

半導体製造装置の排ガス分析技術

Exhaust Gas Analysis for Semiconductor Process Tools

伊崎隆一郎*
ISAKI Ryuichiro

坂田 晋**
SAKATA Susumu

吉田秀俊**
YOSHIDA Hidetoshi

1. はじめに

半導体や液晶ディスプレイ製造プロセスでは、ドライエッチングやCVDチャンバーのドライクリーニング時に四フッ化メタン(CF₄)や三フッ化窒素(NF₃)といったフッ素系のガス(PFC, Perfluorocompounds)を用いる。しかしながら、これらフッ素系ガスの多くは、地球温暖化係数(GWP, Global warming potential)が二酸化炭素(CO₂)の1万倍程度のもが多く¹⁾、地球温暖化防止の観点から、排出量を削減するための取り組みが精力的に行われている。例えば、EU、日本、韓国、米国、台湾の各国半導体業界は、2010年までにPFCの排出量をそれぞれの基準年レベルより10%以上削減することを世界半導体会議(WSC)で宣言している²⁾。

PFCの排出量を求めるためには、使用するガスが同じでもプロセス毎、装置機種毎に排出効率は大幅に異なるため、実工程での排ガス分析を実施し、状況を正確に把握することが必要である。PFCガスを主とする排ガス分析については、通称インテルプロトコルと呼ばれるフーリエ変換赤外分光法(FTIR)を用いる手法が広く普及している³⁾。しかしながら、実工程の排ガスには多数の成分が存在し、しかも、それらの濃度はプロセス進行時間に対して刻々と変化する複雑な系となっており、高精度の分析は困難であった。従って、FTIRを用いる場合においても、対象プロセスに適切な解析メソッドを用意し、そして、各成分ガスの適切な検量線スペクトルを得ることが不可欠となる。また、インテルプロトコルでは、解析結果の精度を表す一つの指標として、投入するガスと排出されたガスによるフッ素(F)のマスバランスを求め、それが90%以上になるような適切な分析を行うことを推奨している。排出ガスには赤外活性な成分が多く、通常はFTIR単独でも90%以上のマスバランスが得られる

が、赤外不活性のフッ素ガス(F₂)の生成量が多い場合は、F₂を正確に分析できる他の分析計が必要となる。

以上の事項を背景とし、当社では高精度な排ガス分析技術の確立を目指し、FTIRとF₂の同時分析を進めてきた。本稿では、プラズマCVDチャンバークリーニングにおける排ガス分析について、我々が最近実施している、高精度かつ高速応答のフーリエ変換赤外分光法(FTIR)とF₂分析を組み合わせた分析例を紹介する。

2. 実験方法

プラズマCVD装置は、Applied Materials社製 Precision 5000, プラズマTEOSを用いた。チャンバークリーニングは、プリコートと成膜が終わった後に実施した。成膜は膜厚が約400nmとなる条件とした。プリコートの条件は、成膜条件と同じレシピで、ウエハへの堆積膜厚が約100nmとなる時間処理した。

分析装置は堀場製作所製FTIR(FG110A)と紫外線吸収式F₂モニタ(UV)により構成される。実験装置の構成概略図を図1に示す。それぞれの分析計は、外部トリガの入力によりサンプリングを開始する。FTIRの最短サンプリング時間は約0.6sであり、UVモニタは1sとなり、目標感度や評価条件により変化させることが可能である。

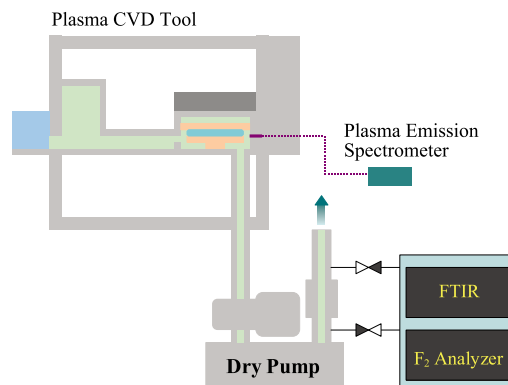


図1 実験装置の構成概略図

* 電子機材事業本部事業戦略推進部先端技術開発部

** 開発・エンジニアリング本部つくば研究所分析技術センター

3. 測定例

プラズマ TEOS のチャンバークリーニングとして、六フッ化エタン (C₂F₆) を用いた場合の排ガス分析を実施した。比較のため、チャンバーのビューポート位置においてプラズマ発光分析を行い、F* の発光強度を同時に測定した。分析結果を図2に示す。

