

## 技術論文・解説

## 高速高精度クーリングプレートの開発

## Development of High-Speed High-Precision Cooling Plate

秋葉 浩 永  
Hironori Akiba  
福原 聡  
Satoshi Fukuhara  
板東 賢 一  
Ken-ichi Bandou  
福田 英俊  
Hidetoshi Fukuda

半導体製造におけるコータデベロッパ装置に使用されるクーリングプレートは、デバイスの細線化に伴い、シリコンウエハの面内温度均一化が要望されている。また、生産性向上のため高速冷却や大型化も要望されている。これらの性能を同時に改良することは、従来のクーリングプレートでは不可能であると考えられていた。

そこで、コマツの強みである熱電素子技術を利用し、クーリングプレート用に世界最大級の面積熱電モジュールを開発することにより、高性能化を達成し要求仕様を満足することができたので報告する。本報の技術は、小松エレクトロニクス(株)に移管し実用化されている。

As the thinning of semiconductor device progresses more remarkably than before, temperature uniformity within silicon wafer comes to be strongly required on the cooling plate that is used in the coater/developer system for semiconductor fabrication. Besides, to improve productivity, high-speed cooling and the upsizing of cooling plate are also required. However, it has been believed impossible to meet these requirements at the same time with conventional cooling plate.

Under such circumstances, Komatsu succeeded in developing world-largest-area thermoelectric module for the cooling plate, through using Komatsu's excellent thermoelectric-element technology, as well as achieving high performance to meet the strict requirements. This report describes our development study. The technologies introduced in this report were transferred to Komatsu Electronics, Inc. for putting to practical use.

*Key Words:* Cooling Plate, Thermoelectric Module, Coater/Developer, Silicon Wafer, High-Speed Cooling

## 1. はじめに

半導体デバイスの細線化に伴い化学増幅型レジスト対応のコータデベロッパ装置は今後の主流であり、コータデベロッパ装置に使用されるクーリングプレートの高性能化に対する要望は大きい。

事前調査により、従来型クーリングプレートの改良では性能向上に限界があり、細線化および高速化に対応できる高性能クーリングプレートを製作することは不可能である事がわかった。

そこで、コマツの強みである熱電素子技術を利用し、クーリングプレート用に世界最大級の面積熱電モジュールを開発することにより、高性能化を達成し要求仕様を満足することができた。

本報ではクーリングプレート的高速冷却、面内温度の均一化、大口径化の開発を行ったので報告する。

## 2. クーリングプレートとは

クーリングプレートはコータデベロッパ装置の重要な構成要素であり、コータデベロッパ装置はシリコンウエハに感光剤を塗布、焼き付け、露光パターンを形成する装置である。シリコンウエハは、コータデベロッパ装置内で、加熱・冷却が繰り返され、冷却工程にクーリングプレートが使用される。近年、半導体デバイスの細線化に伴い感光剤を薄くしかも均一に塗布する必要があり、シリコンウエハの温度を精密に制御する必要がある。クーリングプレートは高温に加熱されたシリコンウエハを高速に冷却し面内温度を均一に制御することが必要である。

