

半導体製造工場における超純水、薬液および廃棄物の有効利用技術

若松 秀利 黨 昭
田中 宣雄

多くの半導体製造工場には、多機能デバイスのより低価格での提供を可能にする「利便性の追求」に加えて、地球環境を積極的に保全する「循環型リサイクル工場の仕組み作りの追求」が求められている。循環型リサイクル工場を実現するためには、超純水、排水および廃薬液の処理、回収、再生、再利用技術の、さらなる環境負荷低減化や処理コスト削減化に向けた持続可能な技術開発が必要である。また、新たな半導体製造工場の構築には、水資源の枯渇と悪化に対する環境規制の強化の対応策や、有限な資源と自然環境の保全対策を考慮に入れた新規なファシリティ技術が必要となる。図1は、1999年度の当社の半導体製造工場の環境保護対策のための新規設備投資の内訳である。この図からわかるように、省エネルギーや温暖化防止に関する地球環境保全対策費用が75%を占め、残り25%は、環境規制の強化に対応するための環境負荷低減や処理コスト削減に必要な新規設備投資である。

本稿では、当社の半導体製造工場の持続可能な環境保護対策に向けたファシリティ技術の開発と採用の状況を紹介し、さらに、今後のゼロエミッション化体制に必要なファシリティ環境のあるべき姿について述べる。

超純水の処理と回収技術

水資源の枯渇と悪化に対応する必要性から、再度超純水として再利用するために、排水中に含まれる有機性と無機性の汚染不純物を効果的に、かつ安全に除害する排水と廃液の処理・回収技術が必要となる。従来の排水や廃液の処理装置は、ユースポイントから排出される多くの排水と廃液を除去するために、多量の除害薬液を1回しか使用しない一過性型の除害方法であった。このままほとんどの工場が、このような除害方法で排水・廃液処理を永久的に続けると、僅かな汚染物質が蓄積され、河川、湖沼、海洋などはしだいに環境問題へとなる汚染レベルに進展し、近い将来、自然界の生態系のバランスを悪くする。したがって、このような処理方法は、環境保護の観点から考えると、大変大きな環境負荷の増大となり、運

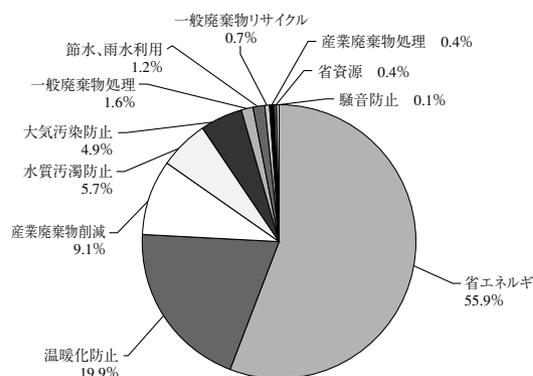


図1 環境保護対策の新規設備投資費用の割合

転コストを増加させることになる。図2は、水資源の枯渇と悪化対応の観点から、当社で開発した超純水完全クローズド回収装置の処理フローである。この装置は、ウエハプロセス工程用の工場に導入されており、ウエハ洗浄工程で多量に使用される超純水を中心とした排水と廃液の回収再利用を実現している。回収装置は、工業用水を処理する前処理装置、1次純水製造装置と2次純水製造装置からなる超純水製造装置と、ユースポイントで一度使用した超純水と希薄濃度の薬液が混合された排水と廃液をそれぞれ回収する排水回収装置と蒸発濃縮回収装置と、さらにユースポイントで一度使用した濃厚濃度の廃薬液を回収する薬液回収装置から構成されている。それぞれの装置は、ユースポイントから排出される排水や廃液を再度ユースポイントで超純水として再利用するための装置である。製造装置から排出される回収排水の原水に含まれる多種、多様の化学汚染不純物、例えば微粒子、細菌、全有機炭素（TOC：Total Organic Carbon）、および重金属等は、水質と濃度によって制御された最適な分別回収方法によって排出され、最適な高効率の除害装置で処理している。この装置の処理性能は、工場全体の水収支で95%以上の回収率を達成するものであり、また、回収水の水質は、回収超純水中の有機物であるTOC濃度で0.5

