

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「拡散接合法によるSiC素子用高信頼性冷却（放熱）基板の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 公益財団法人静岡県産業振興財団

| 目次 | ページ |
|---------------------------|-----|
| 第1章 研究開発の概要 | 3 |
| 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 | 4 |
| 1-2 研究体制 | 5 |
| 1-3 成果概要 | 9 |
| 1-4 当研究開発の連絡窓口 | 10 |
| 第2章 本論 | |
| ① SiC デバイスに使用する DBC 基板の開発 | 11 |
| ② DBC 基板と冷却板の接合技術開発 | 15 |
| ③ 総合評価 | 17 |
| 最終章 全体総括 (最終年度必須) | 19 |

第1章 研究開発の概要

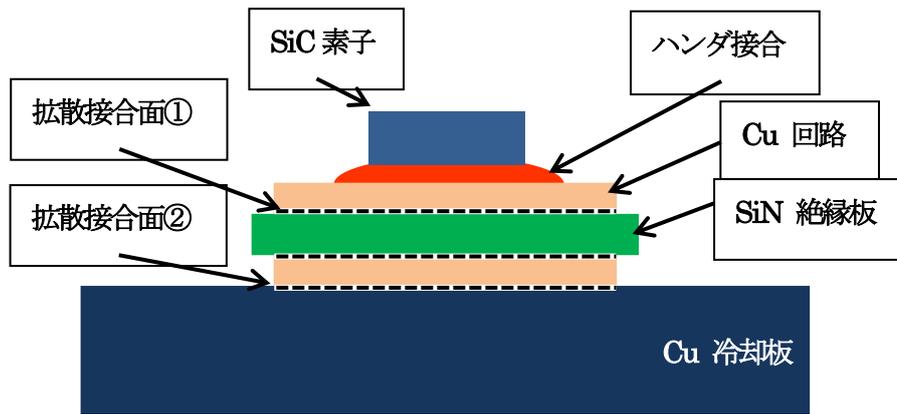
本研究開発では、セラミックスと銅(Cu)板から構成される絶縁回路基板をホットプレスによる拡散接合にて接合し、SiC 半導体素子に適合する DBC 絶縁回路基板の製造技術を開発する。また、開発した絶縁回路基板と Cu 冷却板をホットプレスによる拡散接合にて接合する技術を開発する。それらの開発品に、 $-40^{\circ}\text{C}\sim+200^{\circ}\text{C}$ の熱サイクルにおいて剥離・亀裂・損傷等の発生等が生じないことを検証する。

近年、自動車の省エネ対策の中心として、ハイブリッドカー (HV)、および充電式電気自動車 (EV) などのエコカーの発達は著しいものがあるが、それらの技術は日本が世界を今日までリードしてきた。これらの電気モーターを用いる自動車では、バッテリーから供給される直流電圧を任意の周波数の交流電力に変換を行い、交流モーターの回転数を制御する方式が採用されている。この速度のコントロールと、ブレーキ時の回収エネルギーをバッテリーに送るシステムは、パワー半導体による制御が行われている。この周波数変換に用いられる半導体素子として省エネ性などの観点から、現在最も広く普及しているものとして IGBT (Insulated gate bipolar transistor) デバイスがある。開発する接合体の断面構造を図-1 に示した。現状では Si 半導体チップを用いているが、今後はより省エネ特性に優れた SiC 半導体チップへと、また SiN 絶縁基板への移行が進もうとしている。これらの基盤研究としては、例えば、NEDO におけるグリーン IT プロジェクトや METI による低炭素社会を実現する新素材パワー半導体プロジェクトなど、日本の将来において極めて重要な基盤技術と位置づけられている。

FJ コンポジットでは、ホットプレスを用いた独自の接合技術に関して 20 年以上研究開発を行って来た。この新技術では、純金属同士の固相拡散により金属の熔融温度を下げる現象を見出し、その応用により自在に活性金属 (Ti) を利用した新規接合方法を提案する。この提案する技術と従来技術との対比を表-1 に示した。

表-1 IGBT 技術のトレンド

| | 半導体 | 耐熱性 | 効率 | セラミックス | 接合 | 回路 |
|------|-----|-------|-----|--------|--------|----------|
| 現状技術 | Si | 150°C | 90% | AlN | 活性銀ロウ | 銅 |
| 提案技術 | SiC | 300°C | 99% | SiN | 拡散熔融接合 | 銅 or CMC |



図－1 新規 IGBT の断面構造

1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標

電気自動車、ハイブリッドカー、燃料電池車など次世代のエコカーの主流となるモーターを駆動源にした自動車において、バッテリーや発電機構からの電力は直流電圧となる。一方、ブレーキ時の回収エネルギーとして得られる電力は交流電圧で、また駆動モーターも交流モーターが使用されている。このため、交流と直流を自在に変換する必要があり、その制御に半導体回路が使用されている。

現在、その半導体方式として IGBT (Insulated gate bi-polar transistor) が用いられているが、そこで使用されている半導体は現状では Si 半導体である。ところが、Si は耐熱作動温度が 150℃程度と低く、自動車のボンネットの中は高温になることから、発熱する IGBT を冷却するには水冷構造が必要となるが、厳しい雰囲気温度のために独立したラジエーターを備えるなどの苦勞をしているのが現状である。近年、Si 半導体に対して SiC 半導体の実用化の研究が行われている。SiC は耐熱温度が 450℃と高く、冷却の制限が緩いことから空冷構造も可能になり、システムを大幅に小型化・簡略化が可能である。同時に、直交変換効率が高く、殆どロスのない良好な変換を達成できる。

熱膨張率の異なる材料が接合されると、温度差が生じることにより熱歪みが界面に発生する。その熱歪みの大きさは 2 種類の材料の熱膨張率の差の大きさによるが、そこで発生する熱応力は、その熱歪みに材料の弾性率を乗じた値になる。異種類の材料の組み合わせでは熱歪みが生じることは避けることは出来ないが、熱応力は弾性率を低減することにより低く抑えることは可能となる。2つの熱膨張率の異なるサンプルを接合すれば、熱歪みが発生することは避けることはできない。その発生した熱歪みには、以下の 3 の何れかの方法でしか対応はできない。

