

平成29年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「ペースト印刷法によるパワーモジュール回路基板形成方法の開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局 東北経済産業局

補助事業者 国立大学法人東北大学未来科学技術共同研究センター

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1-1 研究開発の背景

1-1-2 研究開発の目的

1-2 研究体制

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

2-1-1 厚膜・シードペーストの開発

2-1-2 電極組織と電極形状の相関関係の解明

2-1-3 印刷版・印刷条件の最適化

2-2-1 最適焼成条件の開発

2-2-2 焼成組織と電気抵抗率・接合強度の相関関係の解明

2-3-1 熱衝撃試験の実施

2-3-2 信頼性劣化原因の解明と改善提案

2-3-3 信頼性改善

第3章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

第1章 研究開発の概要

1-1-1 研究開発の背景

現在、電力変換・制御を行うための高性能パワーモジュールの需要が急増している。今後、パワーモジュールの小型化と低損失化によるエネルギー消費効率の飛躍的な改善が求められており、従来のシリコン半導体に加えて、耐熱性と耐圧性に優れた SiC や GaN のワイドギャップ半導体の利用が増加すると期待されている。このような状況において、モジュールの耐熱性・放熱性が重要な課題になっている。

パワーモジュール内の半導体チップで発生する熱は、金属/セラミックス基板/金属からなるセラミックス回路基板を通じて冷却フィンで放熱される。金属は導電性と伝熱性に優れた銅が通常用いられる。セラミックス基板は、 Al_2O_3 （アルミナ）が一般的であるが、伝熱性の観点から AlN（窒化アルミニウム）が好まれる。また、AlN は銅との熱膨張差による熱応力に弱いため、やや伝熱性に劣るが優れた強度をもつ Si_3N_4 （窒化ケイ素）も使われる。これらのセラミックス基板に銅板を張り付けてセラミックス回路基板として実装メーカーに提供される。現状のセラミックス回路基板は、DBC (Direct Bonded Copper) あるいは AMC (Active Metal blazed Copper) という方法を用いて銅板を絶縁基板に高温で接合し（DBC では 1060°C 、AMC では 900°C ）、その後フォトリソグラフィ法（半導体工程で用いる煩雑・高価な工程）によって回路パターンを形成している。これらの方法でセラミックス回路基板を作製するために要するコストの約 8 割が銅板と回路パターン形成に要する加工費である（銅板は非常に安価であるので、8 割の殆どが加工費である）。上記の DBC または AMC 法によって高温で接合した回路基板は、室温に冷却する時点で多大な熱応力が発生し残留するため、十分な信頼性を有していない。このように、現状のセラミックス回路基板は高価であることに加えて、信頼性が課題になっている。

1-1-2 研究開発の目的および目標

本研究開発では、高温接合法とフォトリソ・エッチング法を用いる現状の DBC 法および AMC 法に替えて、銅ペーストをスクリーン印刷して安価に銅回路パターンを形成する方法を提供する。さらに、界面シード層を形成して高い接合強度を確保するとともに、現状の方法より低温で焼成することで熱応力の残留を抑えて、信頼性に優れたセラミックス回路基板

を提供することを目的とする（図 1-1-1）。

これらの目的のため、厚く印刷しても形状が崩れにくい厚膜ペーストと、窒化物基板に対して高い接合強度を発現するシードペーストを開発、セラミックス回路基板を試作し、信頼性試験として冷熱衝撃試験を行ない、高い信頼性を確認した。

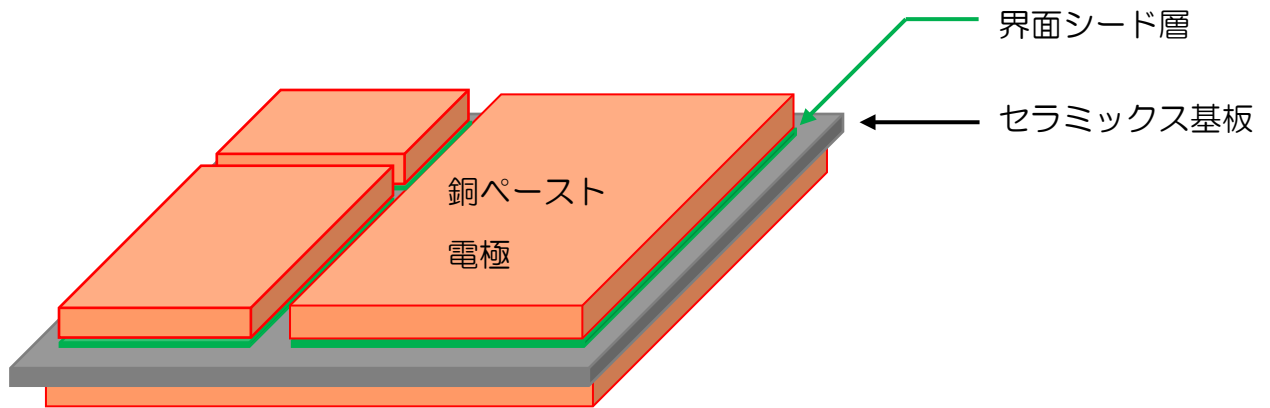


図 1-1-1 銅ペーストを使ったパワーモジュール基板のイメージ

1-2 研究体制

株式会社マテリアル・コンセプトがペーストの開発、サンプル作製・評価、条件最適化、信頼性試験、改善対策実施を行ない、東北大学が組織観察、メカニズムの解析、信頼性試験での破壊原因究明、改善対策立案を行なった（図 1-2-1）。

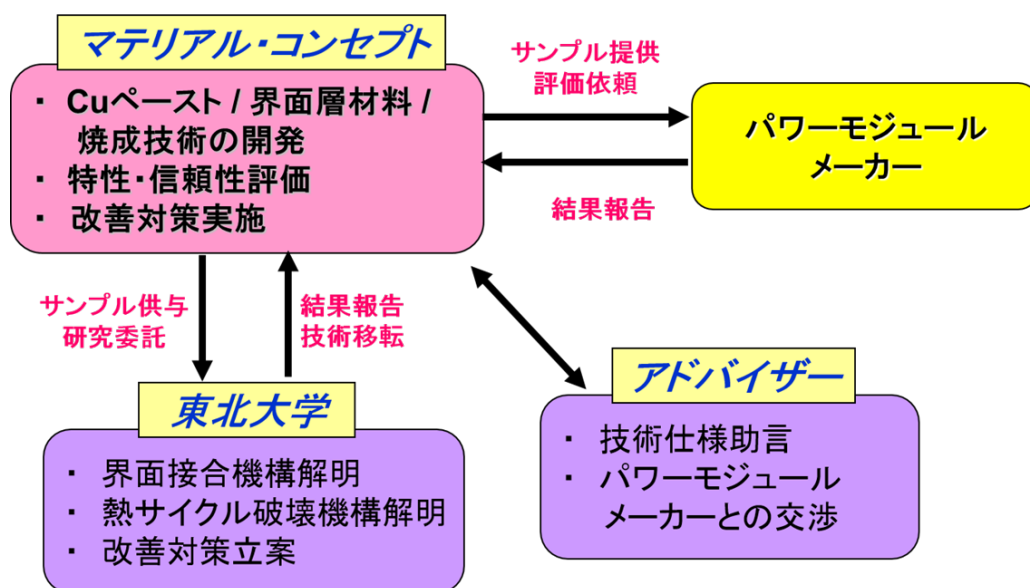


図 1-2-1 プロジェクト実施体制

事業管理機関：東北大学未来学技術共同研究センター

研究実施機関：①株式会社マテリアル・コンセプト

研究者：峰岸一典（総括研究代表者）

安藤祐輔

佐川哲也

②東北大学未来科学技術共同研究センター

研究者：小池淳一（副総括研究代表者）

安藤大輔

アドバイザー：日本ファインセラミックス株式会社

1-3 成果概要

1-3-1 厚膜ペーストの開発と電極特性の改善

電極形成のためには、まず、厚く印刷しても形状が崩れないこと必要である。次に、残留熱応力抑制のため低い温度で焼成しても、焼成後の焼結密度、電気抵抗率、熱伝導率はバルクの銅に準じた特性が要求される。

ペースト原料である銅粉の形状、サイズ、配合比率を変えることにより、電極厚み 400 ミクロン以上でも形状が崩れにくい厚膜ペーストを開発することができた。このペーストはメタルマスクに特殊なコーティングをすることなく、電極端部の引き上げ 20 ミクロン以下を実現しており、パワーモジュールのマウントにも問題はない。電極特性に関しては、焼結助剤の添加と焼成プロファイルの改良により目標数値に到達した。

