

Facilities Introduction

施設紹介

HORIBA最先端技術センター設立 —半導体センサー技術の遷宮—

Establishment of HORIBA Advanced Technology Center
—“Sengu” of Semiconductor Sensor Technology—

田邊 裕貴

Hiroki TANABE

はじめに

HORIBAグループは、気体、液体、固体の分析・制御を行う装置機器メーカーであり、様々な製品をお客様に提供している。この分析・制御を行うためのキーコンポーネントは、できるだけ内製することを心がけ、今日に至っている。近年、分析・制御装置としては、より高感度化、高速化の要求と、より小型化の要求が著しくなっている。特に小型化は、装置機器の省エネルギー化・省資源化のためや、プロセス装置などに組込んでin-situ計測するため、従来は制御することが困難であった分野への分析用途の拡大につながる技術となっている。これらの分析機器の小型化の実現のためには、分析機器の心臓部のセンシング部の小型化・集積化が必要となる。

HORIBAでは、例えば、自動車の排気ガス分析装置の心臓部である赤外線センサーを、内作してきた。内作するためには、微細加工技術・薄膜成膜技術などが不可欠でありそのための設備を早くから導入してきた。そして、1997年には、更にセンサーと信号処理回路を一体化したワンチップデバイスや、センシング技術とエレクトロニクス技術を融合させたスマートセンサーや機能デバイスの開発・生産を進めていくために半導体クリーンルームを設立した。「研究開発と小規模生産の両方が行えるコンパクトでフレキシビリティのあるライン」をコンセプトとして、多種多様なセンサーやデバイスを作るために、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) とMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) プロセスの設備を導入してきた。この半導体クリーンルームで、新たにISFET pHセンサーや赤外線薄膜センサーなど、HORIBA製品向けのセンサーを生み出してきた。

この度、HORIBAグループの技術力を融合させ、コア技術となるキーコンポーネントの内作化や独自アプリケーションの開発をより推進するために、STEC本社に半導体事業関連のクリーンルームを集約し、HORIBA最先端技術センターを設立した(Figure 1)。これまで半導体センサーの開発と生産をHORIBA本社内の三ヶ所のクリーンルームで行ってきたが、半導体センサー技術はHORIBAグループにとって重要なコア技術の一つであり、これらのクリーンルームを移転することは、HORIBA本社地区からSTEC本社地区への「半導体センサー技術の遷宮」と言える。本稿では、「半導体センサー技術の遷宮」について紹介する。



Figure 1 最先端技術センター

HORIBAの半導体センサー技術

HORIBAの半導体センサー技術は、前述のCMOS技術とMEMS技術に加えて、HORIBA独自の機能性薄膜技術やセンサー実装技術がある。これらの技術は、HORIBAの半導体センサー・デバイスに必要な不可欠であり、これまでの開発と生産を通じて長年培ってきた技術である。以下にそれらの技術について詳しく紹介する。

CMOS技術

CMOS技術とは、n型およびp型のMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, 金属酸化膜半導体電界効果型トランジスタ) を作るための技術であり、メモリやイメージセンサーなどの作製に一般的に使われている。ウェハに付着した有機物や金属の汚染やパーティクル

を除去するための洗浄技術、絶縁膜(SiO₂膜、Si₃N₄膜)や電極膜(Al膜、ポリシリコン膜)などの成膜技術、微細なパターンを形成するためのフォトリソグラフィ技術、エッチング液や反応性ガスなどを使って薄膜を除去するエッチング技術、シリコン基板中にボロンやリンなどのイオンを打ち込むイオン注入技術などが主な技術である。HORIBAでは、CMOSを作るための一連の設備を取り揃えている。このCMOS技術でサーモパイルセンサーのスイッチ回路を形成し、pHセンサーであるISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor)のFET構造の形成にも適用している。また、他の全ての半導体センサー・デバイスにおいても成膜技術やフォトリソグラフィ技術を使用しており、HORIBAの半導体センサー技術の基盤技術となっている。

