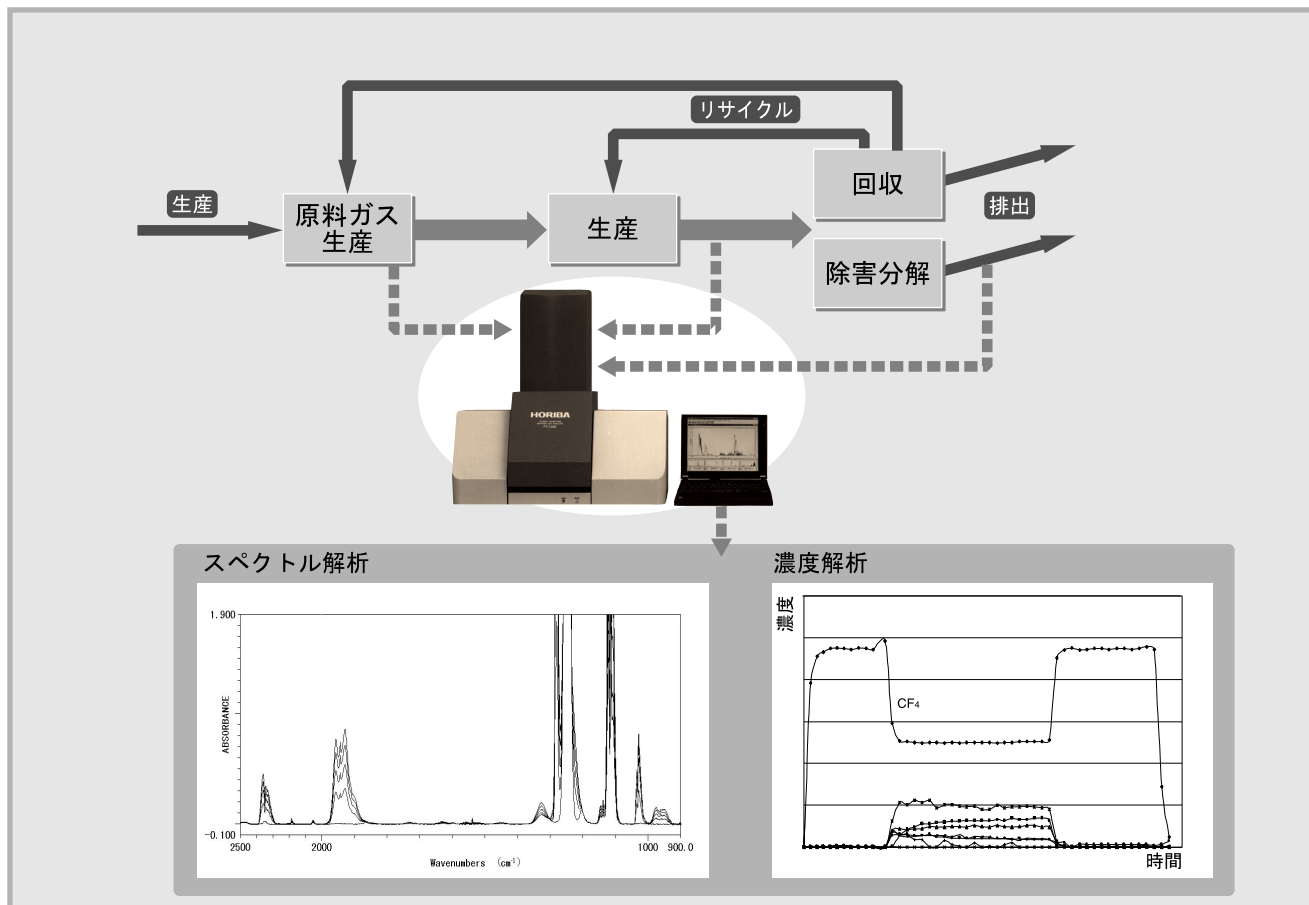


PFCs 濃度モニタ FT-730G

The FT-730G PFCs Concentration Monitor

佐竹 司



要旨

半導体生産プロセスに使用されている PFCs (Perfluorocompounds) は、地球温暖化の促進物質として注目され、大気中への排出量を削減しようとする活動が世界的に取り組まれている。フーリエ変換赤外線分光法による PFCs 濃度モニタ FT-730G は、ドライエッチングやプラズマ CVD 装置から排出される PFCs を高感度でリアルタイムに計測できる。本稿では、半導体生産プロセスにおけるいくつかの実測例と、今後の可能性についても述べる。

Abstract

To help in the effort to reduce global warming gases from industrial emissions, the semiconductor manufacturing industry is taking active steps to reduce the emission of perfluorocompounds (PFCs) into the atmosphere. To address this requirement, Horiba has developed the FT-730G PFCs concentration monitor. The FT-730G uses the FTIR technique to achieve a highly-sensitive, continuous, and multicomponent analysis of PFCs emissions. This article features application data from the FT-730G and discusses future work on PFCs monitoring.

1 はじめに

地球の温暖化防止に対して、世界規模での取り組みが始まっている。国際連合の活動テーマにある気候変動に関係して、半導体業界においては、PFCs 排出量削減が世界半導体会議 (WSC : World Semiconductor Council) の ESH タスクフォースの具体的なテーマに掲げられ活動が開始された。