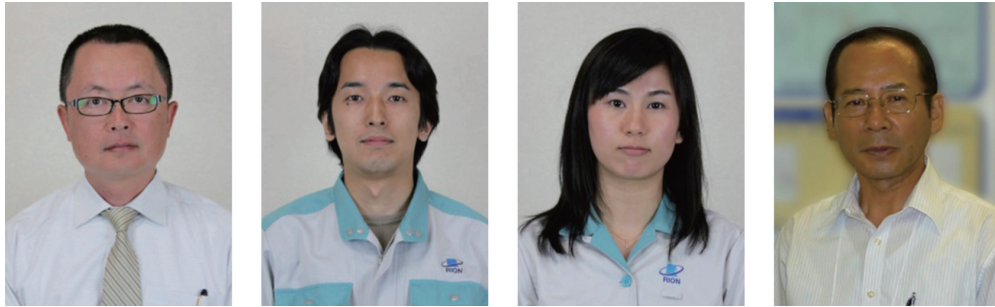
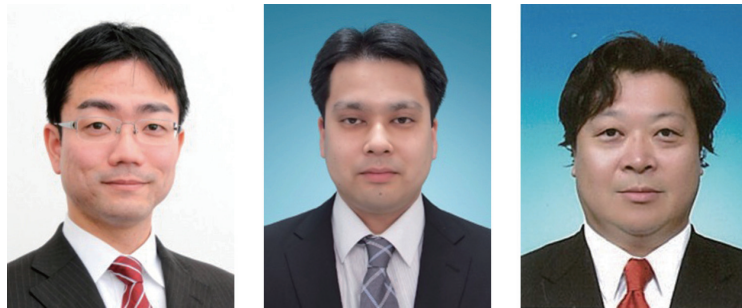


シリコンエレクトレットマイクロホンの開発

リオン株式会社 樹所 賢一, 伊藤 平, 山田 綾子, 一般財団法人小林理学研究所 安野 功修
 東北大学 戸津 健太郎, 森山 雅昭, 鈴木 裕輝夫



(左から) リオン株式会社 樹所 賢一, 伊藤 平, 山田 綾子, 一般財団法人小林理学研究所 安野 功修



(左から) 東北大学 戸津 健太郎, 森山 雅昭, 鈴木 裕輝夫



1. はじめに

現在、補聴器用や音響計測器用のマイクロホンとしてはエレクトレットコンデンサマイクロホン (ECM) が実用化され、幅広く使用されている。一方、センサデバイスの小型化に対しては MEMS の技術が進歩し MEMS センサデバイスとして圧力センサ、加速度センサ、ミラーデバイス、カンチレバーなど様々なデバイスが製品化されている。マイクロホン分野においても MEMS による小型設計・低コスト化が進みモバイル端末などで既に実用化されている。しかしながら、現状の MEMS によるマイクロホンは、補聴器用・計測用として使用する場合、自己雑音、周波数特性の面で、従来の ECM を上回る水準には達していない。そこで MEMS 技術を応用した高性能で小型なシリコンエレクトレットマイクロホンの実用化について検討を進めている。

当社は、1940 年に設立された音響学と物理学の民間研究所である小林理学研究所の研究成果 (超音波、水中

音響、ロッシェル塩などの研究) の製品化を目的として、1944 年に株式会社小林理研製作所の社名で設立され、わが国最初の音響機器用クリスタルエレメントおよびその応用製品の製造から開始した。そして設立 15 周年の翌年にあたる 1960 年に、理学の“リ”音響の“オン”の 3 文字から社名をリオン株式会社に変更し現在に至る。現在の事業内容は医療機器事業、環境機器事業をメインとし、将来を見据えた新技術の研究開発を目的とした R&D センター、各事業部および R&D センターをサポートするための事業支援本部で構成されている。

医療機器事業における製品としては補聴器、オージオメータ、聴力検査室などで構成され、環境機器事業における製品としては騒音計、振動計、分析器、微粒子計などで構成される。

