

# 半導体ドライプロセスを支援する HORIBAグループの製品と技術

佐竹 司

## 要旨

HORIBAグループが提供する制御機器及びセンシング技術を、半導体ドライプロセスのユースポイント(プロセスチャンバ内, チャンバ前段, チャンバ後段, チャンバ設置環境)ごとに紹介する。それぞれに必要な各種パラメータである膜厚, 膜質, プロセスの状態及び終点, 真空度, 残留ガス, ウエハのトレンチ深さ, 温度, ガス流量, ガス濃度などの測定量及び制御量に基づき, 今後我々が目指す, プロセス制御に対するソリューションについて概括する。

## 1 はじめに

電磁エネルギーや熱エネルギーを制御し, ガスによって硬いシリコンを思い通りに微細加工する半導体ドライプロセスには, 大いなるロマンが存在すると感じる。近年では, シリコンの加工プロセスを援用して, フラットパネルディスプレイ (FPD) の生産において, ガラス基板の大型化と微細化の両側面で競争が加速している。シリコンプロセスは, 国際半導体技術ロードマップ (ITRS ロードマップ)<sup>[1][2]</sup>に表される技術要素と時間軸を達成することが, いわば業界の共通認識として浸透し, 関与する人々が切磋琢磨を継続して目標を達成し, 結果的に電子機器の目覚ましい発展を支えて, エンドユーザの豊かな生活を維持することに貢献している。

## 2 計測機器とドライプロセス

計測機器は, バックエンドプロセスでは, でき上がったICチップ等が, ある一定以上の信頼度で正常動作することを確認するスクリーニングを主な目的としている。一方, HORIBAグループの目指す計測対象は, フロントエンドプロセスにおいて, シリコンを加工する際のパラメータとして必要である基礎的な物理量と化学量, 及びプロセスの状態量を中心に見据えている。特に, 生産性向上に直接貢献できることに力点を置いている。また, 計測することから, プロセスを制御できるように, センシングの目的も移行させようとしている。

図1に, 半導体ドライプロセスにおいて, HORIBAグループが提供する制御機器及び計測機器の例を示す。図の中心にはCVDプロセスチャンバをイメージし, 各種関連機器を配置している。以下, ユースポイントにおける制御機器・計測機器に言及する。

