

アルカリ電解水を用いたエアワッシャの酸性ガス除去システムの研究 (第2報) 実規模実験装置における性能評価

○服部 美紀 (新菱冷熱工業) 佐原 亮 (新菱冷熱工業)
三上 秀人 (新菱冷熱工業)

最先端の半導体および液晶工場のクリーンルーム内製造環境では、空気中に含まれる粒子状汚染物質だけでなく、分子状汚染物質(AMCs)が製品の歩留や製造装置に影響を及ぼす。AMCsは空気中に存在し、酸性ガス(Acid)、塩基性ガス(Base)、凝縮性有機物質(Condensable)、ドーパント(Dopant)に分類される。クリーンルーム導入外気に含まれるAMCsを除去するために外調機にケミカルフィルタが設置されることが多い。しかし、ケミカルフィルタは定期的な交換が必要であり、また入口空気の湿度対策が必要であるためランニングコストが高いという課題がある。本研究では、エアワッシャのAMCs除去性能を向上させることで、外調機のケミカルフィルタを不要とし、ランニングコストを大幅に削減することを目的としている。

前報において外調機のケミカルフィルタを不要とした酸性ガス除去システムの概要および小風量の実験装置によるSO₂除去性能について報告した。本報では、スケールアップした電解水エアワッシャシステムのSO₂除去性能について報告する。また、前報で課題であった、外気中のSO₂濃度が急激に上昇したときの電解水量制御の応答性について、改善対策を行った結果についても述べる。

1. はじめに

世界的な半導体需要の高まりにより半導体市場はプラス成長が続き、半導体工場への大型の設備投資が見込まれている。半導体工場のクリーンルーム内製造環境では、空気中に含まれる粒子状物質のほかにガス状汚染物質(以降、AMCs: Airborne Molecular Contaminants)が製品や製造工程に影響を及ぼすケースがある¹⁾²⁾。

本研究では、アルカリ電解水を用いてAMCs除去性能を向上させたエアワッシャにより、外調機のケミカルフィルタを不要とし、ランニングコストを大幅に削減することを目的としている。

前報では、電解水エアワッシャシステムの概要および小風量(810m³/h)の実験装置でのSO₂除去性能について報告した³⁾。

本報では、スケールアップした電解水エアワッシャシステムの实規模実験装置における、SO₂除去性能評価結果について報告する。また、前報で課題であった、外気濃度が急激に上昇したときの電解水量制御の応答性について、改善対策を行った結果についても確認した。

2. エアワッシャのスケールアップ

2.1 実験装置

茨城県つくば市の当社研究所に設置された、実験装置の外観を図-1、システムフローを図-2に示す。外気導入量は12,500m³/hであり、前報の810m³/hに対して、約15倍の規模である。

実験装置は、半導体工場における外調機を模擬した構

成となっており、外気はプレフィルタおよび中性能フィルタで除塵後、電解水エアワッシャシステムに導入される。電解水エアワッシャシステム入口の温度は、HEPAフィルタ出口の露点温度が約12°C DPとなるように加熱コイルおよび冷却コイルの電動弁で制御される。エアワッシャ通過後の空気は、再熱コイル、HEPAフィルタを経て排気される。

SO₂を一定濃度で供給するときは、高圧ガスボンベ(SO₂濃度0.2~2.0%)から減圧弁を介して、マスフローコントローラにより外気取入れ口に注入し、給気ファンにより外気と混合することで所定のSO₂濃度に調整される。