シリコンエレクトレットマイクロホンの開発は、当社両事業に共通するセンサ技術であり、将来、実用化の際は、補聴器用、音響計測器用にとどまらず、グリーンイノベーションに対しては、自動車分野、環境騒音監視、風力発電、水力ダムなどの常時監視システムへ、ライフイノベーション

ンに対しては身体内の音源検知（呼吸、心音、血流など）、更に放送用への応用へと用途が広がる大きな可能性を持つものと考えている。



2. マイクロホンの構造

我々が検討を進めているシリコンエレクトレットマイクロホンは、単結晶シリコンの振動膜、固定電極をそれぞれ作製し、貼り合わせることで構成されるエレクトレット型のコンデンサマイクロホンである（図1）。既に実用化されているシリコンマイクロホンは、サーフェスマイクロマシニング方式によるバイアス型のコンデンサマイクロホンが主流であるのに対して、我々はマイクロホン設計の最適化に自由度があると考え、バルクマイクロマシニング方式を採用した。



3. 開発の経緯

我々は MEMS プロセスに必要な設備を保有しておらず、またその知識についても持ち合わせていない状態から検討をスタートした。まずは、NHK 放送技術研究所、小林理学研究所との共同研究からスタートし、共同研究終了後は NHK エンジニアリングシステムからの技術協力を得る中で、外部のファウンドリを利用したものづくりから着手した。ファウンドリを利用したものづくりは、数回の試作を繰り返すことで目標に近い形状に仕上がり、音響的な評価までに至った。その結果、マイクロホンとしての性能的な課題、また MEMS プロセス上の課題がある程度明確になった。そのなかでも、振動膜の厚さコントロールがその重要な課題の一つとして挙げられる。しかしながら、課題をクリアしていくための方法について検討を進めたところ、ファウンドリで持ち合わせている工程では対応できないことが分かった。

そこで、全体的な工程の見直しを含めて東北大学原子分子材料科学高等研究機構／マイクロシステム融合研究開発センター江刺正喜教授にアドバイスをいただく中で、東北大学微細加工プラットフォーム（拠点：東北大学西澤潤一記念研究センター 図2）において実現できる可能性があることがわかった。東北大学の微細加工プラットフォームでは、1,800m²のクリーンルーム内に100台以上の装置があり、フォトリソグラフィ、酸化拡散、成膜、エッチング、ウェハ接合等の微細加工が一貫して行える環境である。4インチ、6インチの大きさのウェハに対応したラインで、デバイスの原理検証のための研究開発から製品レベルの開発まで行えることも特徴である。設備の見学や関係者との打合せの結果、所望の MEMS プロセスを実施できるものと判断し、試作を行うこととした。