- ① 接合界面が剥がれる
- ② セラミックスが割れる
- ③ 金属が塑性変形する

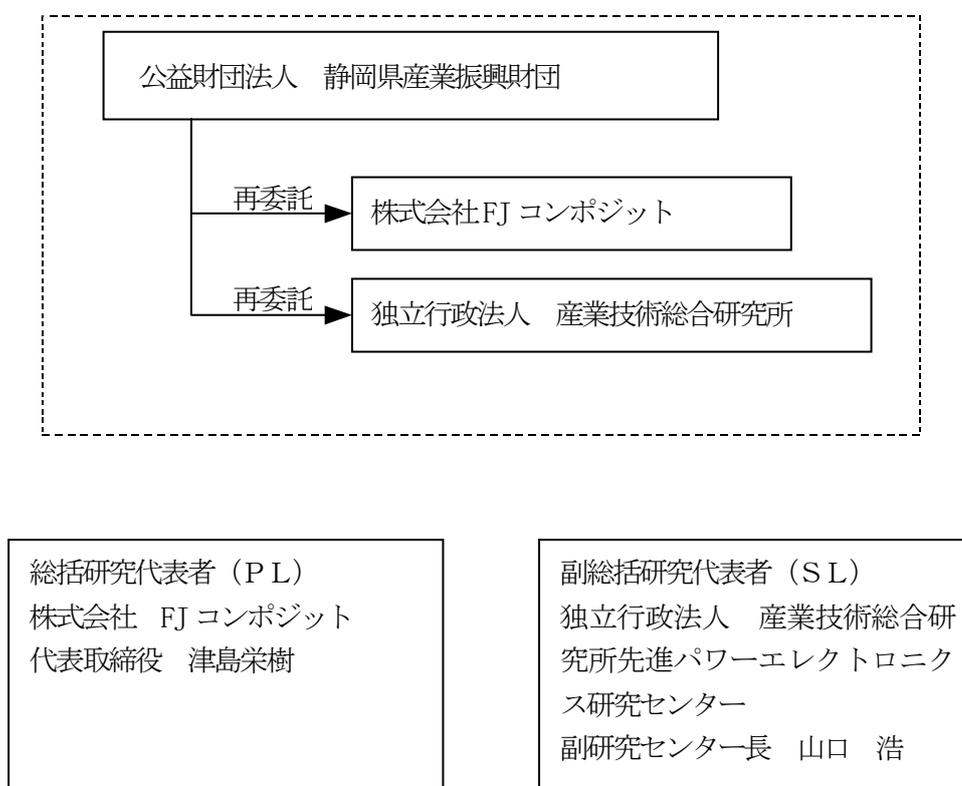
このうち、①と②は製品の破壊を意味し、残された③でしか熱歪みに正しく対応する方法は無い。すなわち、①、②、③で最も最初に発生するモードが③である必

要がある。そのためには金属の塑性強度よりも界面強度やセラミックスの母材強度が高い必要がある。簡単に言えば、十分に強い界面接着力が必要となる。

本研究開発では、SiCデバイスに使用するDBC基板を開発し、その基板の接合界面の熱サイクル評価を実施する。また、DBC基板と冷却板をホットプレスによる拡散接合にて接合する技術を開発する。それらの開発品においても、 -40°C ～ $+200^{\circ}\text{C}$ の熱サイクル評価により剥離等が生じないことを検証し、複数サンプルによる測定データの蓄積を通じ、当該接合技術の得失を総合的に評価する。

1-2 研究体制

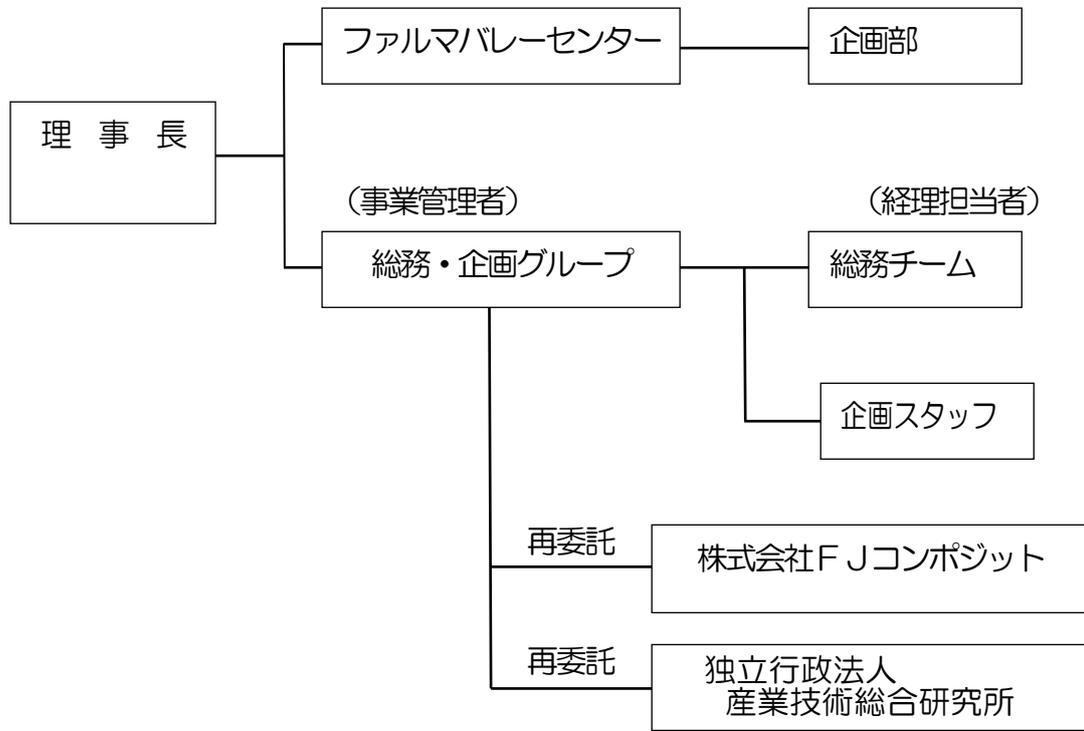
(1) 研究組織 (全体)



