

高安定温度調節モジュールの開発

Development of a High-stability Digital Temperature Controller

株式会社 山武

岩切 研

アドバンスオートメーションカンパニー

Ken Iwakiri

キーワード

温度調節計, 安定性, 温度特性, 通信, 小型化, DMC55, 半導体製造装置

半導体製造装置に用いられる温度調節計には、基本性能として指示値に対する高い安定性と再現性が求められる。新製品には従来機種と比較して、配線のしやすさや通信性能の向上等が求められた。また、近年の高性能化に伴い部品点数が増加する傾向があるため、調節計の小型化も要求に加わった。それらの要求に対応するために、ボードタイプの温度調節モジュール「DMC55CVR40」を開発したので報告する。

Temperature controllers used in semiconductor fabrication equipment require high stability and reproducibility as a part of their basic performance. The market is demanding new products with simplified wiring, enhanced communication performance, and other features. In recent years, the number of component parts has been increasing due to the higher performance controller designs, and this has resulted in a demand for more compact controller designs. This paper describes the board-type temperature controller module “DMC55CVR40” which has been developed to meet these needs.

1. はじめに

高安定温度調節計として、従来機種であるDMC50が市場投入されてから10年が経とうとしている。DMC50シリーズは半導体製造装置の温度調節計としても採用され、測温抵抗体(Pt100)を温度センサとし、高い安定性と再現性を顧客装置に提供してきた。また、自己発熱の少ないニッケルセンサやPt1000に対応した形番を追加することで、顧客の“より精密な温度制御をしたい”という要求に応えてきた。DMC50では、アナログ入力の指示値の安定性(Pt100: 2.7mK(ミリケルビン), Pt1000:1.7mK)や温度特性(2mK/K)について顧客の支持を得ている。しかし、顧客装置の高性能化に伴い測定点数が増加することで、アナログ入力性能以外の問題点として、サイズや通信レスポンスの悪さ、計装の煩雑さ等の問題が顕在化してきた。これらの問題点を解決すべく、著者らはDMC50の仕様を絞込み、そのリソースを流用することで、上記要求を満たす高安定温度調節計としてワンボードタイプの温度調節モジュール「DMC55CVR40」を開発したので、その概要を報告する。

DMC55は、DMC50のアナログ入力性能を維持したまま、複数のモジュールで構成されていた機能を1枚の基板にまとめ、小型化、通信レスポンスの向上、簡易計装などの顧客要求を満たした。

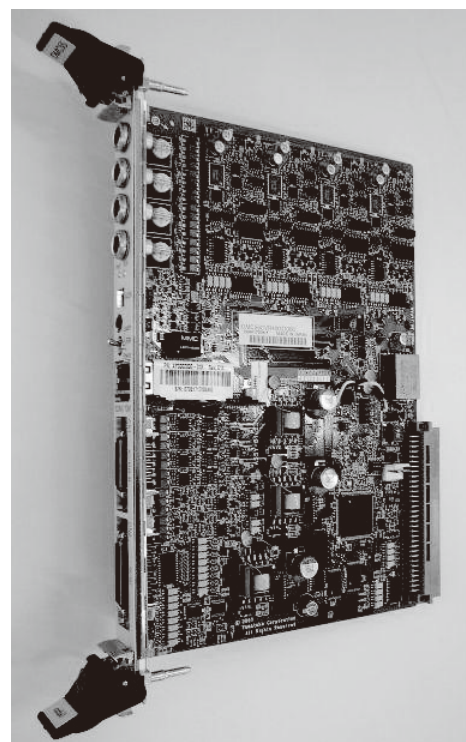


図1 DMC55の概観

2. DMC55の概要

DMC55の概要を説明する。半導体製造装置で必要とされる機能をDMC50で実現するには、コントロールモジュール(基板4枚)とコミュニケーションモジュール(基板3枚)

の2つのモジュールを必要としたが、DMC55ではそのほとんどの機能が基板1枚に集約されている。DMC55の回路構成を大きく区分すると以下となる。図2にブロック図を示す。

