

氏名 三村 和弘

### 主論文審査の要旨

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喫緊の課題である。中でも、ウェーハ洗浄に代表される精密洗浄工程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。

半導体製造業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、現場調整に適しているなどの利点を有している。しかし、年々複雑化・多様化する半導体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調整は困難を極めるケースが多く、PID制御器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、制御対象の厳密な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から極めて有用である。

そこで、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ド制御系による温度制御性能の改善に関する研究を行なっている。具体的には、精密洗浄工程の一つ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装置の制御課題を明らかにし、PID制御ベースのアドバンスド温度制御系の性能改善を行う手法について提案している。

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ている。

第2章では、流体加熱装置の従来技術の課題を制御と洗浄の観点から述べている。洗浄工程において用いられる流体加熱装置は加熱・冷却のように二つの異なる動特性をもつ非対称特性を有している。また、流体加熱装置は一般に複数個の加熱ユニットを直列結合したシリアルプロセスとなっている。これらの流体加熱装置では従来のPID制御器の設計や調整が困難である。そこで、非対称特性やシリアルプロセスを有する流体加熱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ている。

第3章では、非対称プロセスに対する新たなPID調整則を提案している。非対称プロセスに対する調整法としてリレーフィードバック法が提案されているが、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の精度や過渡特性が劣化する。これに対し、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、循環加熱式流体加熱装置に適用してその有効性を検証している。

第4章では、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ている。シリアルプロセスは上流のユニットで生じた誤差の蓄積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、PIDゲインの調整が困難な事例である。これに対し、PID制御器に外乱オブザーバを併用した新たな制御系の構成法を提案している。

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ている。

以上、本研究の内容は、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およびリンス工程で使用される流体加熱装置の制御課題に対して、現場での利便性やメンテナンス性を考慮してPID制御則をベースとした新たな設計手法を提案している点に学術的な特徴がある。

また、現場の制御対象の非線形性に対する理論的な対処法を与えただけでなく、精密洗浄装置用流体加熱温度制御装置へ応用した具体的な調整手法を示しており、産業応用の観点から大きな意義を持つ。

したがって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。

#### 最終試験の結果の要旨

審査委員会は、学位論文提出者に対して、当該専門分野および関連学問分野について口頭により試験を行った。その結果、学位論文提出者は上記分野に対して十分な知識と理解力を有していると判断した。また、外国語に関しては、米国コーネル大学大学院機械工学科での修士の学位を取得しており、国際会議での発表も行っていることから十分な能力を有しているものと判断した。以上の結果にもとづき、最終試験は合格と判定した。

#### 審査委員会

主	査	井上 高宏	委	員	宇佐川 毅
委	員	中村 有水	委	員	松永 信智
委	員	川路 茂保	委	員	汐月 哲夫