

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 精密洗浄装置用流体加熱温度制御装置の高度化に関する研究

熊本大学大学院自然科学研究科 情報電気電子工学専攻 人間環境情報講座
(主任指導 川路茂保教授 松永信智准教授)

論文提出者 三村 和弘

主論文要旨

日本の産業界を牽引する半導体製造業界において、半導体のパターンの微細化を高品質かつ高生産性をもって実現することは電子立国の復活を目指す日本にとって喫緊の課題である。半導体製造装置の中でもステッパに代表される超精密加工やウェーハ洗浄に代表される精密洗浄においては特に高精度な温度制御が求められ、微細化の鍵となっている。

半導体製造装置の温度制御系ではPID制御が多く用いられている。PID制御は、産業界で最も広く使われている制御方法であり、シンプルな構造でユーザにとっても理解しやすい、ユーザによる現場調整が容易であるなどの利点を有している。しかし、年々複雑化・多様化する製品の要求品質に対応するためには、望ましい制御性能を得るための現場での調整は困難を極めるケースが多く、PID コントローラのゲイン調整だけでは制御仕様を満足できない場合も多い。これらの高度な制御仕様に対応するために、様々な制御系が提案されているが、制御対象のモデルが要求されるなど、現場での利便性やメンテナンス性が考慮されているとは言い難い。そこで、現場で多用されているPID 制御をベースにコントローラを高機能化し、高度な制御仕様への対応とパラメータ調整の容易さを両立できれば、産業応用上有用である。

本研究では精密洗浄装置の高性能化を目指し、PID 制御をベースとしたアドバンスト制御系による温度制御の高度化に関する研究を行った。具体的には、精密洗浄の最先端技術であるウェーハ洗浄プロセスの洗浄工程とリンス工程で使用される2つの異なる形態をもつ流体加熱温度制御装置の制御課題を明らかにし、PID制御をベースとして制御系の高度化を実現する手法について提案した。

本論文は、全5章から構成されており、各章の内容は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景と目的について述べた。

第2章では、流体加熱温度制御装置の従来技術の課題を制御と洗浄の観点から述べた。洗浄工程において用いられる流体加熱温度制御装置は加熱・冷却のように2つの異なる動特性をもつ非対称特性を有している。また、リンス工程で用いられる流体加熱温度制御装置は複数個のユニットを直列結合することによって加熱するシリアルプロセスとなっている。これらの2つの装置では従来のPID コントローラの設計や調整が困難である。そこで、これらの特性を有する制御装置における制御問題の困難性を指摘し、課題を解決する指針を示した。

第3章では、洗浄工程用流体加熱温度制御装置に特徴的な非対称プロセスに対する新たなPID調整則を提案した。非対称プロセスに対するリレーフィードバック法は記述関数による近似が困

難である。その結果、適切な PID 定数が得られず温度制御精度や過渡特性が劣化する。そこで、擬似限界ゲイン、擬似限界周期、加熱時間比に基づくコントローラの最適定数を決定する新たな調整則を提案し、循環加熱装置を用いてその有効性を検証し、温度制御精度に加えて目標値応答、外乱応答ともにオーバーシュートが小さく整定時間も短縮できることを示した。

第4章では、リンス工程用流体加熱温度制御装置に特徴的なシリアルプロセスがもつアクチュエータ飽和によるオフセット問題を回避する制御手法および流量変動による出口温度変動を補償する手法を提案した。リンス工程では高精度に温度管理された温純水の安定供給が要求されるが、シリアルプロセスでは上流のユニットで生じた誤差を下流のユニットで補償する構造的な特徴を有しており、個々の PID の調整では適切な制御が困難である。これに対し、PID コントローラに外乱オブザーバを応用した操作量バランス型オブザーバを併用し、ヒータ出力のばらつきや断線が生じて各ユニットの出力のアンバランスを回避する新たな制御系の構成法を提案した。提案法を純水加熱装置に適用し実機を用いて有効性を確認し、流量の変動やヒータ出力のばらつきによる温度変動幅を小さく抑えることができることを明らかにした。

第5章では、本論文の成果と意義、および今後の課題等について述べた。

以上、本論文では精密洗浄の最先端技術であるウェーハ洗浄プロセスの洗浄工程とリンス工程で使用される2つの異なる形態をもつ流体加熱温度制御装置の制御課題を明らかにし、PID制御をベースとして温度制御系の高度化を実現する手法について提案した。精密洗浄プロセスは精密温度制御の研究例が少ない領域であり、本研究で指摘した制御対象の非対称性や複数個のユニットを直列結合したシリアルプロセスは特に制御が困難な事例であるが、その特徴に着目した制御手法の研究は進んでいない。この意味において、本論文で提案されたPID制御をベースとした高度化の手法は学術的にも有用性の上からも意義が大きいものである。