アナログ入力 (AI)	: 測温抵抗体の抵抗値等のアナログ信号を電気信号に変換する
アナログ出力 (AO)	: 制御出力を出力する
オプション入力 (AUX)	: 商用電源の電圧変動を監視するためのAC入力回路
センサROM (SENS)	: 測温抵抗体の補正情報を読み出すための回路
デジタル入力 (DI)	: DMC55の状態遷移などに使用される
デジタル出力 (DO)	: 電圧パルス出力の代替、警報出力などに使用される
通信 (COM)	: Ethernet, RS-485
ロジック (DIG)	: アナログ入力からの信号を処理し、適切な出力演算をしたり、通信などを制御する
電源 (POW)	: 絶縁型DC/DC、各回路で使用する電源を作る

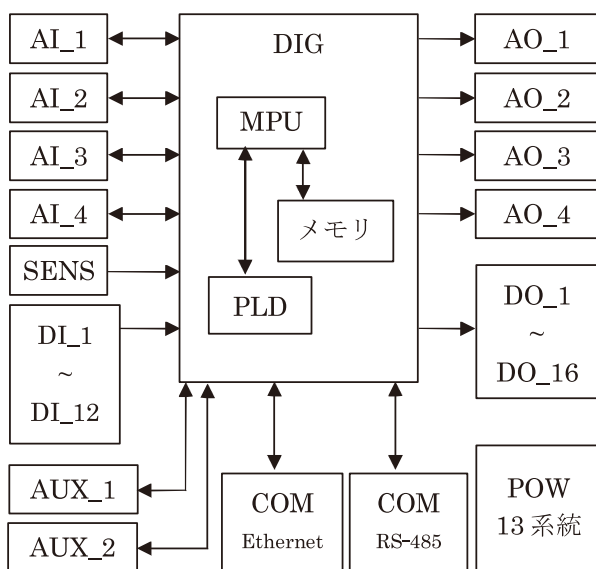


図2 DMC55のブロック図

3. 従来機種からの改善点

従来機種(DMC50)と比較し、その問題点及びDMC55で改善した内容について説明する。

3.1 小型化

筐体のないスケルトンタイプとし、コンパクトPCIに準拠することで、小型化を実現した。DMC50のサイズ(54×148×145)と比較すると、約35%小さくなっている。また、DMC50ではEthernetやRS-485を使用して外部と通信する場合、同形状のコミュニケーションモジュールを増設する必要があった。DMC55では、同一基板内にEthernetとRS-485を実装しているため、コミュニケーションモジュールを増設する必要がない。これにより、通信機能を使用する場合、最大で約70%の小型化となる。質量も約40%軽量化した。



図3 DMC55(左)とDMC50(右)

3.2 簡易計装

DMC55はコンパクトPCI対応として本体の脱着を簡易化したことに加え、電源を含むすべてのI/O線をコネクタ接続とした。DMC50はセンサ線の接続部や電源部が端子構造となっており、製品コストや汎用性という面では有利だが、装置組み立て作業やメンテナンス時には、ケーブルの取り付け、取り外しが作業負荷となり、誤配線の要因にもなっていた。全配線をコネクタ化することで誤配線防止と簡易計装を実現した。

3.3 通信レスポンスの向上

半導体製造装置の高性能化に伴い、より精密な温度制御が必要になってきた。そのために制御ポイントは増加する傾向にある。客先装置では、これらの制御状態を監視するために、通信を用いて各指示値や出力値を読み出している。

制御値を読み出す場合、DMC50ではコミュニケーションモジュールを使用して接続する必要がある。コミュニケーションモジュールは各コントロールモジュールとバックプレーンコネクタにて接続され、モジュール間はRS-485にて通信している。装置側から見た場合、このモジュール間通信のRS-485やコミュニケーションモジュール内でのタイムロスがボトルネックとなり、通信レスポンスが悪くなっていた。特に、コントロールモジュールの連結台数が多くなるにつれその影響は大きくなり、通信レスポンスは悪化する。DMC55では同一基板にEthernetとRS-485を実装しているため、上位と直接通信できるようになった。

3.4 低電力化

DMC50ではロジック回路の電源電圧が5Vだったが、DMC55では3.3Vに変更した。現在、ロジックICとしては3.3V駆動が主流であり、選択できる部品の種類も多い。低消費電力の部品を使用することで、Ethernetなどの機能追加分を含めても10%程度の低電力化となった。散在していたロジックICや追加した回路などをPLD(Programmable Logic Device)に集約化し、実装面積の確保と回路変更に伴うリスク低減を両立しつつ、低電力化を実施した。