(1) 管理体制

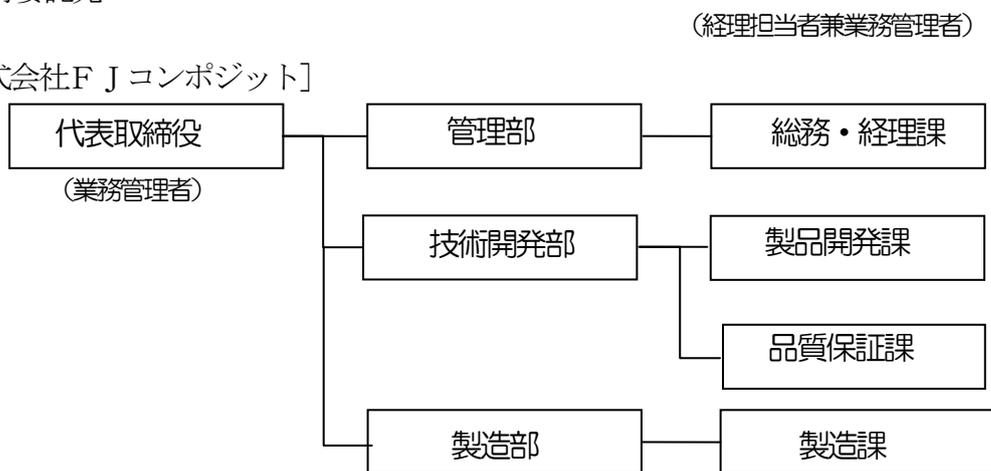
①事業管理機関

[公益財団法人静岡県産業振興財団]

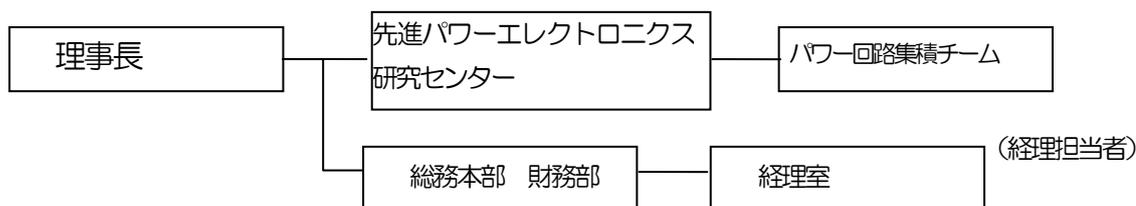


① 再委託先

[株式会社F Jコンポジット]



〔独立行政法人産業技術総合研究所〕（業務管理者）



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人静岡県産業振興財団

① 管理員

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容 (番号) |
|-------|----------------------------|-----------|
| 永野 朋浩 | 総務・企画グループ マネージャー | ④ |
| 松永 章成 | 総務・企画グループ 総務チーム 主査 | ④ |
| 石山 鉄也 | 総務・企画グループ 企画スタッフ 主査 | ④ |
| 兼子 知行 | 総務・企画グループ 企画スタッフ 総括コーディネータ | ④ |
| 望月 徹 | 総務・企画グループ 企画スタッフ 嘱託員 | ④ |
| 大竹 輝徳 | ファルマバレーセンター 企画部 産業化コーディネータ | ④ |

【再委託先】

(研究員)

株式会社F Jコンポジット

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容 (番号) |
|-------|--------|-----------|
| 津島 栄樹 | 代表取締役 | ①～③ |
| 谷津 智之 | 技術開発部長 | ①～③ |
| 福地 昌祐 | 製造部長 | ①～③ |

独立行政法人産業技術総合研究所

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容 (番号) |
|------|----------------------------------|-----------|
| 山口 浩 | 先進パワーエレクトロニクス研究センター 副研究センター長 | ①～③ |
| 佐藤 弘 | 先進パワーエレクトロニクス研究センター パワー回路集積チーム 長 | ① ③ |
| 仲川 博 | 先進パワーエレクトロニクス研究センター 招聘研究員 | ① ③ |

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人静岡県産業振興財団

(経理担当者) 総務・企画グループ 総務チーム 主査 松永 章成

(業務管理者) 総務・企画グループ マネージャー 永野 朋浩

(再委託先)

株式会社F J コンポジット

(経理担当者) 管理部 総務・経理課 村松 美帆

(業務管理者) 代表取締役 津島 栄樹

管理部 総務・経理課 村松 美帆

独立行政法人産業技術総合研究所

(経理担当者) 総務本部 財務部 経理室長 山口 洋二

(業務管理者) 先進パワーエレクトロニクス研究センター長 奥村 元

(4) 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

| 氏名 | 所属・役職 | 備考 |
|-------|---|--------|
| 津島 栄樹 | 株式会社F J コンポジット 代表取締役 | 委 PL |
| 山口 浩 | 独立行政法人産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター 副研究センター長 | SL |
| 永野 朋浩 | 公益財団法人静岡県産業振興財団 総務・企画グループ マネージャー | |
| 松永 章成 | 公益財団法人静岡県産業振興財団 総務・企画グループ 総務チーム 主査 | |
| 石山 鉄也 | 公益財団法人静岡県産業振興財団 総務・企画グループ 企画スタッフ 主査 | |
| 兼子 知行 | 公益財団法人静岡県産業振興財団 総務・企画グループ 企画スタッフ 統括コーディネータ | |
| 望月 徹 | 公益財団法人静岡県産業振興財団 総務・企画グループ 企画スタッフ 嘱託員 | |
| 大竹 輝徳 | 公益財団法人静岡県産業振興財団 ファルマバレーセンター 企画部 産業化コーディネータ | |
| 佐藤 弘 | 独立行政法人産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター パワー回路集積チーム長 | |
| 仲川 博 | 独立行政法人産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター 招聘研究員 | |
| 村上 信吉 | 新日鐵マテリアルズ株式会社 事業開発部 | アドバイザー |
| 寺田 利昭 | 株式会社デンソー 材料技術部 | アドバイザー |
| 鈴木 孝和 | 独立行政法人産業技術総合研究所 イノベーション推進本部 | アドバイザー |