2.2 電解水エアワッシャシステム

エアワッシャシステムは前報と同様であり、前段にアルカリ電解水エアワッシャ、後段に純水エアワッシャで構成されている。補給水は、純水エアワッシャ水槽に供



図-1 実験装置の外観

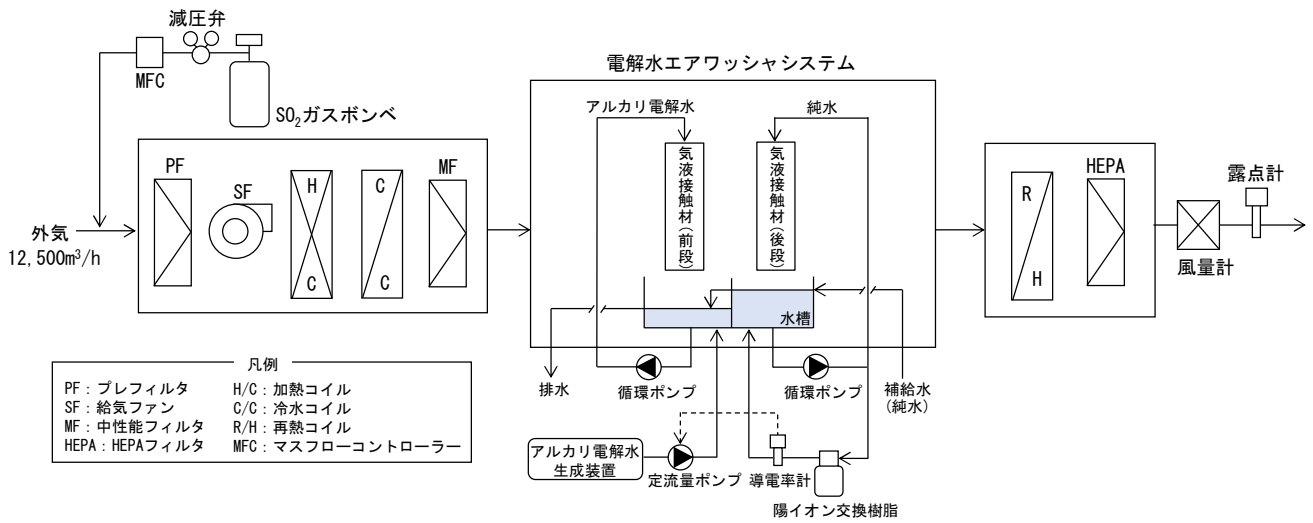


図-2 実験装置システムフロー

給し、連通管を介して電解水エアワッシャ水槽に供給された後、排水される。また、生成されたアルカリ電解水

は、PLC にあらかじめ入力された制御式により自動供給されるか、一定流量で供給される。

HEPA フィルタ出口の露点温度測定には挿入型露点温度計 (アズビル製 HTY79)、外気風量の測定には定置式複合ピトー管センサ式風量計 (ウエットマスター製 AE800×800) を用いた。

気液接触材は、前報で述べたプリーツ (ひだ折り) 構造の当社開発品である。気液接触材 1 枚当たりの大きさは 610mmW×610mmH であり、実機ではこのサイズを基本として、風量に応じて組み合わせることとした。本実験装置では図-3 に示すように合計 4 枚を取り付けた。気液接触材への空気の通過面速は、約 2.5m/s である。



図-3 気液接触材の外観 (正面)

3. AMCs 除去性能評価

スケールアップによる除去性能の変化の確認および課題の抽出を目的として、前節で述べた実験装置において電解水エアワッシャシステムの AMCs 除去能力の評価を行った。

3.1 制御式および実験方法

事前に外気中の SO₂ 濃度と除去率の関係からアルカリ電解水量、陽イオン交換樹脂後の純水エアワッシャ吸収液の導電率データを取得し、図-4 に示す制御式を作成した。ただし、本実験では、アルカリ電解水量の下限値を 6.0mL/min (外気 SO₂ 濃度 5ppb 相当) に設定した。

