

半導体工場が進む節水技術

Water-saving technologies advanced in semiconductor factories

栗田工業株式会社 イノベーション本部 イノベーション技術開発部門 ソリューション開拓部

KURITA WATER INDUSTRIES LTD.

Innovation Division, Technology Development Group, Solution Development Department

山下 和宏

Kazuhiro Yamashita

キーワード：半導体工場 (Semiconductor factory)、水処理 (Water treatment)、水資源有効活用 (Effective use of water resources)、節水 (Water saving)、排水回収 (Water reclaim)

1. はじめに

今日、ニュース、新聞などで“半導体”の単語を聞かない日はないほど、日本および世界中で半導体の重要性が高まっている。従来から半導体は、“産業のコメ”と言われてきたが、今は世界中で“経済安全保障の観点からも最も重要な産業・技術”とも捉えられ、日本を始め各国が国家予算を兆円単位の規模で投入するなど最重要政策の一つとなっている。

半導体製造工場の立地条件には、大量の水、莫大な電気を安定供給できることが必須の条件であり、今後は更なる半導体製品の高精度化に伴い、その製造プロセスにおいて、これまで大量に用いられてきた洗浄水（超純水）の使用量、電気使用量は増えていく傾向にある。例えば、Si ウェーハ1枚を半導体製品にするまでには、約5m³の超純水を使用すると言われている。

このような中で、当社は水処理メーカーとして、水使用量、水処理に関わる電気使用量の最小化に向け日々技術開発を進めている。

これまで比較的水資源に恵まれている日本においても、工場の立地する地域との共生の観点などから、取水・放流水の制限が厳しくなる傾向にあり、また海外においては水資源が豊富ではない中で如何に生産量を上げていくかの課題に対し、水資源の有効活用のニーズが高まっている。

水資源の有効活用には、Reduce、Reuse、Recycleの3つの取り組みがあるが、本稿では、このうち半導体工場において節水寄与の高い排水回収技術について述べる。

2. 半導体工場における水処理システム

2.1 節水の手段

図1に示したように、節水の手段としては、Reduce、Reuse、Recycleの3つがあるが、Reduce、Reuseについては、製造プロセスに直結しており、半導体製品の高度化が進む中で製品歩留まりへの影響有無をかなりシビアに検証する必要がある、従来から実績のある範囲内で実施されているのが一般的である。

一方で、Recycleについては、製造プロセスに直結せず、排水回収システムにより規定の水質まで処理された後、再利用または工場稼働に必要な水（例えば、空調用冷却塔の補給水など）として利用されており実績も増えてきている。

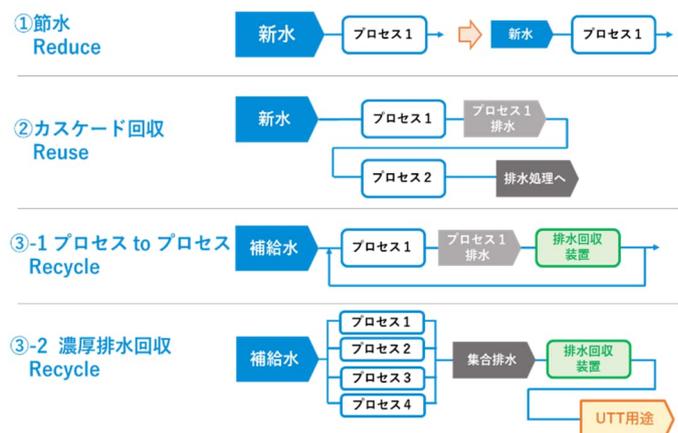


図1 半導体工場で採用されている主な節水手段

2.2 排水回収の実施例

図2には、半導体工場における水処理システムの全体概要の事例を示している。先で述べたように、半導体製造工程においては様々な薬品やガスなどが用いられており、これらを各工程で洗浄し取り除くために超純水が必要となる。超純水は、工業用水や河川水などを原水とし、主に濁質などを取り除く前処理システム、その後イオン、TOC、菌などを取り除く一次純水システム、さらにイオン類を ng/L レベル、微粒子は nm サイズのものを <math><1\text{ 個/mL}</math> レベルまで高純度化する2次純水（サブ）システムから成っている。

