

Mikromechanische Silizium-Mikrofone als SMD-Bauteile

Alfons Dehé

Infineon Technologies AG, 81730 München; Email: alfons.dehe@infineon.com

Einleitung

Silizium-Mikrofone sind Gegenstand der Forschung seit über 20 Jahren [1]. Dabei wurden insbesondere an Hochschulen die verschiedensten mikromechanischen Wandlerkonzepte, wie Kondensermikrofone, aktive FET-Mikrofone, Elektretmikrofone, piezoresistive Mikrofone sowie optische Mikrofone (reflektiv, interferometrisch) realisiert. Jedes dieser Sensorkonzepte bietet Vor- und Nachteile. Insbesondere gelten die optischen Mikrofone als besonders EMV-stabil. Einige Konzepte, wie piezoresistives und FET-Mikrofon, scheiden aber für Sprache aufgrund des ungenügenden Signal/Rauschabstands aus.

Neben den Eigenschaften des Wandlers an sich stellt sich die Frage nach einer geeigneten Signalverarbeitung, die wegen der Störanfälligkeit insbesondere bei kapazitiven Sensoren möglichst nahe am Wandler liegen sollte. Eine monolithisch integrierte Auswerteschaltung kann dies im Falle des Kondensator-Mikrofons leisten [2].

Neben der Vielzahl veröffentlichter Si-Mikrofone kommen aber Arbeiten zur Aufbau- und Verbindungstechnik von Mikrofonen zu kurz. Dabei spielt gerade das Gehäuse eine wichtige akustische und mechanische Rolle bei der Realisierung eines Mikrofons.

Ziel der Si-Mikrofonentwicklung bei Infineon Technologies ist es Volumenmärkte zu bedienen, wie z. B. den Telekommunikations-Automotive- und Konsumermarkt. Dazu müssen Technologien für die Sensorfertigung sowie Aufbau- und Verbindungstechniken entwickelt werden, die außer der akustischen Performance auch eine hohe Zuverlässigkeit erfüllen. Insbesondere sollen solche Mikrofone als SMD-Bauteile (Surface Mount Device) hergestellt werden. Daß dies möglich ist - im Gegensatz zu Standard-Elektretmikrofonen - ist der Temperaturstabilität des mikromechanischen Wandlers zu danken. Ein Vergleich soll hier die Vorteile des Si-Mikrofonkonzeptes unterstreichen (Tabelle 1)

Tabelle 1: Vergleich von kommerziellen Elektretmikrofonen mit Si-Mikrofonen.

	Elektretkapsel	Si-Mikrofon
maximale Lagertemperatur	80°C...110°C	> 260°C
Maximaler Betrieb	80°C	~ 125°C
Degradation durch Temperatur und Feuchte	Ja	nicht beobachtet
Aufbau	manuell, Handlötung / Federkontakte	Automatische Platinenbestückung
Gehäuse	Kapsel	SMD
Integration	nur hybrid	hybrid und monolithisch
Reproduzierbarkeit des Herstellungsprozesses	niedrig, teures matching	hoch, durch batch-teures matching
Schock- und Vibrationsempfindlichkeit	Mäßig	Gering
Polarisationsspannung	eingebaut	extern, über Betriebsspannung

Insbesondere die polarisierte Elektretmembran degradiert mit erhöhter Temperatur und Feuchtigkeit und verliert ihre Polarisationsspannung oberhalb von ca. 80°C sogar vollständig.

Bei Si-Mikrofonen konnte bisher keine Degradation bei erhöhten Umgebungstemperaturen beobachtet werden. Dies erlaubt den

Aufbau in SMD-Gehäusen sowie die Massenfertigung mittels automatisierter Leiterplattenbestückung und Reflow-Lötprozessen.

Zwei weitere wesentliche Vorteile sind die geringe Exemplarstreuung von Si-Mikrofonen, die auf die geringen Fertigungsschwankungen der Silizium-Technologie zurückzuführen ist. Die hohe Langzeitstabilität ist eine Materialeigenschaft der polykristallinen Membran, die hier benutzt wird. Diese beiden Eigenschaften sind besonders interessant für Mikrofonarray-Anwendungen, bei denen die Einzelmikrofone genau aufeinander abgestimmte Empfindlichkeiten und Phasengänge aufweisen müssen.

Entwicklung von Si-Mikrofonen

Die Technologieentwicklung des Mikrofonchips muß in einer Fertigung mit weitestgehender Automatisierung durchgeführt werden. Dies gewährleistet eine 6"-Scheibenfertigung, bei der nur wenige mikromechanische Kernprozesse neu eingeführt wurden³. Weitestgehende Kompatibilität mit BiCMOS-Prozessen sowie die Forderung nach hoher Empfindlichkeit und niedrigem Rauschen ergeben eine eindeutige Wahl des Schallwandlertyps:

- Das Kondensatormikrofon ist das erfolgreichste Prinzip.
- Die Membran muß mechanisch sehr empfindlich sein, also dünn (<400nm) und von niedriger Eigenspannung (<100MPa).
- Die Elektroden sollten eine gewisse Mindestfläche (~1mm²) aufweisen, damit die Kapazität (1-3pF) groß genug ist, um rauscharme Signale zu erzeugen.

Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau des Si-Mikrofons. Das Schallfeld durchdringt die perforierte Gegenelektrode und lenkt die Membran über dem Luftspalt von ca. 2µm Höhe aus. Bei konstanter Ladung auf der Membran wird dann ein Spannungssignal detektiert. Dieses muß einem integrierten oder hybriden Impedanzwandler zugeführt werden.

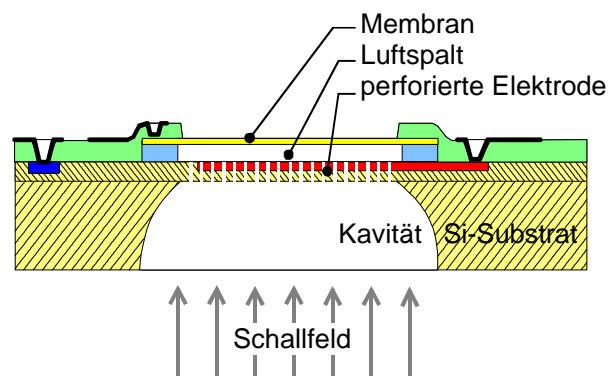


Abbildung 1: Schematische Skizze eines Si-Mikrofonchips.

Packaging von Si-Mikrofonen

Die Gehäusetechnologie spielt bei Si-Mikrofonen eine entscheidende Rolle. Die Vorteile die der Si-Mikrofonchip bietet sollen auch im Gehäuse aufrecht erhalten werden:

- Das Gehäuse soll temperaturstabil und SMD tauglich sein.

- Das Gehäuse muß einen dichten Hohlraum als Rückvolumen des empfindlichen Mikrofons bieten.
- Da Gehäusematerialien und Silizium in der Regel unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten aufweisen, muß die Klebeverbindung des Chips zum Untergrund auftretende Verspannungen aufnehmen, sonst kommt es zu Änderungen in der Membranspannung.
- Die Aufbau- und Verbindungstechnik muß die gleichen geringen Streuungen aufweisen, wie das beim Si-Mikrofonchip der Fall ist, es ist also hochgradige Automatisierung gefordert.

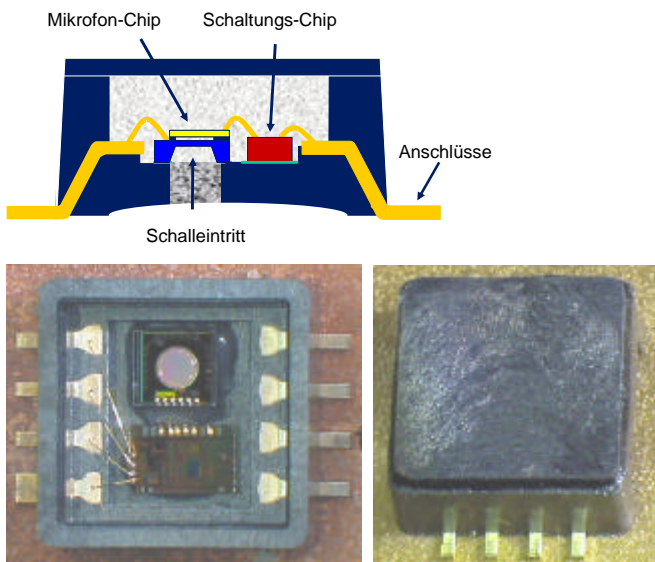


Abbildung 2: Schematischer Querschnitt (oben) und Fotos eines Si-Mikrofons in einem SMD-Hohlgehäuse mit acht Anschlüssen.

Abbildung 2 zeigt ein Mikrofon, das in einem Thermoplast SMD-Gehäuse aufgebaut wurde. Dieses entspricht den oben gestellten Forderungen. In das Gehäuse wird der Mikrofonchip und der Schaltungschip mit speziellen Klebern aufgebaut und mittels Bonddrähten kontaktiert. Dabei sitzt das Mikrofon auf dem Schalleintrittsloch und das Rückvolumen wird durch das Innenvolumen gebildet, nachdem ein Deckel akustisch dicht aufgeklebt wurde. Das Mikrofon kann auf einer ebene Leiterplatte aufgebaut werden. Dann tritt der Schall entweder über ein Loch in dieser ein oder seitlich über die Schlitze des Gehäuseunterbodens⁴

Eigenschaften von Si-Mikrofonen

Ein Mikrofon mit integriertem Sourcefolger entspricht in der Funktionalität dem heute üblichen Standard-Elektretmikrofon. In Siliziumtechnologie konnten hier sehr gute Eigenschaften realisiert werden. Ohne Verstärkung erreichen diese Bauteile eine Empfindlichkeit von 14mV/Pa bei niedrigen äquivalenten Eigengeräuschpegeln von 30dB(A) (Tabelle 2).

