

Kurzfassung

Halbleiter-Gassensoren erkennen chemische Substanzen und wandeln sie in Änderungen der elektrischen Leitfähigkeiten um. Diese Änderungen ergeben sich in der Raumladungszone (RLZ) durch die Anwesenheit von oxidierenden und/oder reduzierenden Stoffen, welche im Wechselspiel mit schon adsorbiertem Sauerstoff stehen und Ladungsträger injizieren oder extrahieren (heterogene Empfindlichkeit). Diese Adsorptions-Desorptions Prozesse werden nach der Wolkenstein-Geistlinger Theorie im Rahmen der Quantenmechanik dargestellt. Abhängig von der Stärke der Wechselwirkung werden zwei Fälle betrachtet: Physisorption (elektrostatischen Anziehung) und Chemisorption (Gitter und Gasmolekül bilden eine kovalente Bindung). Man unterscheidet "schwache" (die chemische Bindung neutral ist) und "starke" Chemisorption (Ladungsverschiebung zwischen Festkörper und Gas). Die Betriebstemperatur in Chemosensoren ist normalerweise hoch, behindert dadurch den Einsatz in mobilen Systemen und macht die Integration in CMOS-Schaltungen unmöglich. Deshalb wird die Verwendung eines externen elektrischen Feldes zum Regeln der Adsorptions und Desorptions Vorgänge vorgeschlagen (Elektroadsorptiver Effekt, EAE).

Es wurde ein Gassensor mit einer vergrabenen Gate-Elektrode und einer sensitiven Schichtdicke im Bereich der Debye-Länge als Dünnschichttransistors (DST) entwickelt. In dieser Konfiguration durchdringt das elektrische Feld das Bauteil, bis es die Oberfläche erreicht und den Oberflächenzustand moduliert. Das elektrische Feld reguliert die Energieniveaus, insbesondere das Fermi-Niveau und steuert die Reaktionswege, was zu einer erheblichen Verminderung der Betriebstemperatur führt. Das Bauelement wurde elektrisch im Rahmen der klassischen Halbleiter-Theorie zusammen mit dem Ladungsverschiebungsmodell (LVM) modelliert welches den Ladungsaustausch zwischen Festkörper und Gas beschreibt.

Das Bauelement reagiert auf verschiedene Gase was mit Hilfe eines Gasmessplatzes untersucht wurde. Der Sensor verhält sich wie ein Feldeffekttransistor mit isoliertem Gate (IGFET) und zusätzlichem Ansprechverhalten auf Gase. Dadurch wird der Einfluss des elektrischen Feldes in der Adsorption bestätigt. Allerdings führt das elektrische Feld zu induzierten Signalstabilitätsproblemen, die den Betrieb des Bauelementes erschweren (die Basiskennlinie des Sensors driftet). Als mögliche Ursache für diesen Drift ist die Diffusion von Sauerstoffsleerstellen (Dotierung) zu sehen welche auf dem Einfluss von äußeren/inneren elektrischen Feldern beruht. Dafür wurde ein Modell durch ein gekoppeltes System der Poisson-, Fokker-Planck- und Drift-Diffusions-Gleichung entwickelt und numerisch mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode (FEM) gelöst. Die aus dem Modell erhaltenen Ergebnisse zeigen eine gute Überstimmung mit den Messungen.

Zum Abschluss wurde die Co-Adsorption von verschiedenen Gasen durch eine erweiterte Wolkensteintheorie untersucht, welche besagt dass die verschiedenen Arten normalerweise nicht miteinander reagieren. Aufgrund der Konkurrenz um die freien Adsorptionszentren an der Oberfläche muss allerdings eine gewisse Wechselwirkung berücksichtigt werden. Die Reihenfolge der adsorbierten Gases beeinflusst die Sensorreaktion. Der EAE wurde auch in einer Mehrkomponenten-Atmosphäre untersucht. Unter der Anwendung eines äußeren elektrischen Feldes wird die Co-Adsorption nicht beeinflusst, sondern nur die Adsorption der einzelnen Gase. Die Reaktionszeit der verschiedenen Prozesse wird durch die Besetzungswahrscheinlichkeit abgeschätzt. Eigene der Drifteffekte sind durch geringe Besetzungswahrscheinlichkeiten der gassensitiven Oberfläche erklärbar. Die Gasart und die Reihenfolge sind entscheidende Parameter für die Reaktion des Bauelements.