

# 熱電モジュール製造技術の革新とコスト低減

## Innovation and Cost Reduction in the Production of Thermoelectric Modules

木 林 靖 忠\*

Yasutada Kibayashi

### 1. 素子製造技術の革新

熱電モジュールと言えば主流はBiTe素子を平板状に配列した冷却加熱用モジュールなので、これについて述べる。BiTe素子の性能は過去30年間以上、顕著な改善はされていないが、製造技術についても同様であって、実用化された革新技術は出現していない。素子の製造は高純度(4ナイン~5ナイン)原料をガラス管にアルゴンガス封入し、ロッキング炉による溶解後にブリッジマン炉、ゾーンメルティング炉などによって一方向凝固インゴットを製造している。このインゴットをダイヤモンドブレードでスライスしてウエハとし、これにニッケルメッキなどの表面処理を施してからダイシングによって素子を得ている。

一方、プレスシンターやホットプレスなどの粉末焼結法は、現状では粉末を作る工程が面倒なので、溶媒材に勝る技術とは思えず、これらの技術が普及していないことがそれを証明している。このため粉末焼結材は特殊な分野に限られている。しかし基本的には粉末焼結法は歩留の良い方法と思われるので、たとえばスピンドディスク法などによって、溶湯から直接、大量に、表面酸化の無い、組成の安定した粉末を製造する方法が確立されれば、将来性が期待できる。

ところで、素子製造技術の革新へ向けてのいくつかのアプローチはある。たとえば、原料粉末をメカニカルアロイングすることによって、溶解凝固粉碎工程を経ずに粉末を得る方法<sup>1)</sup>が提案されている。また、一方向凝固インゴットを連続鋳造で得る方法<sup>2)</sup>が実験的に成功している。さらに、粉末を押し出し成型してインゴットを作る方法<sup>3)</sup>や、放電スパーク現象を利用して、粉末を低温短時間で焼結する方法<sup>4)</sup>もある。

### 2. モジュール製造技術の革新

現在最も普及しているセラミックタイプのモジュールは、スケルトンタイプを始めとする種々の形式を経て、最もコストパフォーマンスの優れた形式として確立されたものであると考えられる。したがって、モジュールの形は現状のセラミックタイプを一応ベストの物とし、これをいかに低コストで組立てるかを議論する。

低コストと言っても、信頼性を無視することはできない。熱電冷却装置に一般的に使われているモジュールのP、N対数は31~127であり、素子と電極との接合部の数はこの四倍の124~508となる。これらの接合部を、一カ所の欠点も無く半田付けするためには、高度な技術が必要である。

メーカーにおけるモジュールの組立工程はほとんど公開されておらず、現状の工程については不明な点が多いが、たいていの場合、振動振込装置と治具とを用いて行なわれているようである。この方法は比較的効率の良い方法ではあるが、一台の装置に一人の作業者が必要であり、しかも作業者の手作業が関与する部分が多い。そこで、手作業の関与が少ない、ロボットによる組立てがコスト低減と信頼性の確保の両面から期待されているが、実用化の例は少ないものと思われる。

次項では光通信用モジュールのロボットによる生産例について述べる。

### 3. 光通信用モジュールのロボットによる生産

#### 3.1 光通信用モジュールのロボットによる生産方式の推移

光通信における半導体レーザーの温度調節には、BiTeの熱電冷却モジュールが最も適しており、1970年代初期に完成された半導体レーザーと光ファイバの技術が工業化されるに伴って、1970年代の末期頃から

\* コマツエレクトロニクス(株)技術部素子グループ担当部長  
〒254 神奈川県平塚市四の宮2597

10mm角程度以下の小型の熱電冷却モジュールが米国において商品化された。

当時のモジュールの組立方法を海外のカタログ写真などから推定すると、ブリッジマン法、ゾーンメルティング法などによる溶製材インゴットから切り出した素子を用い、顕微鏡の下で手作業により行われるものであった。これは、熱電素子をピンセットなどで一つずつ摘んで、格子の形をした組立治具の中にP、N素子を交互に配列していくという、原始的な方法であった。溶製材BiTe素子は硬さが著しく低く、そのうえ劈開しやすいから、この作業は熟練を必要とし、当然のことであるが日本のように労働コストの高い国では到底採算ベースに乗るものではないと思われた。しかし、当初はその生産量も年間数千個（国内）と少なく、当社においても、この方法で生産したことがある。