1-3-2 シードペーストの開発

シードペーストは、セラミックス基板と銅電極の間に使われるため、両者に対して高い接合強度をもたねばならない。このため、銅粉とシード材料を混合するが、放熱抵抗の増大させないためシード材料の混合比率は低く抑えることが必要である。本プロジェクトでは、銅に対して数%の混合比率でセラミックス基板と接合するシード材料を見出した。接合強度の数値としては目標に達しなかったが、後述するように信頼性試験で高い耐久性を示しており、十分なレベルの接合強度であった。

1-3-3 信頼性の確保

実際にデバイスメーカーから提示された電極パターンをベースにして、セラミック回路基板を試作し、冷熱衝撃試験に投入した。破壊した部分の解析を行なうとともに、有限要素法によるシミュレーションを用いて改善対策を行なった。まず、試作基板の反りを低減する表面電極と裏面ベタ電極の厚み比率を求めた。さらに、電極パターンのエッジ形状と残留熱応力の相関を計算し、残留熱応力を最小とするエッジ形状を導いた。シミュレーションの結果に基づいた電極形状の、窒化ケイ素ベースの試作基板で 1000 サイクル以上の耐久性を実現した。また、焼成プロファイルの改善等により、100%近い焼成歩留まりを実現した。パワーモジュール用の放熱基板として主流となりつつある、窒化ケイ素基板に対して、1000 サイクル以上の熱衝撃耐久性を実現できたことは、特筆すべき成果と言える。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社マテリアル・コンセプト 峰岸一典

Tel: 022-796-2590 Fax: 022-796-2591

E-mail: minegishi@mat-concept.com

第2章 本論

2-1 電極形状の課題への対応

2-1-1 厚膜・シードペーストの開発

厚膜ペーストとシードペーストは、銅粉の粒子径、形状、組成を調整して、高いチキソ比（印刷時は柔らかく、印刷を止めると硬くなる性質）を有するようにするとともに、ペースト乾燥時の 150℃近傍でペーストが軟化して印刷形状が変化するのを抑制できるペーストを目指して開発した。

厚膜ペーストに関しては、種々の形状の銅粉でペーストを試作した。ある形状の銅粉単独でペーストを作製した場合、印刷後に乾燥する際、ペースト中の溶媒が蒸発するのに要する時間が長く、結果として印刷だれを生じてしまうことがわかった（図2-1-1）。別の形状の銅粉単独の場合、比較的短時間で溶媒が蒸発するが、焼成した後、有機バインダーの炭素分が残留しやすいことが組成分析によりわかった。

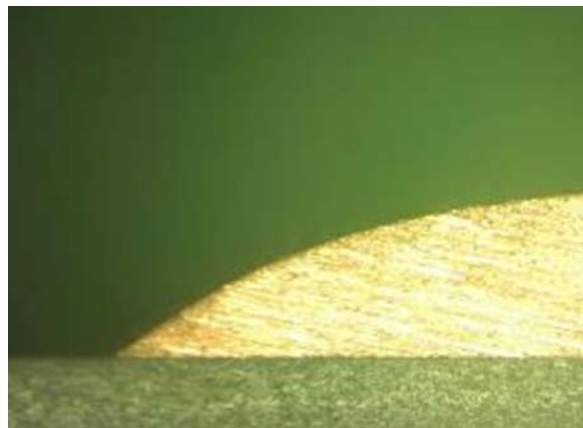
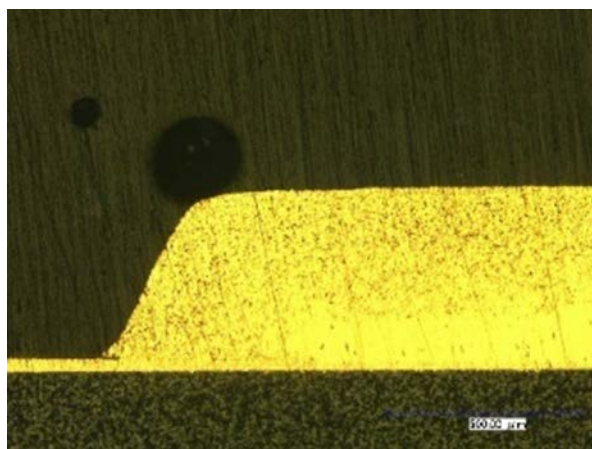


図 2-1-1 印刷だれを起こしたペーストの焼成後の断面形状の例
（粗研磨なので、組織がつぶれて見えている。）

これらのペーストの電極の内部組織を電子顕微鏡観察することにより、銅粉形状との相関が明らかになり、単独の銅粉では目標の特性をもつペーストはできないとの結論に達した

そのため、異なる形状・サイズの銅粉を配合したペーストを作製、電極を形成、形状と組織の観察を繰り返し、配合の組み合わせと配合比を変えていき、溶媒が速やかに蒸発し、炭素の残留も抑制でき、形状が崩れにくい最適配合比を得た。最適配合比のペーストの電極断面は図 2-1-2 に示すように、500 ミクロンの厚さでも電極のエッジがシャープに立った形

状になった。



厚さ 500 ミクロン

図 2-1-2 最適配合比のペーストの焼成後の断面形状

銅の厚さがさらに厚い方が過渡熱抵抗を下げられるメリットがあり、さらに厚くても形状を維持できるようにペーストを改良した。銅粉の粒径、形状については銅粉メーカーのラインナップに限りがあるので、銅粉と合わせて混練するビヒクルの調整を行なった。具体的には、ビヒクルは数種の有機溶媒とバインダーからなるが、有機溶媒の配合比率を調整した。ある溶媒の配合比を極端に少なくすることにより、裾の部分のにじみを抑制できるという結果を得た（図 2-1-3）。

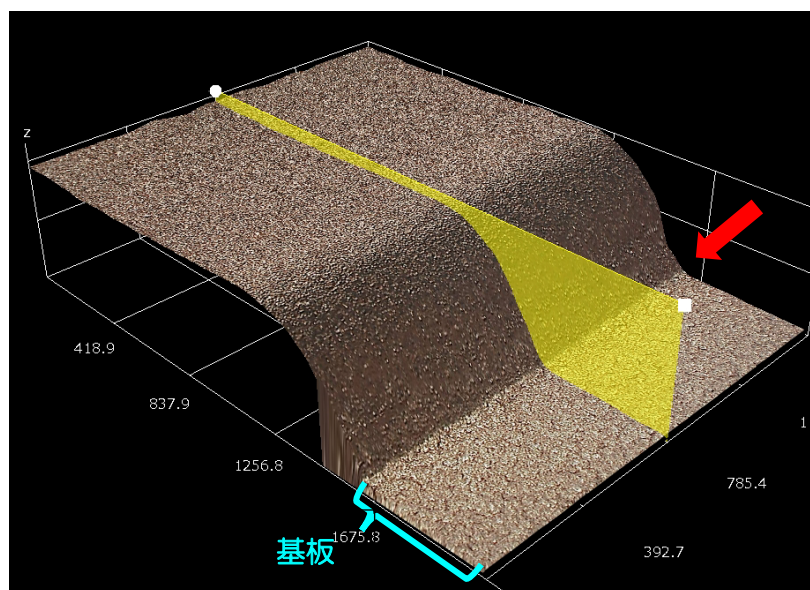


図 2-1-3 電極（厚み 420 ミクロン）の光学顕微鏡による 3 次元像
裾の部分と基板の境界がはっきり見えている。

シードペーストに関しては、シード材料（絶縁性）を銅粉に配合して作製するが、抵抗の増加を避けるため、サイズの小さい銅粉のみを使用した。界面シード層の厚みが 20 ミクロン程度と薄いため、乾燥時の溶媒の蒸発が速やかで、銅粉形状は問題にならなかった。

2-1-2 電極組織と電極形状の相関関係の解明

本プロジェクトで導入した、テグラミン試料製作機と振動式研磨機（パイプロメット）を用いて断面観察用サンプルを作製し、焼成された電極の断面形状、内部微細組織を観察し、その結果を【2-1-1】にフィードバックした。また、図 2-1-2 のペーストにおいて、テーパ幅/厚さ比=0.6 を得た。テーパ幅/厚さ比を小さくすることは、搭載可能なチップ面積/基板面積を 1 に近づけ、基板の有効面積を大きくすることと同義である。銅板をエッチングして作製する AMC 基板では、基板の有効面積を大きくすることよりも耐久性の向上を優先し、図 2-1-4 のように電極形状を工夫するのが主流となってきている。本プロジェクトのペースト印刷法においても、テーパ幅/厚さ比を小さくしようとする、残留する熱応力が大きくなること、有限要素法シミュレーションで確かめられた（図 2-1-5）。よって、現状より小さいテーパ幅/厚さ比は熱サイクル耐久性を劣化させることが判明した。