1997年の地球温暖化防止京都会議 (COP3) で対象ガス種に PFCs が追加されたとともに、半導体業界では LSI 製造工程のうち、主にドライエッチングの反応ガスおよびプラズマ CVD のクリーニングに使用される PFCs を対象として削減活動が始まった。半導体業界における数値目標は、日本では 1995 年をベースとして、2010 年までに 10% 削減とされており、日本電子機械工業会 (EIAJ) の取りまとめにより、国家プロジェクトが発足し、多面的な活動がなされている¹⁾。

ホリバでは、削減活動を計測の断面からサポートするために、フーリエ変換赤外線分光光度計をベースとした PFCs 濃度モニタ FT-730G (図 1) を市場に提供するとともに、半導体業界内における測定手法の検討委員会にも参加して、ハードウェアおよびソフトウェアの両側面からの対応をしている。

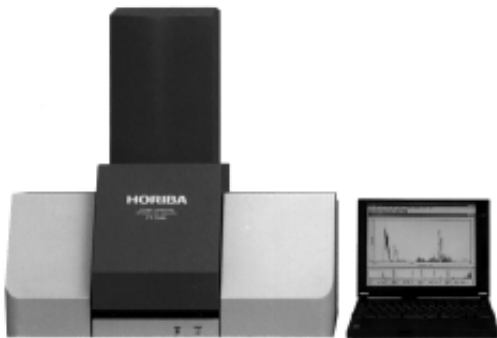


図 1 PFCs 濃度モニタ FT-730G
The FT-730G PFCs Concentration Monitor

2 測定対象

PFCs は、炭化水素を構成する分子の水素原子の一部または全部がフッ素に置換された分子の総称をいう。半導体製造プロセスで使用される PFCs の特性を表 1 に示す。SF₆、NF₃、CO₂ もあわせて示す。いずれも、大気中に放出されてからの寿命が長く、地球温暖化係数 GWP (Global Warming Potential) が大きい。概していえば、PFCs は CO₂ に比べて、GWP が 3 桁から 4 桁も大きく、大気中に微量が存在しても温暖化を促進することが容易に推察される。

Gas	Global warming potential (GWP)	Life (year)	Application
CF ₄	6500	50000	Dry etching
C ₂ F ₆	9200	10000	CVD chamber cleaning Dry etching
C ₃ F ₈	7000	2600	Dry etching
C ₄ F ₈	8700	3200	Dry etching
C ₅ F ₈	90	0.98	Dry etching
CHF ₃	11700	264	Dry etching
SF ₆	23900	3200	Dry etching
NF ₃	8000	700	CVD chamber cleaning
CO ₂	1	50~200	Reference