ところが、1980年代の半ば頃から、光通信用モジュールの需要は急増し、量産に適した組立方法が渴望されるようになった。当社においてホットプレス焼結熱電素子材（以下ホットプレス材と書く）を用いた光通信用モジュールの自動組立が計画されたのはこの頃である。

3.2 自動生産に適したホットプレス材の開発

BiTe 溶製材は劈開性が強いために、ダイシング後の素子の中には、正しい形状の素子のほかに、劈開を生じた異形素子が混入している。したがって、自動機械で生産するためには、この異形素子を組立前に選別除去する必要がある。素子のサイズが光通信用モジュールのように著しく小さい場合は、この選別作業も顕微鏡の下で行なわねばならない。また、たとえ異形素子の選別が完全に行われたとしても、BiTe 溶製材はロボットのパーツフィードの振動や、わずかな衝撃によって劈開を起こす。

したがって、自動生産に適した、割れや欠けの無い素子を得るためには、劈開性がほとんどない粉末焼結材が望ましい。粉末焼結材としては、プレスシンター法（室温でプレスし、常圧焼結）と、ホットプレス法がある。プレスシンター法による素子はホットプレス法と比較すると密度が低く、性能が劣っているため、ホットプレス法を採用した。ホットプレス材の結晶粒の大きさは溶製材よりもはるかに小さく、熱電素子の長さ方向（電流を流す方向）にも結晶粒界が存在する。このため急速な亀裂の進展が阻止され、劈開性が少なく、割れや欠けの無い素子が得られ、ロボットによる自動生産に適しており、モジュールの耐久性や対衝撃

性も溶製材と比較すると優れている。

しかし、量産当初のホットプレス材は溶製材に比べて性能が若干劣っていた。そこで当社では、ホットプレス材の性能を向上させるための熱電素子材料の開発を推進するとともに、これを用いたモジュールの自動組立に関する開発を強力に進めた結果、現在では溶製材よりも優れたホットプレス材を用いて、ロボットによる自動組立てにより、年間10万個程度の光通信用熱電冷却モジュールを生産できるようになった。

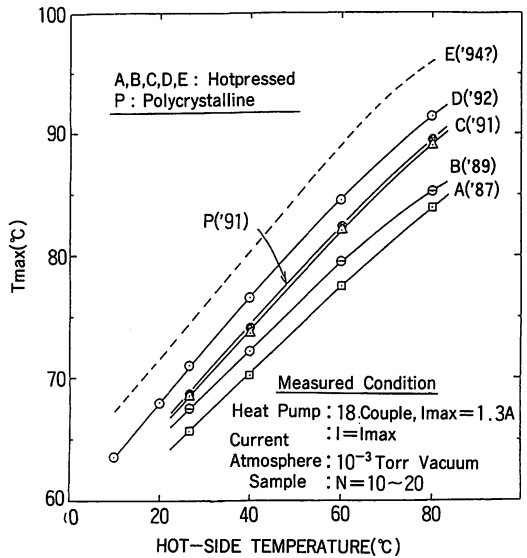
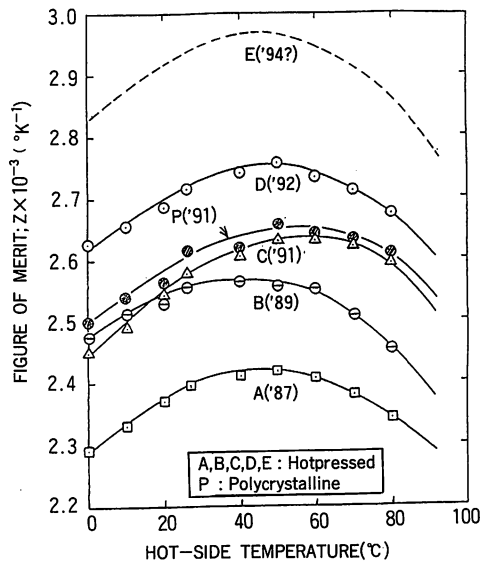


図-1 ホットプレス材の最大温度差  $\Delta T_{max}$



(図-1より計算)