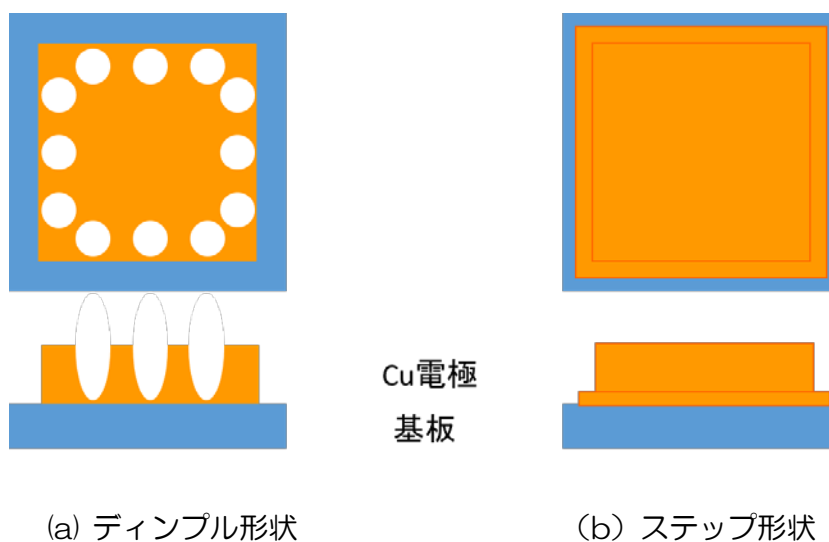


図 2-1-4 DBC 基板における電極形状

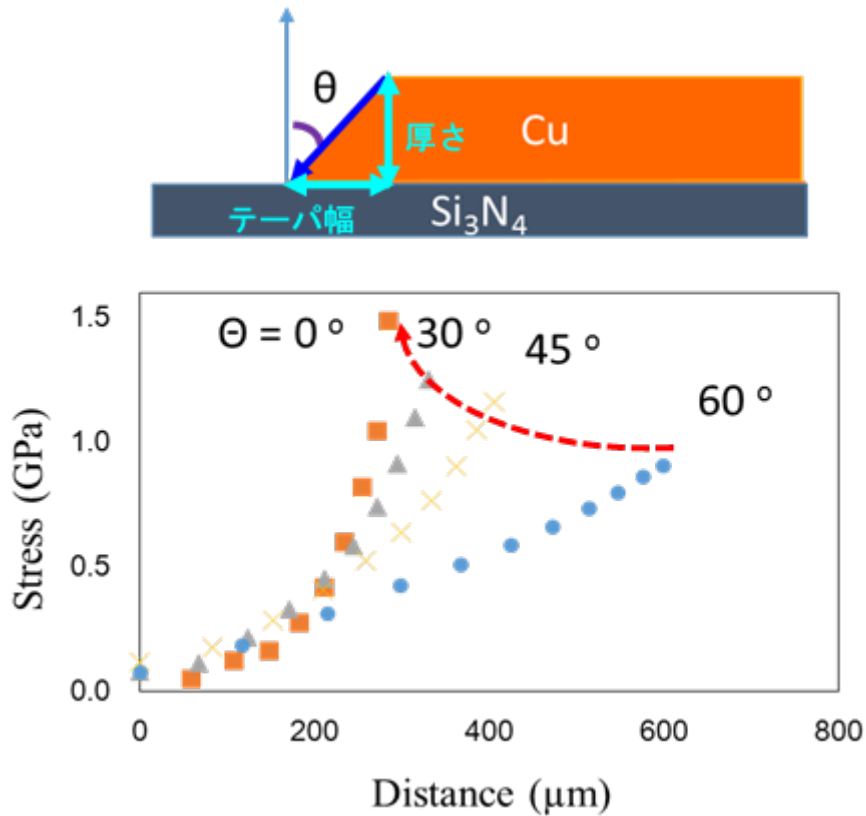


図 2-1-5 電極端部の傾斜角と応力のシミュレーション結果
 テーパー幅/厚さ比が小さくなるにつれ、残留熱応力が大きくなっている。

2-1-3 印刷版・印刷条件の最適化

印刷されたペーストが印刷版（メタルマスク）から容易に離れるようにするために、メタルマスクのレーザー加工後に切断面を電解研磨し平滑化することで、版離れ性を改善することができた。本プロジェクトで導入した、垂直版離れ式印刷機では版離れの速度調整が可能であるため、版離れ速度を 0.1mm/sec に下げることにより、電極の端部引き上げ 0.02mm 以下に抑えることができた（図 2-1-6）。

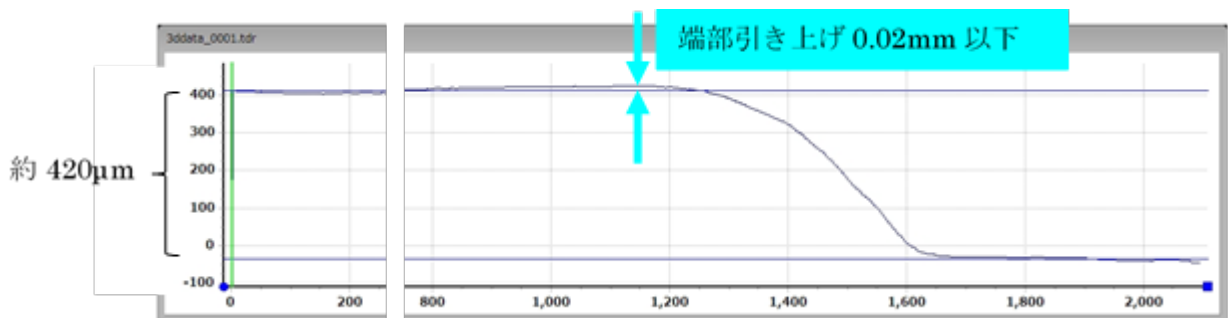


図 2-1-6 電極（厚み 420 ミクロン）の 3次元プロフィール

垂直版離れ式印刷機では、微小版離れ速度で離れる距離を設定でき、その距離を越えたところでは高速に版離れするので、いたずらにタクトタイムを増加させることはない。また、メタルマスクに特殊な表面コーティングが不要であるため、印刷コストを抑えることが可能である。

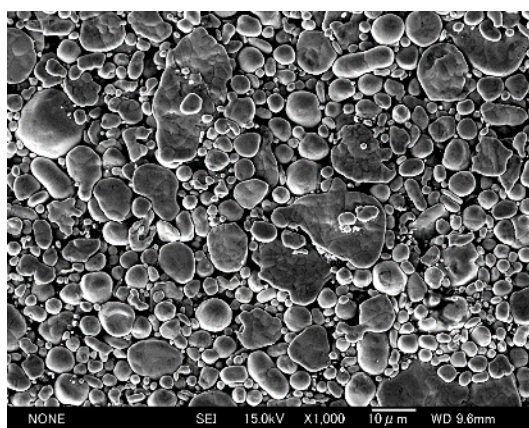
2-2 電極特性の課題への対応

2-2-1 最適焼成条件の開発

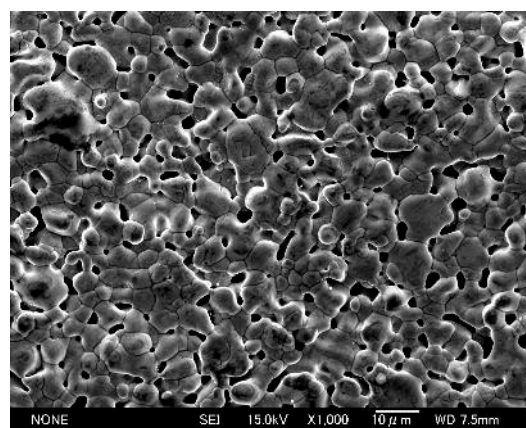
厚膜ペーストを、焼成温度・時間を制御して焼成し、電極特性の測定することにより、最適焼成条件の開発を行なった。

厚膜ペーストは、形状を崩さないために意図して空隙を形成しており、そのため、焼成すると、銅粉同士が結合しておらず焼結性が良くなかった。焼結性を改善するため、厚膜ペーストに焼結促進剤を添加することにより、低温でも銅粉同士が結合し十分な焼結性を得ることが可能なことを見出した（図 2-2-1）。