そして、製造プロセスから出てくる排水は、通常、排水処理システムにより周辺環境に影響を与えない水質にまで浄化され、下水道や河川へ放流される。この排水を再生水として再利用できるレベルにまで処理するのが排水回収システムである。ただし、製造プロセスを経た排水を回収することは決して容易ではない。製造プロセスでは、様々な薬品、ガス、スラリーなどが用いられており、これらが単一の物質・濃度で排水されることは稀であり、当社のような水処理メーカーにとっては、この製造プロセスから出てくる排水を再利用できるまで処理する排水回収システムを如何に、低コストで安定的に処理するかが腕の見せ所である。

また、濃厚な排水である IPA や NH₄ などは有価回収システムを通し、有価として再利用されることも増えてきている。

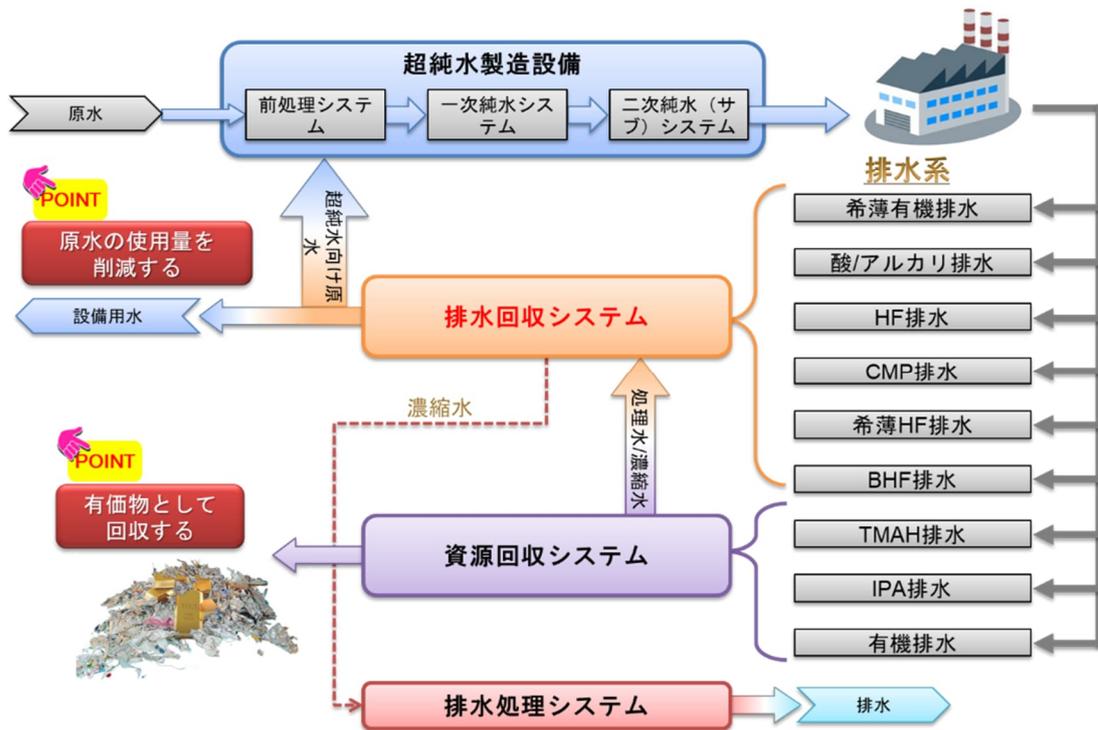


図2 半導体工場における水処理システムの全体像（例）

3. 排水回収システム

3.1 従来の排水回収システムにおける課題

従来の排水回収システムを図3に示した。製造プロセスからの排水は、総合排水として様々な物質が混ざり、そしてその不純物負荷は高く、濃度は変動するため、構成する水処理ユニットや薬品種が多くなり重厚長大でコストが高く、設置スペースも広く必要である。さらには、安定運転するための運転管理の手間も掛かるという課題もあり、これが日本など取水源に恵まれている地域のみならず、取水源に恵まれない国や地域でも排水回収が広く展開されなかった理由であった。