クーリングプレートが使用される半導体製造プロセスの概略を図1に示す。

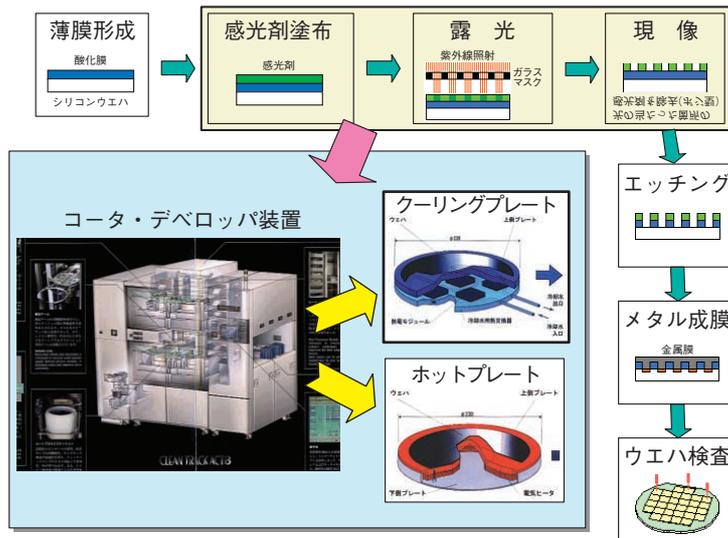


図1 半導体プロセスとクーリングプレート

従来のクーリングプレートの構造は図2に示す通りであり、ウエハを載置冷却するアルミプレート、汎用熱電モジュール、熱電の排熱を逃がす水冷熱交換器で構成されている。図3の写真は上面のアルミプレートを取り外し内部構造がわかるようにしたものである。

クーリングプレートの運転は加熱したウエハをアルミプレートの上に載せると、アルミプレートの中に埋め込まれている温度センサがそれを感じし熱電モジュールが通電される。熱電モジュールの吸熱作用によりアルミプレートが冷却され、結果的にウエハが冷却される。熱電モジュールの下面から放出する熱は水冷熱交換器で除去される。

クーリングプレートの主な要求性能は以下の通りである。

- (1) 高スループット化対応として、高温ウエハを目標温度に高速冷却する
- (2) 微細化プロセスの対応として、ウエハ面内温度を均一に制御する
- (3) φ300mmウエハプロセスに対応する(従来のウエハサイズはφ200mm)

### 3. 従来のクーリングプレートの課題と新クーリングプレート

#### 3.1 従来のクーリングプレートの課題

従来のクーリングプレートの課題は以下の通りである。

- (1) 高速冷却するとウエハ面内温度分布が悪くなる
- (2) ウエハ面内温度分布の収束に長時間を要する
- (3) 大口径ウエハに対応していない

たとえば、冷却速度を上げるために熱電モジュールに与える電流値を上げると、熱電モジュールの形に添った温度分布ができウエハ面内の温度差が大きくなる。この温度差を均熱化するために冷却速度は遅くなる。また、上面のアルミプレートを薄くし伝熱性能を上げて高速化しても同様に温度分布が悪くなる。図4に赤外線温度計で測定したアルミプレートの表面温度分布を示す。