添加する焼結促進剤の量を調整することにより、最終目標値である、銅バルクに対して80%以上の相対密度を達成した。（図 2-2-2）



(a) 焼結促進剤なし



(b) 焼結促進剤あり

図 2-2-1 焼結促進剤の焼結組織への効果

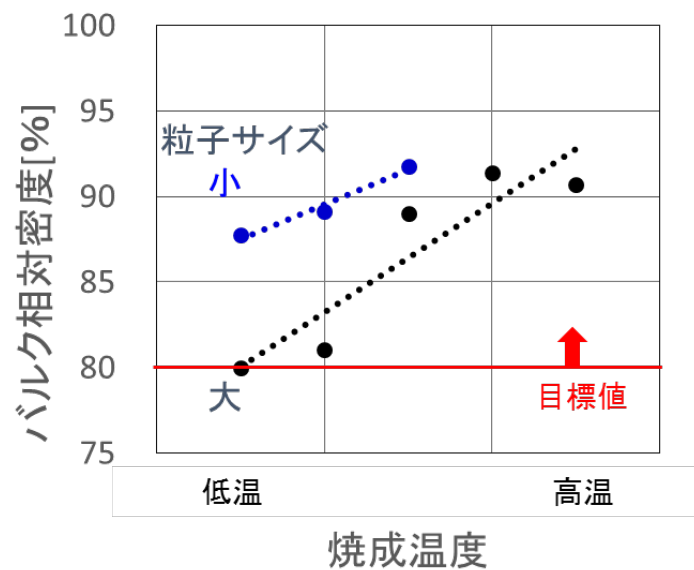


図 2-2-2 焼結促進剤を最適量添加したペーストを焼成したサンプルのバルク相対密度



図 2-2-3 シード/厚膜密着プロセス

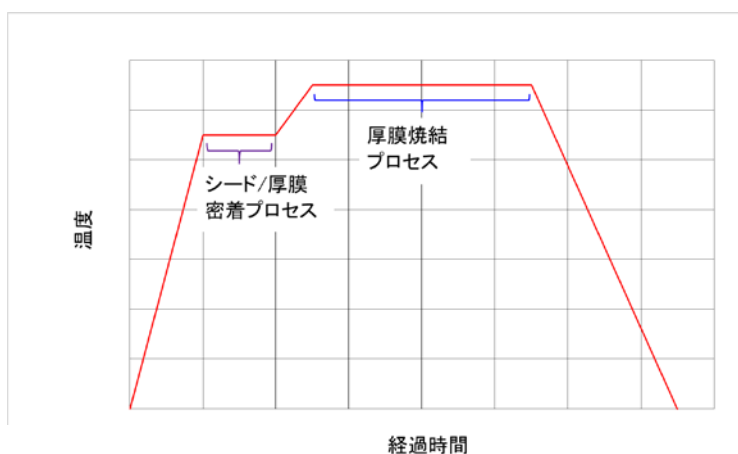


図 2-2-4 厚膜焼成プロセスの一例

実際に放熱基板を形成するには、シード層を印刷・焼成した後、厚膜を印刷・焼成するが、図 2-2-3 のように厚膜がはがれてしまっていた。厚膜の焼成プロセスにおいて、シード層と厚膜を密着させる低温プロセスを1ステップ入れることにより、この不具合を解決することができた。図 2-2-4 に厚膜焼成のプロセスの一例を示す。

2-2-2 焼成組織と電気抵抗率・接合強度の相関関係の解明

印刷・焼成して得られた電極の特性を測定し、焼成組織の観察結果とともに、【2-2-1】にフィードバックした。

密度に関しては、JIS Z2501 に基づき測定し、前述の通り、相対密度 80%以上を得ることができた。

電気抵抗率については、新規導入した高感度電気抵抗測定装置と測定用ステージを用いて四端子法による精密測定が可能になり、電極の電気抵抗率の焼結促進剤の添加量依存性を確認することができた（図 2-2-5）。

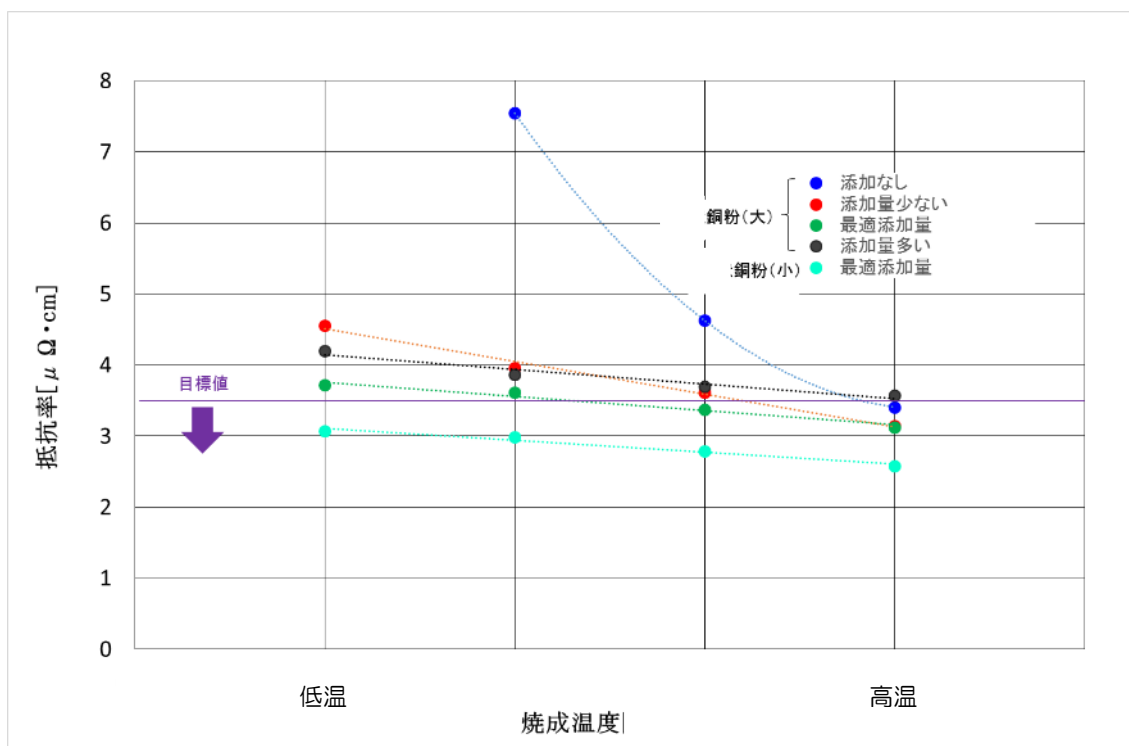
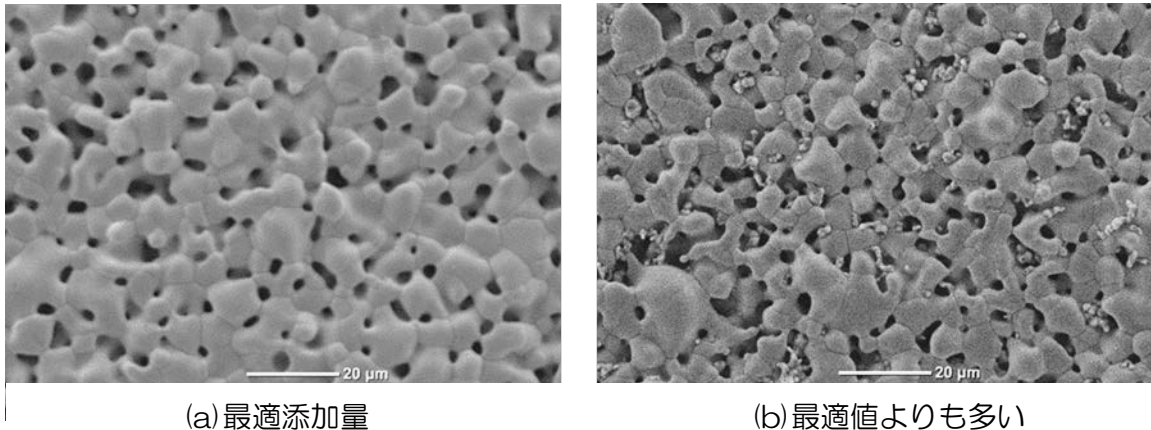


図 2-2-5 電気抵抗率の焼結促進剤添加量依存

焼結促進剤の最適添加量のペーストでは、最終目標値である $3.5 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下を達成した。特に銅粉が小さい場合には、低温でも $3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 程度の抵抗率を得た。焼結促進剤を最適添加量より多く添加すると、銅の焼結組織の間に、焼成プロセスで消費し切れなかった焼結促進剤の残渣があることが確認され、その周囲の銅組織の抵抗率を増加させるらしい（図 2-2-6）。