3.5 マルチ入力化

DMC50は汎用製品として開発されたが、顧客の要望により、対応センサ種類の拡充やカスタマイズを行ってきた。その結果多数の形番が存在し、当社だけでなく顧客でも在庫管理などが煩雑になっていた。DMC55は仕様を絞り込むことで必要なセンサ種類を特定し、それらをマルチ入力とすることで1つの形番にまとめることができた。DMC55がサポートしている入力はRTD (Pt100, Pt1000)、直流電圧 (DC0-5V, 1-5V)であり、一般的な温度調節計がサポートしている熱電対や電流入力は使用できない。

3.6 ROM内蔵コネクタユニット対応

DMC55では、ROM内蔵コネクタユニット (QN100) に対応した。ROM内蔵コネクタユニットとは、コネクタ (D-SUB) 内部に格納したEEPROMにセンサの補正情報を記録したユニットで、センサと一対で使用され、より精度の高い計測に用いられる。

DMC50には、ROM内蔵コネクタユニットと通信する回路がないため、補正情報はローダを用いてDMC50に入力する必要があり、間違った補正値を入力してしまうリスクがあった。

DMC55では、このリスクを解消するため、ROM内蔵コネクタユニットとの通信を可能にする回路を追加し、電源投入時やコマンド発行時にセンサの補正情報を読み出すことができるように改善した。これにより、接続されたセンサの補正情報を正確に設定でき、顧客要求を満足するとともに従来機種でのリスクを解消した。

3.7 基板温度センサの追加

DMC50を含む従来の温度調節計では温度変化に敏感なアナログ回路は製品下部に、発熱する電源回路等は上部に配置するのが一般的で、これは自然排気が前提となっているためである。しかし、DMC55が実装されるラックは強制排気されており常にダウンフローの風が製品にあたっている。

風は風量が一定の場合、部品温度も安定するので、指示値に与える影響は少ないが、風量の変化や温度変化は誤差要因となる。このため、基板の温度を測定するセンサを実装することで、何らかの不適合が発生した際の切り分けの手段の1つとした。DMC55自身の負荷変動や電源電圧の変動なども基板温度変化の原因となりうるため、実際に問題が発生した場合はそれらを勘案しながら原因を見極めていく必要がある。

3.8 信頼性向上

3.8.1 ECC付きSRAM

SRAMはデバイスの構造上、ソフトエラーというデータ化けが生じる可能性がある。ソフトエラーとは、宇宙線等の影響によりメモリに保持されている値が変わってしまう現象のことを言う。近年のメモリはこの問題に対応した構造を持つものが増えてきており、発生確率もだんだん小さくなってきている。DMC55では、ECC (Error Check and Correct) 機能がついたSRAMを採用することにより、ソフトエラーに対する信頼性を高めた。採用したSRAMは内部にECC回路が内蔵されているため、仮にソフトエラーが発

生しても、データ読み出し時には、補正した値を読み出すことができる。

3.8.2 FeRAM

顧客が設定するパラメータ等を保存するために、温度調節計には不揮発性メモリが必要である。不揮発性メモリとは電源OFF時にも記録内容を保持できるメモリのことで、FLASHメモリやEEPROM等に代表される。DMC50ではSRAMをバッテリーバックアップすることでデータを保持していたが、DMC55ではバッテリーレス化のために、高速な読み書きが可能な不揮発性メモリとしてFeRAMを使用している。