続いて、図-4 の制御式を用いて、以下の条件で実験を行った。

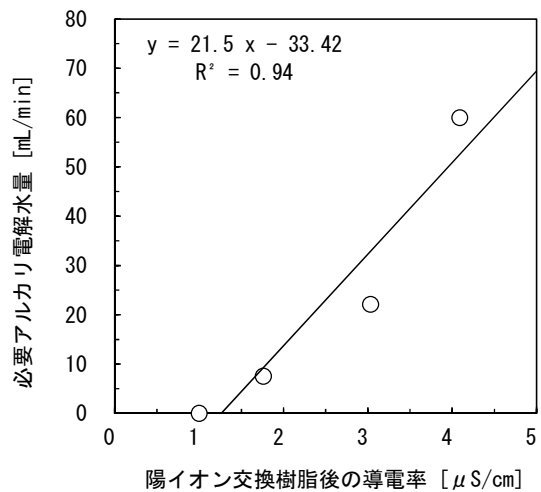


図-4 本実験に用いたアルカリ電解水量の制御式

- 1) 一般外気レベルの濃度(低濃度条件)
- 2) 導入外気にSO₂を注入し、50ppbになるよう調整(高濃度条件)
- 3) 突発的なSO₂濃度の上昇を想定し、一般外気レベルの濃度からSO₂注入を開始し、50ppbまで急激に上昇(変動条件)

電解水エアワッシャシステム出入口のSO₂濃度は、SO₂自動計測器(日本サーモ製43iQ-TLE)により、1minごとに測定した。また、同時に溶液吸収法により、電解水エアワッシャシステム出入口の空気をそれぞれインピンジャーで捕集し、イオンクロマトグラフで各種酸性および塩基性ガスの濃度を測定した。なお、分析方法は(公社)空気清浄協会指針NO.35Aに準拠している⁴⁾。

3.2 実験結果および考察

(1) 低濃度条件

溶液吸収法による除去性能測定結果を表-1に示す。SO₄²⁻濃度は入口で5,600ng/m³(SO₂換算で1.30ppb)、出口で50ng/m³(0.012ppb)であり、除去率は99.1%と高い除去性能であった。前報の実験装置におけるSO₂除去性能³⁾と比較して、同等以上であった。他の酸性ガス成分についても、高い除去性能を示した。

また、塩基性ガス成分であるNH₄⁺についても、除去率は約90%と高い除去性能であった。

表-1 水溶性AMCs除去性能測定結果(低濃度条件)

物質	入口濃度 [ng/m ³]	出口濃度 [ng/m ³]	除去率 [%]
NH ₄ ⁺	2,300	230	90
SO ₄ ²⁻	5,600(1.30)*	50(0.012)*	99.1
NO ₃ ⁻	1,200	250	79
Cl ⁻	1,700	25	99
CH ₃ COO ⁻	1,700	180	89
CHOO ⁻	1,300	160	88

* 体積濃度 [ppb]

(2) 高濃度条件

溶液吸収法による除去性能測定結果を表-2に示す。SO₄²⁻濃度は入口で230,000ng/m³(54ppb)であり、概ね設定どおりであった。除去率は99.7%と低濃度条件のときよりも高い除去性能であった。また、前報と比較して同等以上の性能であった。他の酸性ガスについても、低濃度条件と同様の高い除去性能であった。

また、塩基性ガスであるNH₄⁺についても、除去率は約90%と高い除去性能であった。

表-2 水溶性AMCs除去性能測定結果(高濃度条件)

物質	入口濃度 [ng/m ³]	出口濃度 [ng/m ³]	除去率 [%]
NH ₄ ⁺	2,500	260	90
SO ₄ ²⁻	230,000(54)*	680(0.16)*	99.7
NO ₃ ⁻	9,400	620	93
Cl ⁻	560	110	80
CH ₃ COO ⁻	2,800	360	87
CHOO ⁻	2,200	250	91

* 体積濃度 [ppb]

(3) 変動条件

電解水量の制御方法を、前節で述べた制御システムと一定流量制御の2条件とし、SO₂濃度の経時変化を測定した。一定流量制御における電解水量は、下限値6.0ml/minとした。測定結果を図-5に示す。