(a)最適添加量

(b)最適値よりも多い

図 2-2-6 銅焼結組織の焼結促進剤添加量による違い

熱伝導率については、外部機関によるレーザーフラッシュ法測定で、最終目標値より高い、 $280\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ を確認した。

接合強度については、15種類のシード材料に対し、銅とシード材料の配合比や焼成条件を変えてサンプルを作成し、接合強度を測定する実験を繰り返した。窒化アルミニウム、窒化ケイ素基板それぞれに対して $50\text{N}/\text{mm}^2$ 上の接合強度を得る条件を見出した。

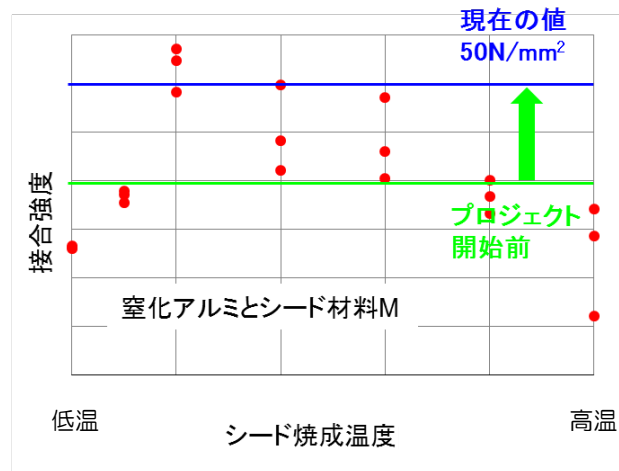


図 2-2-7 接合強度のシード焼成温度依存

接合強度のシード焼成温度依存性の一例を図 2-2-7 に示す。シード焼成温度が高いほうが、基板とシードの反応が進み、接合強度も強くなると期待していたが、ある温度を境に接合強度は低下してしまった。

この原因は、窒化物基板の上にシード材料だけを塗布して焼成したサンプルの断面 SEM 観察をすることにより、判明した。窒化物基板とシード材料が反応した際、界面に生成されるガス生成物が融けたシード材料の中に混入し閉じ込められ、冷却後も気泡として残留し、

この部分が破断しやすくなるが、シード焼成温度が高いとガス生成物の量が増え、接合強度の低下をもたらすと考えられる。実際に、試験後シードがはがれた基板表面をSEM観察すると、丸い気泡の痕跡が見られた（図 2-2-8）。

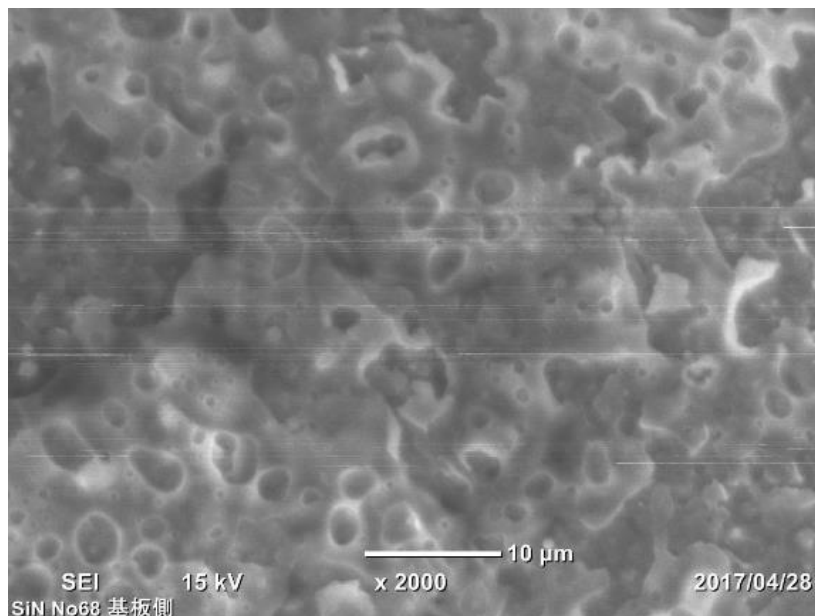


図 2-2-8 シードペーストをはがした後の基板表面

新規に導入したガス置換マuffle炉を用いて、基板表面を前処理することにより、シード層／基板界面でのガス生成物の発生を抑制する熱処理を行なった。窒化アルミニウム基板についてはよく行なわれるテクニックであるが、窒化ケイ素基板についてはデータがないため、条件出しを行なった。

まず、熱処理温度を変えた場合の接合強度の変化を調べると、処理温度が低い場合は未処理の場合とほぼ変わらないが、高くなるにつれて、接合強度が強くなった（図 2-2-9）。

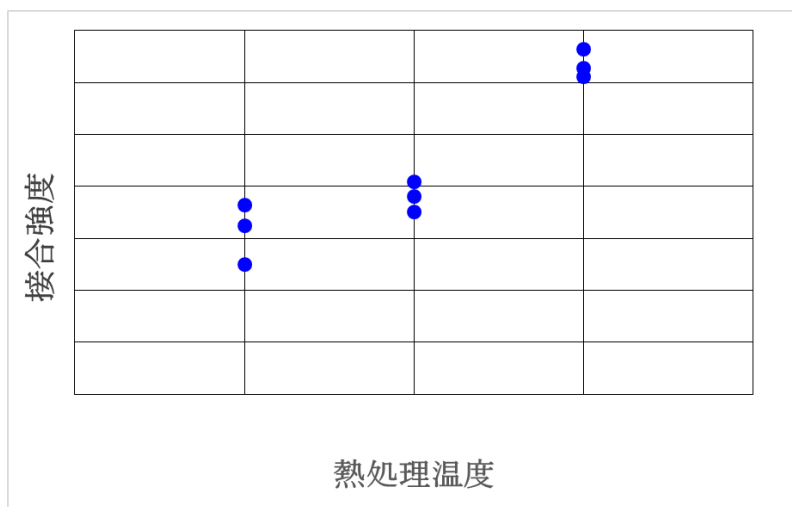


図 2-2-9 接合強度の熱処理温度依存性

これ以上の温度で処理するには、非常に高価な炉が必要になるため、熱処理時間を変えた場合の接合強度の変化を調べた。処理時間については、最適値が存在することがわかった（図 2-2-10）。

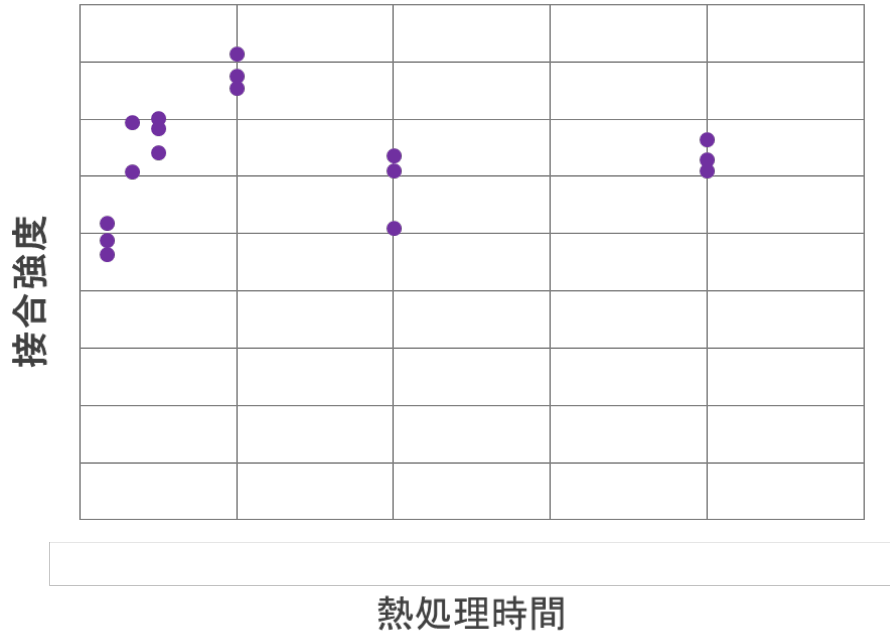


図 2-2-10 接合強度の酸化処理時間依存性

2-3 信頼性の課題への対応

2-3-1 衝撃試験の実施

開発した厚膜ペースト、シードペーストを用いて、基板両面に厚膜を印刷・焼成したサンプルを作製したが、裏面の厚膜がはがれる NG が多発した。（図 2-3-1）



(a) 窒化アルミニウム



(b) 窒化ケイ素

図 2-3-1 両面印刷サンプルの焼成の NG 例

窒化アルミニウム基板に対しては、裏面に印刷した厚膜を仮焼成して、表面の厚膜を印刷してから本焼成する方法で NG を回避することができた。

窒化ケイ素基板に対しては、厚みが窒化アルミニウム基板の約半分と薄いため、同様の手法が使えなかった。そこで、以下に示す対策を行なった。

(1) 印刷後の乾燥条件の見直し

従来の乾燥条件では、乾燥後に厚膜にクラックが入ってしまう場合があることが分かった（図 2-3-2）。これは大気中、窒素雰囲気中でも変わらなかった。このクラックは、乾燥温度を下げることで発生を抑制することができた。