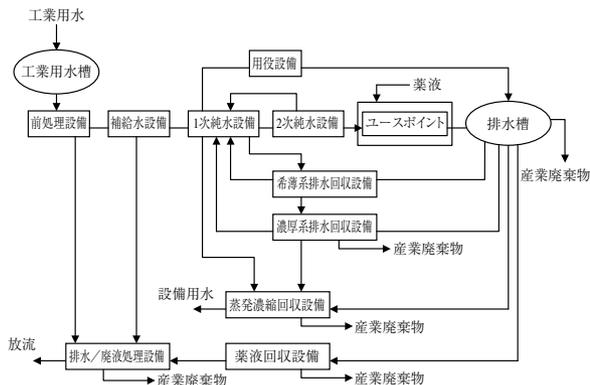


図2 超純水完全クローズド回収装置の処理フロー

μg/l以下を達成している。ただし、回収率95%の回収の運転コストは、回収率80%の場合の約2倍である。このように、この超純水の処理、回収装置は、持続可能な地球環境保全対応の観点から判断すれば、回収率80%程度の超純水回収装置に比べて最もコスト効果の高い状態で運転でき、かつ高品質の超純水を処理、回収できる環境配慮型装置である¹⁾。

廃薬液の回収と再資源化技術

半導体製造工場では、産業廃棄物の削減および限りある資源の有効利用の観点から、廃薬液の回収再資源化に着手している。これまで、一度ウエハプロセス工程で使用した廃薬液は、そのまま産業廃棄物として搬出するか、あるいは排水・廃液処理装置により除害処理を行った後に産業廃棄物として外部の廃棄物処理業者に依託処理してきた。しかし、最近では、一過性の排水や廃薬液に対しては、既設の他のファシリティ装置への供給水として有効利用できるように、各種装置の改善を施し、工場内で処理された処理水の有効利用率と処理装置の運転効率の向上に努めている。その中でも、フッ酸薬液の回収再資源化は、廃薬液の再資源化対応の代表的な技術である。

図3は、フッ素薬液を含む廃液からフッ酸薬液生成用のフッ化カルシウム (CaF₂: 螢石) を再生するためのフッ酸回収再資源化装置の処理フローである。この装置は、粒状炭酸カルシウム (CaCO₃: 石灰石) による炭酸イオンとフッ酸廃液のフッ素イオンの化学的な置換反応を利用しており、97%以上の高純度でかつ低含水率のCaF₂を再生回収できる。この装置の処理水は、99%以上のフッ素除去率を達成しているため、排水処理装置への処理負荷が大幅に低減される。また、その処理水は、他のファシリティ装置の供給水として有効利用できる¹⁾。

