

6 Zusammenfassung

Die Herstellung geeigneter SAW-Sensoren zur Analyse von Mikrosuspensionen kann über die beschriebene Prozesskette mittels Ätztechnik erfolgen. Durch dieses Vorgehen lassen sich, wenn auch mit geringfügigem Ausschuss, in relativ kurzer Zeit funktionsfähige Bauteile produzieren. Des Weiteren lässt sich durch nachträgliches Ätzen die Sensorstruktur leicht in gewünschter Weise modifizieren und es lassen sich so Bauteile mit mehreren Wandlerabschnitten erzeugen.

Bei Anregung der Bauteile über einen NWA stellt sich für alle Sensoren eine zuverlässige Funktionsweise heraus. Die gemessenen Signale weisen stabile Werte auf, wodurch der Verlauf der aufgezeichneten Streuparameter über den eingestellten Wobbelbereich kaum Schwankungen unterliegt. Weiterhin zeigt sich, dass alle gefertigten Sensoren, ob mit zwei oder drei IDTs, bei „1-Port-Anregung“ oder „2-Port-Anregung“ eine Resonanzfrequenz aufweisen, welche maximal 0,5 MHz vom theoretisch berechneten Wert 97,23 MHz abweicht. Obgleich die Stärke der Resonanz von Bauteil zu Bauteil schwankt, weist diese konstante Lage der Resonanzfrequenz auf eine gute Reproduzierbarkeit der Sensoren über den beschriebenen Herstellungsprozess hin. Die Höhe des Resonanzausschlags beläuft sich betragsmäßig in jedem Fall auf mindestens 12 dB, wobei sie bei angeschlossenem IMPSPEC am mittleren Wandler sogar über 20 dB liegen kann. Dies spricht für eine beachtliche Energieumwandlung in akustische Oberflächenwellen. Eine dadurch einhergehende Manipulation der Blutzellen in der Suspension kann durch die Videobeobachtung der angeregten Flüssigkeit angenommen werden.

Die IMPSPEC-Messungen zeigen meist übereinstimmende Ergebnisse aller untersuchten Sensoren. Dennoch können leichte Abweichungen untereinander nicht ausgeschlossen werden. Weiterhin ist zu bemerken, dass sich selbst Leermessungen meistens (aber nicht ausschließlich) reproduzierbar verhalten. Diese Abweichungen stellen jedoch die Ausnahme dar und sind innerhalb eines Tages stets in sich beständig. Trotzdem ist ein tageweise variierendes Messverhalten nicht zu bestreiten. Zu diesem Verhalten können verschiedene Einflussgrößen beitragen. Beispielsweise spielen die momentane Raumtemperatur und Luftfeuchte sowohl bei der Messung selbst als auch beim individuellen Eintrocknungsprozess der analysierten Probe eine wichtige Rolle. Weiterhin kann beobachtet werden, dass sich die Zusammensetzung der hergestellten Blutverdünnungen über einen längeren Zeitraum hinweg verändert. Dies äußert sich dahingehend, dass die Blutzellen langsam lysieren, wodurch die Proben bei Lagerung unter Raumtemperatur lediglich einen Tag brauchbar sind. Somit kann die stattfindende Zellyse die Messergebnisse zusätzlich beeinflussen, je wärmer das Messlabor temperiert ist.

Über die durchgeführten Impedanzmessungen lassen sich durchaus charakteristische Kurvenverläufe für die Probenlösungen vor allem in den niedrigen Frequenzbereichen 1 und 2 erkennen. Diese zeichnen sich zudem über die Langzeitmessungen in einer zeitlichen Änderung der Impedanz ab, welche als Parallelwiderstand bzw. Parallelkapazität dargestellt wird. Im Bereich hoher Frequenzen (ab 20 kHz) ist ein signifikanter Widerstandseinbruch bei circa 630 kHz zu verzeichnen, welcher sich unabhängig vom Verdünnungsgrad der Blutproben sowie für die reine Kochsalzlösung einstellt. Weiterhin erweist sich eine Verringerung der Einschwingzeit für die Verbesserung des Messergebnisses nicht vorteilhaft. Die Variation des Stimulussignals am IMPSPEC ist je nach gewünschter Zielsetzung empfehlenswert. So zeigt sich die Step-Sinus-Einstellung als sinnvoll, wenn ein unverraushtes Messergebnis bei wenig zeitlicher Impedanzänderung gewünscht wird. Die Multi-Sinus-Einstellung hingegen kann sehr viel deutlicher Prozesse veranschaulichen, welche sich innerhalb der Probe im Verlauf weniger Sekunden abspielen. Eine manuelle Spannungssteuerung von 1 mVp ist ebenfalls zu empfehlen, um das Bauteil vor Überspannungen zu schützen.