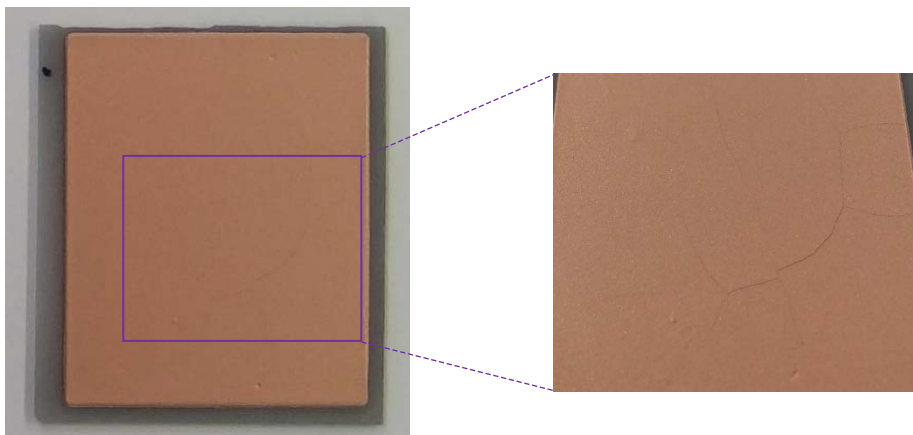


図 2-3-2 乾燥後の厚膜のクラック

(2) 厚膜焼成工程の見直し

製造コストを考慮すれば、焼成にかかる時間は短い方が良い。しかし、特殊な雰囲気を用いず、窒素雰囲気中で焼成するためには、ゆっくり加熱していき、銅の焼結の前に、ビヒクルを熱分解するステップを挟むことで焼成の歩留まりを改善できた。現状の焼成プロファイルを図 2-3-3 に示すが、まだ最適化されていない部分は多い。

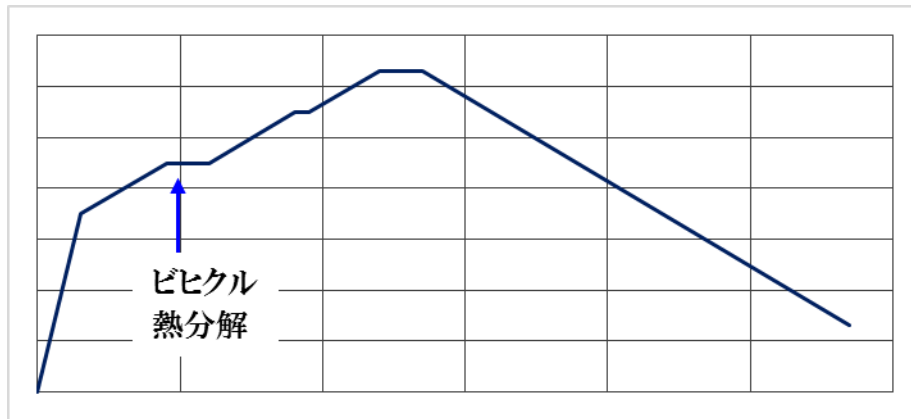
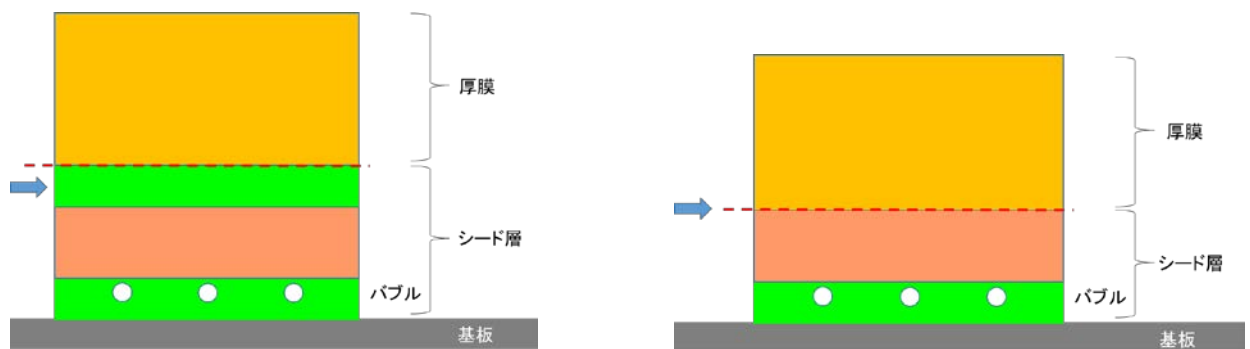


図 2-3-3 改良した焼成プロファイル

(3) シード層表面の除去

種々の実験事実から、シード材料の成分がシード層表面に偏っていて、シード層と厚膜の接合を妨げているらしいことがわかった。研磨機を用いて、この部分を除去することにより、シード層と厚膜の接合強度を向上させることができた（図 2-3-4）。しかし、この偏った成分が軽元素であるため、どの深さまで高い濃度で存在するか測定できておらず、課題として残る。



(a) シード層表面にシード材料の成分が偏っている部分がある。

(b) シード材料の成分の偏った分を除去

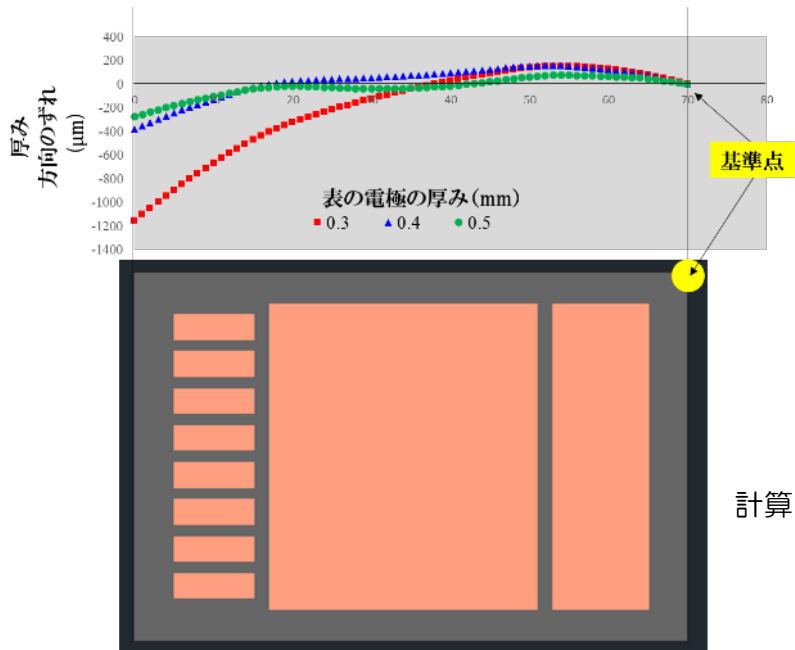
図 2-3-4 シード層表面の除去によるシード層と厚膜の接合強化

以上の対策により、焼成 NG はほぼなくなり、100%に近い歩留まりとなった。

2-3-2 信頼性劣化原因の解明と改善提案

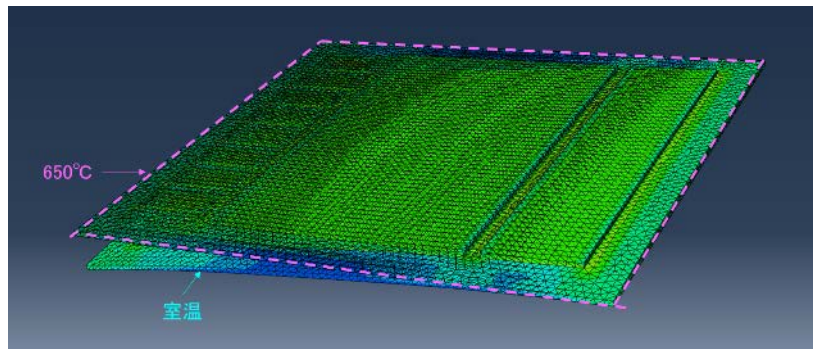
アドバイザーの内田氏の経験上、耐久性向上のためには、表と裏の応力のバランスをとることが非常に重要であるそうで、有限要素法を用いて、窒化ケイ素サンプルの焼成後の残留熱応力分布の計算を行ない、基板の反りのシミュレーションを行なった。条件として、裏の電極はベタで厚さ 300 ミクロン、表の電極の厚さを 300、400、500 ミクロンと変えた。焼成温度でまったく反りがなかったとして、室温まで冷却したときの基板の反りを計算した。表の電極の厚さが 300 ミクロンの場合は大きく反っていたのに比較して、400、500 ミクロンと厚い場合は、反りが非常に小さくなっている（図 2-3-5）。