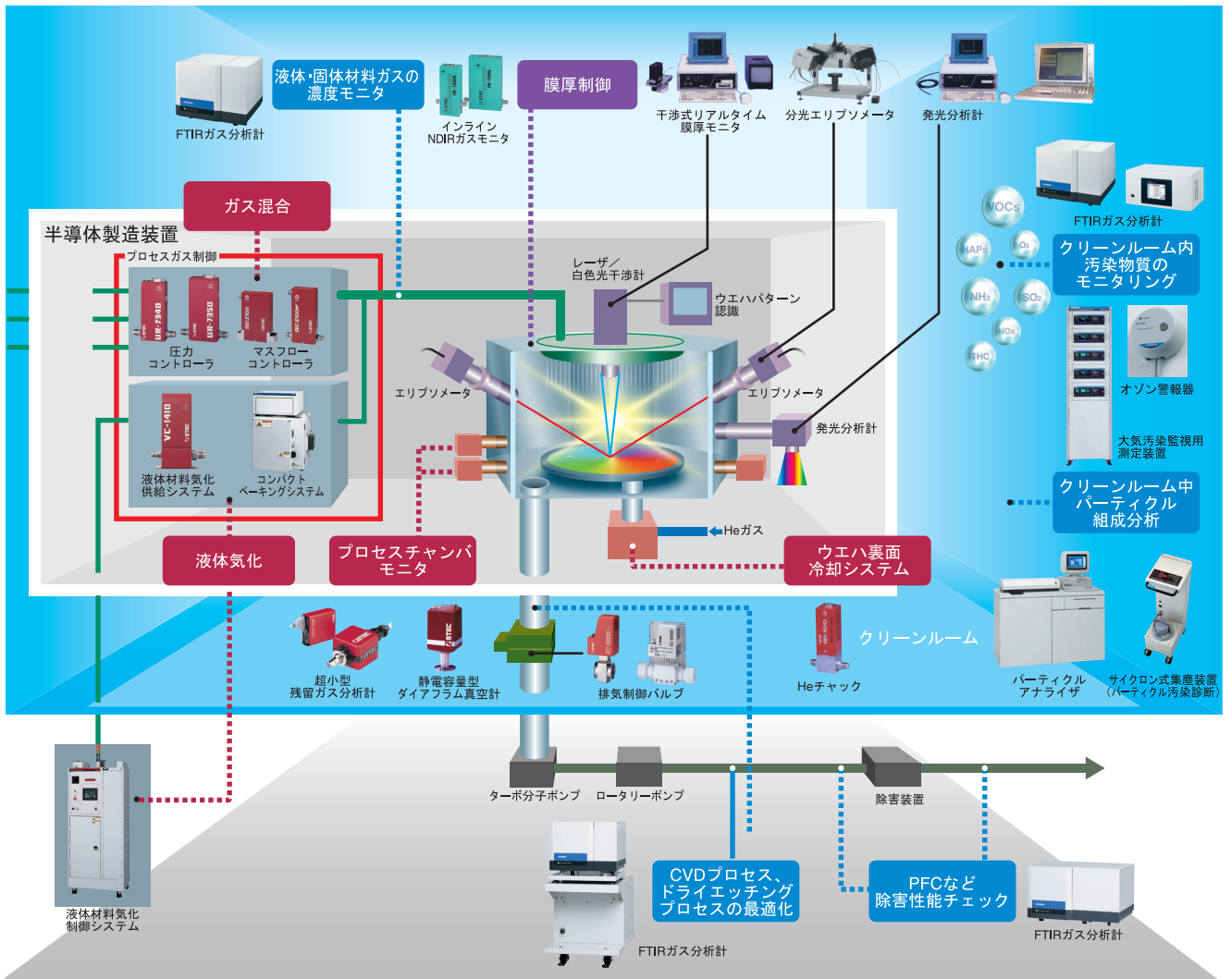


図1 半導体ドライプロセスにおけるHORIBAグループの製品ラインナップ

### 3 プロセスチャンバ内計測

プロセスチャンバ内は、最も関心が高く、また計測の難易度の高いポイントである。薄膜の計測ツールとしては、紫外線から可視光領域までをプローブ光とする分光エリプソメトリを利用し、数Å程度の超薄膜の膜厚や膜質を測定する。更に、ウエハの内面分布等を調べるために、自動搬送ロボットと連動させて、多層膜マッピング測定システムを提供している。

プラズマを伴うプロセスでは、発光分光測定器によりプロセス状態の監視及び終点検知を行い、確実にプロセスを停止させるタイミングを信号で発することができる。プロセスの開始では、チャンバ内の清浄状態を把握しておくことが重要であり、従来より真空圧力計が多く用いられてきた。しかしながら、残留するガスを化学量で正確に把握することが重要と考え、四重極質量分析計の応用による非常にコンパクトな超小型残留ガス分析計PressureMaster RGAシリーズの提供を開始した。併せて、基本的な物理量である真空度を計測するために、従来よりもコンパクトな静電容量型ダイヤフラム真空計VGシリーズも提供を開始している。

ウエハ上のトレンチを計測するツールとしては、白色光干渉法とレーザ光干渉法を応用し、アスペクト比1:10の、トレンチ深さ500 μmの計測を可能にしている。

ウエハの大口径化により、プロセス中のウエハの精密な温度制御の重要性が高まっており、ラマン分光を応用しシリコンウエハ温度を直接測定する方法や、放射温度計を利用するウエハチャックの温度測定器もラインナップを計画している。また、ウエハチャックに対するHeの流量を制御し、ウエハ裏面の温度を制御するウエハ裏面冷却システムGR-100シリーズの提供を開始している。

