

5 Zusammenfassung und Ausblick

5.1 Herstellung der Gassensoren

Die Herstellung der Gassensoren im Zuge dieser Arbeit ist gelungen. Etwa die Hälfte der produzierten mikroakustischen Bauteile zeigt das erwartete Resonatorverhalten.

Jedoch sind sowohl die Qualität als auch die Ausbeute der Teile verbesserungsbedürftig. Ein Problem ist die mangelhafte Chrommaske. Die Fehler wirken sich negativ auf die Ausbeute und vermutlich auch auf das Resonatorverhalten aus. Die Messungen haben gezeigt, dass bei der Frequenzmessung Gase nur in vergleichsweise großen Konzentrationen bestimmt können. Gelänge die Herstellung von Resonatoren mit schmalere Resonanzpeak, könnte mit kleineren Frequenzspektren gemessen werden bzw. die Auflösung erhöht werden.

Die Lösung, Spaltbildung zwischen Wafer und Maske durch Erhöhungen auf dem Maskentisch zu verhindern, ist bestenfalls als provisorisch zu bewerten. Die Handhabung ist schwierig und ungenau. Besonders die Drehlage des Wafers muss mit Augenmaß geschätzt werden, was natürlich Fehler verursacht.

Die Entwicklung der Resists ist der kritischste Schritt bei der Herstellung und vielfach werden an dieser Stelle die Lackstrukturen bereits komplett belichteter Wafer zerstört. Problematisch sind die kurze Entwicklungszeit und die Reaktivität des Entwicklers. Hier sind Versuche mit verdünnten Entwicklern angebracht. Dieses Thema wurde leider nur ungenügend behandelt.

Das Nassätzen mit Aluminium ist nicht problematisch und kann nach Sicht erfolgen. Auf Goldwafern ist dieser Schritt jedoch nicht erfolgreich. Trotz guter Resiststrukturen unterätzt die Lösung auch in unterschiedlichen Verdünnungen die Fingerstrukturen vollständig.

Dennoch können nun mit den beschriebenen Prozessschritten Resonatoren in kleiner Stückzahl ohne unverhältnismäßig großen Aufwand hergestellt werden. Nicht auf industriell hergestellte Resonatoren zurückgreifen zu müssen erlaubt eine größere Freiheit im Design der Strukturen, was für weitere Forschungsarbeiten von Nutzen sein kann.

5.2 Messergebnisse

Bei der Frequenzmessung wird die Empfindlichkeit des Sensors auf Wasserstoff nachgewiesen. Wie erwartet erhöht sich in Anwesenheit von Wasserstoff die Resonanzfrequenz. Allerdings sind die ermittelten Empfindlichkeiten weniger stark als angenommen bzw. ist die Auflösung des Sensors gering.

Bei weiteren Versuchen kann gezeigt werden, dass der Sensor auf Kohlenwasserstoffe reagiert. Versuche mit Isooktan zeigen die erwartete Minderung der Resonanzfrequenz aufgrund der Anlagerung des schweren Moleküls. Bei n-Heptan, das vermutlich thermisch oder katalytisch gespalten wird, tritt ein umgekehrter Effekt auf. Dies wird mit der Anlagerung leichterer Reaktionsprodukte nach der Spaltung des Moleküls erklärt.

Versuche mit der fetten Prüfgasmischung zeigen ein nicht ohne weiteres erklärbares Verhalten. Vermutlich reagieren die Bestandteile der Prüfgasmischung mit unterschiedlichen Zeitkonstanten. Versuche mit den Reinkomponenten werden nicht durchgeführt, da die entsprechenden Gase nicht zur Verfügung stehen. Der Messeffekt kann letztendlich im Zuge dieser Arbeit nicht erklärt werden.

Bei der Widerstandsmessung zeigen nur die reduzierenden Prüfgase einen messbaren Effekt. Allerdings ist es nicht gelungen, durch unterschiedliche Prüfgaskonzentrationen die Empfindlichkeit des Sensors auf NO_2 zu bestimmen. Bei der geringsten mit den gegebenen technischen Möglichkeiten einstellbaren Konzentration ist der Sensor noch im Bereich der Sättigung. Bei Sauerstoff wird ein ähnliches Verhalten festgestellt, jedoch ist die Widerstandsänderung geringer. Die Qualität der Messung erlaubt im Fall der Sauerstoffmessung neben der Bestimmung der Empfindlichkeit das Aufzeigen der beiden erwarteten Zeitkonstanten. Sie werden bedingt durch den Konzentrationsverlauf sowie Ad- bzw. Desorptionsrate.

Funktionierende Bauteile stehen mit den Wolframoxidschichtdicken 1, 10 und 100 nm zur Verfügung. Es wurden jedoch nur wenige Versuche mit den 1 bzw. 100 nm Sensoren durchgeführt. Eine Widerstandsmessung bzw. impedanzspektrometrische Messung erweist sich als nicht sinnvoll bei zu kleiner Schichtdicke wegen des hohen Eingangswiderstands. Umgekehrt ist bei der 100 nm Schicht zwar ein Ergebnis bei der Widerstandsmessung zu erzielen, das Resonatorverhalten ist allerdings stark beeinträchtigt durch die Schicht. Der Resonanzpeak ist nur noch schwach ausgeprägt und es treten vermehrt „Nebenpeaks“ auf. Als bester Kompromiss hat sich eine Schichtdicke von 10 nm erwiesen.

Zusammenfassend kann gezeigt werden, dass ein Sensor mit Interdigitalstruktur sowohl als SAW-Chemosensor, als auch als elektrochemischer Sensor fungieren kann. Die angestrebte Darstellung im zweidimensionalen Merkmalsraum macht allerdings wenig Sinn, da kein Analyt gefunden wurde, der eine Sensorreaktion bei beiden Messprinzipien hervorruft.

Aus Zeitmangel können die interessanten Versuchsergebnisse mit den schweren Kohlenwasserstoffen nicht weiter verfolgt werden. Einerseits ist es interessant, den nachgewiesenen Messeffekt hinsichtlich Konzentration und Molekulargewicht zu quantifizieren, andererseits deutet der Versuch mit n-Heptan auf eine Empfindlichkeit des Sensors auf leichte Kohlenwasserstoffe wie z.B. Methan hin.

Die Höchsttemperatur von 200 °C ist lediglich der Kontaktierung des Sensors geschuldet, nicht etwa den Sensormaterialien selbst. Bei höheren Temperaturen ist besonders bei den reduzierenden Gasen zu erwarten, dass sich die Leitfähigkeit des Materials erhöht. Wenn bei einer Neugestaltung der Messkammer auf Lötverbindungen verzichtet wird, kann der Temperaturbereich vergrößert werden.