

MEMS マイク (Micro-Electronic-Mechanical System Microphone)

を解き明かす

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

今日の技術が発展する度に、臨床現場が補聴器に対して期待することは変化し続けています。このような発展を可能にしてきた超小型電子技術は驚くほどに複雑なものです。多数の接続部が集積回路の中を曲がりくねって進み、受動素子と能動素子をつなぎながら適切に電圧を制御し、多数のトランスデューサ：マイク、磁場検出器、レシーバ、無線機、アンテナと通信します。ひと昔前の補聴器ハードウェア設計者は、今日の技術をほとんど理解できないでしょう。このような進化の中でほとんど言及されることはありませんが、マイクロホン技術もまた発展し続けています。たとえば、現在のエレクトレットマイクは感度やダイナミックレンジをほとんど損なうことなく小型化しています。そして、最近の通信業界では、従来のエレクトレットマイクから MEMS (微小電子機械システム/Micro-Electronic-Mechanical System) 技術に基づいたマイク技術にシフトし始めています。MEMS 技術とは、超小型化した電子機械システムのことで、従来のマイクロプロセッサなどの半導体素子を作る際に用いられていた手法をセンサーやプロセッサに用いて作るものです。この技術の応用範囲は光センサーから加速度計、最先端の携帯電話に使用されるマイク、そして今や補聴器に使用されるマイクにまで及びます。

MEMS マイクに用いられる製造工程では、エレクトレットマイクよりも高い品質管理が可能になります。この技術には、ケミカルエッチングやリソグラフィーが含まれます。

ケミカルエッチングの場合、ミクロンの厚さのシリコンウエハーを、強力な酸、または塩基を用いて高度な制御方法で溶かします。この工程はとても精密であり、シリコン自体に微細な構造物が形成されます。リソグラフィーは、光にさらされたときに性質が変化する感光性の素材を使用します。リソグラフィー工程では、ウェットエッチングの前に MEMS 製品上に微細構造のパターン定義を施すためによく使用されます。このような工程によって、何千ものマイクを単一のバッチとして生産することが可能になります。これと対照的に、エレクトレットマイクの製造では、接着剤とプラスチック材を使用して、手作業で個々のマイクを組み立てる必要があります。この接着剤やプラスチック材は環境状態にかなり影響を受ける部品です。

MEMS 技術が魅力的である理由の多くは、製造に使われるシリコンの特性にあります。例えば、シリコンの特性は多くの点で鋼と類似しており、2つの材質では降伏強度や熱伝導性は似ているものの、シリコンの方がヒステリシスやたわみへの耐性が大きいのです (Bryzek, 2005)。図1にMEMS マイクの分解図を示します。

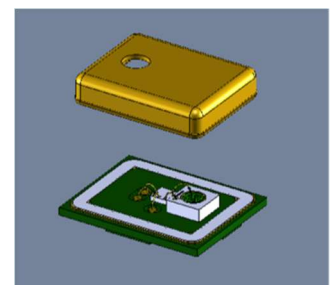


図1 : MEMS マイクロホンの分解図

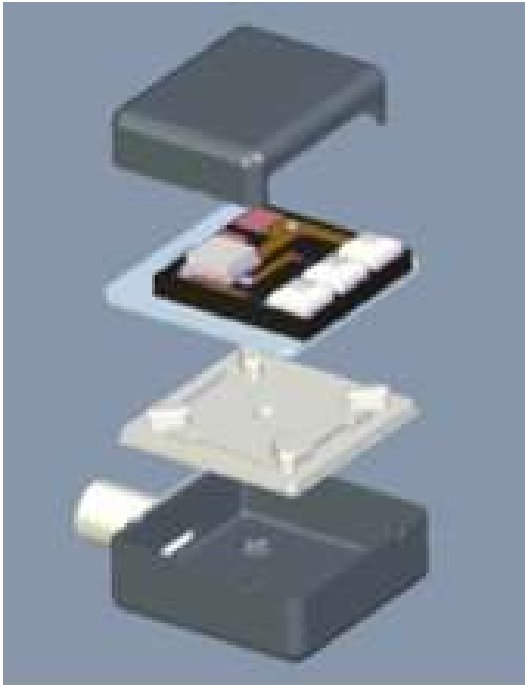


図2: エレクトレットマイクの分解図

このような特徴がエレクトレットマイクと MEMS マイクの総合的な性能に与える影響について、以下に説明します。

図2に示すエレクトレットマイクはポリエステル（すなわちマイラー）の振動板から構成され、振動板は引っ張られてリテンションリングに接着されています。この振動板は概念的には鼓膜に類似しており、音圧がぶつかる と振動板に振動が起こります。振動板と帯電したバックプレート間の距離が振動により変化し、この距離の変化によって音圧変化に対応する電圧の変化が生じます。正確に音響エネルギーを再現するため、エレクトレットマイクの振動板は特定の張力、そして、バックプレートは特定の電圧を維持する必要があります。しかしながら、湿気と温度の変化はポリエステルの振動板の張力に影響を与えます。その結果、マイク感度と位相応答に変化が生じます。これらの変化が補聴器の周波数レスポンスに対して、聞いて違いがわかるほどの影響を与えるとは考えにくいですが、補聴器性能の他の面に影響を与えることが考えられます。

