

技術ノート

半導体製造用液体供給装置の高速熱交換システムの開発

小林丈士*1) 三上和正*2) 平塚尚一*1) 芦田春幸*3)
川田誠一*4) 村山 昇*4) 三森康史*4)

Development of fast heat exchange systems for semiconductor manufacturers' liquid supply equipment

Takeshi KOBAYASHI, Kazumasa MIKAMI, Shoichi HIRATSUKA, Haruyuki ASHIDA,
Seiichi KAWADA, Noboru MURAYAMA and Yasushi MITSUMORI

1. はじめに

シリコンウェハの微細加工ならびに薄片化に対する加工精度仕様の高度化に伴い、シリコンウェハの研磨装置に供給されるスラリー液の温度制御装置に対する要求が厳しくなり、温度精度の向上が求められている。さらに1台の半導体製造用液体供給装置（以下、スラリー液供給装置）を用いて複数台の研磨装置に供給させたいという要求もある。そのため、複数供給という大きな負荷変動に対して、高精度で温度制御を行うことが必要となった。そこで、現システムのPID制御方式（図1）では、急激な流量の変化や設定温度の変化に対し短時間での応答性の点で対応が難しいため、新しい制御方式を開発する必要があり、共同開発研究者である（有）テクノメイト及び東京都立大学の協力を得て、この研究開発を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 現システムのモデル化及び制御方式の検討

旧装置（制御対象）の熱交換器等個々の流体温度変化についての熱収支から数式を求め、モデル化した。この式は図1のタンク、熱交換器のスラリー液、熱交換器の水、冷凍機、ヒータについての式であり、5次の数式で表された。しかし、このモデルは次数が高いため制御設計が困難になる。そこで、旧装置の評価実験を実施し、その結果をもとに、特性解析を行い、3次の数式で表される近似式を導出した。ここでは、式の詳細については割愛するが、その数式を状態方程式（ $dx/dt = Ax + B u(t) + F$ ）の形で表現したときに、 A が3行3列、 x が3次で表現される。また、制御系の設計手法として、次の2つについて検討し制御則を導出した。

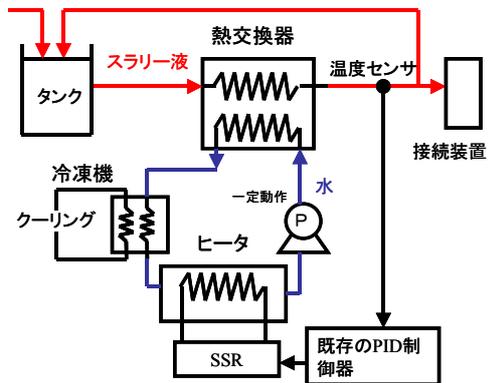


図1 現状のシステム（PID制御方式）

- ・極配置による方法 制御系の固有値を任意の位置に配置する状態フィードバック制御で、制御量以外の状態変数については、DC成分に積分項を付加する制御則。
- ・スライディングモード制御 可変構造制御の一種であり、DC成分及び積分項を含めた制御則。

2.2 新たな制御装置の設計・試作

新たな制御則を用いて装置を制御するために、図2に示すシステムを構築した。このシステムは図2の左から順にパソコン（PC）、PC用試作ソフトウェア、USB IF BOX、及び試作回路で構成されている。パソコンは、市販のものを活用し、USBケーブルを用いてUSB IF BOXと接続する。試作回路は、USB IF BOXとスラリー液供給装置を接続する。

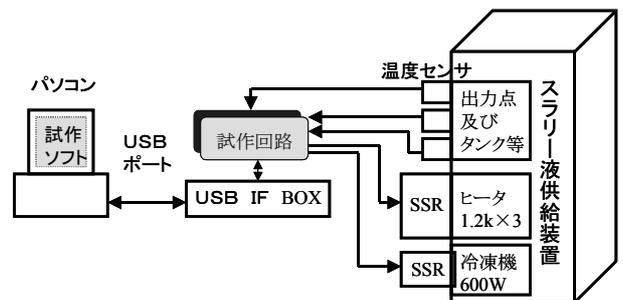


図2 開発した温度制御システム

*1) 電子技術グループ
*2) 電子技術グループ
(現城南地域中小企業振興センター)
*3) (有)テクノメイト
*4) 東京都立大学

2.2.1 試作回路の概要

試作回路は、USB IF BOX とスラリー液供給装置を接続するもので、ブロック図を図3に示す。

この回路は、4つの測温抵抗体の値を信号変換、アンプレセレクタを通してA/D変換を行い、USB IF BOXへ送信する。さらに、USB IF BOXからの信号をもとに、電圧変換しヒータを、SSRを介して冷凍機を制御するのである。