裏の電極よりも表の電極を厚くすることで、応力バランスが取れ、基板の反りが低減される可能性があることが示唆された。

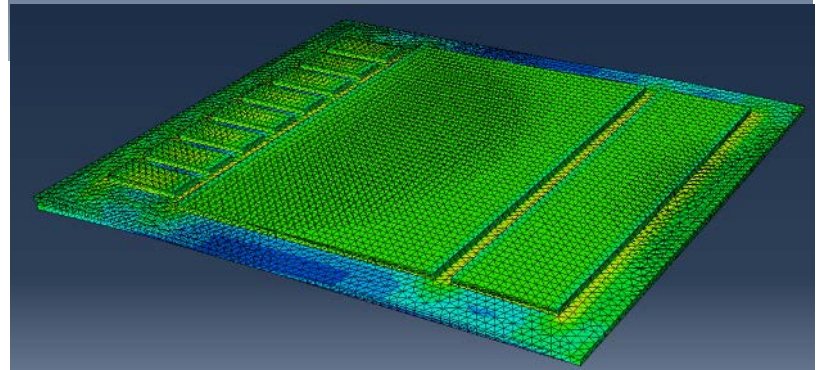


計算に使用したパターンと計算結果

表の電極厚み 300 ミクロン



表の電極厚み 400 ミクロン



表の電極厚み 500 ミクロン

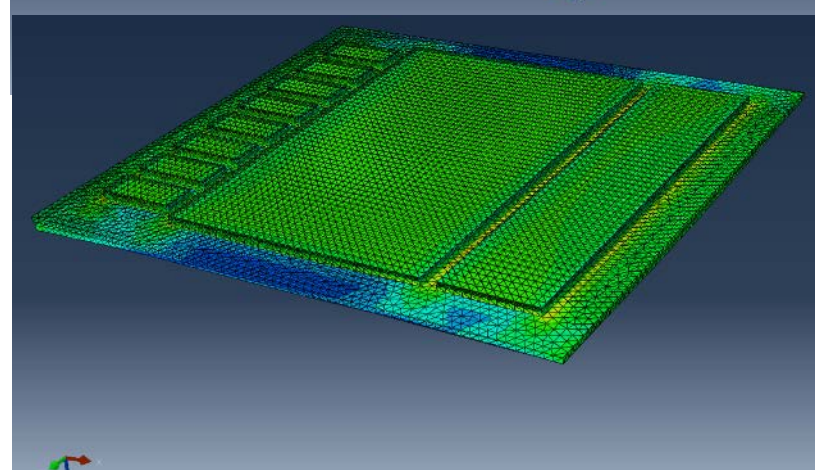
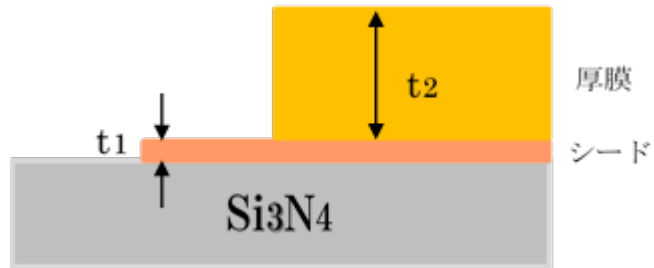


図 2-3-5 窒化ケイ素両面サンプルの反りのシミュレーション

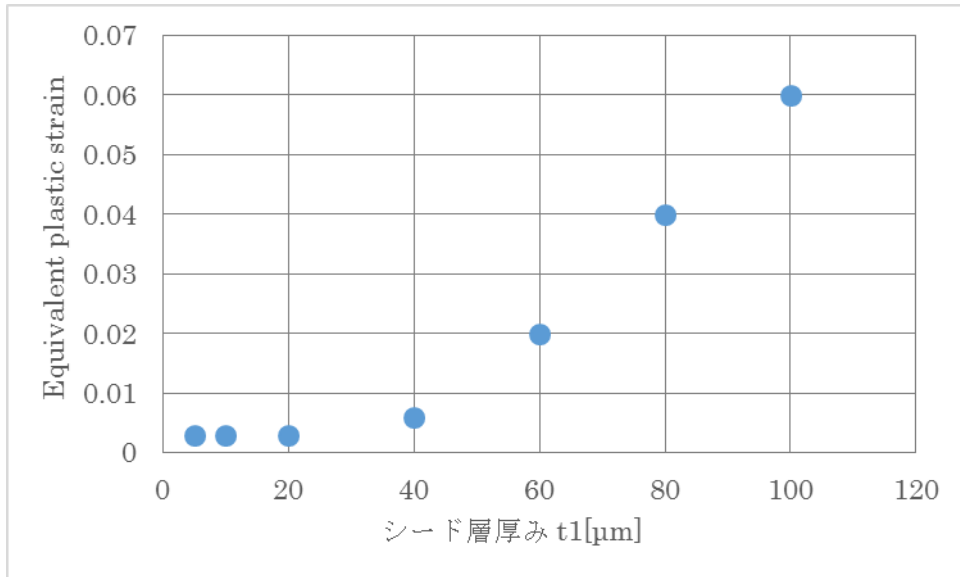
前述のように、DBC でも電極形状を工夫して、耐久性の改善を図っている。印刷法ではディンプル形状はどうしても形成することはできないが、本プロジェクトではシード層+厚膜の構造であるために、ステップ形状は容易に形成することが可能である。シード層の厚さ t_1 を変えていった場合のひずみをシミュレーションして、シード層の最適厚さを求めた(図 2-3-6)。シード厚みは 20 ミクロン以下が最適であることがわかった。



(a) 計算モデル

t_1 (μm)	t_2 (μm)	Equivalent plastic strain
5	295	0.003
10	290	0.003
20	280	0.003
40	260	0.006
60	240	0.02
80	220	0.04
100	200	0.06

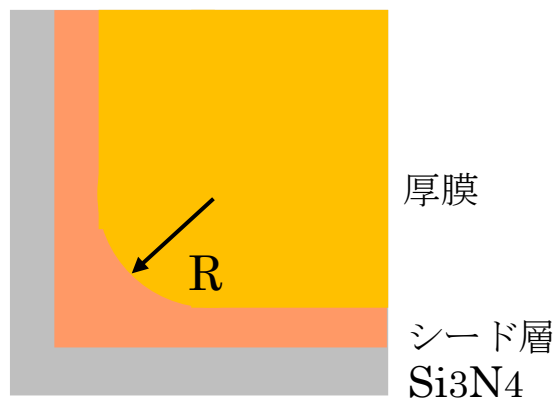
(b) 計算結果



(c) シード層厚み vs ひずみ

図 2-3-6 シード層の厚みとひずのシミュレーション結果

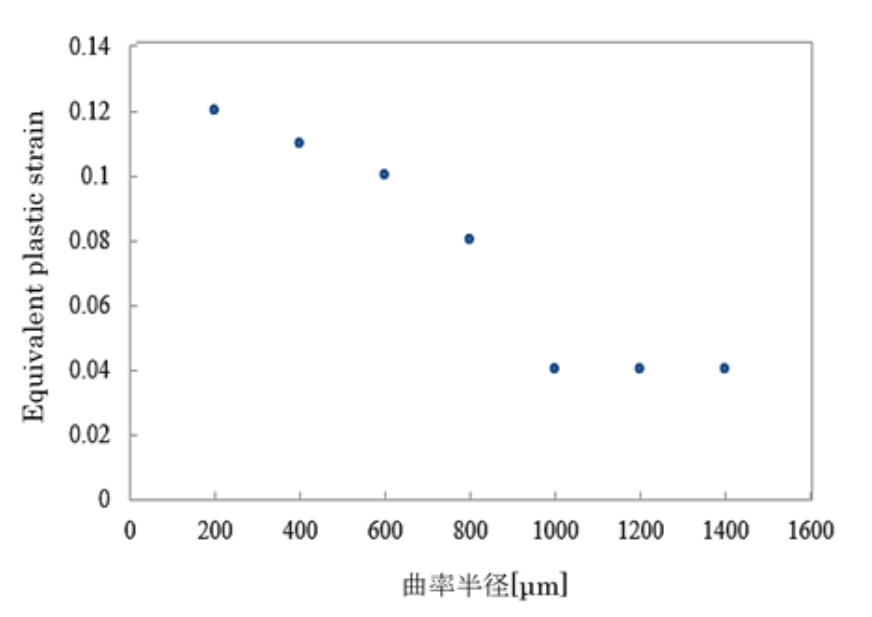
次に、電極の最適なコーナー形状をシミュレーションした（図 2-3-7）。最適なコーナー形状は職率半径 1mm であることがわかった。