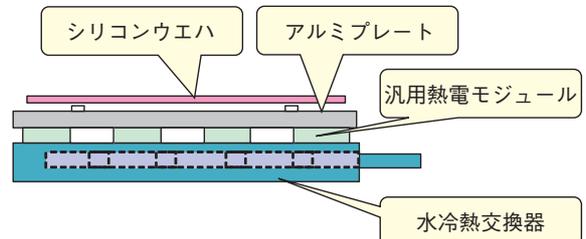


図2 従来のクーリングプレート構造

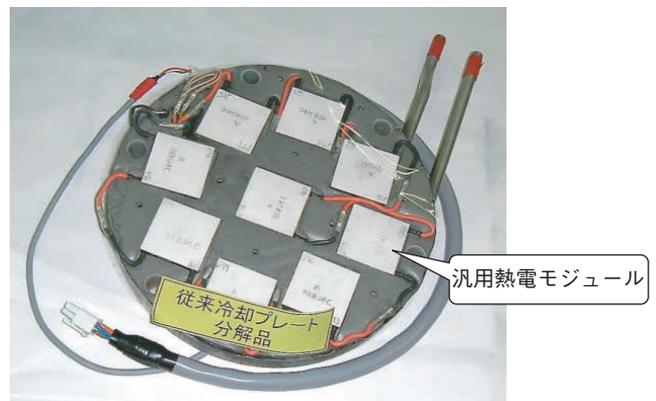


図3 従来のクーリングプレート構造写真

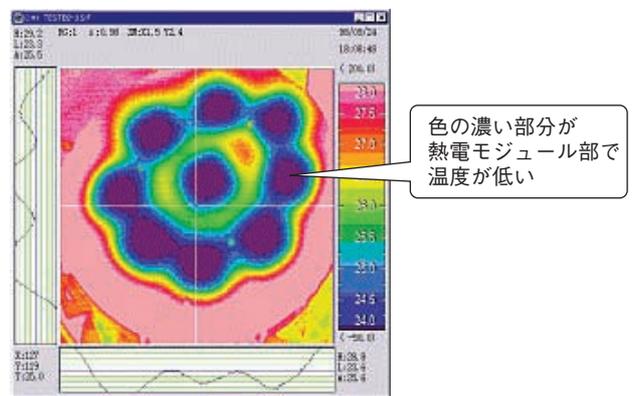


図4 従来のクーリングプレート温度分布(赤外線温度計写真)

3.2 新クーリングプレート

3.2.1 新クーリングプレートの仕様

新クーリングプレートの性能仕様を表1に示す。

表1 新クーリングプレート仕様値

項目	仕様値
表面面内温度分布	設定温度±0.1℃以内 <b>従来の1/3</b>
ウエハ冷却速度	<b>従来の2倍</b>

3.2.2 新クーリングプレートの構造と外観

新クーリングプレートの外観写真を図5に示し、断面構造を図6に示す。

外形寸法はφ340mmであり、ウエハを載置する表面プレートの平面度は30μm以下で高平面度に製作されている。

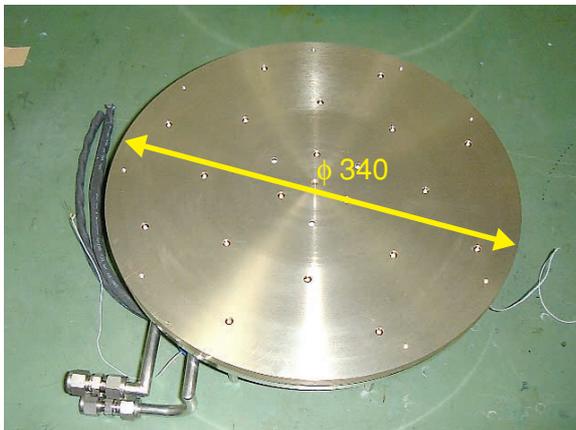


図5 新クーリングプレート外観写真

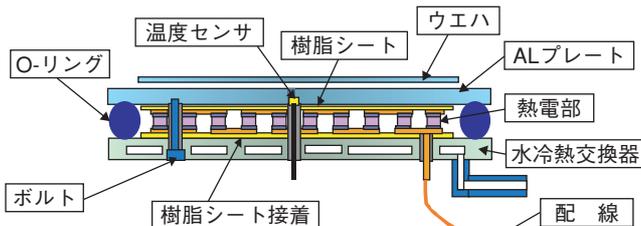


図6 新クーリングプレート断面構造

3.3 新技術

従来の構造では要求仕様を満足することは不可能であり、以下のとおり新技術の開発および工夫を行った。

- (1) 大面積熱電モジュールと水冷熱交換器を一体製作
  - (2) 大面積モジュールのゾーン分割による高精度制御
  - (3) その他製造技術
    - ① 平面度加工技術(プレート上下面, 電極面等)
    - ② 電極の製作と貼付け技術
  - (4) 新制御法の開発
- 以下, 各々について詳しく述べる。

3.3.1 大面積熱電モジュール

従来のクーリングプレートは、汎用熱電モジュールと水冷熱交換器は別部品であったが、新クーリングプレートは熱電モジュールと水冷熱交換器をほぼ同じ大きさに一体製作している。これにより、面全体で冷却することができ、従来の汎用熱電モジュールの有無で生じる温度分布が解消された。また、冷却部分の面積を拡大し熱電素子を高密度に配置することにより冷却能力を向上させることができた。