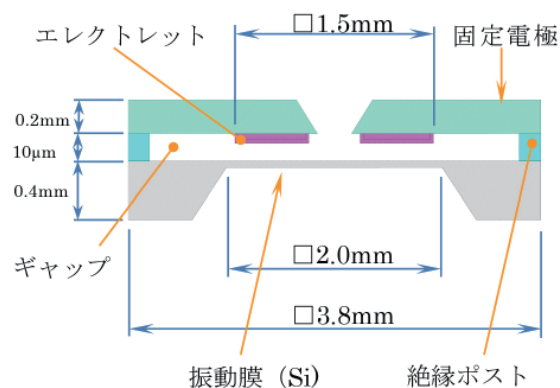


図1 マイクロホンチップ断面概略図



図2 東北大学西澤潤一記念研究センター



図3 ボロン拡散炉

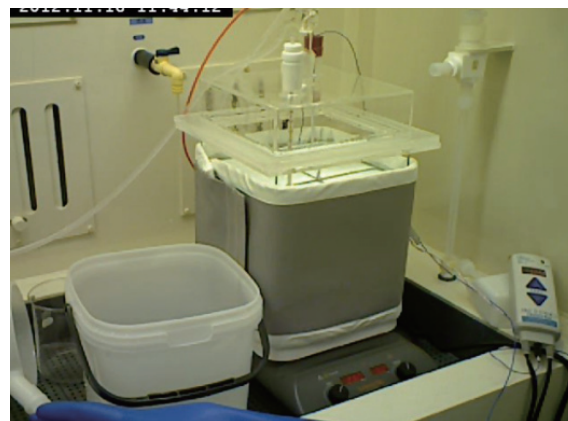


図4 アルカリエッチング槽



4. マイクロホンの作製

東北大学微細加工プラットフォームを利用して MEMS プロセスを行った成果の一つとして、振動膜の試作が挙げられる。まず、ボロン拡散により、シリコン基板表面に P++ 層を形成した (図 3)。その後、KOH またはテトラメチルアンモニウムヒドロキシド (TMAH) の強アルカリ溶液によるシリコン異方性エッチングで、この P++ 層をエッチストップとして裏面からシリコンのエッチングを行った (図 4)。振動膜の厚さは深さ方向の P++ 濃度で決まるため、二次イオン質量分析装置 (SIMS) を利用して深さ方向のボロン濃度分布を評価しながらボロン拡散の条件出しを行い、所望の厚さとした (図 5)。その結果、厚さ約 3 μm の振動膜を得ることが出来た (図 6)。

仕上がった振動膜は、別途、微細加工によって作製したシリコン固定電極側のチップと貼り合わせて図 7 に示すようなマイクロホンチップとして完成させた。

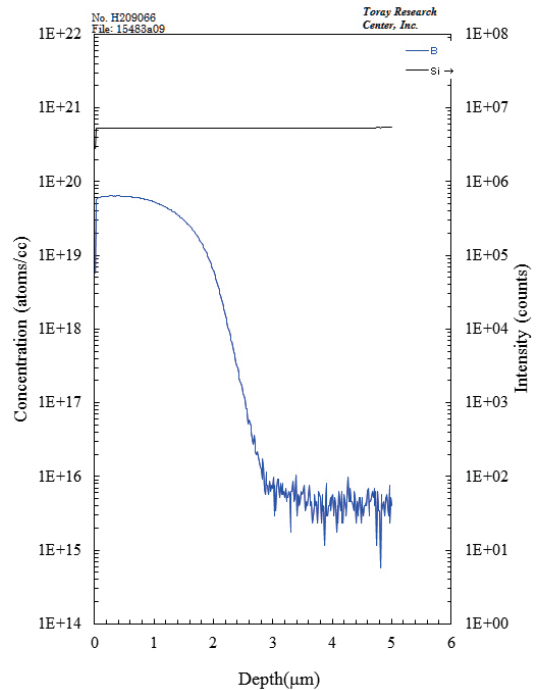


図 5 SIMS による深さ方向のボロン濃度分布の評価



5. NHK 技研公開 2013 における一般公開

作製したマイクロホンチップを、図 8 に示すように防沫仕様の 1/4 インチ小型マイクロホンに組上げた。これを NHK 放送技術研究所において 2013 年 5 月 30 日から 6 月 2 日まで開催された「技研公開 2013」において、NHK エンジニアリングシステムの展示ブース内で一般公開した [1]。また、公開に先立ち、2013 年 5 月 23 日には当社よりプレスリリースを行い、成果を広く社会に発信した。プレスリリースの内容については、文部科学省 ナノテクノロジープラットフォーム、微細加工ナノプラットフォームコンソーシアム、東北大学ナノテク融合技術支援センターの各ホームページにおいても掲載いただいた。

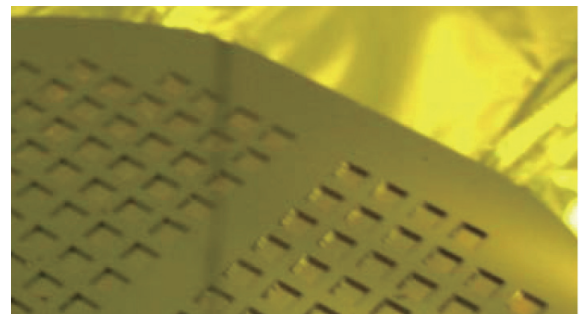


図 6 シリコンウェハ上に作製した厚さ 3 μm の振動膜



6. おわりに

小形、高性能なマイクロホンの実現を目指して、MEMS 技術を応用したシリコンエレクトレットマイクロホンの開発を行った。完成したマイクロホンチップを組み込んだ防沫仕様の 1/4 インチ小型マイクロホンを一般公開するに至った。