1-3 成果概要

① セラミックスと Cu 回路の接合技術開発

セラミックスとして SiN=0.32mm に銅=1.0mm の厚い回路を接合することを試みた。銅が厚くなることにより、大きなストレスが発生し従来の接合条件であるスパッタ層厚さやホットプレス温度・圧力条件では接合が困難であった。何度となく実験を繰り返した結果、十分に接合力を確保する条件を見出した。その結果、250°Cの耐熱試験に耐え得るサンプルの作製に成功した。その条件で作製したサンプルを熱サイクル試験 (-40°C~250°C) にて 3000 回のサイクルを目指して実験を行った。実験前には Cu と SiN の剥離は無い良好なサンプルであったが、50 から 100 回の僅かな熱サイクルにてサンプル破損が発生することが認められた。この破損状況を詳しく観察すると、SiN と Cu の界面で剥離が発生している物もあったが、SiN と Cu の接合は維持したまま SiN 母材で破壊が進行しているサンプルを幾つも観察することが出来た。すなわち、SiN と Cu の界面強度が十分に強くなった結果、界面で破壊するのではなく、SiN の強度が耐えられなくなり母材破壊が発生するようになった。

これは、予測していなかった状況であり、従来の知見では無かった現象である。このため、接合技術としては十分なところになったが、Cu の塑性変形強度よりも SiN の母材強度が低いために発生した現象である。このため、当初予定していた Cu=1.0mm の DBC 基板を製造することは出来なかった。従来技術では Cu=0.15mm 程度でしか接合出来なかったが、今回の検討では Cu=0.3mm の従来比 2 倍を 2 年度目で達成し、未知の領域である Cu=1.0mm に挑戦し、新たな知見を得たことになる。

今後は、今回の成果を踏まえて新たな DBC の構造の提案をする必要があると考える。すなわち、SiN と Cu の界面に柔軟な材料をインサートして発生する応力を緩和するなどの手法による構造の再検討が必要と考える。最初の検討としてはインサート材として Al などの金属の可能性が考えられる。今後、更なる研究として継続して取り組んでいきたい。

② DBC 基板と冷却板の接合技術開発

DBC 基板と銅の冷却板の接合に関しては、接合材が銅-銅の金属同士であることから、ある意味では簡単な技術と考えられるが、実際は DBC 側は中央に SiN などのセラミックスがあることから熱膨張率が異なる。そのため、熱膨張率による熱歪みが小さくなるように、低温で接合すると同時に、高い接着力が要求される。一方、SiC 半導体の作動温度は高いことから、従来技術であるハンダなどでは耐熱性が満足されない。そこで、銅と銅の拡散接合を低温で行う検討を行った。銅と銅を単純に拡散接合するには、高い温度が必要であったが、第 3 成分を間に入れる事により低温接合でありながら、高い接着力と、高い耐熱性を兼ね備える接合方法を検討した。

その結果、幾つかの方法により上記の目標を達成できることが示された。1 つの方法は、スズ(Sn)を拡散のアシスト材として使用する方法で、銅と銅の一方に Sn をスパッタして 0.1 μ m 程度の成膜を行い、Sn の低融点 (232°C) で溶解するが、溶解後は Cu に拡散してしまい、400°C以上の温度の耐熱性を有していた。上記の第 3 成分の添加により、600°Cでも十分な耐熱性を有する接合を達成することに成功した。

③ 総合評価

今回の主要な開発項目であるセラミックス (SiN) と厚銅(1.0mm)の接合において、その接合の機構を解明することを試みた。接合体の断面を観察し、その界面における元素分析を実施した。セラミックス側には Si と N の元素が検出され、Cu 側には Cu が観察された。その界面には Si、N、Cu、の他にスパッタした Ti が観察された。Ti は Cu や SiN にも僅かに観察されたが、僅か数 μm 以上界面から離れると検出は殆どされなくなった。また、Ti の上のオーバーコートした Ag や Pt 等は、全ての観察点において殆ど検出されなかった。すなわち、界面では TiN が形成され強い化学結合を示していると考えられる。その論拠として、原子分析の他にも、界面を無理矢理に引き剥がすと銀色に変色した TiN の色が観察された。これらの事を総合して判断すると、今回の接合は TiN によると考える。

また、同様に断面の SEM 観察の結果からも Cu は凸凹の表面である SiN に完全に追従してボイドなどのない完璧な変形をしている。

今回、3年間の開発をとおしてセラミックスに金属 (Cu、Al) を良好に接合する新規技術を開発することが出来た。結果としては SiN の強度不足の段階まで接合強度を上げることに成功した。この新規技術は発展性の高い技術であり、今後の益々の展開が期待される。この期待に対して、新工場の建設と量産設備の導入を行い、2015年度から新事業として DBC の製造を開始することになったのが、本開発が成功した証と考える。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

試験片製造担当

| | | | |
|--------|---------------------------|-----|--------------|
| 所属 | 株式会社 F J コンポジット | | |
| 役職 | 代表取締役 | | |
| 氏名 | 津島栄樹 | | |
| 連絡先 | TEL 0123-29-7034 | FAX | 0123-29-7035 |
| e-mail | tsushima@fj-composite.com | | |

試験片評価担当

| | | | |
|--------|--|-----|--------------|
| 所属 | (独) 産業技術総合研究所 | | |
| 役職 | 先進 ^o ワールドエレクトロニクス研究センター副研究センター長 | | |
| 氏名 | 山口 浩 | | |
| 連絡先 | TEL 029-861-5824 | FAX | 029-862-6580 |
| e-mail | hiroshi-yamaguchi@aist.go.jp | | |

研究管理法人

| | | | |
|--------|-----------------------------|-----|--------------|
| 所属 | 公益財団法人静岡県産業振興財団 | | |
| 氏名 | 兼子 知行 | | |
| 連絡先 | TEL 054-273-4430 | FAX | 054-251-3024 |
| e-mail | t-kaneko@ric-shizuoka.or.jp | | |