MEMS技術

MEMS技術とは、微小な三次元構造の、センサー、機械的構造、電子回路などを同一基板上に作るための技術である。インクジェットプリンタヘッド、加速度センサーなどの作製に一般的に使われている。

HORIBAでは、サーモパイルセンサーのダイヤフラム膜の形成などの基盤技術となっている。Figure 2にサーモパイルセンサーの構造図を示す。ダイヤフラム膜とは、膜を中空で保持した構造である。この保持された膜の上部にセンシング部となる材料を形成することで、小型で高感度、高速のセンサーを作製することができるようになる。この構造の作製は、ベースとなる基板上に膜を形成し、その後に基板を取り除くことにより行う。CMOS技術とは異なり、表面だけでなく裏面から加工を施すのもMEMS技術の特徴の一つである。HORIBAではSi基板を用いたダイヤフラム構造を実現するために熱酸化したSiO₂膜を採用している。このSiO₂膜の圧縮応力を緩和するために、更にSiO₂膜の上にCVD (Chemical Vapor Deposition)法によるSi₃N₄膜を成膜し、Si₃N₄/SiO₂積層構造としている。基板の除去には、異方性エッチングなどのエッチング技術を使用している。異方性エッチングとは、エッチングされる基板の結晶の面方位に依存したエッチングのされやすさを利用して、ある面方位の方向に沿ってエッチングを行う方法である。シリコンの異方性エッチングには、Tetramethyl-

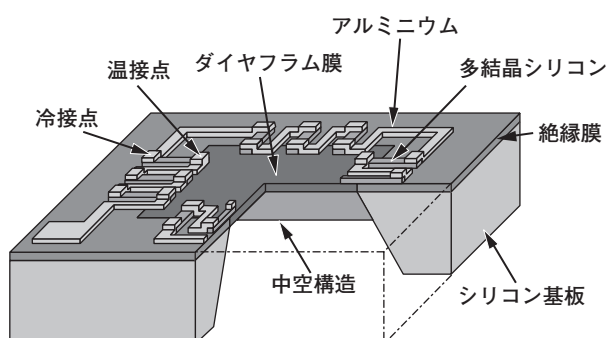


Figure 2 サーモパイルセンサー (Readout, 21, 79(2000)より)

ammonium hydroxide (TMAH)やhydrazineなどのアルカリ性のエッチング液を使用する。これらの方法で形成したダイヤフラム膜の上に、ポリシリコン薄膜の微小な熱電対と赤外線吸収膜を形成し、高性能なサーモパイルセンサーを実現している。

機能性薄膜技術

HORIBAでは様々な機能を持った薄膜を作製することができ、この機能性薄膜がセンサーやデバイスの性能を左右すると言っても過言ではない。

例えば、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)法によるPZT (Pb (Zr, Ti)O₃)膜で、高速応答で、高S/N比な薄膜パイロセンサーを実現している。MOCVD法によるPZT膜の製品化は世界唯一である。また、MOCVD法によるTa₂O₅膜で、感度が高く、経時ドリフト変化の小さいpH応答膜を形成することができ、高性能なISFETセンサーを実現している。金属膜の例としては、スパッタ法によるPt薄膜で極めて安定な抵抗温度係数を有する膜を形成することが出来る。ただし、Ptを成膜するには、密着性が弱く剥離しやすいということや、薄膜にするとPt本来の温度係数からかけ離れてしまうという問題がある。これらの問題を解決するために、成膜前に基板表面のエッチング洗浄を行い、Ptと格子定数の近い基板を使用してPt膜を結晶成長させることにより、安定なPt薄膜を形成している。このようなPt薄膜により、高速応答の温度センサーを実現している。

センサー実装技術

半導体デバイスの実装技術としては、ウェハからチップ形状に切断する個片化技術、細線の金属ワイヤーでチップの電極とパッケージの電極を接続するワイヤーボンディングなどの配線技術、チップを搭載したパッケージ基板を樹脂などで封止する封止技術などがある。