表 1 半導体製造用 PFCs 一覧
PFCs for semiconductor manufacturing

3 半導体プロセスと計測ニーズ

半導体プロセスにおける PFCs 計測は、起点のガス原料生産から終点の排出までが対象になる (図 2)。原料生産では、ガスシリンダー内の不純物管理に用いられている。半導体生産では、様々な工程が存在するが、PFCs は主にドライエッチングおよびプラズマ CVD で使用されている。また、排出ガスの一部を回収装置によりリサイクルされる研究も進められており、今後 PFCs 計測のニーズはさらに多様化すると思われる。

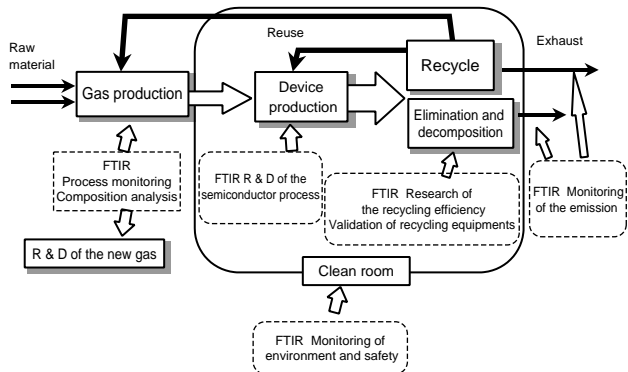


図 2 半導体生産と分析ニーズ
Overview for analysis points in semiconductor manufacturing

4 測定器仕様

ドライエッチング装置や CVD 装置に投入された PFCs は、プラズマ状態で励起され、共存するガスや半導体デバイスの基材と反応を起こすために、様々なガス種に変化し排出される。連続同時多成分分析を得意とする FTIR によれば、赤外吸収のない単原子分子 (F₂ など) は検出されないが、排出されるガス種のほとんどを計測することが可能となる。FT-730G においては、計測可能な濃度範囲を幅広く対応するために、多種類の光路長を持つガスセルをラインナップし、お客様の用途に応じて最適化を図っている。FT-730G の主な仕様を表 2 に示す。

測定原理	フーリエ変換赤外分光法 (FTIR) による同時多成分分析				
測定成分	同時計測 最大 20 成分				
時間分解能	1 秒で測定値更新可能				
濃度演算	多変量解析適用、面積演算、ピーク高さ演算				
測定光路	セル長を用途により選択				
	単光路		多重反射式		
	1cm	10cm	0.6m	2.4m	10m
検出器	用途により選択 ・電子冷却 MCT(高感度連続計測) ・液体窒素冷却 MCT(高感度ガス研究) ・電子冷却 InAs(高感度連続計測) ・TGS(広波長域の計測)				
外形寸法	560mm(W) x 572mm(D) x 593mm(H) 本体のみ				
質量	50kg 本体のみ				

表 2 FT-730G の主な仕様
Specifications of the FT-730G

5 実測例

半導体プロセスでの実測例を示す。

5.1 ドライエッチングプロセス

CF₄ を親ガスとして、エッチング装置のプラズマを ON/OFF させた時の、排出ガスの計測結果を図 3 に示す。エッチングに寄与する親ガスは約 50% であり、供給ガスの約半分はそのまま排出されていることがわかる。この結果を利用して、エッチングガスの利用率を高めるための最適条件の検討や、SiF₄ の濃度変化からエッチングの効率をモニターすることが可能である。さらに、シリコンウエハと共存する酸素および水素と反応し、各種化合物が形成される様子から、エッチング機構の解明にも役立つ。

