

塩素系ドライエッチングプロセスへの 残留ガス分析計（RGA）適用の効果

A Residual Gas Analyzer for Dry Etching Process

松濱 誠

Makoto MATSUHAMA

半導体デバイス作製工程におけるドライプロセスではチャンバコンディションが工程管理上重要な要素である。今回、エッチングチャンバ管理を目的に、自社製品の残留ガス成分分析装置を用いた新規アプリケーションの検討を実施した。一般的にはセンサの寿命などの懸念から使用が避けられていたハロゲン系ガスを用いるドライエッチング装置に残留ガス分析装置を搭載し評価を行った。その結果、エッチング前のチャンバ内の残留ガス成分を事前に確認する事で、プロセス前のクリーニング処理工程を省略する事ができた。工程を簡略化する事で化学物質削減および省エネルギーの効果を得られた。

Concerning the dry process of the semiconductor device manufacturing, the monitoring of etching chamber conditions (pressure, temperature, gas concentration, ...) is crucial. This time, as a study of a new application, we examined the etching chamber management by using the residual gas analyzer. Generally using a residual gas analyzer in a dry etching apparatus which uses halogen-containing gas has been being avoided because of concerns such as sensors life. By confirming the residual gas component in the chamber before etching, it was possible to illuminate the cleaning process.

はじめに

2015年に設立したHORIBA最先端技術センターでは半導体事業関連のクリーンルームの集約を行ない、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ことを目指している。

本報告では弊社内に複数種あるドライエッチング装置の中で、塩素系ガスを用いるドライエッチング装置(型式：RIE-400iP サムコ株式会社製)を対象として、堀場エステック製残留ガス分析QL-MS01Series (以下RGA：Residual Gas Analyzer)を搭載し評価を行なった検討結果について以下に紹介する。

本検討の目的

半導体デバイス作製工程におけるドライプロセスでは、エッチング反応室の状態管理が工程管理上重要な要素となる。これまで弊社ではハロゲン系ガスを用いるプロセスにはセンサの寿命などの懸念から差動排気を併用することを推奨し、反応室に直接RGAを取付けることが避けられてい

た。今回装置メーカーの協力を得てハロゲン系ガスを用いるドライエッチング装置に直接RGAを搭載し評価を実施した。

RGAを用いて反応室の状態を定量的に管理することで、これまでの経験則にもとづく装置の運用方法を最適化することを目的として装置オーバーホール後の立上げ時間の短縮や反応室コンディショニング作業の省力化、エッチング工程の品質向上を検討した。

評価は次の順に行なった。まず、反応室オーバーホール(反応室内の部材洗浄)後の真空引き中の残留ガス成分の経過観察、反応室コンディショニング処理とエッチング加工形状に与える影響の検証、反応室中の残留水分量がエッチング加工形状に与える影響の検証を実施した。

使用機器について

RGAをドライエッチング装置に取り付けた状態をFigure 1に示す。RGAは装置側面のポートに改造無しで直接取付け、ダイレクトにモニタリングする方法をとった。今回の取付けに際し、反応室の外壁が70℃に温度調節されており、