微細加工プラットフォームを利用したことにより、MEMS プロセスに関する技術者教育も行うことができた。前述したように我々は MEMS プロセスに関する知識がない中で検討をスタートし、様々な方の協力を得ながら実際にものづくりをすることで一通りの工程はこなせるレベルに至った。この成果を活かし、より完成度を高めるために現在も試作を継続している。

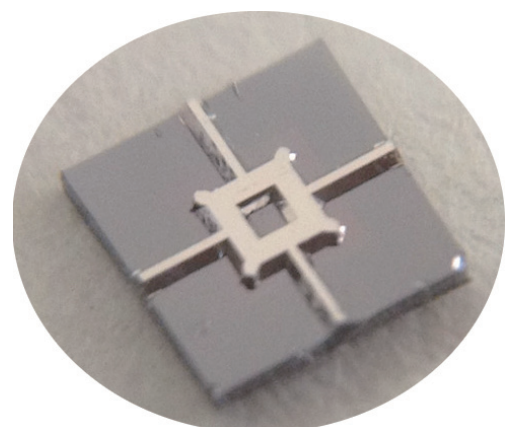


図 7 作製したマイクロホンチップ

本開発課題は、ナノテクノロジープラットフォーム事業の平成 24 年度の「秀でた利用 6 大成果」の一つに選ばれ、さらにその中で最優秀賞を受賞した (図 9) [2]。関係各位に深く感謝の意を表する。

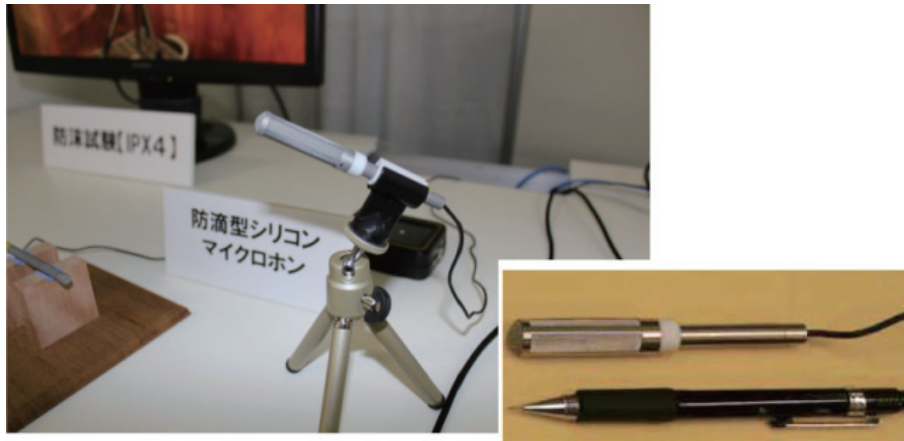


図8 NHK 技研公開 2013 において一般公開した防沫仕様の 1/4 インチ小型マイクロホン



図9 平成 24 年度「秀でた利用 6 大成果」最優秀賞受賞
(nano tech 2014 会場にて)

参考資料

- [1] リオン株式会社 プレスリリース 2013 年 5 月 23 日
当社が製作協力した「防沫仕様の 1/4 インチ小型マイクロホン」の NHK 放送技術研究所の「技研公開 2013」での一般公開について
http://www.rion.co.jp/dbcon/pdf/news_130523.pdf
- [2] リオン株式会社 プレスリリース 2014 年 2 月 19 日
「シリコンエレクトレットマイクロホンの開発」が「秀でた利用 6 大成果」の最優秀賞に
http://www.rion.co.jp/dbcon/html/news_140219.html

(リオン株式会社 樹所 賢一)



【お問い合わせ】

微細加工プラットフォーム
東北大学 ナノテク融合技術支援センター
☎ 022-229-4113
E-mail totsu@mems.mech.tohoku.ac.jp

ホームページ
<http://cints-tohoku.jp/>