4. 目標性能と評価結果

実機での評価結果を交えながらDMC55の性能を示す。

4.1 アナログ入力の安定性

Pt100とPt1000相当の擬似入力として高精度固定抵抗を入りに接続し、指示値を測定した結果の一例を図4と図5に示す。

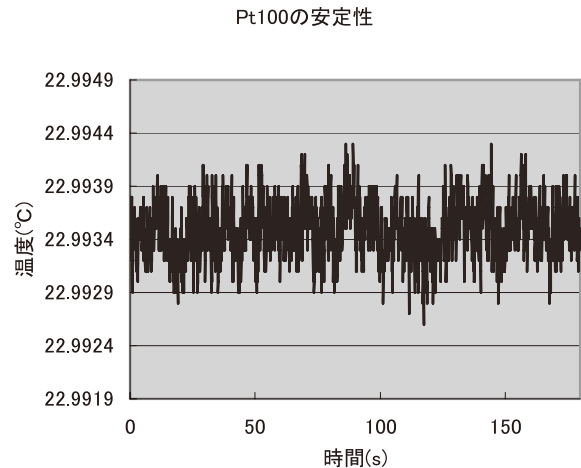


図4 Pt100の指示値の安定性の例

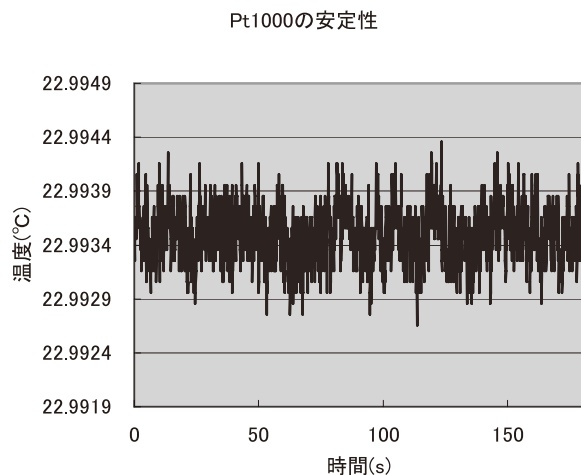


図5 Pt1000の指示値の安定性の例

DMC55では、指示値の安定性をサンプリング周期(100ms)毎に3分間測定したデータの $\pm 3\sigma$ の値で規定する。測定時の環境条件が良く、安定している場合はPt100, Pt1000ともに1.6mK程度の実力である。

4.2 AIの温度特性

DMC55の入力回路は基準電圧と入力電圧を同じ回路で制御周期ごとに測定することで、OPAMPのオフセット電圧等の誤差をキャンセルしている。この機能は、温度変化により生じる誤差についてもキャンセルする事ができる。このことから、温度特性も良好で、実験室の測定レベルでは、ほぼ1mK/K程度の実力を示した。(機器仕様では2mK/Kと規定)下記は23°Cでの指示値を基準として、0°C, 10°C, 40°C, 50°Cの時の指示値との差の一例を示したものである。

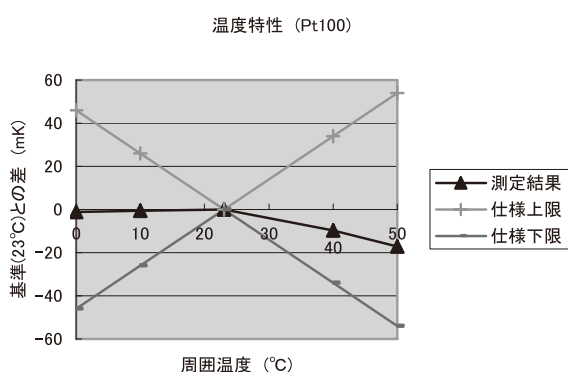


図6 Pt100の温度特性の例

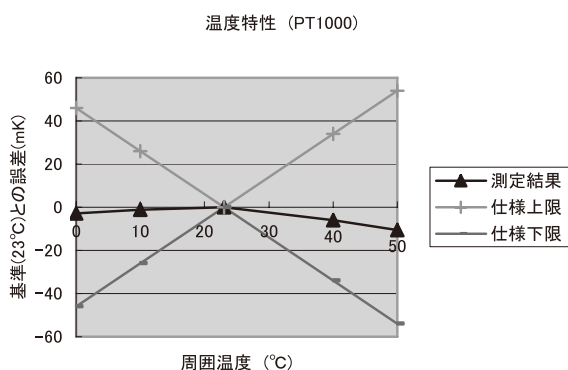


図7 Pt1000の温度特性の例

指示値は周囲温度だけでなく、ラック内の風量によっても変動する。前述したが、DMC55はダウンスローによる強制排気を前提として部品の配置設計をしているため、発熱部品を製品下部に配置している。このため、風量が少なくなると発熱部品の影響を受け、指示値が変化する。図8はダウンスロー用のFANの電源電圧を変化させることで風量を変化させ、その影響を測定した結果の一例である。FANの電源電圧を24V, 12V, 6V, 0Vと変化させ、指示値を測定した。FANの電源電圧が24Vの時の指示値を基準として、FANの電源電圧を変動させた時の指示値との差を示している。