Tabelle 2: Daten von integrierten Si-Mikrofonen.

	mit Sourcefolger	VDA-Schnittstelle
Versorgungsspannung	2,5 V	8,0 V über 680 Ω
Stromaufnahme	0,28 mA	3,9 mA
Empfindlichkeit	14 mV/Pa	740 mV/Pa
Rauschen (100-10 kHz)	30 dB (A) SPL	31 dB (A) SPL
THD (1kHz, 94dB SPL)	< 0,1 %	0,4 %

Die hybride Integration von Schaltfunktionen geht über relativ einfache Impedanzwandler hinaus und ermöglicht nahezu beliebige

Anwendungen für diese Mikrofone. Abbildung 3 zeigt die Blockschaltung für ein Freisprechmikrofon im KFZ. Dieses kann niederfrequente Störgeräusche unterhalb 300Hz mit einem Hochpaß 3.Ordnung unterdrücken. Gleichzeitig wird im Nutzband von 300Hz - 8kHz das Signal auf ca. 740mV/Pa verstärkt und auf eine Zwei-Draht-Schnittstelle moduliert (VDA-Standard). Trotz der komplexen Schaltungstechnologie und der Vielzahl der dazu notwendigen Operationsverstärker bleibt dieses Mikrofon mit 31dB(A) sehr rauscharm.

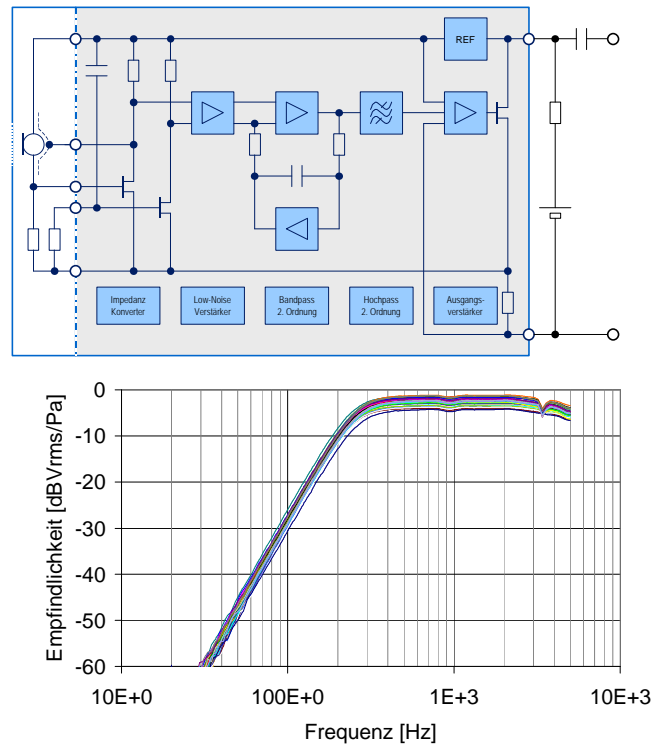


Abbildung 3: Integriertes Mikrofon zur Steuerung einer Zwei-Draht-Schnittstelle (oben) und gemessene Frequenzgänge von 40 Bauteilen.

Dank der streßfreien Aufbau- und Verbindungstechnologie nimmt die Empfindlichkeit dieser Mikrofone bei 95°C gegenüber Raumtemperatur nur um weniger als 1dB ab und das Rauschen nimmt nur um ca. 3dB zu. Zurück bei Raumtemperatur kann keine Degradation festgestellt werden!

Die Arbeiten zu diesem Beitrag wurden durch Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 16SV1273 gefördert.

¹ Sessler, G.M.; Silicon microphones; Journal of the Audio Engineering Society (1996) vol. 44, no. 1-2, p.16-22.

² Pedersen, M.; Olthuis, W.; Bergveld, P; An integrated silicon capacitive microphone with frequency-modulated digital output; Sensors and Actuators A (1998) vol. A69, no. 3, p.267-75

³ S. Barzen, A. Dehé, M. Brauer, M. Fuldner, R. Aigner, Herstellung von Silizium-Mikrofonen, zur Veröffentlichung: 9. GMM-Workshop, 31.3.03-1.4.03, Paderborn

⁴ M. Brauer, A. Dehé, T. Bever, S. Barzen, S. Schmitt, M. Fuldner and R. Aigner, Silicon microphone based on surface and bulk micromachining, J. Micromech. Microeng., Vol. 11, pp.319-22, 2001.