第2章 本論

① セラミックスとCu回路の接合技術開発

昨年度までは、SiN=0.32mmのセラミックスにCu=0.3mmの金属回路を、スパッタリングによりチタン(Ti)を成膜し、ホットプレスによる温度と熱により良好な接合体を製造することに成功した。そのサンプルは-40°C~250°Cの熱サイクル試験において3000回においても問題の発生はなかった。

本年度は、SiN=0.32mmにCu=1.0mmの接合を試みる。それに伴い、スパッタリングの条件、およびホットプレスの条件の最適化を図る。

昨年度作製したサンプル(Cu=0.3mm)による耐熱試験(250°C放置)と3000回の熱サイクル試験結果について、その後の観察を実施したので報告を行う。

表-2および図-2にその結果を示した。

表-2 250°C放置試験結果 (3000時間でも問題は無い)

高温放置試験
(250°C大気中放置)

| サンプル No. | 0時間 | 500時間 | 1000時間 | 2000時間 | 3000時間 |
|----------|-----|-------|--------|--------|--------|
| #39 | ○ | ○ | | | |
| #40 | ○ | ○ | ○ | | |
| #42 | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| #41 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

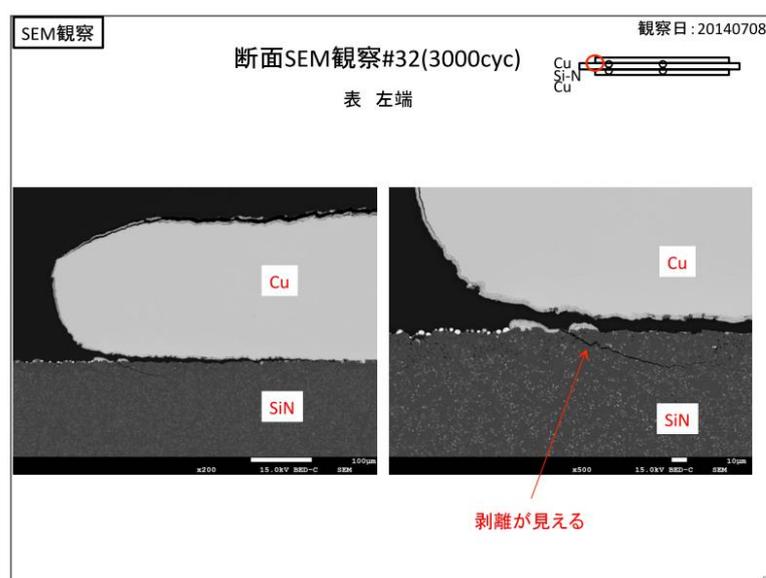


図-2 熱サイクル試験(-40°C~250°C)3000サイクル後のSiNクラック状況
昨年Cu=0.3mmでは耐熱性、熱サイクル性とも良好な結果であった。

(A) スパッタリングの条件の検討

各種のスパッタリングの条件の検討を行った。

・ TiとAgの析出量による接合強度の検討

Ti側析出条件 ① 100sec. ② 50sec. ③ 20sec. ④ 0sec.

Ag側析出条件 ① 50sec. ② 20sec. ③ 0sec.

表-3 Cu側にスパッタ実施例

| Ti\Ag | 50 sec | 20 sec | 0 sec |
|---------|--------|--------|-------|
| 100 sec | ◎ | ◎ | ◎ |
| 50 sec | x~△ | x~△ | ○ |
| 20 sec | / | ◎ | ◎ |
| 0 sec | / | / | ○~△ |

表-4 SiN側にスパッタ実施例

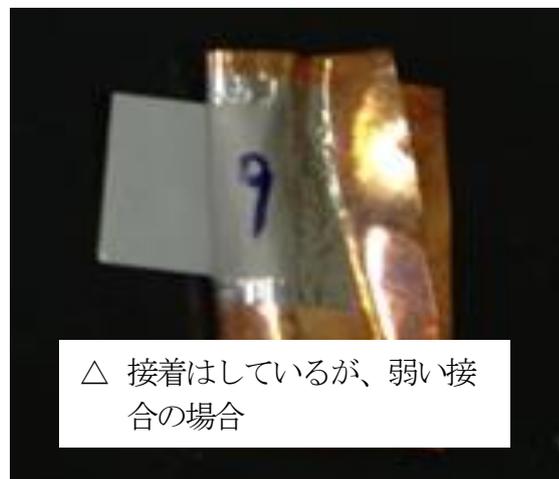
| Ti\Ag | 50 sec | 20 sec | 0 sec |
|---------|--------|--------|-------|
| 100 sec | ◎ | ◎ | ◎ |
| 50 sec | ○~◎ | ◎ | ◎ |
| 20 sec | / | ◎ | ◎ |
| 0 sec | / | / | ○~△ |

Ti の析出条件を 0 秒、20 秒、50 秒、100 秒とし、オーバーコート酸化防止の金属として Ag を選択した。Ag の析出時間は 0 秒、20 秒、50 秒とした。Ag の析出時間が Ti に対して短いのは、Ag は Ti に比べて析出速度が 5~10 倍も大きいいため、同じ時間では Ag は Ti よりも遙かに多くの量が成膜されることによる。成膜は、Cu 側に行う場合と、SiN 側に行う場合の両方について実施した。

接合テストの結果を表-3および表-4に示した。表中の◎は接着力が強く、接合品の銅を無理矢理に引き剥がそうとすると、セラミックスが割れてしまう状態で図-3に示した様な接着を示す。○はセラミックスは割れないが十分に強い状態、△は一見良好に接合しているように見えるが、カッターの刃等を界面に入れると、比較的簡単に全面的剥離が発生する状態で、×は接着力が弱く、僅かな力で簡単に剥がせる状態を意味している。



図一3 接着が極めて強い判定◎の接合状態図



図一4 接着が弱い例 △

Cu側にスパッタしたケース（表一3）では、Tiの成膜時間100秒ではAgの析出時間に依らずに良好な接着が認められたが、成膜時間50秒では良好な接合は得られていない。ところが、成膜時間20秒では再び良好な接合となっている。これは、明らかに不思議な現象であり、単純にTiの成膜厚さだけで接合因子を左右することでは無いことを示している。一方、表一4のSiN側にスパッタした場合には、Tiの成膜時間が20秒でも50秒でも100秒でも、Agの成膜時間が0秒でも、20秒でも、50秒でも良好な接合となっている。