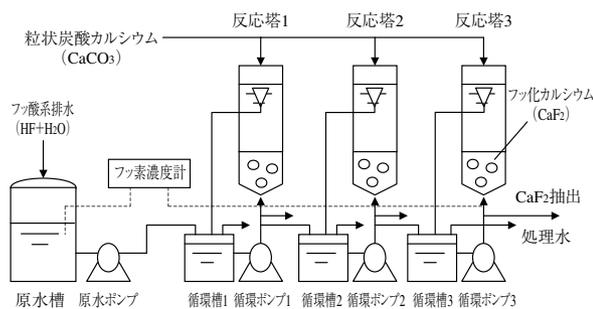


図3 フッ酸回収装置の処理フロー

産業廃棄物の再利用技術

半導体製造工場では、可能な限り地球環境への負荷を少なくするために、廃液の回収、中和の処理条件の最適化により産業廃棄物を低減する減量化対策、プロセス工程の工程管理条件を見直し、薬液交換頻度や洗浄頻度を最適化する処理と処分対策、および有効資源を分別回収し、再資源化する再利用対策が必要である。最近、多くの工場では、産業廃棄物が発生しないように、ウエハプロセス工程で使用される製造装置や廃液処理装置の各種構成部品を再利用できる材質に改善する設計開発が行われている。図4は、当社の半導体製造工場の産業廃棄物を種類別に分類し、その排出量の割合を示したものである。この図のように、廃油 (有機溶剤等) と污泥 (有機污泥や無機污泥等) を合わせると約70%が廃棄物として工場から排出される。その他の廃酸 (フッ酸や硫酸等) と廃アルカリ (現像液等) まで含めると実に全体の約87%近くが再利用化できる産業廃棄物で占められている。ここでは、産業廃棄物の低減対策として、減量化対策、処理と処分対策および再資源化対策について述べる。

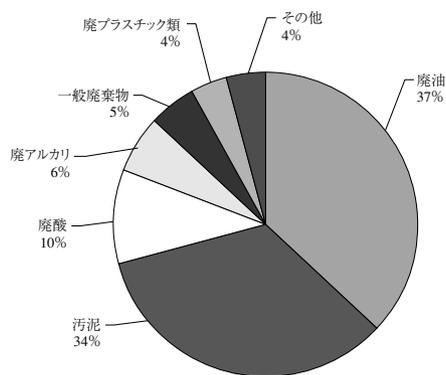


図4 産業廃棄物の排出量の割合

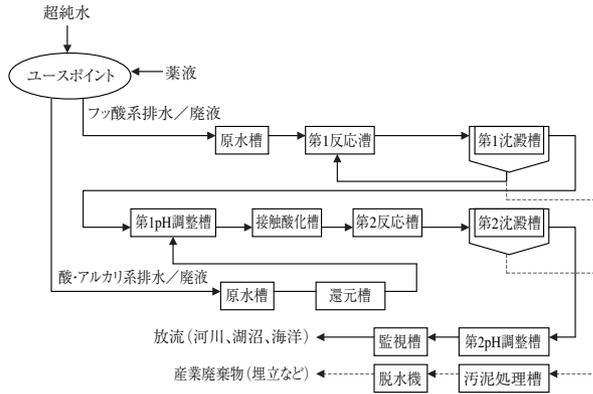


図5 排水・廃液処理装置の処理フロー

(1) 減量化対策

工場からの産業廃棄物の排出量を減らす減量化対策は、排水・廃液処理の回収、中和処理条件を最適化し、注入薬剤を削減することにより可能である。図5は、従来の排水・廃液処理装置に対して薬剤消費量低減化対策を施した処理フローである。この装置は、ウエハプロセス工程から排出されるフッ酸系と酸アルカリ系の2系統の廃液を除害、中和し、その後河川に放流するという凝集沈澱中和処理法である。この装置の特徴は、フッ酸系排水・廃液の除害処理系統の第1沈澱槽で発生する汚泥を汚泥処理槽に移送せずに、第1反応槽に戻し、第1沈澱槽のフロック形成核として有効利用しているところである。このような装置改善により、第2pH調整槽で消費している中和薬剤の注入消費量は大幅に削減できる。このような除害装置の運転条件の最適化を図ることにより、2000年度末では1997年度比で約30トンの硫酸消費量の大幅な削減が可能となった。また、産業廃棄物として排出される無機汚泥量は、最適化前に比べて約半分に削減でき、汚泥の含水率も70%以下まで低減可能となった。このような減量化対策を実施することにより、工場から排出される廃棄物の最終処分量が551トンとなり、2000年度末では、1997年度比で70.8%削減を達成することが可能となった。

(2) 処理と処分対策

ウエハプロセス工程の中のウエハ洗浄や治具洗浄工程では、多くの薬品が混合された薬液槽の中で行われている。この槽内の薬液の交換頻度は、処理数や許容汚染濃度により規定された条件で工程管理をしているため、多くの薬液が消費されていた。また、洗浄薬液の薬液混合の

