

**JASON A. GALSTER, PH.D., &
DANIEL WARREN, PH.D.**

Für Sie gelesen von Dipl. Ing. Gerd Bannert,
Starkey Laboratories (Germany) GmbH



Moderne Technologien haben unsere klinischen Erwartungen an Hörsysteme neu bestimmt. Die Mikroelektronik, die diese Verbesserungen ermöglicht hat, ist unglaublich komplex. Eine Vielzahl von Verbindungen windet sich durch jede integrierte Schaltung, kombiniert passive mit aktiven Komponenten um angemessen die Spannungen für andere Komponenten wie z.B. Mikrofone, Magnetfeldsensoren, Hörer, Funksender und Antennen bereitzustellen und mit ihnen zu kommunizieren. Die Entwicklungsteams für Hörgerätehardware vergangener Zeiten würden die heutigen Technologien wohl in Erstaunen versetzen. Schwierig und selten genannt ist die Mikrofontechnologie mit ihren Verbesserungen in diesem Evolutionsprozess. Die modernen Elektretmikrofone z. B. wurden kleiner mit nur geringen Einschränkungen der Empfindlichkeit und Dynamik und dennoch bewegt sich die Telekommunikationsindustrie weg von den traditionellen Elektretmikrofonen, hin zu einer Mikrofontechnologie die sich Micro-Electronic-Mechanical System (MEMS) nennt. MEMS Technologie beschreibt eine Gruppe von microminiaturisierten elektromechanischen Systemen die es erlaubt Sensoren mit den traditionell verwendeten Herstellungsverfahren für Halbleiterschaltungen wie z.B. Mikroprozessoren herzustellen. Die Anwendung für diese Technologie reicht von Lichtsensoren zu Beschleunigungsaufnehmern und zu Mikrofonen wie sie heutzutage in modernsten Smartphones, und jetzt auch in Hörsystemen zum Einsatz kommen.

Der verwendete Herstellungsprozess für MEMS Mikrofone führt zu einer kontrollierteren, höheren Qualität als die Herstellungsverfahren für Elektretmikrofone. Diese Techniken umfassen chemisches Ätzen und Lithografie. Im Fall des chemischen Ätzverfahrens werden Wafer aus Silizium, nur Mikrometer dick, mit sehr leistungsfähigen Säuren

oder Basen in sehr gut kontrollierbaren Arbeitsschritten geätzt. Die Prozesse sind so genau, dass mikroskopisch kleine Strukturen direkt auf dem Silizium hergestellt werden können. Die Lithografie wird mit lichtempfindlichen Materialien, die ihre Eigenschaften bei Belichtung ändern, durchgeführt. Meistens wird der Lithografieprozess zur Festlegung der Mikrostrukturen dem chemischen Ätzen vorangestellt. Dieser Prozess erlaubt es tausende von Mikrofonen in einem Fertigungslos herzustellen. Im Gegensatz hierzu sind zur Herstellung von Elektretmikrofonen manuelle Montageschritte sowie die Verwendung von Klebern und Kunststoffen nötig. Diese Kleber und Kunststoffe sind die Komponenten des Elektretmikrofons, die hauptsächlich Umwelteinflüssen unterliegen.

Die Eigenschaften des in MEMS Mikrofonen verwendeten Siliziums sind zu großem Teil überzeugend für diese Technologie. So sind z. B. die Eigenschaften von Silizium in vielerlei Hinsicht mit denen von Stahl gleichzusetzen. Diese beiden Materialien teilen ähnliche Festigkeiten und thermische Leitfähigkeiten, wobei Silizium eine größere Biegefestigkeit aufweist (Bryzek, 2005). Abb. 1 zeigt ein einzelnes MEMS Mikrofon. Die Effekte dieser Eigenschaften in Bezug auf die Leistungsfähigkeit im Vergleich zu Elektretmikrofonen wird im Weiteren beschrieben.

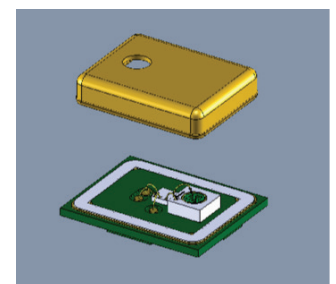


Abb 1: Explosionszeichnung eines MEMS Mikrofons.