第4回実験

第3回実験でも完全な DBC 基板を製造することが出来なかったことから、その後は根本的な接合の条件の再度の検討を行った。それは、幾度となく実験を行った。

主な検討要因としては、

- (A) Ti スパッタ厚さ
- (B) オーバーコート金属種類と厚さの影響

以上の項目を、実験のスタートに立ち返ってもう一度実施をした。従来は温度が最も重要な因子と考えていた。そのため、出来るだけ高温で処理することを検討し、その結果として、大きな圧力を作用すると Cu の塑性変形が激しくなり、良好なサンプルを作製することが出来なかった。

- ・ 成膜は SiN 側にスパッタする
- ・ スパッタの条件は、 Ti=100 秒 + Ag=50 秒
- ・ 製造数量 25 枚/セット×3 セット=75 個

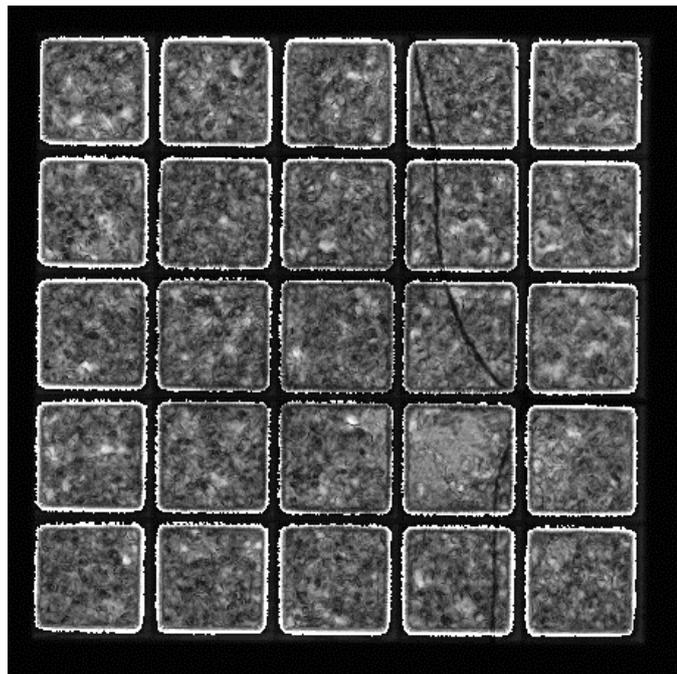


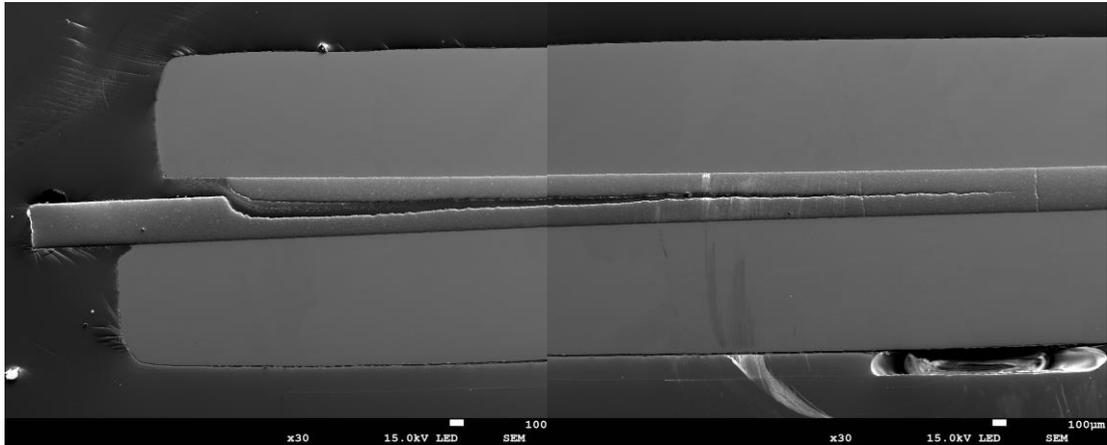
図-5 第4回サンプルのホットプレス後のSAT観察結果
(セラミックスに割れが入ったので、それを除いてサンプルを提出)

熱サイクル試験結果

-40℃~250℃の熱サイクロ試験を従来の実験と同様に実施した。

その結果は、今回も完璧なものではなかった。但し、今回の失敗は従来とは異なる状況であった。それは、以下の図に示すとおり、SiN と Cu の接合は十分に強度があり、その結果、剥離の発生もあるが、セラミックスの母材強度が接着力に対抗出来ず、セラミックスの母材内部で破壊が発生したことである。これは、これ以上の接着強度を求めても、セラミックス側で限界があり、完璧なサンプルは出来ない事

を意味している。すなわち、接合強度支配からセラミックス強度支配に破壊モードが移行したことになる。



図ー6 SiNのクラック発生状況

② DBC基板と冷却板の接合技術

DBC基板とCu冷却板の低温接合を可能にする拡散接合条件の検討を行った。

表一5にCuとCu, CuとAl, CuとSiNの3種類の接合の組み合わせに対して、400°Cでの拡散接合をトライした。それぞれの材料の間にはスパッタにてTi、In、Sn、などの材料を各種の出力と時間の条件にて成膜して中間層を形成した。

表一5 Cuとの低温接合の実験結果

| No. | 接合温度 | 接合材 | スパッタ(秒) | 相手材 | 接合状態 |
|-----|-------|-----|-----------------------|-----|------|
| 5 | 400°C | Cu | Ti (100) +In (50) | Cu | × |
| | | | | Al | × |
| | | | | SiN | × |
| 6 | 400°C | Cu | Sn (100) | Cu | ○ |
| | | | | Al | × |
| | | | | SiN | × |
| 7 | 400°C | Cu | In (50) | Cu | × |
| | | | | Al | × |
| | | | | SiN | × |
| 8 | 400°C | Cu | Ti (100) +Sn (100) | Cu | ○ |
| | | | | Al | × |
| | | | | SiN | × |

