

三菱電機におけるマイクロマシン技術



武田 宗久*

Micromachine Technology in Mitsubishi Electric Corporation

Key Words : Micromachine

1. 会社概要

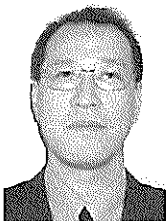
社 名：三菱電機株式会社
 英文名称：Mitsubishi Electric Corporation
 本社所在地：〒100-8310
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
 設 立：大正10年1月15日
 資 本 金：175,820百万円(平成14年度)
 売 上 高：2,319,210百万円(平成14年度)
 社 員 数：35,457人(平成15年3月31日現在)
 事業内容：各種電気機械器具，電子応用機械器具，
 産業機械器具，情報処理機械器具，
 家庭用電気機械器具，照明機械器具，
 車両機械器具，船舶機械器具，航空機
 機械器具，誘導ロケット，人工衛星，
 通信機械器具，工作機械器具，理化学
 機械器具，光学機械器具，原子力機械
 器具，瓦斯器具，ビル・住宅関連製品，
 半導体素子，集積回路その他一般機械
 器具及び部品の製造並びに販売

2. はじめに

「マイクロマシン」という言葉で一般の人が想像するものとしては，1969年のSF映画「ミクロの決死圏」において登場した体内潜航艇「プロテウス号」が

あげられる。血管内を自由に動き回り病巣を治療できるような小さなマシンは35年前にはSFの世界の産物でしかなかった。ところが，約20年後の1987年に米国のAT&Tベル研とMITにおいて，シリコン基板状に機械部品である歯車が，また，翌1988年にはUCバークレーとMITにおいて静電気で動く直径100 μ m強のモータが製作されるようになり，にわかには現実味をおびるようになってきた。

高度情報化，パーソナル化を支える機器の高機能化，知能化，及びそれと相矛盾する小型化，軽量化を支えて来たのは電子デバイスの集積化すなわちICや超LSIであった。機械部品はダウンサイジングが行われているといっても，電子部品と比較すると何倍も遅れをとっていた。これに対して，シリコン基板上に形成された機械部品は機械部品の電子部品に相当する小型化が実現できることを実証したものである。また，電子部品と機械部品を統合した新たな機能デバイスの創出を予感させるものであり，世界各国で活発な研究開発が行われるようになった。米国ではMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)と呼ばれ，半導体加工技術を発展させて，主にシリコン材料を用いた新しいデバイスの研究開発が行われている。ヨーロッパではMST(Micro Systems Technology)と呼ばれ，米国よりはシステム指向し，また特にドイツではLIGAと呼ばれる，X線リソグラフィと電鋳およびモールドイング技術を組合せ，シリコンでない材料も含めた機能デバイスの研究開発が行われている。日本では，1991年に通産省工技院(現在経済産業省)の産業科学技術研究開発制度のもと，欧米とは視点を変えて機械加工技術の微細化をも取り入れた「マイクロマシン技術」の研究開発がスタートした。また，このような微細加工技術全般は「マイクロマシン技術」とも呼ばれている。このように，呼び名は種々異なるが，微



* Munehisa TAKEDA
 1957年3月生
 1981年京都大学大学院・工学研究科修士卒業
 現在，三菱電機(株)先端技術総合研究所・センシング技術部，部長，修士，精密工学
 TEL 06-6497-7163
 FAX 06-6497-7288
 E-Mail Takeda.Munehisa@wrc.melco.co.jp

細加工技術を利用したデバイス、機器の小型化、高性能化は今後ますます重要になってくると考えられる。三菱電機(株)においても基礎から応用と幅広い研究開発を実施している。ここでは、三菱電機のマイクロマシニング技術応用デバイス開発の取り組みについて、いくつかの具体的な例を示しながら紹介する。

3. 三菱電機の取り組み

マイクロマシニング技術はシリコンLSI技術に次ぐ高生産性加工技術として期待されている。但し、開発のあり方は大きく異なる。シリコンLSIの開発ではプロセス技術のレベルアップを図るため代表的なデバイスをテクノロジー・ドライバと位置付け先行的開発を行い、そこで開発された汎用的な技術を他のデバイス開発に波及させてゆくという開発形態がとられることが多かった。こうした開発システムが有効に働くのは、如何にして製造するかという“how”が重要な時代であり、1980年代の日本のLSI産業はまさにこの“how”で他を圧倒し、優位に立つことができた。その後、1990年代に入ると製造技術が装置内に組み込まれ、開発の視点が“how”から“what”に移り、日本のLSI産業は苦戦をしいら

れている。マイクロマシニング技術を利用して作り出されるマイクロデバイスはシリコンLSIと異なり、デバイス構造が多彩で、プロセス技術も多岐にわたる。マイクロマシニング技術応用デバイスにはシリコンLSIのメモリやマイクロプロセッサに相当する技術分野を代表するデバイスは存在しない。そのため、マイクロマシニング技術の分野では最初から“what”が非常に重要な意味をもっている。