3.2 最新の排水回収装置

上述の課題を克服するために、当社は顧客と共に製造プロセス排水を排水種、濃度、水量に応じて分類する取り組みを進め、そして排水回収システムは、これまで培ってきた豊富な膜処理、水処理薬品の技術を排水種に応じて最適に組み合わせ、装置構成をシンプルとして規格化し、従来の排水回収システムに対し、大幅なコストダウン、設置スペースの削減、安定した処理を実現した。

この排水回収装置を当社では、CORR™(Customized-Optimal-Readymade-Reclamation)システムと呼んでいる。

CORR™システムは、図4に示したように、前処理装置と脱塩装置から成るシンプルな構造と独自の水処理薬品を活用している。特徴は、①新規凝集技術、②高性能な除濁膜、③独自のRO膜薬品、④監視、制御システム、の4つである。(図5)

新規凝集技術と高性能な除濁膜は、凝集フロックを改質させて有機物や濁質の前処理膜への付着を防止することを目的に、凝集剤と除濁膜およびその洗浄方法を改良したものである。独自のRO膜薬品は、脱塩やTOC除去を担うRO膜の安定運転のために、排水水質に応じて最適な薬品を選定し、スケール、スライム、有機ファウリングを防止する目的で用いる。

そして、通常、水処理装置の流量や圧力、水質といった運転状況は監視計器が設定した閾値を逸脱した際にアラートを出すなどの管理が一般的であるが、今後どのように運転状況が変化するかを解析する傾向監視を行っている。傾向監視では、過去の運転実績などを用いて、データの傾きから異常を予測しIoT監視センター・技術にて解析、対策検討し、現場対応することで、トラブルを未然に防止でき、運転管理の手間の削減、安定化に貢献している。