HORIBAでは、このような一般的な実装技術に加えて、センサーに必要な実装技術を保有している。気密性や耐湿性が必要とされるガスセンサーなどには金属パッケージを適用し、液体に浸漬して使用するpHセンサーには耐薬品性の高い実装を適用している。これらは、HORIBA独自の多種多様なセンサーやデバイスの性能を最大限に引き出すための基盤技術となっている。

これらの半導体センサー技術を駆使し、センサー・デバイスを内製し、様々な自社製品に搭載している。Figure 3に内製センサー・デバイスの製品搭載例を示す。これらのセンサー・デバイスは、製品の心臓部となるキーコンポーネントである。

半導体センサー技術の遷宮

今回、HORIBA本社内に三ヶ所に分かれていたクリーンルームをSTEC本社へ移転して集約するという、「半導体センサー技術の遷宮」に取り組んだ。この遷宮に際して、以下のようなクリーンルームのコンセプトを掲げた。

- ①多種多様なセンサー・デバイスが作製できるコンパクトでフレキシブルなライン
- ②開発から生産まで一貫して行える空間
- ③更なる品質安定化とスループット向上
- ④独自の製品開発のための新規技術導入
- ⑤ユーザ(半導体製造設備メーカー)環境の再現
- ⑥オープンな環境