新クーリングプレート用大面積熱電モジュールの写真を図7に示す。モジュールの大きさは直径φ325mm、熱電素子は約1200対である。

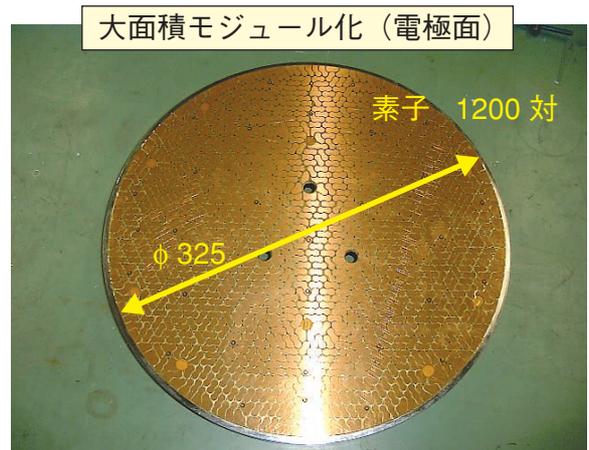


図7 新クーリングプレート熱電モジュール写真

本モジュールは、今回新たに開発されたものであり、耐久性に関しては十分検討を行う必要がある。従来使用されている汎用モジュールは、上下面をセラミック基板で固定された構造であるが、本モジュールはハーフスケルトン構造である。

汎用モジュールと大面積モジュールの構造比較を図8に示す。大面積モジュールの下面電極は水冷熱交換器に固定されているが、上面電極は固定されていないため上下面の温度差で生じる熱膨張による応力を逃がすことができる。

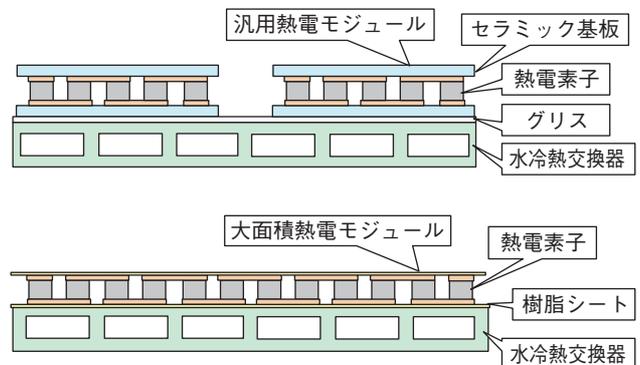


図8 モジュール構造比較

ハーフスケルトン構造の耐久性を検討するため熱応力解析を行った。比較として、汎用熱電モジュール(電極をセラミック基板で固定されている)の解析も行い図9にその結果を示す。汎用熱電モジュールに比べ約1/3の応力であり、耐久性向上が期待できる結果であった。

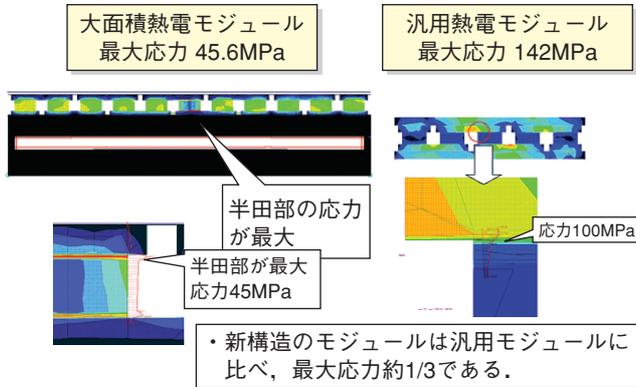


図9 熱応力解析比較

耐久性確認試験は、熱電モジュールの上下面に実際の運転以上の温度差を付けて行い、熱電モジュールに通電する電流の正負を切り替えることにより上下面の温度を反転させる。これを繰り返し行い、100万回以上の繰り返し運転後においても電気抵抗値の上昇は見られず、耐久性を満足する結果を得ることができた。

