

Ergebniszusammenfassung IGF-Vorhaben 16962 N (Sensorselbstüberwachung für Halbleitersensoren)

Im Rahmen des Projektes wurde der Ansatz einer Sensorselbstüberwachung von halbleitenden Metalloxid-Gassensoren durch die Kombination von temperaturzyklischem Betrieb (temperature cycled operation, TCO) und Impedanzspektroskopie (electrical impedance spectroscopy, EIS) grundlegend untersucht. Zusätzlich wurde ein Konzept zur Selbstüberwachung amperometrischer Zirkonoxid-Sauerstoffsensoren konzipiert und untersucht. Der gewählte Ansatz hat sich in den Untersuchungen bewährt: Die Ergebnisse belegen, dass sich Sensorschädigungen in der temperaturzyklischen und der impedanzspektroskopischen Ergebnisauswertung in verschiedener Weise bemerkbar machen. Somit ist eine Unterscheidung von Schädigungen und verschiedenen Gasangeboten durch Gegenüberstellung der mit beiden Verfahren gewonnenen Daten möglich. Das Potenzial dieser Vorgehensweise ist abhängig vom Sensortyp. Insbesondere die von der Geometrie der Sensorelektroden bestimmte Kapazität hat erheblichen Einfluss auf die Durchführbarkeit impedanzspektroskopischer Messungen im Hochfrequenzbereich.

Es wurde eine Messplattform entwickelt, die simultan temperaturzyklische und impedanzspektroskopische Messungen durchführen kann. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist eine schnelle Impedanzmessung, da sich der Sensor im Verlauf eines Temperaturzyklus dauerhaft in einem Nichtgleichgewichtszustand befindet und daher laufend seine Eigenschaften ändert. Mit Hilfe der Fourierbasierten Impedanzspektroskopie und einem breitbandigen Anregungssignals ist diese Plattform in der Lage, ein komplettes Impedanzspektrum in nur ca. 16 μ s zu erfassen, sodass der Sensor über die Messdauer als zeitinvariant betrachtet werden kann. Beim einem herkömmlichen Impedanzspektrometer, das mit einer Abfolge (Sweep) von Sinussignalen unterschiedlicher Frequenz arbeitet, wie es im bestehenden sowie im neu realisierten Laboraufbau verwendet wurde, dauert eine vergleichbare Messung mehrere Sekunden. Die Frequenzbandbreite der Messplattform reicht von 61 kHz bis 125 MHz, vor allem der für die Signalauswertung interessante Hochfrequenzbereich konnte gegenüber den Voruntersuchungen (max. 40 MHz) damit erweitert werden. Eine wichtige Rolle bei der Gewinnung der Impedanzspektren spielen der Einfluss verschiedener Anregungssignale sowie die Verarbeitung der Rohdaten. Hier wurde insbesondere der Einfluss verschiedener Signallängen und Transformationsalgorithmen untersucht. Obwohl das Signal-zu-Rausch-Verhältnis bei hohen Frequenzen durch den Einfluss parasitärer Kapazitäten stark abnimmt, sind mit dem optimierten Anregungssignal auch bei Frequenzen über 60 MHz aussagekräftige Messungen möglich. Durch das schnelle Messprinzip können auch an mikrostrukturierten Gassensoren im temperaturzyklischen Betrieb mit Zeitkonstanten im Bereich von 10 ms impedanzspektroskopische Messungen sinnvoll durchgeführt werden. Bei dem Design der Messplattform wurde auch auf Kosten-

aspekte geachtet. Die verwendeten Elektronikkomponenten lassen ein Systemdesign zu, das in hochwertigen Sensorsystemen eingesetzt werden kann.

Zur verbesserten Automatisierbarkeit wurde eine Auswertesoftware weiterentwickelt, sodass Merkmalsextraktion und Datenverarbeitung deutlich vereinfacht sind. Die Integration von temperaturzyklischem Betrieb und Impedanzspektroskopie wurde durch entsprechende Synchronisierung von Temperaturzyklus und Impedanzspektroskopie vorangetrieben.

Bei den Untersuchungen wurden in Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss Sensorvergiftungen durch Hexamethyldisiloxan (HMDSO) betrachtet, welches insbesondere in Silikonkunststoffen vorkommt. Es hat aufgrund seiner chemischen Eigenschaften und seiner Häufigkeit große betriebspraktische Relevanz. Daneben wurden Langzeittests in einer Werkstattumgebung durchgeführt. Zur Untersuchung der praktischen Anwendbarkeit des Verfahrens wurde ein Feldtest über mehrere Monate hinweg in einer Tiefgarage durchgeführt. Bei diesem wurde ein Halbleiter-Gassensor des Typs UST GGS 1330 der Firma UST Umweltsensortechnik zusammen mit einem Feuchte- und Temperatursensor der Firma Sensirion sowie einem elektrochemischen Referenzsensor zur Kohlenmonoxid-Detektion der Firma Dräger betrieben. Zu Ende des Feldtests wurde auch an diesem Sensor ein Vergiftungstest durchgeführt. Dies geschah praxisnah dadurch, dass der Sensor gezielt den Ausdünstungen von frischem Bausilikon ausgesetzt wurde. In dem Feldtest wurde die Anwendbarkeit der Kombination von TCO und EIS auf Basis der realisierten Messplattform über mehr als drei Monate im Feldeinsatz gezeigt.

Die Untersuchungen mit Sauerstoffsensoren auf Basis von Zirkonoxid führten zu dem Ergebnis, dass hier eine Schadenserkenkung sogar noch einfacher möglich ist als bei Halbleitersensoren – diese funktioniert wie die EIS über eine zyklische Variation der Sensorspannung, allerdings bei konstanter Temperatur und wesentlich geringeren Frequenzen. Über die Untersuchung eines charakteristischen Peaks im Sensorstrom ist eine Bestimmung des Vergiftungsgrads möglich.

Somit wurde das Ziel des Projektes, Schädigungen mittels eines kombinierten temperaturzyklisch-impedanzspektroskopischen Messsystems zu erkennen, erreicht. Auch zur Detektion von Vergiftungen an Zirkonoxid-Sauerstoffsensoren wurde ein einfaches und kostengünstiges Verfahren gefunden. Gespräche mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses aber auch weiteren Firmen, u.a. EADS, bestätigen die Wichtigkeit der Sensorselbstüberwachung insbesondere für sicherheitskritische Anwendungen. Die erzielten Ergebnisse sollen in der Folge, primär in bilateralen Projekten mit mittelständischen Unternehmen aufgegriffen und in neue Produkte sowie Verfahren umgesetzt werden, z.B. in Form von Plattformen für die Wartung.