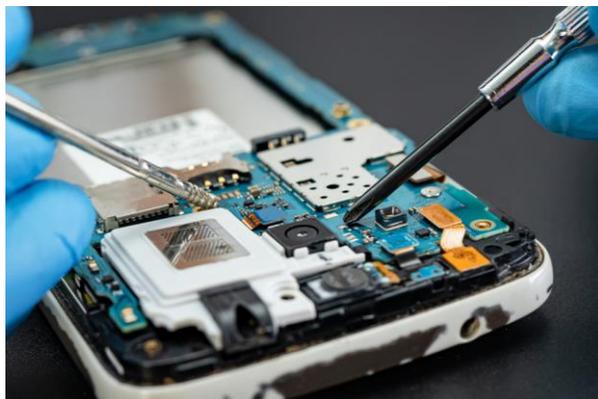


## 知見の囿炉裏端

## 時代を変えた、世界を変えたシリコン深掘り技術 ～IEEE Bosch Award 受賞に至る経緯～



技術経営士の会会員(元幹事) 神永 晋



2024 IEEE EDS Robert Bosch Micro and Nano Electro Mechanical Systems Award 受賞の栄誉に浴したこの機会に、受賞対象となった「シリコン深掘り技術の開発と商用化」に関わった30数年に及ぶ経緯を振り返ってみたい。このAwardは、世界最高峰の技術者団体であるIEEE(1)(米国電気電子学会)のEDS(2)(電子機器部門)にRobert Bosch社(3)のスポンサーシップで10年前に設けられたAwardで、歴代、Stanford、UC Berkeley、UCLA、ETH、Delft、東大等、学界の重鎮の受賞が続いたが、産業界から初めての受賞となった。



〈受賞者紹介〉

受賞対象となったシリコン深掘り技術(DRIE: Deep Reactive Ion Etching)は、30年にわたるMEMS(4) (微小電気機械システム)発展の原動力となり、この技術によって開発された新しいMEMSが、車載センサ、インクジェットプリンターノズルから始まり、ディスプレイ、スマホ、IoT、そして自動運転と、新しいアプリケーションを生み出して来た。MEMS界では、この技術がなかったらスマホもIoTも出現しなかったと言われている。

本年1月に米国テキサスのオースチンで開催されたIEEE MEMS 2024会議で受賞式が行われたが、諸般の事情で出席が叶わず、ビデオによる受賞者スピーチ(5)が紹介された。

MEMSは、シリコンを材料とする半導体の製造において確立された微細加工技術をベースとしながら、半導体でなく3次元機械構造物として製作されるものである。そこでは、基本的に2次元の平面回路である半導体の製造では必要としなかった垂直方向の深さを高速で精密に微細加工するシリコン深掘り技術が重要な役割を果たす。



〈メダル〉



〈受賞証書〉

半導体同様、ミクロンレベルの微細加工を可能とするため、数ミリの大きさのセンサや機能部品が実現した。圧力センサ、加速度センサ、ジャイロ等に代表される物理センサに始まり、化学センサ、バイオセンサに至るまで、微小センサとして具現化されるようになった。さらにMEMSセンサには無線機能を組み込むことができるため、ワイヤレス・センサ・ネットワークを構築することが可能になり、従来はセンサが大きく有線を必要としたため設置が困難であった箇所にセンサの使用が可能になり、省エネ/節電、建築/土木、保守点検、物流管理、農業/自然環境管理、セキュリティ、ヘルスケア/医療と広範囲にワイヤレス・センサ・ネットワークが適用されることとなった。これがIoTの世界である。

筆者のMEMSとの出逢いは、1987年に東京で開催された国際会議Transducers 1987にて発表された、“Gear Train”であった。Transducersは1981年にボストンで開催された第1回以降、隔年で開催されるSensors & Actuatorsに関わる世界最大の国際会議であるが、回を重ねるに連れ、MEMSにとって重要な会議となり、冒頭に述べたIEEE MEMS会議とともにMEMSにとって重要な国際会議である。昨年京都で開催された第22回では1000名を超える参加者が一堂に会した。

上述の“Gear Train”は、直径300 $\mu\text{m}$ (0.3mm)以下の歯車を3個連ねたものであったが、筆者は、半導体製造プロセスで微小な機械部品を製作する技術に大きな興味を持ち触発され、以来35年を超えてMEMSに関わって来た。当時、日本の産業界ではMEMSはほとんど認知されておらず、当初望んだMEMSセンサの開発と事業化は時期尚早との判断から、研究者向けの試作ツールの開発を手掛けた。

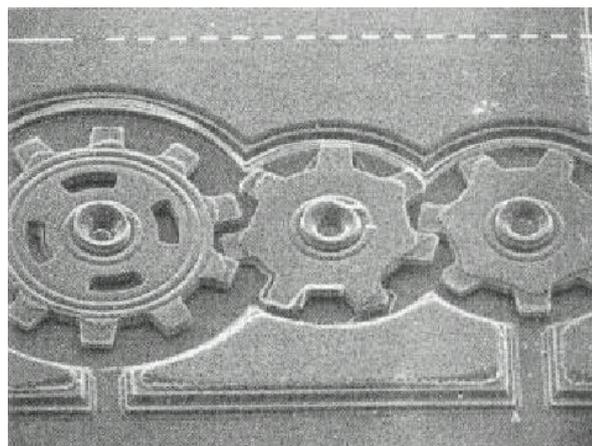
1980年代末に、国内のベンチャー企業と提携して開発を進める一方で、英国ウェールズで同様の事業を進めていたベンチャー企業とのパートナーシップで微細加工技術の開発と事業化を進めた。