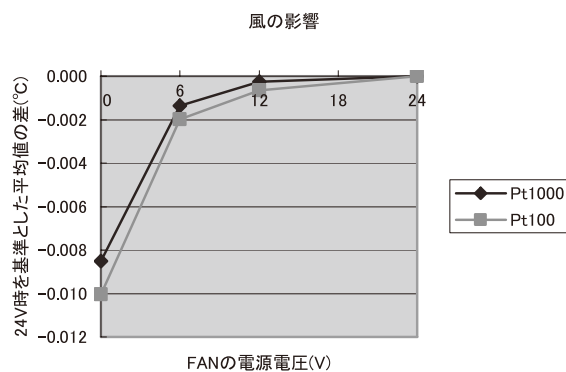


図8 風の影響を示す例

4.3 通信レスポンス

3.3項でも記したが、DMC50では調節計の使用台数が多いと通信負荷が重くなり、レスポンスが悪くなっていた。この点について、顧客からは明確な目標仕様の提示はなかったが、DMC55では、レスポンスを4倍以上速くすることを目標とし、装置本体と個々に通信できるように、基板毎にEthernetのポートを持たせてレスポンス性能を改善した。

DMC50とDMC55の通信レスポンスの差を実機で確認した。この評価におけるAI指示値の更新周期の平均は、DMC50では1.02s, DMC55では0.13sだった。DMC55の方が、7倍以上高速になっていることが分かる。評価方法を下記に示す。

評価方法

下記構成にて、アナログ入力の指示値をそれぞれ2個ずつ(計8個)、20秒間、PCから繰り返し読み出し、それぞれの指示値の更新周期の平均値を求める。

構成

DMC50

- ・コミュニケーションモジュール (COM) 1台
- ・コントロールモジュール (CNT) 4台
- ・HUB, PC 各1台

DMC55

- ・DMC55 4台
- ・HUB, PC 各1台

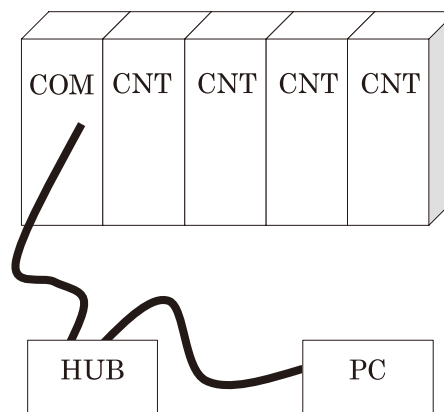


図9 DMC50の構成図

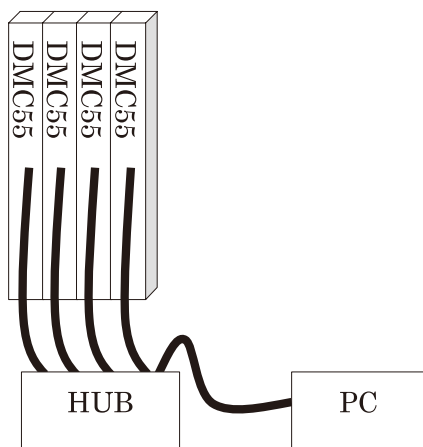


図10 DMC55の構成図

5. おわりに

半導体製造装置は性能向上のために測定点数が増加する傾向にある。その結果、センサの配線や出力信号等の信号線も増加し、装置の容積に対し、ケーブルが占める割合が大きくなっている。このため、今後は信号線の省配線化が重要な観点になってくると思われる。省配線化により、装置の小型化だけでなく、メンテナンス性の向上、さらなる測定点の増加やコストダウン等について寄与できると考えている。

商標

DMCは、株式会社 山武の登録商標です。

著者所属

岩切 研 アドバンスオートメーションカンパニー
 開発部開発2グループ