## 4 | チャンバ前段

チャンバ前段では、プロセスレシピへの正確な対応が課題である。プロセス原料がガスである場合は、マスフローコントローラに依存するところが大きい。しかしながら、出発原料が液体や固体の場合には、安定してガス化する手段が求められる。そのために、原料の特性ごとに気化器、温度制御器、流量制御器の選定と系の最適化が必要である。最近では、Low-k、High-kの先端膜対応のために、原料開発が相次ぎ蒸気圧の低い原料も増えて、安定したガス化が困難になっている。更に、300 mmウエハ対応のために大量供給が求められており、原料供給の課題を更に複雑化している。そこで、HORIBAグループとしては、赤外吸収法を活用したガス濃度モニタの提供を開始した。単一原料に対しては、非分散型赤外線吸収 (NDIR) 式のガス (濃度) モニタを原料供給ラインに搭載し、インライン測定を実現している。また、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) に代表される強誘電体メモリ (FeRAM) の製膜プロセスに適用される場合など、混合原料系の場合には、フーリエ変換赤外分光 (FTIR) を適用し、原料間の反応をモニタし生成物で制御することも可能になりつつある。シリコンプロセスに加えて、化合物半導体のプロセスに利用される原料はますます複雑化すると予想され、最適な気化供給手段及びガスモニタ手段の重要性は更に増すと考えている。

## 5 | チャンバ後段

プロセスの制御条件の一つに、プロセスチャンバの圧力制御があり、排気制御バルブ及びコントローラを提供している。チャンバの圧力制御方法には、原料供給系及び排気系の双方を同時に考慮することが大切であり、HORIBAグループとしてはお客様の事情に応じた最適な手法を提案できると考えている。

プロセスの排気ガス種を計測することにより、プロセスの状態を解析したり反応メカニズムを推定することが可能である。FTIRを使用すると、エッチングやCVDクリーニングで使用される代替フロン (PFCs) とその副生成物の同時多成分測定が可能となり、プロセス条件の最適化に対して指針を出すことができる。

またPFCsは地球温暖化係数が非常に高く、半導体業界では、2010年に1995年ベースの排出量から10 %削減を自主的にテーマに掲げて活動している。PFCsの除害装置の設置は、その解決策の一例である。半導体産業における環境保全活動 (EHS活動) のデータの裏付けを得るためにも、長期的に安定した性能を発揮する除害の開発と定期的な設置現場での排出ガス測定のためにFTIRが使用されている。

## 6 | チャンバ設置環境

ITRSロードマップには、プロセスの進化と併せてコンタミネーションコントロールの重要度がうたわれている。

クリーンルーム内空気の化学的なクリーン度をモニタするために、紫外線吸収法、化学発光法、紫外蛍光法などを測定原理に用いた揮発性有機化合物(VOCs)、有害大気汚染物質(HAPs)、NH<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>を連続してモニタする測定器群を提供している。ウエハ周りの環境及び生産オペレータの環境も併せてモニタし、安全な運転ができるように計測の観点から支援している。

## 7 | おわりに

DRAMに代表される大量生産品、用途特性をチップ上に作りこむSoC(System on Chip)生産の拡大、光応用素子をを目指す化合物半導体の世界、FPDへの展開など、半導体の基幹技術からの展開はますます広がっていく。計測機器及び制御機器を供給するHORIBAグループとしては、このようなお客様の要望に応えられるように、保有する技術を今一度概観し直し、いかに最適化し、スリム化できるかを考え、更に望まれるコストで提供できるように努力していくことが課題と考えている。お客様の関心事の中心は、新技術の確実な確立とそれに基づく生産性の向上であると認識している。この前提に立って考えると、私たちの提供できるソリューションは、要求が確実に高まりつつあるAPC(Advanced Process Control)化対応に具体的に伝えていくことにある。そのために、もっとプロセス自身を勉強すること、半導体に適用できる計測器、制御器及びそれらの技術開発を確実に行うことを、お客様の声に耳を傾けて着実に実行していきたいと考えている。

### 参考文献

- [1] International Technology Roadmap for Semiconductors : <http://public.itrs.net/>
- [2] 平成14年度 半導体製造装置技術ロードマップに関する調査研究報告書  
(社)日本機械工業連合会(社)日本半導体製造装置協会 平成15年3月



佐竹 司

Tsukasa Satake

半導体・科学システム統括部  
副統括部長