そうこうするうちに、ドイツのRobert Bosch社が、特許を取得したBosch Processの装置化を目論んで、この英国ベンチャー企業Surface Technology Systems(STS)社にアプローチした。筆者は、勤務していた日本企業によるこのベンチャー企業の買収を進めて傘下に収め、現地に於いてBosch Processに基づくシリコン深掘り技術(DRIE)の開発と装置化を陣頭指揮し、1995年に世界で初めて市場に投入した。以降、このシリコン深掘り技術のおかげで、MEMSの世界が急速に発展し、現在に至る30年にわたって、自動車用センサやインクジェットプリンターヘッドノズルをはじめ、ディスプレイ、ゲーム機、携帯電話、スマホ、IoTとMEMSの応用範囲が拡大し、さらには、自動運転、5G、CASE、MaaS、メタバースと大きな展開の要となっている。この間、シリコン深掘り装置に加えて、MEMS向け微細加工装置群(成膜、犠牲層除去他)の開発・装置化を推進した。

この過程で、MEMS界を長きにわたってリードして来た重鎮と言われる人たちと共に活動する機会を得、長年の友人となることができた。1970年代初頭からMEMSに取り組んだ東北大学名誉教授、画期的なBosch Processを発明したRobert Bosch社の研究者、1982年にMEMSの出現を予言する論文を発表しシリコンバレーで多くのMEMSベンチャーを成功させた第一人者、MEMSに関わる広範囲の研究開発で知られるスタンフォード大学教授の面々が受賞のための推薦者となり、彼らをはじめとして全世界でこの技術を駆使してMEMS開発に携わった多くの人たちの支援なくしては、この受賞に至ることはなかった。

この技術の研究開発と事業化は、ドイツのRobert Bosch社の研究者が発明し特許化した基本プロセスBosch Processに基づき、日本企業が傘下に収めた英国ウェールズのベンチャー企業の持つコア技術を駆使して、日本企業の筆者がこの技術の開発と製品化・事業化を主導して推進してきた。

現在に至るまで常に研究開発投資を継続した結果、その性能は数10倍に達している。その間、2000年のITバブル崩壊、2009年のリーマン・ショック、2011年の東日本大震災、さらには2020年以降の新型コロナ感染拡大等の激しい事業環境の変化を乗り越えて、この技術の研究開発と事業化への投資を継続するために、30年にわたる年月を通じて、中長期視点で、数多くのM&A(買収、上場、競合買収と新会社設立、MBO受諾等)を駆使しながら、常に、技術開発とそれを推進する従業員(研究者、技術者、工場労働者)を鼓舞し守り救うことを目的として、顧客と市場の要求に応えながら、従業員、顧客と共に新しい産業の創出に邁進して来た。現在でも更なる研究開発投資により常に進化を続けるシリコン深掘り技術(DRIE)は世界中の多くのMEMS開発者との協業により、新しいMEMSとそのアプリケーションの創出に貢献している。



〈Gear Train〉

(K. J. Gabriel, W. S. N. Trimmer and M. Mehregany, “Micro gears and turbines etched from silicon”, in Tech. Digest of the 4<sup>th</sup> Int. Conf. On Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '87, Tokyo, June 1987), pp. 853-856)

このような新規技術の開発と事業化さらには産業化に長年関わって来た経験から得られた教訓は、先ず、中長期視点による継続した開発投資の重要性である。

過去数10年の間に、2000年のITバブル崩壊、2009年のリーマン・ショック、2011年の東日本大震災、そして2020年以降のコロナ禍と、事業環境が激しく変動する中で、開発投資を継続して推進するためには、経営的に多岐にわたる方策を必要とすることを経験した。

1995年に買収して傘下に収めた従業員70数名のベンチャー企業の経営と技術開発を主導し、5年間で400名を超える中堅企業に成長させ、ロンドンの新興企業向け市場に上場した。その後、ITバブル崩壊のあおりを受けて業績が大きく低下したが、その後も開発投資を継続し、英国と日本の両拠点に研究開発と生産の機能をそれぞれ構築し、欧米を中心とした市場と日本国内市場のそれぞれの特質を考慮しながら事業展開を推進した。その後、TOBによる非上場化を経て再度完全子会社とし、さらに競合を買収して統合し新会社を設立して飛躍的に事業を拡大し業績の大幅V字回復を果たした。シリコン深掘り技術(DRIE)によって具現化できたMEMSセンサやマイクロフォンをコアとするiPhone が2007年に市場投入され急成長したことが、V字回復の主たる要因であった。数年後、英国事業の経営陣のMBO要請を受諾して海外事業を委ね、国内事業との協業を進めて来た。

このようにして、30年前のシリコン深掘り技術の市場導入が、MEMS界における新規研究開発の大きな進展を促進し、スマートフォンやIoTという新しい世界が出現したことを見て、新規技術開発の目的は、新しい需要を生み出し、人々のより良い生活の実現に貢献することにあることを痛感した。そこでは、単なる「技術開発」のみならず、社会へ実装する「技術経営」との両輪が求められる。企業経営の目的は、新規技術の社会への実装によるイノベーションをもって、社会に貢献することにあると言える。

今回の受賞が、このような経緯に長く関わって来た産業界の人間への評価であるとすれば大変光栄であり、特に若い世代の人たちへの刺激となれば望外の喜びである。

- 1)IEEE(アイトリプリー) : Institute of Electrical and Electronics Engineers
- 2)EDS : Electron Devices Society
- 3)Robert Bosch社(ドイツ) : 世界最大の自動車用部品・システムメーカー
- 4)MEMS : Micro Electro Mechanical Systemsメムス
- 5) <https://www.youtube.com/@spp8359>