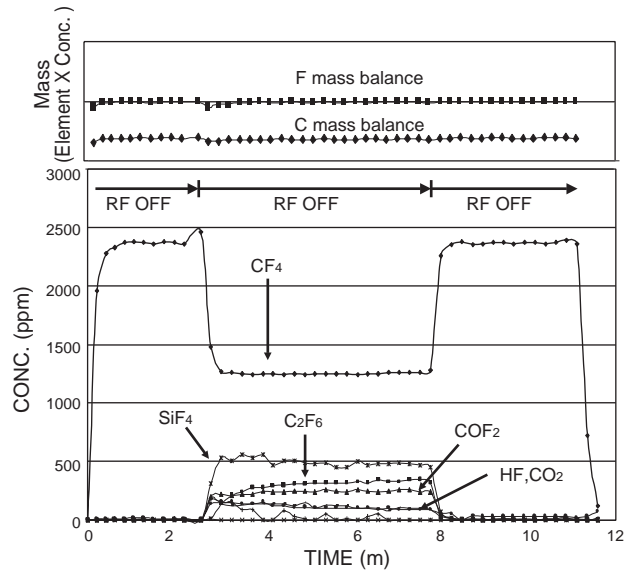


図 3 CF₄ ドライエッチング排ガスデータ
Exhaust gases in CF₄ dry etching process

図 4 に、親ガスを C₂F₆ とした時の排ガスの挙動を示す。排ガス組成が、CF₄ の場合とは異なっている。計測された組成と濃度の確かさは、供給したガスの炭素総量およびフッ素総量の変化を観測することで推定できる。図 3 および図 4 に炭素総量およびフッ素総量のトレンドを併記しているが、プラズマの発生と停止前後でいずれの値も安定しており、正確に計測できていることを表している。