3.3.2 ゾーン分割

高温ウエハを分割のない熱電モジュールで冷却すると、ウエハ外周部の放熱が大きく外周部が先に冷却され内外に温度差を生じる。この温度差を解消するため、内外周をゾーン分割することにした。また、ウエハ搬送方向により初期ウエハに傾きを持った温度分布が生じる。この温度分布をキャンセルするため、外周部をさらに4ゾーンに分割した。

ゾーン分割位置は熱解析を行うことで最適位置を決定した。内外2ゾーン分割した場合と外周部もゾーン分割した場合の解析結果を図10に示す。

冷却開始時のウエハ面内温度差25℃が、内外2ゾーン分割だけの場合は最大温度差0.55℃であり、初期温度差の影響が残る結果となった。外周部もゾーン分割した場合は最大温度差0.17℃であり、初期温度差をキャンセルする結果となった。このような熱解析により精密な温度予測が可能となり、試作回数を低減することができた。

なお、本解析に使用したソフトは、汎用熱解析ソフトに熱電性能計算と温度制御計算を織り込み改良したものである。

3.3.3 その他製造技術

① 平面度加工技術

ウエハ冷却時のウエハとアルミプレートのスキマは50μmであり、各部材の平面度が悪いと熱伝達にバラツキが生じ均一な面内温度分布が達成できない。このためアルミプレート、電極、水冷却交換を高平面度に製作することが必要である。たとえば、アルミプレートを高平面度に仕上げるためには高度な切削加工技術だけでなく適切な材料選択が必要であった。試行錯誤の結果、マグネシウム等を含むアルミ合金の焼きなまし材を使用することで要求平面度を満足することができた。

熱電モジュールの電極面の平面においては半田付け時の治具を工夫することで要求仕様を満足することができた。

② 電極の製作と貼付け技術

モジュール電極は、樹脂シートに銅箔を貼り付け銅箔をエッチングすることにより製作した。これにより配置の決まった約1200個の電極を一括製作でき、電極配置作業の省略も可能となった。

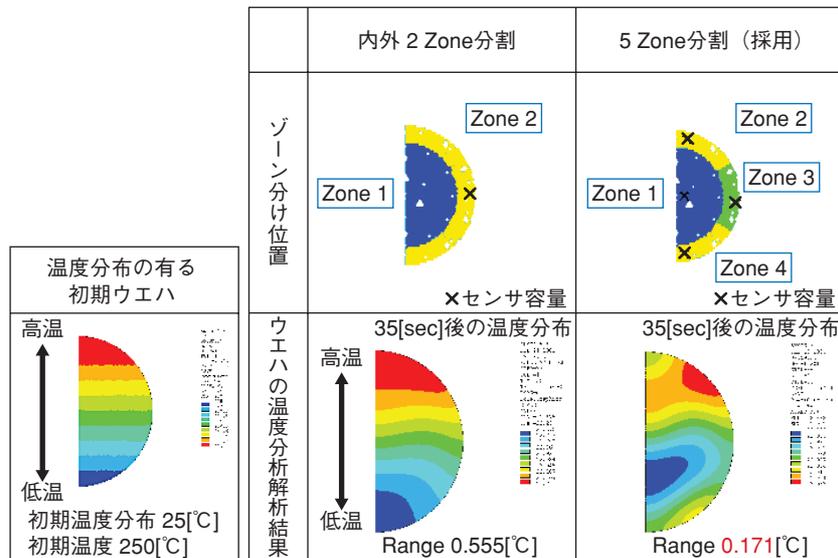


図10 ゾーン分割と温度分布解析

3.3.4 制御

従来のクーリングプレートの制御はPID制御であり、温度収束時間が長く外乱の影響も受けやすかった。そこで、これらを改善し新制御を開発した。新制御の構成は以下の通りである。