Das in Abb. 2 gezeigte Elektretmikrofon enthält eine Ployestermembran (Mylar) welche über einen Verstärkungsring gespannt und verklebt ist. Diese Membran ist konzeptionell ähnlich einem Trommelfell, auftreffender Schalldruck führt zu Vibrationen der

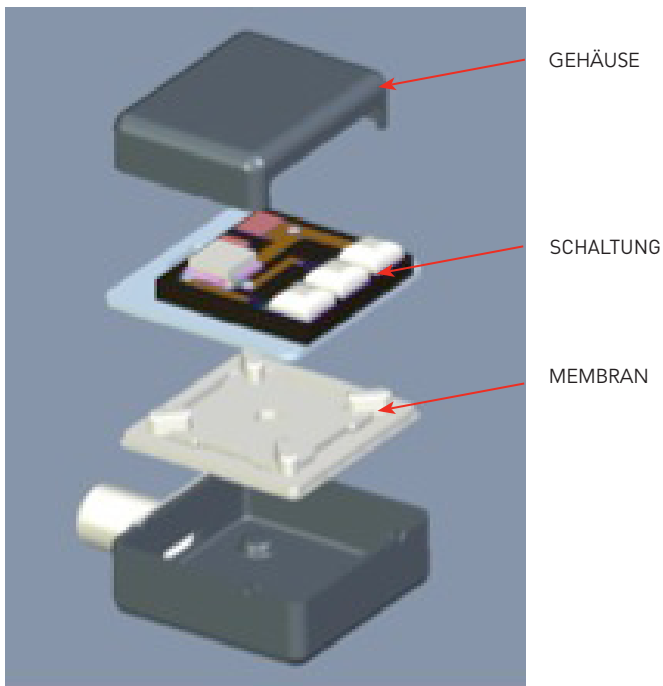


Abb. 2: Explosionszeichnung eines Elektretmikrofons

Membran. Der Abstand zwischen der Membran und der elektrisch geladenen Gegenelektrode verändert sich durch die Vibrationen. Diese Abstandsänderungen führt zu dem Schalldruck analogen Spannungsänderungen. Um die akustische Energie akkurat wiederzugeben muß die Membran des Elektretmikrofons eine spezifische mechanische Spannung und die Gegenelektrode eine spezifische elektrische Spannung beibehalten. Jedoch haben Änderungen von Luftfeuchtigkeit und Temperatur Einfluß auf die mechanische Spannung der Polyestermembran. Das Resultat dieser Änderungen sind Änderungen der Mikrofonempfindlichkeit und der Phasenverschiebung. Während es unwahrscheinlich ist das diese Änderungen einen Einfluß auf die hörbare Weidergabecharakteristik des Hörsytems haben, so beeinflussen sie doch andere Aspekte der Leistungsfähigkeit von Hörsystemen.

Direktionales Verhalten in Hörsystemen wird durch die Phasenbeziehung zwischen zwei Mikrofonen erreicht, die nur wenige Millimeter voneinander in der horizontalen Ebene angeordnet sind. Zeitliche Differenzen der Ankunftszeiten der Schallwellen an den einzelnen Mikrofonen erlaubt die Verarbeitung der Signale, so das eine Richtwirkung erzielt wird, welche Geräusche aus der hinteren Hemispäre des Hörsystemnutzers unterdrückt. Wenn die verwendeten Mikrofone nicht optimal in Empfindlichkeit und Phase übereinstimmen, dann ist die Leistungsfähigkeit des Systems erheblich eingeschränkt.

Elektretmikrofone werden so hergestellt und kommen

auch so zur Auslieferung, das sie sehr gut für den Einsatz in Richmikrofonanordnungen geeignet sind. Allerdings absorbiert die Polyestermembran eines Elektretmikrofons Feuchtigkeit in warmen Umgebungen mit hoher Luftfeuchtigkeit. Veränderungen der Luftfeuchtigkeit in der Umwelt führen zu Veränderungen der Mikrofonempfindlichkeit. Diese Änderung führt dazu, das die Mikrofone nicht mehr abgeglichen sind und so die Leistungsfähigkeit einer Direktionalen Mikrofonanordnung stark eingeschränkt sein kann. In MEMS Mikrofonen kommen keine, von der mechanische Spannung abhängigen Membranen zur Anwendung. Stattdessen kommen kristalline Scheiben zur Schallwandlung zum Einsatz (Abb. 3). Der Durchmesser jeder dieser Scheiben ist kleiner als ein Millimeter, ungefähr die Größe eines Sandkorns. Diese Scheibenanordnung funktioniert als zusammenhängendes System zur Aufnahme und Wandlung von akustischer Energie in ein elektrisches Signal, welches vom Hörsystem verarbeitet werden kann. Die physikalischen Eigenschaften von Silizium machen das System resistent gegenüber Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen.