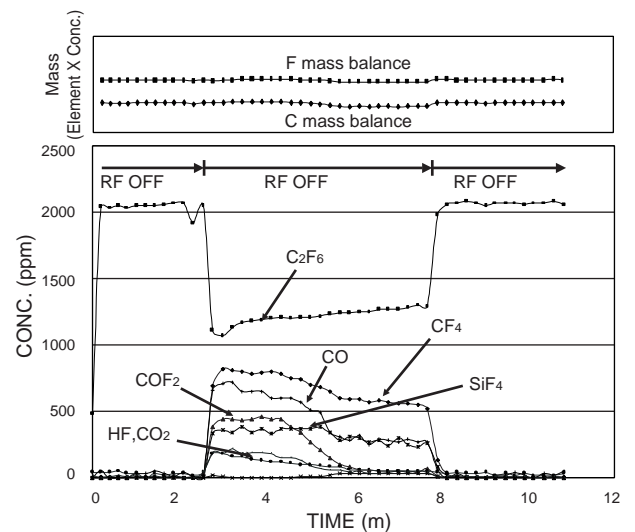


図 4 C₂F₆ ドライエッチング排ガスデータ
Exhaust gases in C₂F₆ dry etching process

5.2 プラズマCVD クリーニングガス測定

CVD 装置のクリーニングには主に C_2F_6 が使用されているが、最近では NF_3 の使用量も増加している。

図5に、 NF_3 を試験用平行平板型プラズマCVD装置に供給し、排ガスを計測した結果から分解過程を評価した例を示す。

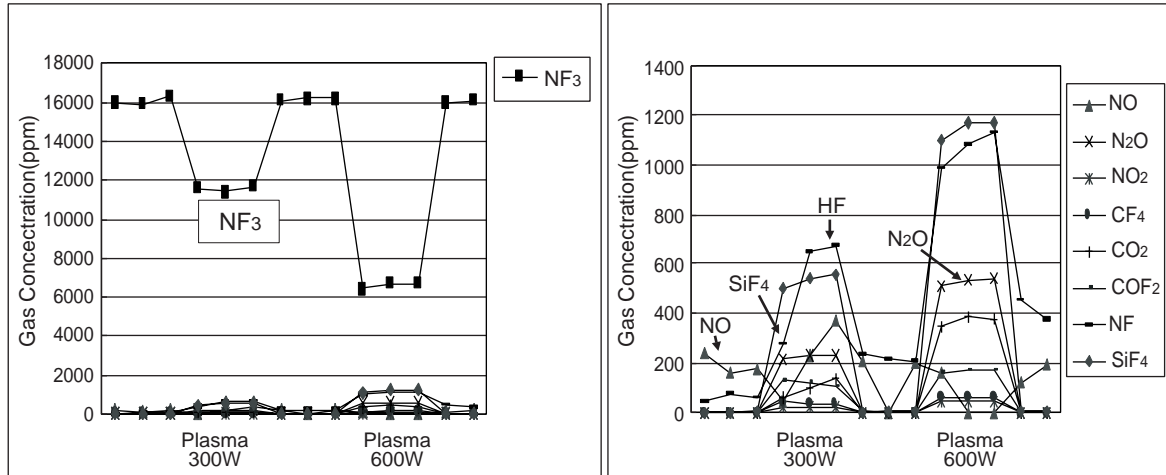
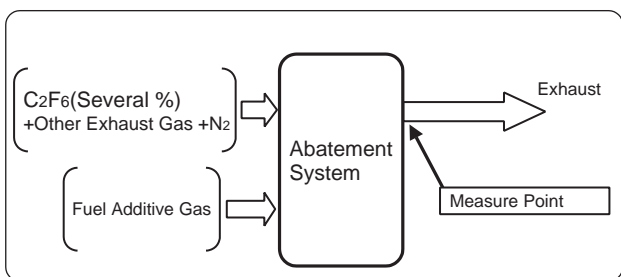


図5 NF_3+Ar CVD クリーニング排ガスデータ
Exhaust gases in NF_3+Ar plasma CVD cleaning

5.3 PFCs 除害装置の効率計測

一般的に、PFCsは大気放出される前に除害設備を通る。除害装置については、装置メーカーより各種手法による装置が提供されている。図6は、 C_2F_6 の燃焼式除害装置の稼働データを示す。生産プロセスのレシピにより除害設備へ排出されるPFCsの組成は異なるが、除害効率を最大とする条件を、ガス計測データを基に見つけ出すことが可能になった。また、除害装置の稼働状況もモニタできる。



Decomposition rate of C_2F_6 (%)			
Fuel supply condition	A	1.2xA	1.4xA
Combustion condition I	82	83	91
Combustion condition II	86	93	96

図6 燃焼式除害装置計測結果
Effency of a combustion abatement

地球温暖化防止の観点から、大気中へのPFCsの排出が監視される一方、半導体デバイス生産に携わる方々の安全および健康を維持するために、作業環境監視の需要が高まっている。

さらに、排ガス環境計測だけでなく、装置排出ガスを計測してエッチング状況をモニタする試みもなされている。

6 新たな展開

地球温暖化防止の観点から、大気中へのPFCsの排出が監視される一方、半導体デバイス生産に携わる方々の安全および健康を維持するために、作業環境監視の需要が高まっている。

さらに、排ガス環境計測だけでなく、装置排出ガスを計測してエッチング状況をモニタする試みもなされている。

6.1 作業環境モニタ

作業環境の安全確保の観点から、クリーンルーム内にリークするPFCsをモニタし、管理基準と照らし合わせて、警報を出力する計測システムを、デバイス工場に納入している。図7は C_3F_8 を監視するシステム構成の一例を表す。