- (1) むだ時間をパディ近似
- (2) 1型サーボ系(3次)の構成
- (3) SMC(スライディングモード)設計
- (4) パディ近似誤差補償を有する外乱オブザーバ(3次)の併用

従来の制御結果と今回開発した制御の結果比較を図11に示す。従来法に比べ温度収束時間は約1/6に短縮した。

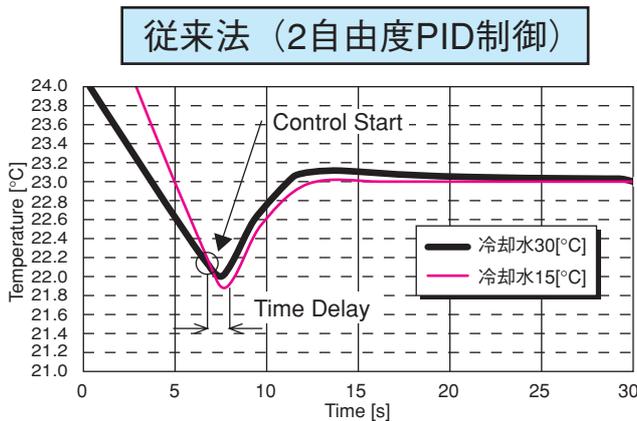


図11 新旧制御比較

3.4 性能

性能確認方法は250℃に加熱した計測ウエハをクーリングプレートの上に載せ、計測ウエハに埋め込まれた温度センサ全点が23℃±0.1℃に収まる時間を計測する。これを連続的に繰り返して同様の温度軌跡を得ることで性能を満足する。図12に性能計測時の写真を示す。

性能確認結果例を図13に示す。高速冷却にもかかわらず、ハンチングもなく、温度分布もすばやく収束している。連続処理の性能確認結果例を図14に示す。連続して同様の温度軌跡を示している。

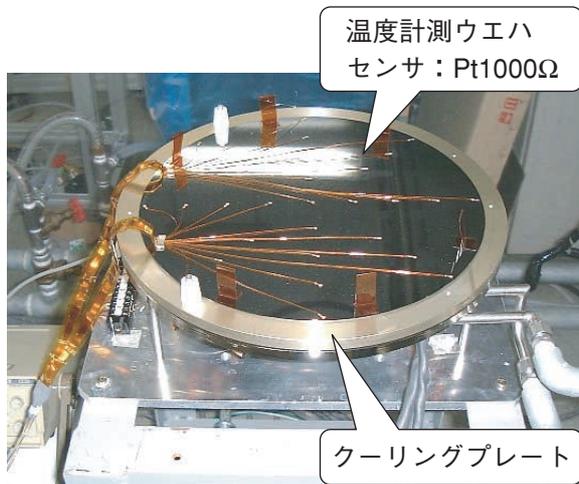
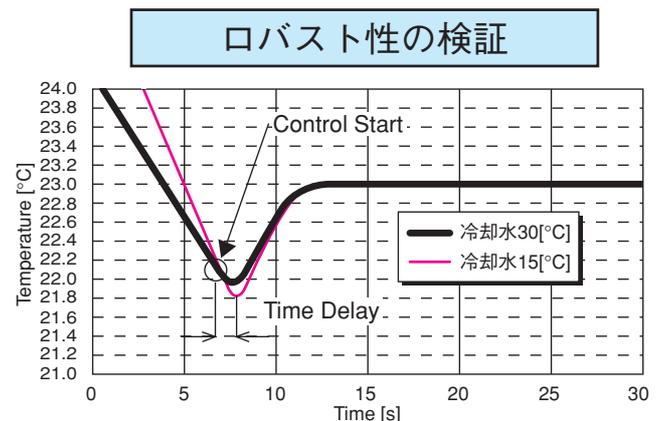