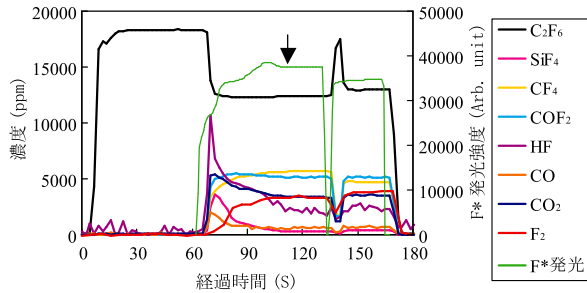


図2 C₂F₆クリーニングにおける各成分の傾向

C₂F₆クリーニングの場合、放電中のC₂F₆ガスの分解率は約33%で、大半のガスは未分解のまま放出されている。排ガス中に含まれる温暖化物質としてもこの未分解のC₂F₆が主であり、次いで、反応副生成物であるCF₄が確認される。クリーニングの終点については、プラズマ発光分析によるF*発光強度の傾向より、黄色い矢印で示したところがジャストとなるが、この時点でSiF₄の排出濃度は低く収束し、また、F₂濃度は高い濃度で収束していることが分かった。F*発光強度トレンドは、チャンバー内におけるプラズマ発光エリアのみの情報であり、チャンバーの外周部や排気系に関する情報を得ることは出来ないが、今回の実験条件ではF*発光強度の収束と共に、SiF₄やF₂濃度も収束しており、電極周辺部のクリーニングが終了した時点で、上記のプラズマ発光がないエリアについてもクリーニングが終了していると推測される。

本実験条件における温暖化物質の総排出量(MMTCE)は、 2.57×10^{-8} となった。また、Fバランスについては、全処理時間の平均として98%となった。

次に、C₂F₆の代替ガスであるC₃F₆を用いた場合の排ガス分析を実施した。分析結果を図3に示す。

C₃F₆クリーニングの場合、放電中はC₃F₆ガスが検出されず、100%分解していることが分かる。排ガス

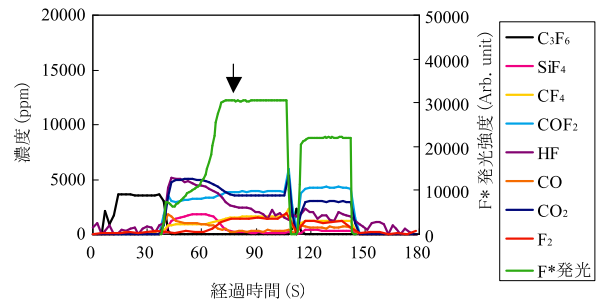


図3 C₃F₆クリーニングにおける各成分の傾向

中に含まれる温暖化物質としてはCF₄が主で、その量もC₂F₆クリーニングに比較して約1/4に抑えられている。

クリーニングの終点については、C₂F₆の場合と同様、F*発光強度、SiF₄濃度、F₂濃度のそれぞれがほぼ同時に安定化領域に入っていることが分かった。

本実験条件における温暖化物質の総排出量(MMTCE)は、 6.33×10^{-10} となり、C₂F₆比としては約98%の削減率となった。また、Fバランスについては、全処理時間の平均として92%となった。

4. まとめ

半導体製造装置の排ガス分析として、高精度かつ応答速度の速いFTIRとF₂分析計を組み合わせた測定例を紹介した。FTIRの分析方法に関しては、各種測定成分の検量線を完備し、また、測定条件に応じた独自の測定メソッドを完成している。また、F₂分析計に関しても、測定条件に応じた応答時間と応答感度を測定現場で得ることが可能である。温暖化物質や危険性物質の総合監視という面以外にも、チャンバーのクリーニング状態に関する動的变化についても、多くの有益な情報が得られるものと考えられる。

参考文献

- 1) Ehhalt, D. ; Prather, M. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Atmospheric Chemistry and Greenhouse Gases (2001) .
- 2) 社団法人電子情報技術産業協会. 第9回世界半導体会議 (WSC) の結果について . 2005.
- 3) International SEMATECH. Guideline for Environmental Characterization of Semiconductor Equipment. 2001, Technology Transfer #01104197A-XFR. 43p.