図-2 ホットプレス材の性能指数Z

当社では基本組成として、P型材料には $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ を、N型材料には $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.85}\text{Se}_{0.15}$ を使用している。これらの基本組成に対して、ドーパント ( $\text{SbI}_2$ ,  $\text{HgBr}_2$  など) や粉末の結晶粒径ならびに粉末の酸素量を調整することによって、図-1、図-2<sup>5)</sup> のように年々性能を向上し、1991年4月の時点で、市販の溶製材とはほぼ同等の性能を有するホットプレス材を用いた光通信用モジュールの本格的な量産を始めることができた。また1992年にはさらに性能を向上した材料を開発している。我々の最終目標は $T_{hj}=60^\circ\text{C}$ にて、 $\Delta T_{max}=89^\circ\text{C}$ 、性能指数 $Z_{max}=2.95 \times 10^{-3}/\text{K}$ となっている。

### 3.3 自動組立のための開発要素

熱電素子のサイズは $0.6 \square \times 1.3$  (mm) 程度の非常に小さい物なので、ロボットによる組立はかなり難しい領域に属する。光通信用モジュールは非常に厳しい信頼性(設計寿命15年以上)を要求されるので、組立精度、なかでも熱電素子が電極上に正確に配置されることが最も重要となる。

このためには、ロボットのパーツフィーダ、ピックエンドプレース部分の部品精度、基板の位置決め精度と、熱電素子およびセラミック基板の精度が共に良好でなければならない。

#### 1) 熱電素子の寸法精度

ホットプレス材を使用することによって、 $0.6 \square \times 1.3$  (mm) の寸法のうち、長さ方向が $\pm 0.01\text{mm}$ の精度に納まるようにしている。素子の長さ方向の両端には、ハンダの成分が熱電素子側に拡散するのを防止するためと、ハンダ付け性を良くするためのニッケルメッキが施されており、ニッケルメッキの上にさらにハンダメッキ (PbSn) が施されている。

熱電素子の長さをこの精度に維持するためには、ホットプレスしたインゴットから切り出すウエハの厚さを $\pm 0.005\text{mm}$ に保つ必要があることを始めとして、ニッケルメッキを確実にこなうための熱電素子ウエハのエッチング量と、ニッケルメッキ量とを厳しくコントロ

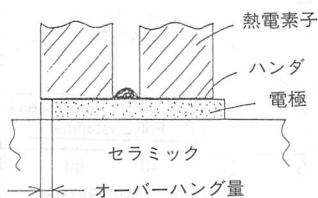


図-3 電極端部からの熱電素子のオーバーハング量

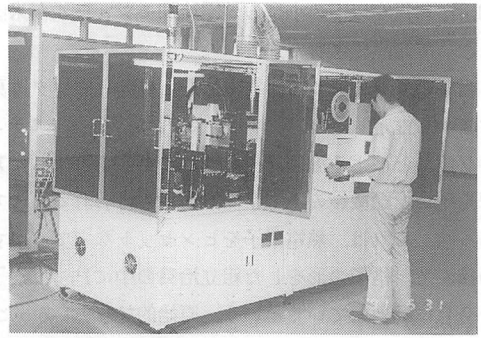


図-4 光通信用モジュールの組立ロボット

ルする必要があった。

また、光通信用モジュールでは、一つの電極上のP、N素子の間に形成されるハンダの盛り上がり量も厳しく規定されており、ハンダ量をベストハンダによるスクリーン印刷でコントロールすることは現状の技術では不可能なので、ハンダメッキによって $\pm 0.007\text{mm}$ にコントロールできるようにした。

熱電素子の断面寸法については、ダイヤモンドブレードを用いたダイシングによって、 $\pm 0.005\text{mm}$ にコントロールされている。ホットプレス材による熱電素子の最大のメリットは、機械加工による割れ、欠けが皆無なので、形状不良素子の選別工程が省略でき、自動組立が容易なことである。

#### 2) セラミック基板の寸法精度

熱電モジュールの自動組立では、ある基準点をもとに、素子配列を行なうためのX、Y軸の割り出しを行なう。したがって、セラミック基板の基準点(角隅部)での寸法精度および電極のパターン精度、ピッチなどが、精密な組立をする上で重要なファクターとなっている。当社では電極パターンはフォトレジストを用いたセミアディティブ法によるメッキパターンから形成されており、これを、基準点をもとにして、ダイヤモンドダイサーで切り出している。角隅部の基準点から電極パターンまでの寸法精度は $\pm 0.02\text{mm}$ 、電極パターンの精度も $\pm 0.02\text{mm}$ となっている。