割合も従来の処理条件で使用しているため、多くの薬液が消費されていた。そこで、薬液の消費量を低減するために、プロセス処理条件の最適化により、一部の薬液洗浄工程を削除すること、また、薬液交換周期を延長するために、製造デバイス性能の信頼性評価によって薬液の許容濃度の限界や混合比を最適化する工程改善を行った。このような削減対策により、ウエハプロセス工程での洗浄薬液の消費量としては、2000年度末では1997年度比で、フッ酸が約7.3トン、アセトンが約6.4トン、そして硫酸が約12.0トンの大幅な削減が可能となった。

(3) 再資源化対策

産業廃棄物の再資源化対策には、工場内部で最適な分別回収ができるようにそれぞれの処理装置を改善するだけでなく、外部の廃棄物処理業者や部材製造加工業者との技術協力により、廃棄物の再使用および再利用率を向上させることが効果的である。表1は、代表的な産業廃棄物の再資源化用途を示したものである。工場内での再資源化率向上のために、ウエハプロセス工程から排出される廃液は、排出系統を水質と濃度による最適ナリスク回避管理が可能で20系統程度の分別回収を行うことで、無駄のない効率良い処理を行っている。これにより、効率よく再資源化できる廃棄物の排出量を極力少なくし、再利用効率を高くしている。2000年度末では、工場廃棄物の再資源化率が、94%を達成できた。なお、最終的なゼロエミッション（産業廃棄物の再資源化率:99%）体制の達成時期は、2001年度末を目標としている。

将来のゼロエミッション化体制への展望

最近の半導体製造工場における環境保護対策は、他の産業に比べて大変進歩している。図6は、将来のゼロエ

表1 産業廃棄物の再資源化用途

排出物名	再資源化または有価物	再資源化用途	再資源化の方法
廃油	アセトン	アセトンに再生または燃料化	蒸留/焼却炉の燃料
	エタノール	アルコールに再生または燃料化	蒸留/焼却炉の燃料
	IPA	燃料化	カロリー調整後、焼却炉の燃料
汚泥	ネガ用現像液	燃料化	カロリー調整後、焼却炉の燃料
	無機汚泥	セメント原料化	セメント原料と混ぜて焼成
	有機汚泥	肥料原料化	生物処理後の残渣物を肥料
廃酸	硫酸等混合酸	(1) 硫酸に再生 (2) 中和剤	(1) 熱分解により再生化 (2) 処理施設の中和剤
	磷酸	肥料原料化	肥料製造工場にて構成成分の肥料を製造
	エッチング廃酸 (硫酸・H ₂ O ₂)	溶融金属の回収	業者にて回収
廃アルカリ	ポジ用現像液	(1) 補助燃料化 (セメント工場用) (2) 焼却炉冷却水	(1) カロリー調整後燃料として製品化 (2) 廃棄物処理焼却炉の排ガス用冷却水
	廃プラスチック	トレイ・ロール・マガジン等	再利用・再資源化
梱包材、発泡スチロール		燃料化	破砕してチップ化 (燃料)
発泡スチロール		フラワーボット化	ボット製造業者にてフラワーボット化