一定流量制御の条件では、出口濃度は280min後には0.9ppbに到達した。電解水量が少なく、循環水中のOH⁻が不足した状態になったと考えられる。その後、ガス供給を停止した後も出口濃度は緩やかに上昇し、1ppbを超えた。入口濃度が低下しても、循環水にいったん溶解したSO₂が再飛散していることが示唆される。

一方、制御システムの運転時は、出口濃度は開始後から約180minにかけて緩やかに上昇したものの最高0.20ppbの到達にとどまった。SO₂除去率は常時99%以上であった。以上より、本システムの有効性が確認された。

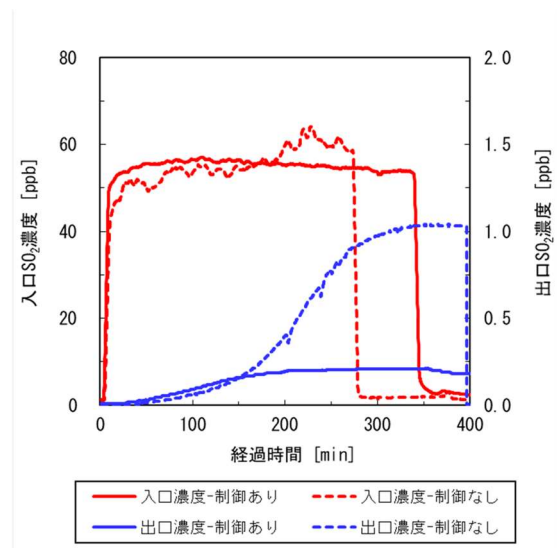


図-5 SO₂濃度の経時変化(50ppb)

また、図-6に制御システム運転時の電解水量の推移を示す。電解水が所定の流量に到達するまでに約150minかかっており、前報同様に課題となっている。本システムでは、電解水は最低流量時でも一定量(入口SO₂濃度5ppb相当)で常時注入されているため、ある程度のSO₂濃度上昇には緩衝作用が期待できるが、短時間で水槽中のOH⁻が消

費されてしまうほどの濃度上昇があると、除去率が維持できなくなる可能性がある。

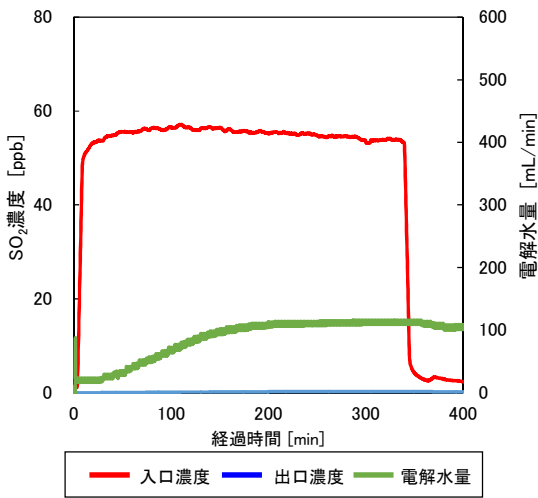


図-6 制御システム運転時の電解水量推移

4. 電解水供給システムの応答速度の改善

電解水供給の応答速度の遅れを改善するためには、純水エアワッシャ導電率の変化を早く検出する必要がある。現行では、図-7に示すように導電率は水槽からの循環経路から分岐させた位置で測定しているが、改良案として、純水エアワッシャ気液接触材の直下で導電率を測定する方法を考案した。