7 Ausblick

Die vorliegende Arbeit stellt die Grundlage für zusätzliche Analysen dar. Empfehlenswert ist eine weitere Untersuchung der IMPSPEC-Messungen hinsichtlich stabiler und reproduzierbarer Ergebnisse. Dies schließt eine Prüfung der Einflussnahme von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Messung ein. Eine höhere Raumtemperatur führt zu einer schnelleren Trocknung der Probe sowie zu einer schnelleren Lyse der Blutzellen. Deshalb sollte das Ausmaß dieser Auswirkungen bestimmt werden.

Weiterhin ist zu untersuchen, woher die signifikanten Kurvenverläufe der Impedanzmessung herrühren. So kann beispielsweise der markante Signaleinbruch bei einer Frequenz von 630 kHz in den aufgezeigten Verläufen des Parallelwiderstands bei manueller Spannungssteuerung unter Multi-Sinus-Stimulus durch Analyse einer reinen 0,9 %-igen Kochsalzlösung näher charakterisiert werden. So könnte festgestellt werden, ob der auffällige Widerstandsabfall durch die Salz-Ionen allein verursacht wird.

Ein weiterer Ansatzpunkt zur Blutanalyse könnte die impedanzspektroskopische Untersuchung von unverdünntem Blut darstellen, welches lediglich mit EDTA als Gerinnungshemmer präpariert ist. Generell besteht die Möglichkeit, die Impedanzmessung etwas länger laufen zu lassen, um mit Sicherheit zu gewährleisten, dass die Probe vollständig eingetrocknet ist. Dies könnte sich in den Messungen derart auswirken, dass sich die Impedanz der eingetrockneten Probe den Messwerten einer Leermessung noch stärker angleicht. Denn bei den in dieser Arbeit durchgeführten Messungen beruht die Entscheidung, eine Probe sei vollständig eingetrocknet, ausschließlich auf einer visuellen Beurteilung, was zu einem vorzeitigen Abbruch einiger Messungen geführt haben könnte.

Die Ablösung der Elektrodenschicht, welche vermutlich durch elektrolytische Prozesse hervorgerufen wird, stellt ein erhebliches Problem dar. Einen möglichen Ansatzpunkt zur Problemlösung bietet die Entwicklung einer geeigneten Schutzbeschichtung des Sensors. Weiterhin könnten andere Mikrosuspensionen mit den vorhandenen Sensoren getestet werden, welche keine Säuren oder Basen ausbilden können und so die Aluminiumschicht nicht angreifen.

Die Aufnahme von Videos stellt eine zusätzliche Schwierigkeit dar. Eine geeignete Messhalterung könnte dabei helfen, den Sensor im Messaufbau besser waagrecht zu positionieren und so durch eine Schräglage des Sensors hervorgerufene Fließvorgänge des Flüssigkeitstropfens zu vermeiden. Im Hinblick darauf, dass über Mikroskopaufnahmen einzelne Aluminiumrückstände im nachträglich weggeätzten Bereich zwischen den IDTs der Sensoren zu sehen sind, könnten ebenfalls Verbesserungen getätigt werden. Denn es besteht die

Möglichkeit, dass die Bewegung der Mikropartikel in der Probe dadurch störend beeinflusst wird. Dies ließe sich durch einen veränderten Herstellungsprozess der Bauteile vermeiden, welcher kein nachträgliches Ätzen notwendig macht.