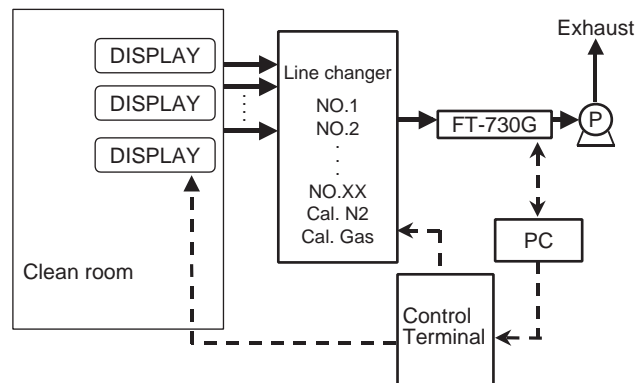


図7 クリーンルーム環境モニタシステム構成

Schematic diagram of environment monitoring system for clean room

クリーンルーム中には、イソプロパノールなどの揮発性物質が漏れ出すこともあり、分析手法によってはこれを誤検出する。この点、FT-730GはFTIR法による成分分離能力の高さを発揮し、高速で微量成分の計測を可能にしている。表3にクリーンルーム環境モニタの仕様を示す。

Measuring gas	C ₅ F ₈ (TLV:2ppm)
Measuring point	Sequentially switched of 10 points (be able to increase)
Measuring time	10 points per 5min
Alarm level	0.2ppm (be able to change by the environmental condition)

表3 クリーンルーム環境モニタ概略仕様
Specifications for clean room environment monitor

6.2 エッチングレートのモニタリング

C₂F₆ガスによるエッチングレートとその時の排出ガス組成をモニタした結果を、図8に示す²⁾。プラズマ出力の上昇に伴い、C₂F₆の分解は促進される一方で、ガス組成はCO₂をはじめとして5成分が生成されている。これは、生成ガス状態をモニタすることで、エッチングレートが類推できることを示唆している。

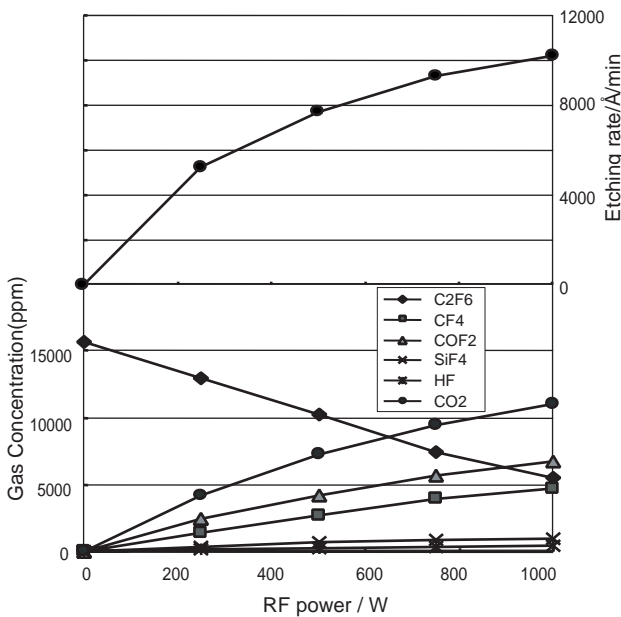


図8 C₂F₆エッチング排ガスデータおよびC₂F₆エッチング特性のプラズマ出力依存性

Exhaust gases from C₂F₆ plasma etching and etching rate vs plasma power in C₂F₆ etching

7 おわりに

FT-730Gによる、半導体プロセスに使用されるPFCsの計測実例と可能性を示した。半導体の生産性向上を目的としたプロセス条件の改良や新規ガス開発は、今後とも精力的に継続される。様々な成分を計測できる赤外分光法によれば、半導体プロセスの初期段階から有用な情報が得られるものと確信している。ホリバが永年にわたり培ってきたガス分析技術の一端を担っているサンプリング技術を、半導体生産プロセスに応用することで、お客様それぞれの事情に応じた最適な測定システムを今後も提案していきたいと願っている。

参考文献

- 1) 松下圭成
「最近のPFC等排出削減取り組みについて」
応用物理 第69巻 第3号(2000)
- 2) RITE CVD 洗浄プロジェクト
2000年春季応用物理学会ポスターセッション



佐竹 司

Tsukasa SATAKE

環境・プロセス開発部

チームリーダー