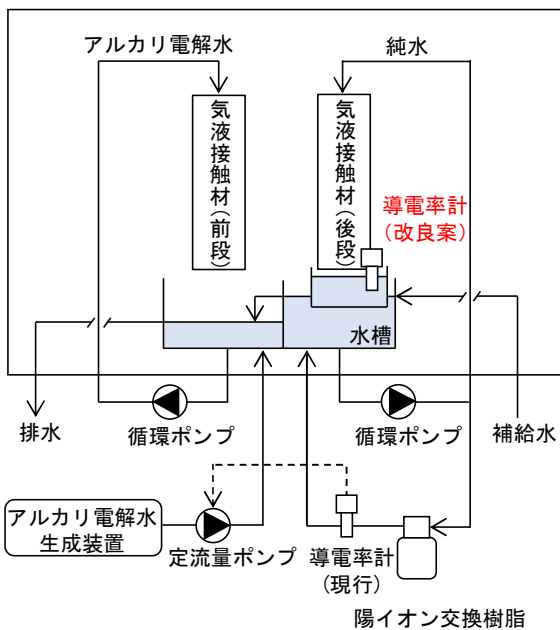


図-7 導電率測定ポイント

4-1 実験方法

前節 (3) の変動条件と同様の実験を行い、電解水量制御システムによる電解水量と、改良案の導電率計から計算で求めた電解水量の比較を行った。

なお、本実験では、電解水供給速度の応答を比較することに注目したため、改良案の導電率計には陽イオン交換樹脂を通過させていない。

4-2 実験結果

現行の導電率計による電解水量と、改良案の電解水量計算値の推移を図-8に示す。安定時のSO₂入口濃度平均値は62ppbであった。

現行の制御システムでは、安定時間は150分後だったのに対し、改良案では100分後にほぼ安定となった。以上の

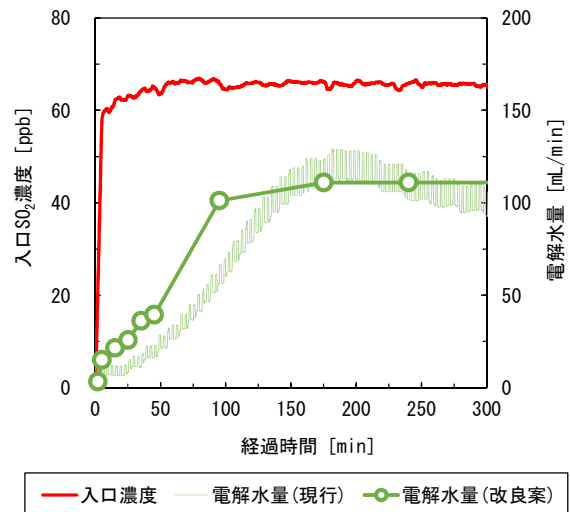


図-8 各導電率測定ポイントにおける電解水量の変化

結果より、気液接触材直下での導電率測定は、電解水供給速度の応答速度を早めるのに有効であることが明らかになった。

5. まとめ

本報では、実規模サイズにおけるアルカリ電解水エアワッシャの性能評価を行った結果、以下のことが分かった。

- ・外気SO₂濃度が低濃度、高濃度時のSO₂除去率はともに99%以上であり、高い除去性能であった。
- ・外気SO₂濃度が急激に上昇しても、電解水エアワッシャシステム出口のSO₂濃度は低濃度を維持しており、高い除去性能であった。
- ・気液接触材滴下直後の循環水の導電率を測定することにより、電解水供給の応答速度の遅れを改善することが

できる。

今後、電解水制御システムで対応できる濃度レベルの確認など、導入に向け検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 齊木篤、呂俊民、藤本武利他：半導体プロセス環境における化学汚染とその対策，pp.19-62，1997
- 2) 日本空気清浄協会：クリーンルーム環境の設計と計画（第3版），pp21-24，2013
- 3) 服部美紀、佐原亮、三上秀人：アルカリ電解水を用いたエアワッシャの酸性ガス除去システムの研究，令和3年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集
- 4) 日本空気清浄協会：クリーンルームおよび関連する制御環境 中における分子汚染物質に関する空気清浄度の表記方法および測定方法指針（JACA NO.35A-2003），pp.5-6，2003