実験の結果、400°Cでは2つの組み合わせのみで良好な接合を得ることが出来た。これらは何れもSnが作用しており、CuとCuの接合にはSnが良好に作用する事が

示された。期待された低温融点の In は効果が無かったし、スパッタ時にも簡単に溶け落ちる事故などもあり、使用するには難しい材料であると同時に接合にも関与しなかった。また、実験 No, 8 の Ti に関して、No, 6 の Ti なしで良好に接合していることから、その効果に不明である。おそらく、Sn が主要な因子であり、Ti は関係ないと考える。

次に Al の低温接合の実験を行った。Al 同士であれば 600°C 程度で拡散接合が可能であると同時に、Cu を間に入れば 600°C 以下でも接合は可能になる。そもそも Al の融点は 660°C 程度であり、それより低い 400°C でのトライを行った。その結果を表-6 に示した。先の実験と同様に Ti, Sn, In の各元素の効果を実験により確認した。ところが、表に示したとおり、全ての条件において Al は 400°C で接合することは困難であった。これは銅とは異なる結果であり、銅で効果があった Sn も Al では駄目であった。Al は 600°C 程度の温度であれば、接合は可能であり、また Al 自体の弾性率が低いこともあるので、IGBT を製造することに対する問題は無いことから、今回は Cu と Cu の低温接合ができたことで、主要な問題は解決されたと判断する。

以上の結果をまとめたものを表-7 に示した。

表-6 Al との低温接合の実験結果

| No. | 接合温度 | 接合材 | スパッタ | 相手材 | 接合状態 |
|-----|-------|-----|--------------------------------|-----|------|
| 1 | 400°C | Al | Sn (400-100) | Cu | × |
| | | | | Al | × |
| | | | | SiN | × |
| 2 | 400°C | Al | In (200-50) | Cu | × |
| | | | | Al | × |
| | | | | SiN | × |
| 3 | 400°C | Al | Ti (600-100) + In (200-50) | Cu | × |
| | | | | Al | × |
| | | | | SiN | × |
| 4 | 400°C | Al | Ti (600-100) + Sn (400-100) | Cu | × |
| | | | | Al | × |
| | | | | SiN | × |

表-7 各種接合温度のまとめ

| 材料1 | 材料2 | 1000°C | 600°C | 400°C |
|-----|-----|--------|-------|-------|
| Cu | Cu | ◎ | ◎ | ◎ |
| Al | Al | — | ◎ | × |
| | | | | |
| DBC | Cu | ◎ | ◎ | ◎ |
| DBA | Al | — | ◎ | × |

③ 総合評価

接合界面の元素分析を実施した。その結果を以下に示した。

SEM 写真-7 の 1～5 までのポイントにて検出される元素を測定した。

その結果、SiN 側の No. 1 ポイントでは Si と N が検出され、Cu 内部の No. 4 ポイントでは Cu が検出されている。界面の No. 2 ポイントでは Cu, Si, N の他に Ti が検出されている。

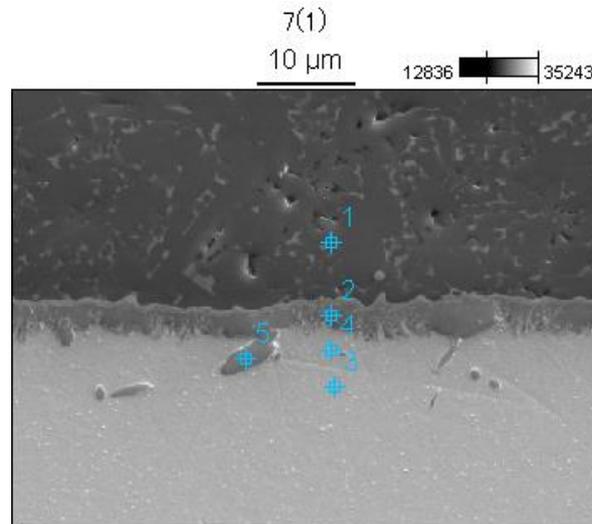


図-7 試料 7 EDX 定性分析箇所(1) (写真 3-2 と同視野)

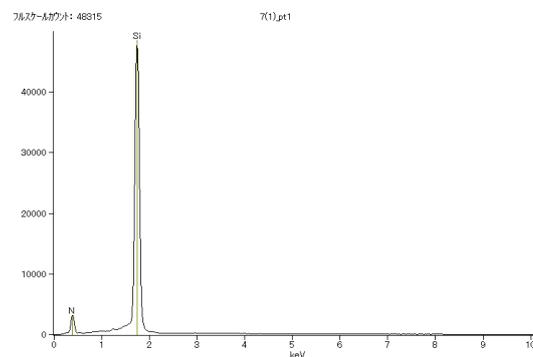


図8 試料 7 EDX 定性分析結果 (図 3-1 point1)

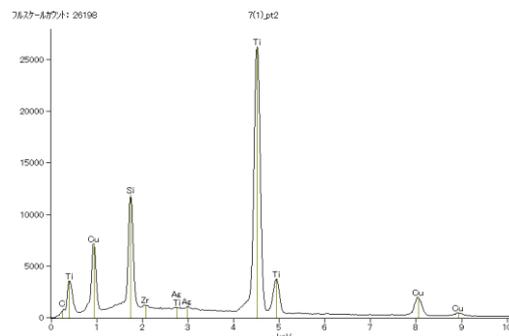


図-9 試料 7 EDX 定性分析結果 (図 3-1 point2)

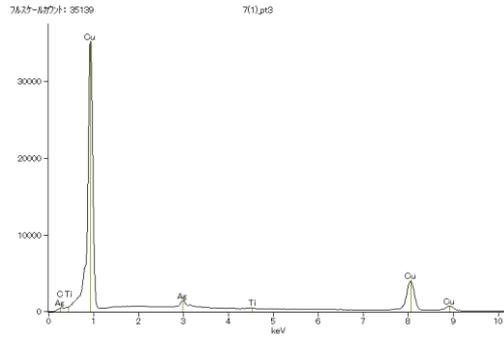


図-10 試料7 EDX 定性分析結果 (図 3-1 point3)