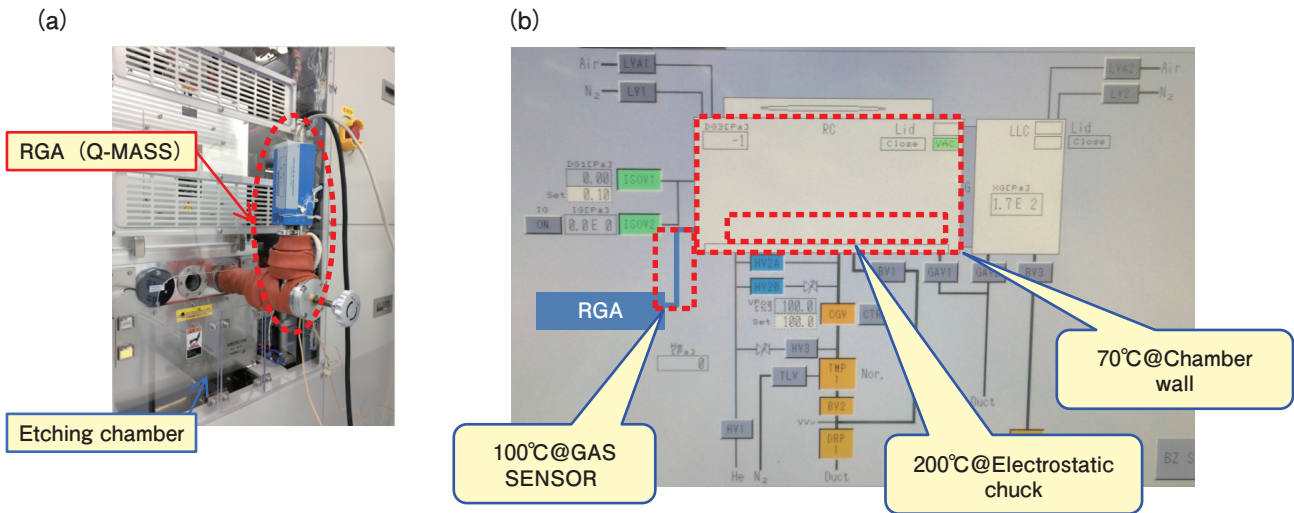


Figure 1 (a)RGA set up (b)The heating temperature in the system

RGAのセンサ周辺へのガスの吸着を防止するためにセンサ周辺をヒータで100℃に加熱した。センサと反応室の間には手動の仕切りバルブを挟み、プロセス中は反応室雰囲気と遮断しセンサを保護した。

RGAは、真空反応室を用いたプラズマ処理やエージング処理、機能性膜の薄膜形成・加工工程でのガスプロセス管理に利用されている^[1]。装置サイズは他社比20分の1の大きさで、センサ部はわずか5 cmという世界最小クラスのコンパクトさを実現し、センサは校正フリーでユーザーによるセンサ交換が可能で、低真空の測定が可能となる。今回は、ハロゲンガス向けのセンサを使用した。

ドライエッチング装置は、小型の研究開発向けの各種半導体膜や絶縁膜の高精度、高均一加工を目的とした最大4インチウエハー用のロードロック式の装置を用いた。低圧で高密度プラズマを発生ことのできるICPソースを搭載した仕様で、Cl₂、SiCl₄、Ar、をプロセスガスと使用するInPおよびⅢ/V族の化合物半導体デバイス向け仕様となる。

本検討前の装置運用方法

本検討前のドライエッチング装置運用フローをTable 1に

示す。エッチング反応室のオーバーホールの前処理として行なう反応室の大気開放前の酸素プラズマクリーニングで、残留塩素成分を最小化する。反応室大気開放の後、反応室部材を取外し、純水で洗浄し、エタノールで拭き、乾燥後、組立てて、真空引きを行なう。

今回評価に使用した装置は、検討直前に導入した新規装置のため、装置管理が最適化されていなかった。そのため、エッチング工程における工程不良を発生させないことを最優先として目標の真空度の値を低めに設定していた。装置メーカーからは、 5×10^{-4} Pa程度までの到達真空度がバックグラウンドレベルとしては良好と推奨されていたが、我々は残留水分による工程不良を懸念し、さらに、 2×10^{-4} Paを初期の管理値として運用をはじめた。24~48時間の真空引きで真空度 5×10^{-4} Paまで到達するが、 2×10^{-4} Paまで到達するには約80時間を必要としていた。