(a) 計算モデル

Curve radius (R) (μm)	Equivalent plastic strain
直角	0.154
200	0.12
600	0.1
1000	0.04

(b) 計算結果



(c) コーナー曲率半径 vs ひずみ

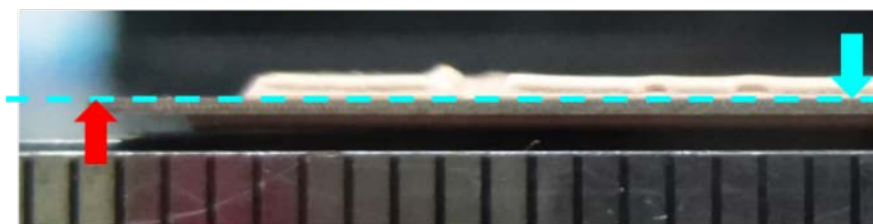
図 2-3-7 コーナー曲率半径とひずみのシミュレーション結果

2-3-3 信頼性改善

「表の電極厚み>裏の電極厚みとすることで、バランスが取れ、基板の反りが低減される」という前述のシミュレーションの結果を検証した。シミュレーションの設定と同じく、表の電極厚み=裏の電極厚み+100 μ mとしたサンプルを作製してみると、図 2-3-8 のように、反りがかなり低減され、ほとんどフラットにできることがわかり、シミュレーションが非常に有用であることがわかった。このサンプルを熱衝撃試験（試験条件：150 $^{\circ}$ C, 15min \leftrightarrow -55 $^{\circ}$ C, 15min）に投入した際の耐久性が改善した。



(a)表の電極厚み 400 ミクロン／裏の電極厚み 300 ミクロン



(b)表の電極厚み 400 ミクロン／裏の電極厚み 300 ミクロン

図 2-3-8 窒化ケイ素両面サンプルの反りのシミュレーションの検証

シミュレーションの結果に基づき、曲率半径 1mm のメタルマスクを設計・作製、サンプルを作製し、熱衝撃試験に投入したところ、最長で 1900 サイクル以上の耐久性を示すサンプルが現れ、最終目標である 1000 サイクル以上の耐久性を達成した。現状、同一条件で作製したすべてのサンプルが 1000 サイクル以上の耐久性を示すわけではなく、40%程度である。

耐久性のばらつきの原因の一つとして、電極内のボイドがある。図 2-3-9 は超音波顕微鏡の透過画像の一例であるが、白い点や黒い点が見られる。白い点は電極表面のくぼみであり、黒い点は電極内部のボイドである。応力が集中する電極の端部に近い位置にボイドがあるような場合には、熱衝撃耐久性が低くなると予想される。また、電極内部にボイドがある

と、放熱経路の有効断面積が減少し、放熱基板としての性能を低下させてしまう。

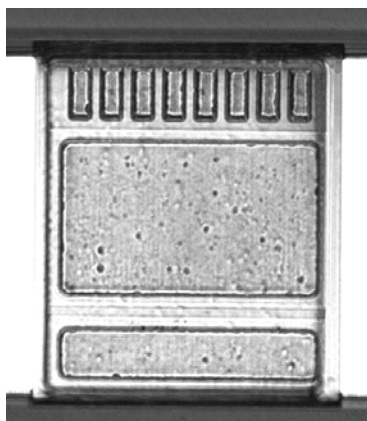
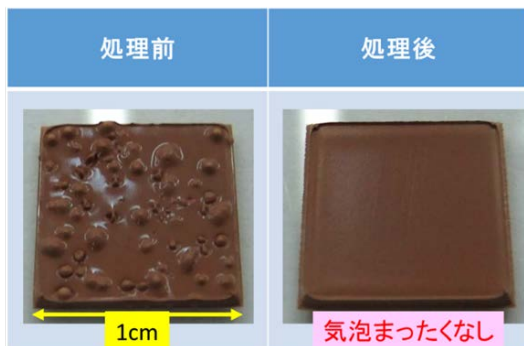


図 2-3-9 超音波顕微鏡の透過画像例

電極内部にボイドが発生する原因は、ペースト内に気泡が存在していることである。ペースト混練機に脱泡機能もあるが、簡易的で、本プロジェクトの高粘度のペーストの脱泡には不十分であるらしい。そこで、新規に自転公転式の脱泡機を導入した。ペーストを印刷して、印刷物を減圧状態にすると、気泡があれば膨張し目視で確認できるようになるので、シード層ペースト、厚膜ペーストに脱泡機の有効性をテストした（図 2-3-10）。どちらのペーストも 1 分の脱泡処理で、ほとんど気泡を含まなくなることが確認できた。脱泡処理したペーストを使用してサンプルを作製し、超音波顕微鏡で透過画像を撮影した結果が図 2-3-11 で、非常にクリアになっており、ボイドを抑制できていることがわかる。今後、耐久性の向上が期待できる。

○シード層ペーストの脱泡テスト



○厚膜ペーストの脱泡テスト

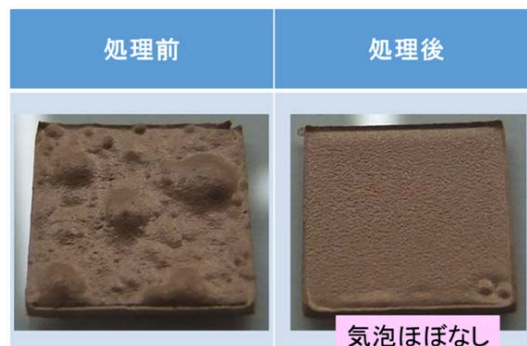


図 2-3-10 脱泡機の効果検証

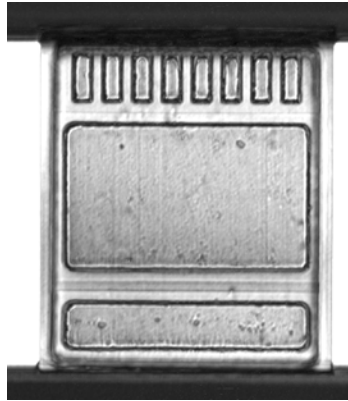


図 2-3-11 脱泡処理したペーストで作製したサンプルの透過画像

第3章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

厚膜ペーストとシードペーストを開発し、パワーモジュール回路基板を試作、冷熱サイクル試験において目標とする 1000 サイクル以上の耐久性を確認した。

また、印刷・焼成して形成した厚膜電極に対して、デバイスのハンダ接合テスト、ワイヤボンドテストを実施、実用に向けた試験に向けて問題ないことを確認した。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

今後の課題として、どこまで実用に耐えうるかどうか、パワーサイクル試験、放熱抵抗測定などを行なう必要がある。これについては、電子部品メーカーとの連携になる。

また、試作基板全数が 1000 サイクル以上の耐久性を示しているわけではなく、耐久性を下げている原因を究明、プロセスを改善していく必要がある。

弊社の事業化に向けた取り組みとして、大手銅粉メーカーとの協力関係構築に関する定期的打合せ、大手電子部品商社とのマーケティング連携に関する定期的打合せを実施している。また、セラミック電子部品メーカーと定期的打合せを実施して市場ニーズや技術課題などを明確に整理している。本補助事業のテーマであるパワーモジュール市場は予想どおり順調に伸びているため、当初開発計画に変更はない。一方で、事業化に向けた具体的スケジュールに関しては、メーカーによる信頼性試験に 2～3 年かかることが予測されるため、当初予定より遅れが見込まれる。

事業化時期： 平成 30 年上期 サンプル出荷、下期 少量生産開始。

売上予定： 平成 30 年 1000 万円、平成 31 年 5000 万円、平成 32 年 1 億円。

既存技術・製品との比較： 厚膜ペーストとしては唯一の製品となる見込み。既存の DBC, AMC 基板より優れた信頼性を有することが期待できる。

波及成果として、下記用途が予想される。

用途： LED 用、レーザーダイオード用放熱絶縁基板としてニーズ有り。

売上予定： 平成 31 年 5000 万円、平成 32 年 1 億円

既存技術・製品との比較： 厚膜ペーストとしては唯一の製品となる見込み。