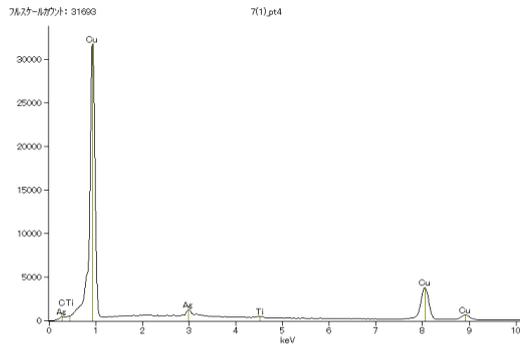


図-11 試料7 EDX 定性分析結果 (図 3-1 point4)

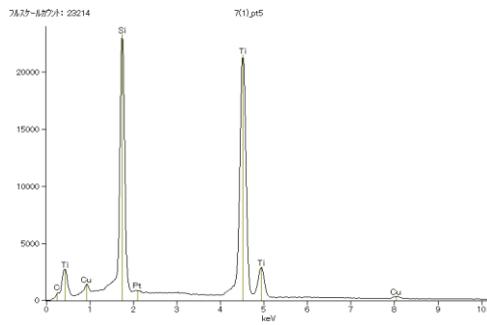
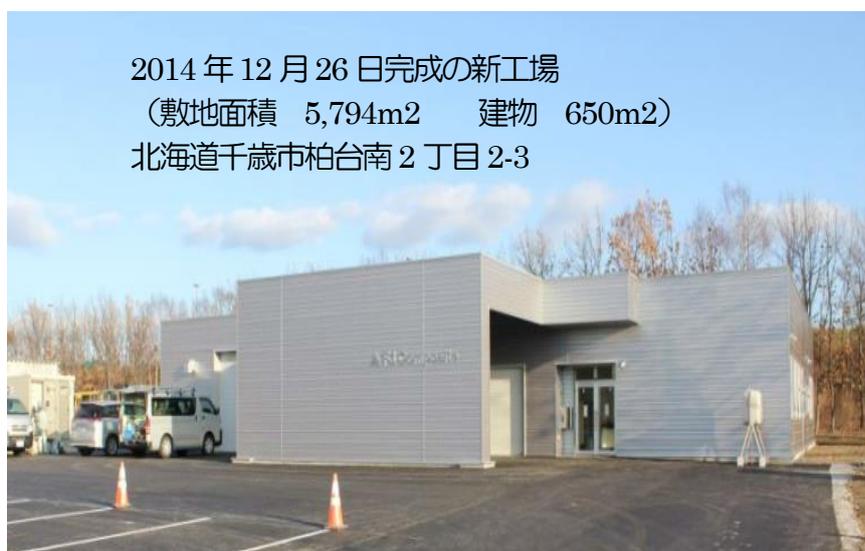


図-12 試料7 EDX 定性分析結果 (図 3-1 point5)

最終章 全体総括

本開発をとおして、十分に優れた製品開発が出来た。その技術は他の競合技術では成し得ないこと、同時に開発した製品は世の中で求められていること、さらには将来の市場の拡大は確実であることなど総合的に考えて、事業化を行うに十分な条件であるとの判断を行った。そして、その判断を速やかに実行することとし、新工場（下記写真参照）を2014年12月に建設し、量産設備を2015年3月に導入する。工場建設費用は1億3000万円、装置への投資は2億円である。量産設備が無ければ量産化は不可能であり、そのためにはリスクを取って事業化を進めるべきとの判断を行った。あえて投資リスクを背負って事業化に踏み込んだことは、この事業化の勝算を誰よりも強く感じたことの現れである。その判断に至った経緯を以下に示す。



3年間に渡り、新規IGBT構造に必要なDBC基板の開発に取り組んできた。その仕様は、セラミックス絶縁板としてSiNの0.32mmを用い、回路金属としては銅の1.0mmをSiNの両面に接合するものである。この製造の難しさは熱膨張率の差にあり、SiNの3ppm/°Cに対して銅は17ppm/°Cと極めて大きな違いがある。また、銅とセラミックスの接合は難しく、従来のメッキ方や活性銀ロウなどを用いる方法では十分な接合強度が得られないことによる。一方で、大電流を流して小型化を求めに対しては厚銅を接合する必要があり、益々製造を困難にしている。

これらの理由により、現在の製造技術ではSiNに接合出来るCuの厚さは0.3mm以下で、安定的にはその半分の0.15mmと極めて薄い銅層しか接合することは出来ない。今回の開発ではCu=1.0mmと、現状レベルの5倍程度の厚さを接合する困難な開発目標を掲げ、それに正面から取り組んだ。その結果、優れた接合強度を得る事に成功した。

今回の開発に対して、サンプルの評価を担当して頂いた産総研の山口様、佐藤様、仲川様に対しては、貴重なデータをご提供頂き、今回の研究の大きな力となりましたことに対して、深く感謝を申し上げます。また、事務関係をまとめて頂きました静岡県産業創造財団の兼子様、望月様にも深く感謝申し上げます。研究スタート時は、本開発に取り組むか迷っていましたが、その背中を押して頂きました産総研の鈴木様には今回の開発をスタートできた主要な力となり、そのリーダーシップが無ければ、今日の成功と、事業化への工場建設、量産設備の導入は無かったと思います。ここに深く感謝申し上げます。

また、経済産業省からは100%の補助率にて開発資金をサポートして頂きましたことを深く感謝申し上げます。ベンチャー企業は資金的な面で多くの困難を抱えています。その中で、この様な恵まれた制度を利用できましたことは、とてもラッキーであり、今回の開発に係わり頂きました全ての皆様に感謝申し上げます。

今後は、この成果をもとに事業化を進め、大成功させて日本の製造力の一助になるように努力する所存です。今後も、宜しくご支援の程お願い申し上げます。

2015年3月16日

(株)FJコンポジット 代表取締役 津島栄樹

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。