RGA適用効果の検証

装置保守およびプロセス管理条件の検証結果を以下に述べる。

反応室オーバーホール後の真空引き中の反応室状態の経過

Table 1 Work procedure of the chamber overhaul and start-up

	Phase	Reactor	Operation	Period (hr)	Issue
1	Overhaul	VAC	Pre-treatment of the chamber pressure release (oxygen plasma cleaning)	2	
2	Overhaul	ATM	Chamber overhaul (parts cleaning)	2	Expose Cl ₂
3	Overhaul	ATM	Vacuum start ATM --> 2E-4 (Pa)	80	Long recovery time
4	Pre Etching Process	VAC	Post-Maintenance of the chamber (O ₂ ・Cl/Ar plasma cleaning)	4	Condition management
5	Etching Process	VAC	・ Ref wafer ・ Product wafer		・ Quality control ・ Process stability

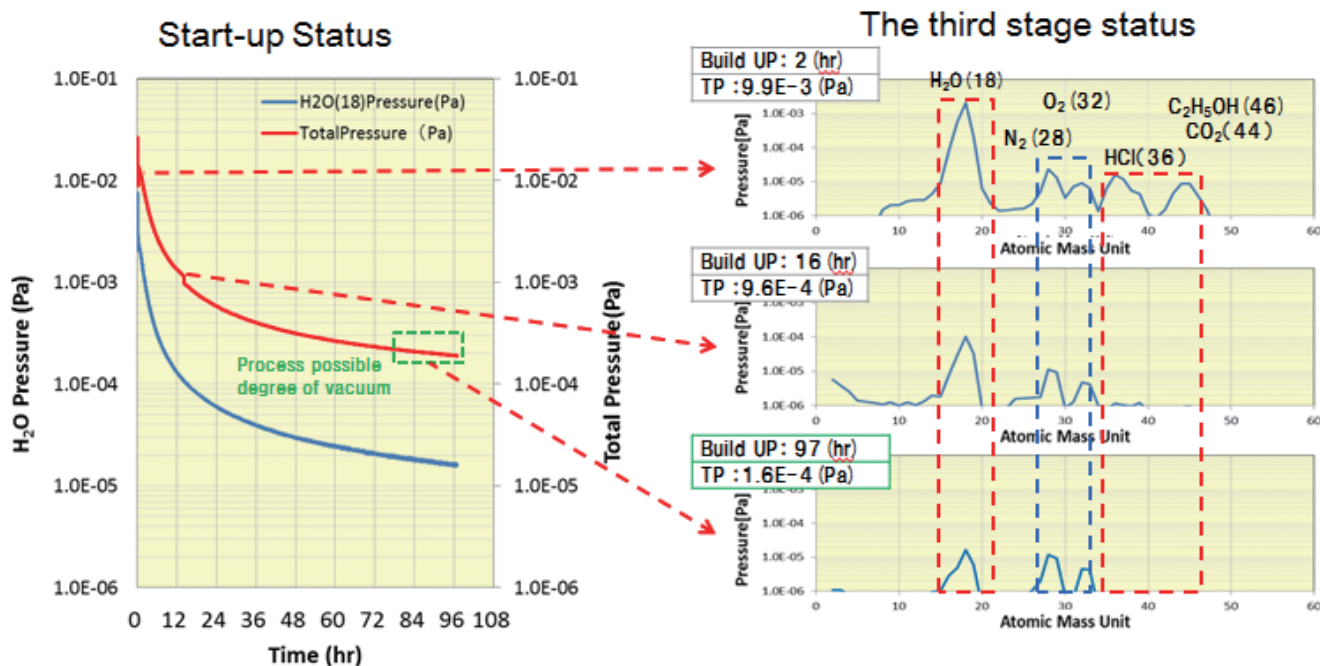


Figure 2 Pump down monitoring

観察を実施した。RGAの動作が可能な真空度 0.1 Pa から測定を開始し、プロセス開始可能な $2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ までの96時間の経過と真空立上げ中の経過で一桁程度真空度が異なる三つの過程の真空度における残留ガスのスペクトル(縦軸は圧力, 横軸は質量数)をFigure 2に示す。反応室真空度 $5 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ までは12時間程度で到達し、その後 $5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ までは80時間の真空引きが必要であることを確認した。