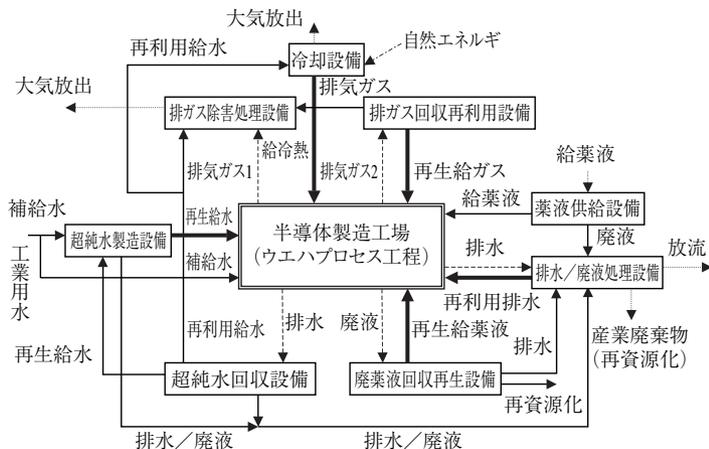


図6 循環型ファシリティ環境のあるべき姿

ミッション化体制の半導体製造工場に必要な循環型ファシリティ環境のあるべき姿である。このようなゼロエミッション体制の工場を構築するためには、工場で使用される超純水や薬液のみならず、一般高圧ガスや特殊材料ガスを含む排気ガスの回収と再利用も考えたファシリティ技術の構築が重要である。そこで、半導体製造工場に必要な有効な資源の搬入から使用後の廃棄物の搬出までの流れを制御できる循環型リサイクル工場には、プロセス技術、製造装置技術、部材加工技術、ファシリティ技術および産業廃棄物処理技術の5つの技術力の協力が必要である。まず、プロセス技術面からは、採用する薬液の化学物質の物性と性状ならびに最終処分方法等が明確になっていることが重要である。また、製造装置技術および部材加工技術面からは、使用する製造装置も最適な廃液の分別回収と最適な部材選定がされていることが重要である。また、ファシリティ技術面からは、超純水、薬液および排気ガスに対応する処理、回収、再生、再利用装置が、定常時、非定常時の運転状態に関係なく、あらゆる量、質および濃度の変動において、適切にしかも安全に対応できることが重要である。さらに、産業廃棄物の搬出から最終処分までの管理体制の強化（2001年4月1日に改正「廃棄物処理法」が施行されている。）だけでなく、産業廃棄物が再使用および再利用できる循環型リサイクル社会のシステム体制の仕組み作りが重要である。

最近では、これらのシステム体制作りのために、各種部材製造業者は、部材の加工処理効率を向上させるための燃料源として産業廃棄物を受け入れ、再度半導体製造工場に必要な部材等に還元させるといった新しい環境配慮型部材の技術開発を活発に行っている。したがって、上で述べた5つのどの技術が欠けても、自然や人間社会のた

めに有効利用できないものは工場から絶対に排出しないというゼロエミッション体制は、達成することができないのである。つまり、これらの5つの技術が融合された環境配慮の「循環型リサイクル工場」を構築できれば、近い将来に日本の半導体製造工場のすべてがゼロエミッション体制の半導体製造工場になるであろう。

あ と が き

当社の半導体製造工場における超純水、薬液および廃棄物の処理、回収、再生、再利用技術は、コスト効果が高く、かつ有限な資源の有効利用と自然環境の保全に向けた持続可能な技術であることについて述べた。今後は、

さらなる環境規制の強化に対応するために、PFC排ガス回収技術、化学的機械研磨スラリー回収技術、現像液回収技術などの回収技術やリン酸再生技術、硫酸再生技術などの再生技術を積極的に取り入れて、さらなる処理コストの低減化を図り、環境負荷低減化と再資源化に貢献できる循環型ファシリティ技術を構築する。つまり、いまままで築き上げてきた多くの必要不可欠なファシリティ技術や今後開発される新規なファシリティ技術が、他のあらゆる技術と最適に融合させることによって、地球上の限りあるエネルギーや枯渇資源の有効利用につなげることができ、ゼロエミッション化を可能にできる。

したがって、ゼロエミッション体制の半導体製造工場の構築は、地球環境保全に持続的に貢献する循環型リサイクル工場として環境配慮型社会の仕組み作りに貢献するであろう。 ◆◆

参考文献

1) H.Wakamatsu, *et al.*, "The Modern Concept of Completely Closed Ultrapure Water System for Semiconductor Manufacturing Plant, Proceedings for The Seventh Symposium on Semiconductor Manufacturing (ISSM'98), Vb-5, p.200, 1998

筆者紹介

- 若松秀利: Hidetoshi Wakamatsu.シリコンソリューションカンパニー 生産センタ 環境技術チーム
- 黛昭: Akira Mayuzumi.シリコンソリューションカンパニー エンジニアリングセンタ 環境ISOチーム
- 田中宣雄: Morio Tanaka.シリコンソリューションカンパニー 生産センタ 環境技術チーム