Einen zusätzlichen Unterschied zwischen den beiden

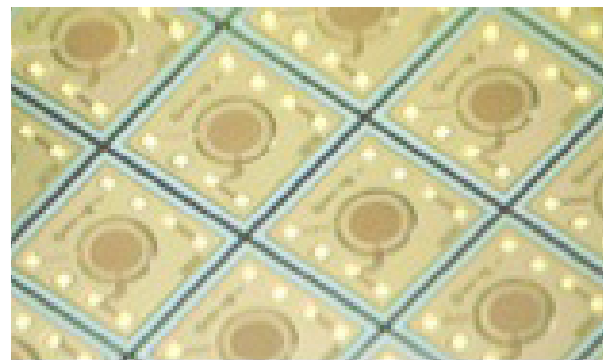


Abb. 3: Mit hoher Vergrößerung angenommene Anordnung kristalliner Membranen aus denen MEMS Mikrofone hergestellt werden

Mikrofontypen stellt die bereits angesprochene Gegenelektrode dar. Die Gegenelektrode ist mit einer elektrisch geladenen Oberfläche ausgestattet und befindet sich hinter der Mikrofonmembran jedes Mikrofonen. Der Abstand zwischen Mikrofonmembran und elektrisch geladener Gegenelektrode hat einen direkten Einfluß auf die Empfindlichkeit des Mikrofonen. Im Fall der Elektretmikrofone ist die Gegenelektrode mit einem elektrischen Material überzogen welches die elektrische Ladung aufrecht erhält. Um eine ausreichende Empfindlichkeit auf eingehende Schallsignale zu bewerkstelligen, muß eine Spannung von ca. 350 Volt aufrecht erhalten werden. Diese relative hohe Spannung ist erforderlich, weil der Abstand zwischen Membran und

Gegenelektrode relativ groß ist. Die Genauigkeit bei der Herstellung und die Festigkeit der Membran eines MEMS Mikrofons läßt es zu den Abstand zwischen Membran und Gegenelektrode erheblich zu reduzieren. Aus diesem Grund können MEMS Mikrofone mit einer hocheffizienten Ladung von 10V, die von einer einzigen Ladeschaltung anstelle eines hochkapazitiven Elektretmaterials bereitgestellt wird, betrieben werden.

Zusätzliche Vorteile von MEMS Mikrofonen bestehen in der Möglichkeit die Mikrofone direkt mit dem flexiblen Material, welches den Mikroprozessor des Hörsystems aufnimmt, in einem Reflow Prozess zu verbinden. Hierdurch entfällt die Notwendigkeit der Verbindung mit gelöteten Litzen. Der Reflow-Prozess ist ein allgemein üblicher Prozess zur Herstellung bestückter Leiterplatten. Anstelle manuell zu verlötender Verbindungen zum Mikrophon herzustellen, erlaubt das System unter Verwendung von Lötpaste die Komponenten temporär zu befestigen. Wenn die die Komponenten in diesem Zustand kontrollierter Hitze ausgesetzt werden, schmilzt die trockene Lötpaste und befestigt die Komponenten dauerhaft auf der Leiterplatte. Dieser Prozess ist extrem schnell und viel präziser als das manuelle Löten. Dieser Prozess kann mit Elektretmikrofonen mit Komponenten aus Kunststoff und den Klebern nicht angewendet werden.

Die Verwendung von MEMS Mikrofonen in Hörsystemen ist das Resultat der Suche nach neuen, geeigneten Technologien und deren Adaption und Anwendung in der Hörsystemtechnik. Es ist eine wohlüberlegte Zusammenführung von Technologien, die ursprünglich für die Verwendung in Telekommunikationseinrichtungen und in der Halbleitertechnik entwickelt wurden. Hörsysteme sind einzigartige Anwendungen. Sie stellen hohe Anforderungen an Technologien aus anderen Anwendungsfeldern. Dieses ist ein Beispiel für die Verwendung von Technologien aus der Telekommunikation, die für die Versorgung von Hörverlusten optimiert wurden. Das Resultat ist eine fundamentale Verbesserung in der Hörsystementwicklung. Das System zeichnet sich durch eine höhere Leistungsfähigkeit und besserer Langzeitstabilität in einem weiten Bereich von Umwelteinflüssen aus, die mit Elektretmikrofonen nicht zu erreichen sind.

DANKSAGUNG

Der Autor bedankt sich bei Tom Burns, Wei-Li Lin und Aaron Schroeder für ihren Beitrag zu den früheren Versionen dieses Artikels

REFERENZEN

Bryzek, J. (2005). Principles of MEMS. In Sydenham, P. & Thorn, R. (Eds.), Handbook of Measuring System Design. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.