真空引き開始時は、水分、大気、部材洗浄液残渣のピークが確認できる。ここで窒素、酸素のレベル(Figure 2青破線部)は真空引き初期から変化していないため、この装置のバックグラウンドとしてのリークレベルであると考えられる。Table 1に示す作業1オーバーホール(大気開放直前に酸素プラズマクリーニング処理)で除去したHClが確認されるが、反応室部材および反応室内壁の水洗いにより、残留していた塩化物と反応し発生したものと思われる、反応室内壁に吸着した CO_2 やエタノールと同様に、真空引きが進むことで減少していくことが確認できる。このように、RGAで真空引き中の反応室状態を確認することによって、真空引き後すぐの時点で主成分が大気か水かでリークかどうかを判断でき、リークトラブルを防ぐ効果が期待できる。

次に反応室コンディショニング処理(酸素-塩素プラズマクリーニング)有無の条件における反応室状態と、それぞれの状態で実施したエッチング結果を比較した(Figure 3)。

反応室オーバーホール後のコンディショニングではまず、酸素プラズマクリーニングで有機物と水分を除去する。次に、塩素プラズマクリーニングで残留酸素を除去する。塩素プラズマクリーニングでは、あらかじめ反応室内壁へ塩

素成分がコーティングされることで、エッチングプロセス中にエッチングガスが内壁へ吸着する量を安定させておくことにより、安定してエッチング処理に供給される状態を作る必要があると当初想定していた。クリーニングを実施しないと、エッチング面の荒れ、形状・レートおよびマスク材との選択比に悪影響を及ぼすと考えていたが、どちらのサンプルも良好なエッチング形状が得られた。この結果により今回の検討に用いたエッチング条件では、プラズマクリーニングによるコンディショニングは不要であることが確認できた。

次に、エッチングプロセスと残留水分の影響を確認するために、到達真空度が1桁異なる二つの条件で残留水分分圧とエッチングの結果を比較した(Figure 4)。先の結果を踏まえ、反応室オーバーホール後の反応室クリーニングは未実施の状態、真空引き開始後2時間後(真空度 $1.2 \times 10^{-3} \text{ Pa}$, 水分分圧 $4.5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$)と、真空引き開始後84時間後(真空度 $1.2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$, 水分分圧 $5.2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$)の状態、エッチング処理を行なった。その結果、両サンプルのエッチング形状は良好な状態が得られた。以上の結果からプロセス可能な到達真空度は従来想定していた真空度($2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$)より低真空側($1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$)で処理しても、エッチング形状(結晶表面の平坦性、テーパ形状)と特性(マスク材の選択比)に影響がないことを確認した。

この検討で良好なエッチング結果が得られた要因について考察する。当初、塩素系ガスを用いてIn系の材料をエッチングする場合には、残留水分によりエッチングサンプル表面にマイクロマスクが形成されプロセスに悪影響を及ぼすことを懸念していた。例えば、芝状に表面が荒れる状態や、