-従来システム-



図3 従来の排水回収システムのフロー概要

-CORR™システム-



図4 CORR™システムのフロー概要

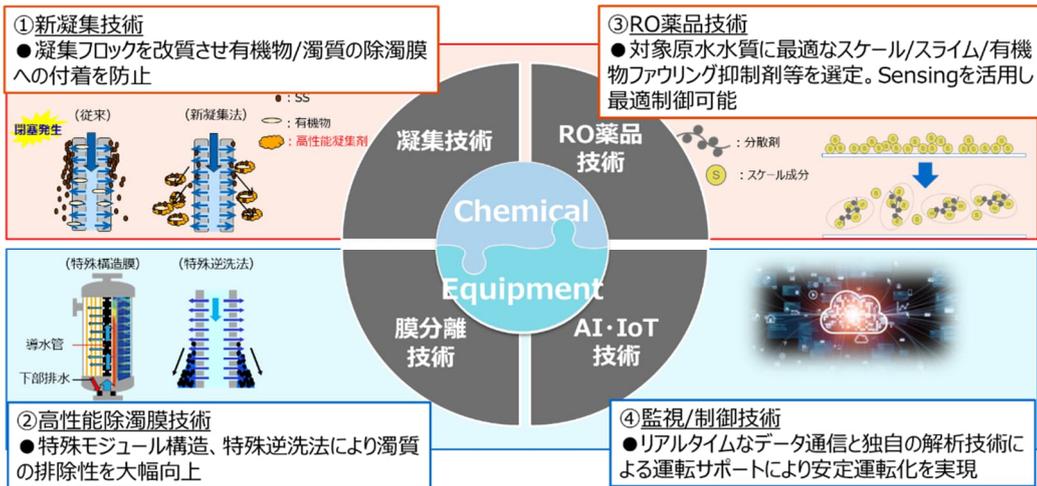


図5 CORR™システムを構成する主要技術とその特徴

また、省エネルギーの観点も今日は必須であり、脱塩やTOC除去を担っているRO膜の低圧化にも取り組んでいる。これまで広く用いられてきたRO膜は超低圧RO膜といい、運転稼働圧力が0.7MPa程度と高圧でかなりの電力を消費する。排水回収システムの消費電力の6~7割はこのRO膜高圧ポンプの稼働による。このため、より低圧でも処理可能な極超低圧RO膜（0.3MPa程度）の適用も広がっている（図6）。この膜は超低圧RO膜よりもTOC除去能などは劣るものの、排水回収水の利用先である設備用水などの適用水質条件は満たせる場合も多く、省エネルギー効果として電力の3~6割削減が期待できる。このように、排水の性状、回収水利用先の水質条件に応じて、RO膜も最適なタイプを選定し、より環境負荷を下げる事が可能となる。

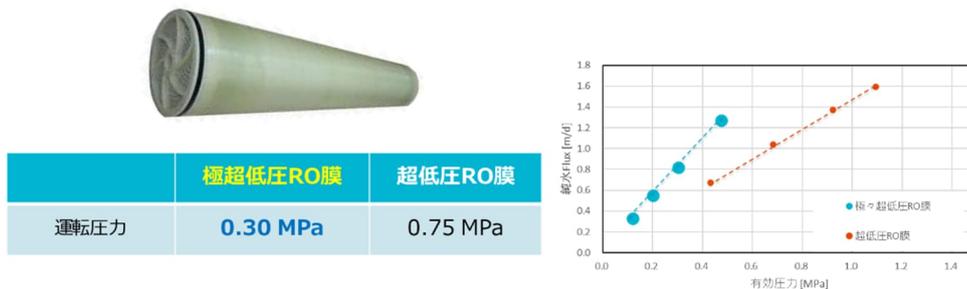


図6 極超低圧RO膜の特徴

3.3 最近の取り組み

上述のCORR™システムは、従来の課題であった、装置が重厚長大で高コスト、広い設置スペースが必要、運転管理に手間が掛かる、ことを克服したものであるが、更に一步踏み込んだ取り組みも行っている。

これまで水処理装置は顧客に購入してもらい、運転管理は顧客の運転管理者に実施いただく形態が一般的であった。このため、顧客は設備投資が必要なだけでなく、日々の運転管理が必要であった。そこで、近年展開されているのが「再生水供給サービス」である。CORR™システムを当社の資産として顧客工場敷地内に設置し、運転管理からメンテナンスまで一括で請け負うことにより、必要な水量・水質の再生水を月々定額で供給するサービスである。例えば、この再生水を冷却塔の補給水としても使用するために、遠隔監視システム「S, sensing™ Opti」による冷却水の水質管理なども実施している。このような取り組みにより、工場内で使用する水の利用率が高まり、上水使用量の約40%、下水放流量の約30%の削減ができている例もある。また装置の維持管理も当社が行うため、工場内の技術伝承の課題も解決できている。

4. まとめ

これまで述べてきたように排水を回収し、設備用水などに有効活用する取り組みは、展開が進んでいる。一方で、設備用水の多くは、空調などの冷却水であり夏場は大量に使用するため有効に活用できているが、冬場は回収水が余るといった例も多い。今後更に水資源を守るには、超純水の原水として回収する技術の確立が必要だろう。超純水は製造プロセスに直結するため、水質の高純度および安定性の要求レベルはかなり高く、技術的なハードルは相当高いが、当社を始め水処理メーカーがブレークスルーしなければいけない課題と捉えている。

半導体はその付加価値の高さから今後も世界各国の戦略品・技術として発展し続けていくであろう。半導体の生産量が高まり、工場が巨大化していくに比例し、工場周辺環境に与える影響度も増していくため、今後ますます環境政策の重要性も高まっていくと考える。当社は水処理を起点とし、水資源のさらなる有効活用を進めるのはもちろん、省エネルギー、排水に含まれる物質を有価資源として回収していく取り組みも加速させていく。