光通信用モジュールでは、信頼性規格の中に、モジュールのコールド基板上に1グラムの質量を搭載した状態で $1500\text{G} \times 0.5\text{ms}$ という大きな加速度をクリアすることが要求されており、このため、当社では熱電素子の電極端部からのオーバーハング量が、熱電素子断面寸法の15%以内になるように規定している(図-3)。現在の設計値ではオーバーハング量の許容値は $0.09\text{mm}$ となっている。この値は、熱電素子とセラミック

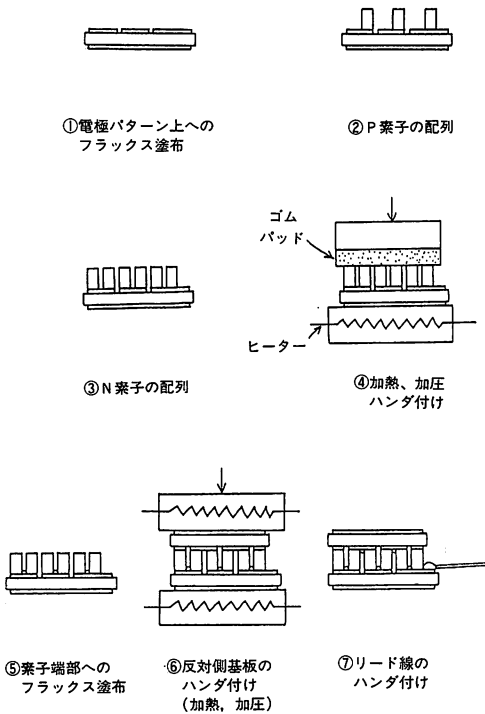


図-5 モジュールの組立方法

ポットによる組立方法は概略、図-5のようになってい  
る。これらの工程は、基板や熱電素子をロボットに供  
給する場合を除いてほぼ自動的に行なわれる。P素子  
N素子の配列は図面上の素子位置、ピッチ、素子長さ  
などを入力すると、任意の配列を行なうことができる。  
素子配列の上で重要なファクターは、素子の長さと同  
断面寸法である（前述）。しかし、熱電素子の長さには  
±0.01mmの公差があるので、これをゴムパッドで  
吸収して、均一な加圧を行なっている（工程4）。工  
程6では、両側にヒーターが付いているが、これは片  
側が既に固定されていることから生ずる大きな熱応力  
を緩和するための手段である。リード線はYAGレー  
ザによってハンダ付けされている。組み立てられたモ  
ジュールは最終的に、ロットナンバーの管理のための  
バーコードを付した台紙に、十個一組でテープによっ  
て固定され、内部抵抗の測定や、スクリーニング（サー  
マルショック、バーンイン）はこの形で行なわれる。  
このようにして当社では1994年1月の時点で、年間平  
均十萬個の光通信用熱電冷却モジュールを、ホットプ  
レス材を用いた自動組立方式にて生産している。

参 考 文 献

- 1) 電総研ニュース498号 (1991年7月)
- 2) (株)小松製作所内部資料
- 3) Journal of Thermoelectricity, 1993 No.1 P116
- 4) M. Miyajima, K. Fujii, T. Hirano : Proc. of the 12th  
ICT 1993, P273
- 5) 電気学会技術報告掲載予定

基板の寸法精度および、ロボットによるピックエンド  
プレースの位置決め精度（±0.025mm）によって達  
成されている。

3) 組立方法

図-4にロボットの全体写真を示す。当社におけるロ

協賛行事ごあんない

「日本機械学会関西支部 第210回講習会

熱・流体計測（デモ展示付き）」について

1. 日 時 平成7年8月24日(休)・25日(休)
2. 会 場 大阪府立産業技術総合研究所  
(大阪市西区江之子島上之町 2-1-53)
3. 内 容 講演9件、デモ展示2件

4. 聴講料 会員30,000円、会員外50,000円等
5. 問合せ先 (株)日本機械学会関西支部  
〒550 大阪市西区靱本町1-8-4  
大阪科学技術センタービル内  
TEL 06-443-2073