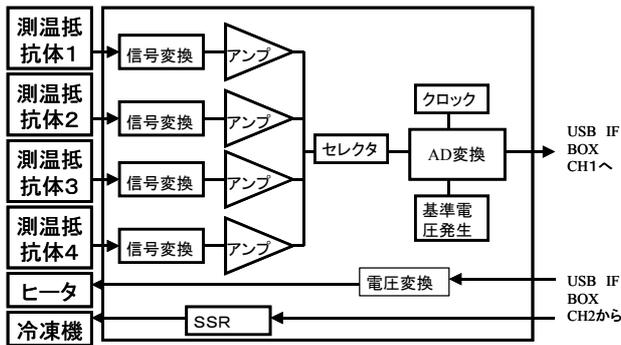


図3 試作したブロック図

2.2.2 PC用ソフトウェアの概要

開発したPC用ソフトウェアは、VISUAL BASICを用いて試作したものであり、温度計測、表示、制御則による制御量の算出等を行っている。試作したソフトウェアのフローチャートを図4に示す。

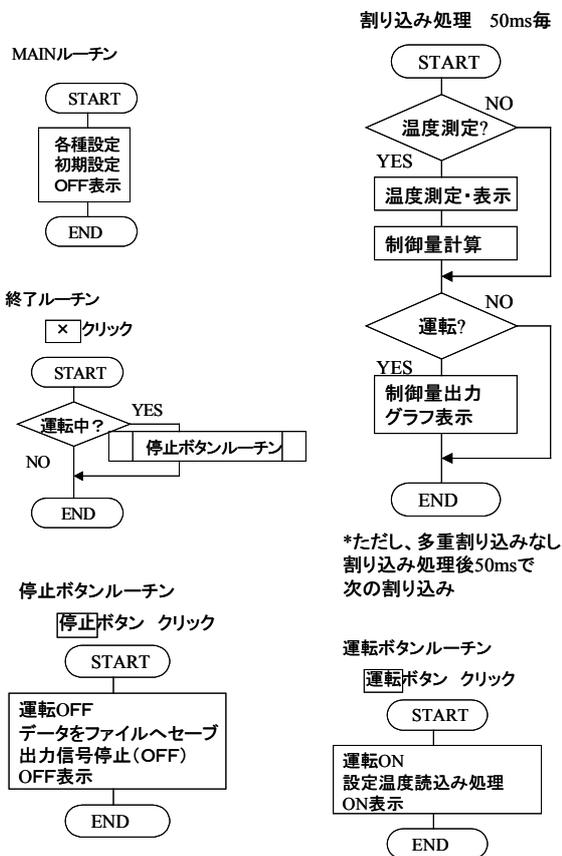


図4 フローチャート

3. 結果

開発した温度制御システムを使い、スラリー液供給装置への適用及び制御を行った。スライディングモード制御を用いて制御した結果を図5に示す。この図では、温度が安定している状態から、流量を200ccから1000ccに変化させたときの結果であり、従来のPID制御では、設定温度に戻るまで20分掛かるものが、新しい方式では5分に改善されたことがわかる。

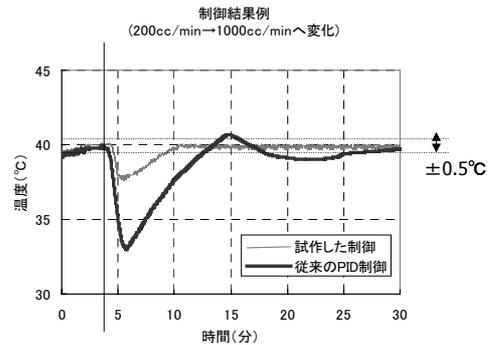


図5 制御結果の例

また、流量変動1000ccから200ccに変化させた時や極配置による制御についても同様に実験を行った。その結果速応性が改善されたことが確認できた。しかし、各種設定で実験を行った結果、若干の定常偏差が見られる場合があり、これは制御設計において設定すべきパラメータを調整して検討する必要がある。

4. まとめ

スラリー液供給装置の加熱冷却システムについて、各部の温度推移状態を詳細に実測し、そのデータより数学モデル式を導出した。また、各部の温度計測及びヒータや冷凍機を直接制御するための制御システムをパソコンを用いて試作した。次にシステムの速応性等の要求事項を満たすよう新たな制御則を検討し、シミュレーション実験及び実機に試作の制御装置を搭載しての実証実験から、3次の近似モデル式の導出に成功した。

実験結果から、従来のPID制御と比較して、速応性が著しく改善され、定常特性も良好な制御結果を得た。新たな制御則に基づく制御システムの導入が図れ、装置がより高度化した。

参考文献

- 1) 野波健蔵, 田宏 奇: スライディングモード制御—非線型ロバスト制御の設計理論—, コロナ社 (1994).
- 2) 増淵正美, 川田誠一: システムのモデリングと非線型制御, コロナ社 (1996).
- 3) 藤森 篤: ロバスト制御, コロナ社 (2001).

(原稿受付 平成15年7月31日)