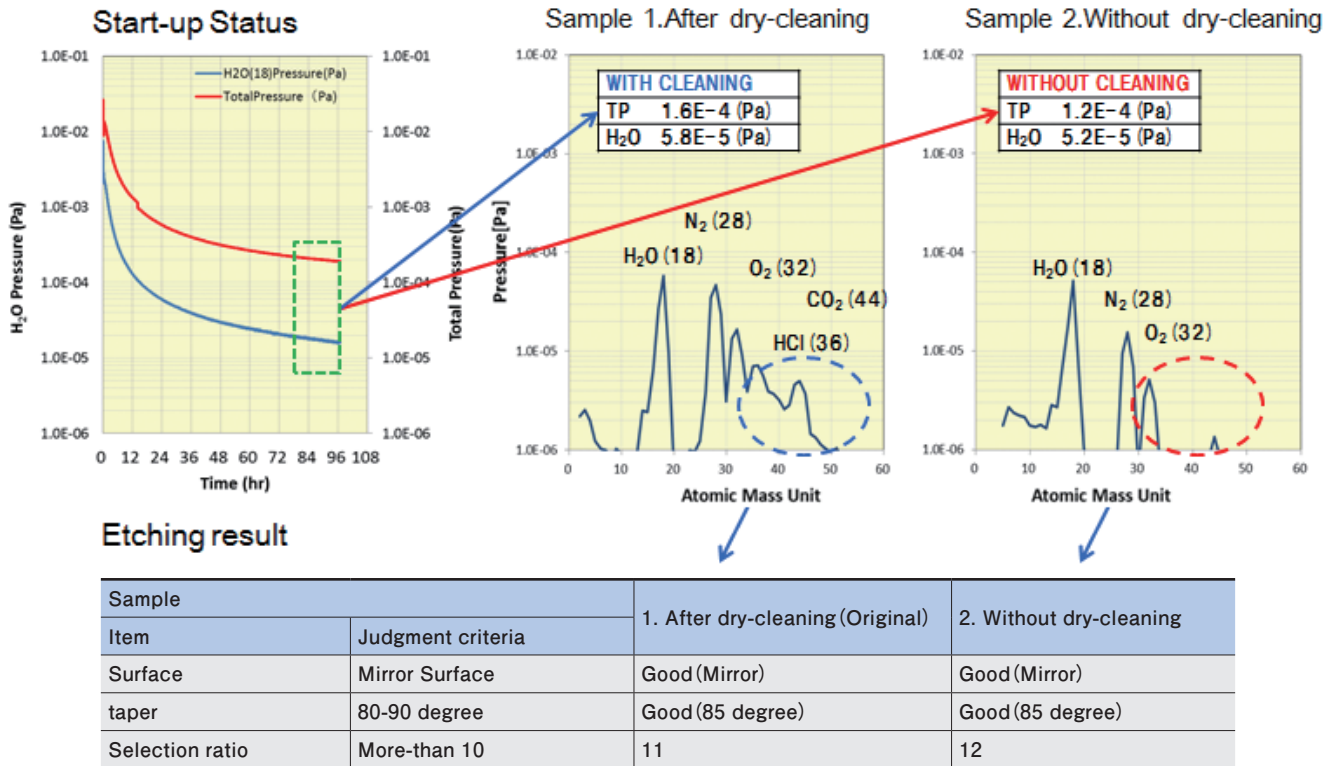


Figure 3 Chamber conditions before etching with/without dry cleaning sample

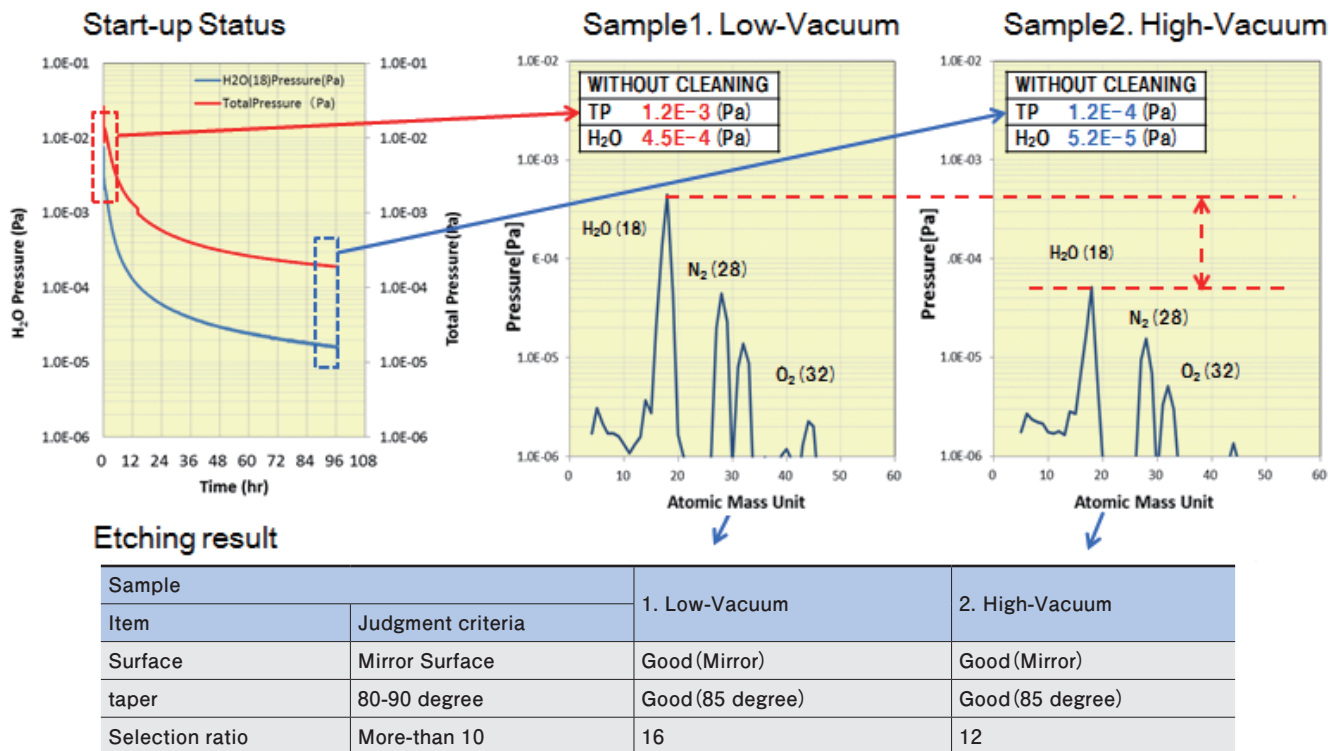


Figure 4 Chamber conditions before etching under Low/High degree vacuum state

側面保護の状態が変化し、垂直性やエッチングレートが変化することである^[2]。今回の結果ではその事象は発生しないことを示している。これは、エッチング時のサンプル温度が200℃と水分がサンプル上に残らないことと、エッチングガスにSiCl₄とArを用いて表面酸化物を除去する効果によるものだと考えられる。

以上の結果から、Table 1で示した当初装置管理条件は、今回検討に用いたプロセス条件において過剰な管理であり、到達真空度の管理値を一桁緩和可能で、酸素、塩素による長時間のプラズマクリーニングは実施不要であることを確認した。

以上の検討により、反応室オーバーホールから使用可能となる時間が、当初の84時間から2時間まで、98%短縮することが可能になった。例えば午前中に大気開放しても午後には使用可能となる。反応室トラブル時の復旧期間の短縮も可能なので、不具合発生時の反応室内確認が容易となった。このようにRGAを用いて定量的に装置管理ができることで運用効率が上げられる事を確認した。

おわりに

RGAをドライエッチングプロセスに適用する事により、装置管理の定量化とエッチングメカニズムの検討の効果を確認した。反応室内の残留ガス状態を把握することで異常を早期に検知して、エッチング工程の不良を未然に防ぐことができることもわかった。このように、今回の検討でRGAが塩素系ドライエッチング装置の管理条件の最適化に有効であることが確認できた。

謝辞

最後に、サムコ株式会社 生産技術部 中野博彦様、同 寺井弘和様、開発部 坂野洋平様には本検討において、エッチングプロセスやドライエッチング装置管理面に有益な御議論、御提案をいただき感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 池田亨, “超小型残留ガス分析計Pressure Master RGAシリーズ”, *Readout*, 28, 12(2004)
- [2] 徳山巍 著, “半導体ドライエッチング技術”, 産業図書(1992)



松濱 誠

Makoto MATSUHAMA

株式会社 堀場製作所
先行開発センター
Advanced R&D Center
HORIBA, Ltd.