beurteilung des Langzeitverhaltens sollte der konzipierte Teststand weiter automatisiert werden. Hierzu wäre beispielsweise das Anbringen von Schrittmotoren zum Drehen der Auslenkungsschraube denkbar.

Eine Betrachtung verschiedener Sensoren zur Kraftmessung zeigte, dass die Integration von Dünnschicht-DMS auf einer Leiterplatte besonders geeignet ist. Daher wurden verschiedene Dünnschicht-Fertigungsverfahren angewendet, um DMS-Sensorstrukturen auf Leiterplatten aufzubringen. Es zeigte sich, dass das Lift-Off-Verfahren und das Verwenden einer Schablone gut geeignet sind. Unter anderem wurden spezielle Keramik Schablonen mit einer minimalen Linienbreite von 90 μm mithilfe eines Laserplotters hergestellt. Für das Lift-Off-Verfahren wurde eine Prozessschrittabfolge gefunden, die es ermöglicht, Dünnschicht-DMS auf FR4-Leiterplatten herzustellen. Die für das Herstellen benötigte Belichtungsmaske

wurde speziell für DMS-Strukturen angefertigt und enthält zehn verschiedene DMS-Geometrievarianten. Mit dieser war es möglich, funktionsfähige Sensoren mit einer Linienbreite von 25 μm herzustellen. Die durch die beiden Verfahren hergestellten Chrom-DMS haben einen Grundwiderstand von 0,7-700 $\text{k}\Omega$ und weisen einen k-Faktor von 1-10 auf. Die Dünnschicht-DMS sind demnach bis zu zehnmal empfindlicher als Folien-DMS. Hierbei zeigte sich, dass die Oberflächenbeschaffenheit einen entscheidenden Einfluss auf die DMS hat. Sind diese auf einer Platine mit glatter Oberfläche, so besitzen sie einen k-Faktor von größer 5 und einen geringeren Widerstand, auf einer rauen Seite hingegen besitzen sie einen k-Faktor von nur 1-2 und einen zehnmal höheren Widerstand. Diese Ergebnisse decken sich mit den vorher zusammengefassten physikalischen/mechanischen Eigenschaften von Dünnschichten. Es zeigt sich, dass es noch nicht möglich ist, DMS mit gleichem Widerstand und k-Faktor herzustellen. Weitere Untersuchungen mit vorher polierten Platinen und verschiedenen Schichtdicken sind notwendig, um detaillierte Zusammenhänge herzuleiten. Eine Widerstandsmessung bei verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten zeigte bereits nach 16 h eine oxidationsbedingte Widerstandsänderung von 13 %. Daher ist es notwendig, eine Schutzschicht für die Dünnschicht-DMS zu entwickeln, welche die Sensoreigenschaften nicht ändert und sie vor dem Oxidieren schützt.

Anschließend wurde versucht, die gewonnenen Erkenntnisse am DMS-Modul des In-situ-Diagnosesystems anzuwenden. Verschiedene Federkörpervarianten wurden entworfen und simuliert, um spannungsfreie Zonen für die spätere Auswertelektronik zu schaffen. Die ausgewählten Federkörpervarianten wurden aus FR4 hergestellt und mit Folien-DMS versehen. Eine anschließende Messung der Belastungen zeigte, dass bis zu viermal höhere Dehnungswerte als bei den zuvor verwendeten Alu-Federkörpern gemessen werden können. Es ist auch gelungen, Dünnschicht-DMS erfolgreich auf einen Federkörper aufzubringen. Mit einem k-Faktor von 5-10 wäre zudem eine größere Auflösung der mechanischen Spannungen zu erwarten. Jedoch konnte eine anschließende Messung am Teststand aufgrund des zu hohen Widerstandes keine Ergebnisse liefern. Anschließend bleibt noch die Platine mit der Auswertelektronik zu bestücken und diese weiter zu untersuchen.

Die in dieser Arbeit erlangten Erkenntnisse zur Herstellung von Dünnschicht-DMS auf Leiterplatten ermöglichen eine Vielzahl an weiteren Untersuchungen, welche aber den Rahmen diese Arbeit sprengen würden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Herstellen von Dünnschicht-DMS auf Leiterplatten erfolgreich realisiert werden konnte und eine Vielzahl an möglichen Anwendungen denkbar ist. Vor allem die speziellen Eigenschaften der Dünnschichten machen zukünftige Untersuchungen besonders interessant.