図12 性能計測

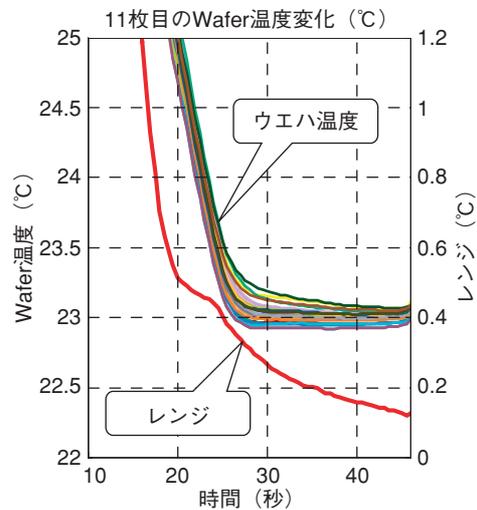
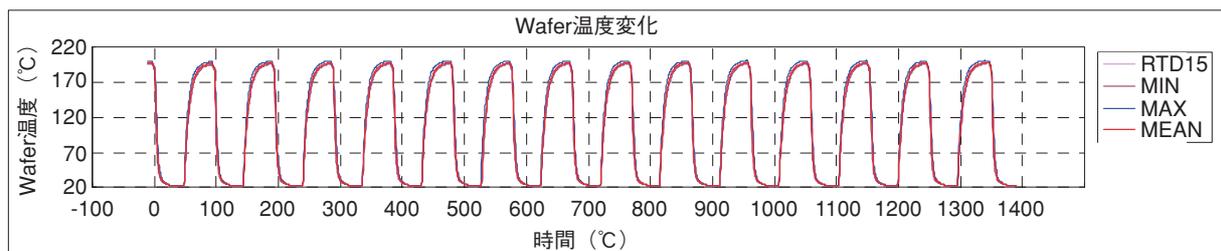


図13 性能確認結果



※奇数回目(1・3・5・7・・・)のウエハ温度軌跡を示す。  
図14 連続処理性能確認結果(ウエハ温度 200℃→23℃)

## 4. まとめ

コータデベロッパ用高速高精度クーリングプレートを開発し下記結果を得た。

- (1)  $\phi 300\text{mm}$  ウエハを高速に冷却することが可能になった
- (2) ウエハ面内温度分布を少なくすることが可能になった
- (3) 大面積熱電モジュールの製作が可能になった
- (4) 熱電性能と温度制御を組み込んだ伝熱解析が可能になった
- (5) 新制御法により高速高精度温調が可能になった

本研究の成果については、2001年秋に小松エレクトロニクス(株)に技術移管を行い、2002年よりサンプル出荷、2003年より既に量産化されている。

## 筆者紹介



Hironori Akiba

あきば ひろのり

**秋葉浩永** 1980年、コマツ入社。  
現在、コマツ 研究本部 技術研究所所属。



Satoshi Fukuhara

ふくはら さとし

**福原 聡** 1989年、コマツ入社。  
現在、コマツ 研究本部 第一イノベーション  
センタ所属。



Ken-ichi Bandou

ばんどう けんいち

**板東賢一** 1997年、コマツ入社。  
現在、コマツ 研究本部 第二イノベーション  
センタ所属。



Hidetoshi Fukuda

ふくだ ひでとし

**福田英俊** 1999年、コマツ入社。  
現在、コマツ 研究本部 第二イノベーション  
センタ所属。

## 【筆者からひと言】

今回の開発で思いだすことは二つある。一つ目は大型熱電モジュールの製作を提案したとき、誰に聞いてもすぐに壊れるのでやめた方が良いと言われたこと。今思えば、あの時研究を止めていれば今回の成功はなかったと思う。二つ目は、はじめて大面積モジュール( $\phi 200\text{mm}$ )を試作した時のこと、全て手作業で製作したのでかなりの時間がかかった。やっと出来上がり電流を入れた瞬間に壊れてしまった。あの時は情けなかった。

これからも、商品につながる開発研究を実施していきたい。