補聴器における指向性処理は、水平面に沿って数ミリメートル離れて配置された2つのマイク間の位相関係を利用しています。各マイクへの音の到達時間の差によって、聞き手の背後から来る音を抑制するという指向性マイクの処理が可能になります。この時、使用されるマイクの感度及び位相が一致していないと、指向性処理の有効性は大幅に減少することになります。

エレクトレットマイクは、指向性マイクシステムの使用に非常に適した仕様で製造されて工場から出荷されます。しかし、エレクトレットマイクのポリエステルの振動板は高温多湿の条件では湿気を吸収しやすくなります。その結果、周囲の湿気の変化によってマイク感度が変化します。この変化がマイク間のミスマッチをもたらし、指向性システムの性能を低下させます。MEMS マイクでは、この張力依存の単一振動板を使用していません。代わりに、音を変換するために結晶ディスクを使用しています（図3）。各ディスクは直径1 mm 以下で砂粒ほどの大きさです。このディスク配列は1つのシステムとして機能し、音響エネルギーを捉えて補聴器が利用できる電気信号に変換します。シリコンの物理特性が温度や湿度の影響に耐性を持たせています。

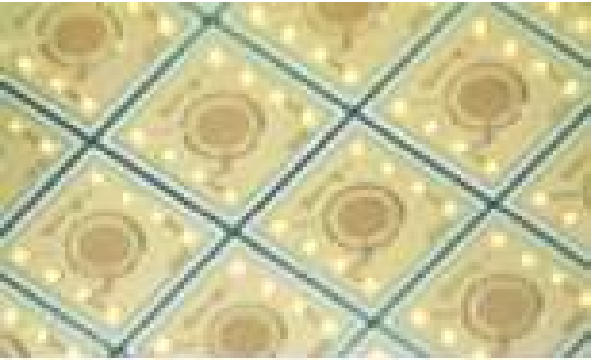


図3: MEMS マイクとなる結晶振動板シートの拡大図

これらのマイクのさらなる違いは、先に述べたバックプレートに関連しています。バックプレートは電気的に帯電しており、どのようなマイクでも、振動板の後ろにバックプレートがあります。マイクの振動板と帯電したバックプレートの距離は入力音に対するシステムの感度に影響を与えます。エレクトレットマイクの場合、バックプレートは半永久的な電荷を持つエレクトレット素材でコーティングされています。入力音に対する十分な感度を維持するため、エレクトレット素材は 350V 以上の電位を保持しなければなりません。バックプレートと振動板の間に比較的大きな距離があるため、この高い電圧が必要となるのです。MEMS マイクでは振動板の加工精度と剛性により、振動板とバックプレート間の距離を大幅に小さくすることができます。これによって、高キャパシタンスなエレクトレット素材に代わる単一チャージポンプが使用でき、高効率 10V 帯電でマイクを動作させることができます。

MEMS マイクの別の利点は、補聴器のマイクプロセッサを乗せている柔軟性素材にリフロー工程でマイクを直接的に接続できること、そしてワイヤーのハンダ（半田）付けが不要なことです。このリフローとは、回路基板の製造で一般的に用いられている工程です。手付けハンダでマイク部品を基板に取り付ける必要はなく、ハンダペーストを使用して一時的に部品を所定の位置に固定します。この乾燥したハンダを適切な制御で加熱するとハンダは液状となり、各部品は基板に接着されます。この工程は非常に高速に行うことができ、手動で製造するよりも精密です。これもプラスチック部品と接着剤を使用するエレクトレットシステムでは不可能です。

MEMS マイクの補聴器への導入する際、幅広く技術を精査して採用し、聴覚ケアへ応用しました。従来、MEMS マイクは半導体と通信のために開発されたものであり、補聴器に応用するために、我々は複数の技術と慎重に融合してきました。他の分野に由来する多くの技術に比べて、補聴器は大変厳しい要求を求められたユニークな応用例です。今回の導入では、主に通信に用いられていた技術を再構築し、難聴の治療に用いるために最大限に最適化しました。その結果、補聴器設計が根本的に改善され、システムはより高性能となり、これまで使用されてきたエレクトレットマイクよりも幅広い環境条件での安定性を確保することができました。

謝辞

著者はこの白書の作成にあたり貢献してくれた Tom Burns、Wei-Li Lin 、Aaron Schroeder に感謝したいと思います。

参考文献

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