以下に、これらのコンセプトを実現するために取り組んだ「半導体センサー技術の遷宮」の事例を紹介する。

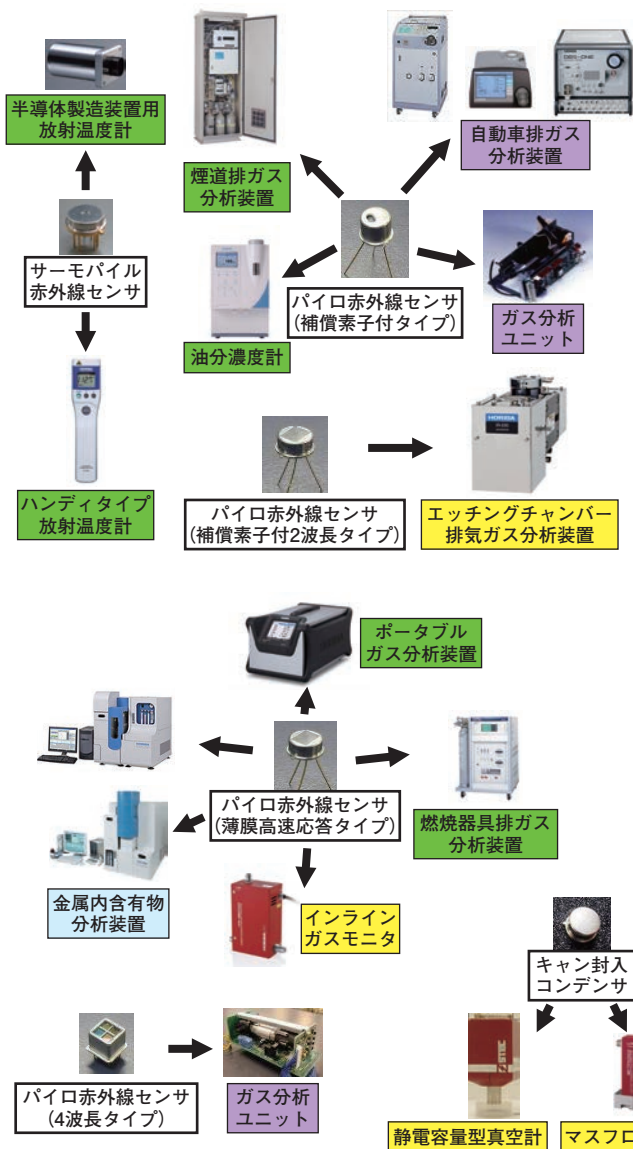


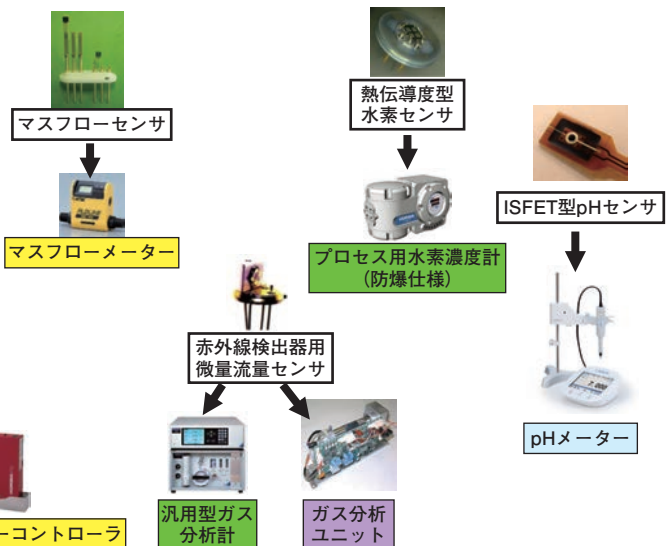
Figure 3 半導体センサー・デバイス搭載製品

- ①多種多様なセンサー・デバイスが作製できるコンパクトでフレキシブルなライン

Figure 4に1階と2階のクリーンルームのレイアウトを示す。作製方法の異なる多品種少量の生産と開発試作を効率よく行うために動線を考慮し、1階には実装と評価のエリアを、2階にはウェハプロセスのエリアを集約した。エリアの集約により汚染のリスクを考慮する必要があるが、汚染のリスクがある材料については、使用エリアの区画と取り扱いはルールを設定により汚染を防いでいる。また、大型の量産装置ではなく、小型の少量生産あるいは研究開発用の装置を取りそろえることで、よりコンパクトなクリーンルームを実現した。また、小型の装置を選定するだけでなく、複数の材料の成膜が行えるマルチターゲットタイプのスパッタ装置を選定して設置台数を減らす、多種類使用していたフォトリソト材料を共通化してフォトリソ工程の設置台数を減らす、複数種類のフォトリソトを扱えるコーターを選定して設置台数を減らすなど、設置台数自体も減らす取り組みを行った。基本は4インチウェハプロセスのラインだが、2インチの小口径ウェハや20 mm角などの小片ウェハの加工に対応できる装置を導入している。加えて、将来の増産を想定して、改造により4インチから6インチに対応できる装置を選定し、フレキシブルなラインを実現している。

- ②開発から生産まで一貫して行える空間

このクリーンルームでは、少量多品種の生産と多様な開発試作を同時に行うことが出来る。生産と開発の両用により、設備導入費や保守費の削減、稼働率の向上が図れる。それ以外に、開発試作の装置条件をそのまま生産に適用することが可能になり、製品化に要する期間を大幅に短縮することが出来る。また、開発と生産メンバーが同居することにより、問題発生時にもすぐに、生産と開発のメンバーが協議して対応出来る。



おわりに

以上、半導体センサー技術の遷宮について詳しく紹介した。半導体センサー・デバイスを作製するためには、多いものでは約200工程を要する。これらの工程の中で一つでも異常があれば半導体センサー・デバイスは完成しない。この遷宮で、新規導入した設備が約20台、リプレース導入した設備が約40台、移設した設備が約160台であった。約5ヶ月間をかけて、合わせて約220台の設備の立ち上げを終えることが出来た。特にリプレース導入した設備については、リプレース前の設備と同じになるように改めて条件出しを行った。全設備に対して接続するガス・排気・排水などのユーティリティーの種類や容量を事前に調査し、ユーティリティー接続施工後に一つ一つ間違いがないか確認する作業は地道な作業であった。また、今回の遷宮を通して、改めてHORIBAの半導体センサー技術やノウハウの多様さと必要性を実感することができた。今後もこれらの技術やノウハウを継承していきたい。また、新しい技術獲得のために多くの新規設備の導入も行っており、これらの設備と技術を使用した これまでにないHORIBA独自の半導体センサー・デバイスを生み出し、今後も高品質でプレミアムな製品をお客様に提供していく。



田邊 裕貴

Hiroki TANABE

株式会社 堀場製作所
開発本部 先行開発センター
マネジャー