図1に三菱電機のマイクロマシニング技術応用デバイスの開発例を示す。当社では、保有する基盤技術をベースに、事業部門と研究部門が緊密に連携をとりながら、社内で生産する意義が十分見出せるデバイスに特化して、独創性を重視した研究開発を進めている。以下に代表的な開発事例として、非冷却赤外線イメージセンサと加速度センサについて紹介する。

4. 開発事例紹介

(1) 非冷却赤外線イメージセンサ

当社は民生用赤外線カメラの分野では豊富な経験を持っており、マイクロマシニング技術の進歩で実用的な性能が得られるようになった非冷却赤外線イメージセンサは最も重要な研究開発対象の一つになっ

基盤技術

異方性エッチング (KOH, TMAH)
 エレクトロケミカルエッチング
 ICP-RIE
 XeF₂ドライエッチング
 有機犠牲層プロセス
 陽極接合
 機能薄膜

代表的なデバイス

独自のSOIダイオード方式
 非冷却赤外線イメージセンサ





異方性エッチングによる
 小型ミラーデバイス



独自のDAM構造による
 RF-MEMSデバイス

高アスペクト加工で
 高感度を実現した
 加速度/角速度センサ





ECE技術による
 超微細構造を利用した
 バイオデバイス

TMAH: TetraMethyl Ammonium Hydroxide, ICP-RIE: Inductively Coupled Plasma - Reactive Ion Etching, SOI: Silicon On Insulator, DAM: Dielectric Air Metal, RF-MEMS: Radio Frequency Micro Electro Mechanical Systems, ECE: Electro Chemical Etching

図1 三菱電機におけるマイクロマシニング応用デバイスの開発

ている。非冷却赤外線イメージセンサとしては多くのメーカーが酸化バナジウムを用いたマイクロボロメータ方式を採用している。酸化バナジウムマイクロボロメータ方式非冷却赤外線イメージセンサは下地のシリコン信号読出回路をシリコンLSI製造ラインで製造した後、別の専用ラインで酸化バナジウムの形成とマイクロマシニングプロセスを行っているが、当社は低コスト化、高生産性を実現するためにシリコンLSI製造ラインを最大限に活用できる独自の方式を考案し、実用化している。この方式では赤外線吸収による画素の温度変化を単結晶シリコンダイオードで検出しており、赤外線吸収を効率的に行うための構造にも工夫をこらしている。独自の画素構造を実現するために当社では独自のマイクロマシニングプロセス技術を開発した。このプロセス技術ではSOI基板の埋込酸化膜をエッチングストップとすることでサーフェスマイクロマシニングとバルクマイクロマシニングを同時に行うことができる。

(2) マイクロ加速度センサ

マイクロ加速度センサのほとんどはニュートンの法則に基づいた検出原理により、加速度によって質量に作用した力から加速度を計測している。また、力の検出方法により、静電容量型、ピエゾ抵抗型、圧電型等に分類できる。当社では静電容量型加速度センサを開発している。このセンサは梁で支持された質量体である可動電極が加速度による慣性力を受けたときの変位を可動電極の両側に配置した固定電極の静電容量の変化で検出している。また、自己診

断用に櫛歯の静電アクチュエータも組み込まれている。製作プロセスとしては(110)面方位の単結晶シリコン基板をKOH溶液によって裏面エッチング後、ガラス基板と陽極接合し、さらに表面をKOH溶液によって異方性エッチングすることで、可動電極ならびに固定電極を形成する。さらに、上部ガラスを接合して、ガラス-シリコン-ガラスの3層構造のセンサエレメントを実現したウエットエッチング版を1999年に製品化し、最近ではさらなる小型、高性能化を図った異方性ドライエッチング技術を用いたドライエッチング版を製品化している。センサエレメントはASICと一体化して $10.3 \times 10.3 \times 3.5 \text{mm}^3$ のSOPパッケージにモールドしている。検出加速度範囲は $\pm 19.6 \text{m/s}^2$ ($\pm 2G$, G : 重力加速度)で、液晶プロジェクタの画像補正やカーナビゲーションの高低位置検出等に使われている。

5. おわりに

シリコンLSI技術に次ぐ高生産性加工技術であるマイクロマシニング技術の概要と当社における取り組み方および事例紹介を行った。マイクロマシニング技術は技術の空洞化が叫ばれる日本において、技術大国を復権させるキー技術になりうる技術であり、また応用可能な領域もセンサから光学素子、高周波素子、バイオ素子、マイクロメカニズムなどへ大きな広がりを見せている。当社では今後ともオリジナリティを優先させながら、基礎から応用へと幅広い研究開発を行っていく予定である。

