

次世代パワー半導体実現に資する 高信頼性焼結型接合技術

大阪大学 接合科学研究所

教授 西川 宏

2022年 3月 11日

1. 研究の背景、目的、目標

2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会を実現するために...

- ・徹底した省エネルギーの推進
- ・再生可能エネルギーの最大限の活用

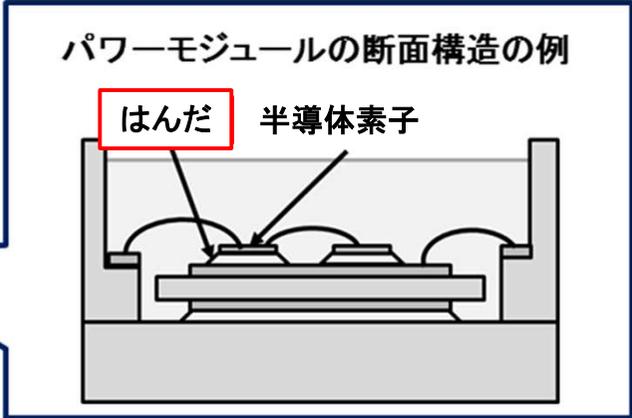
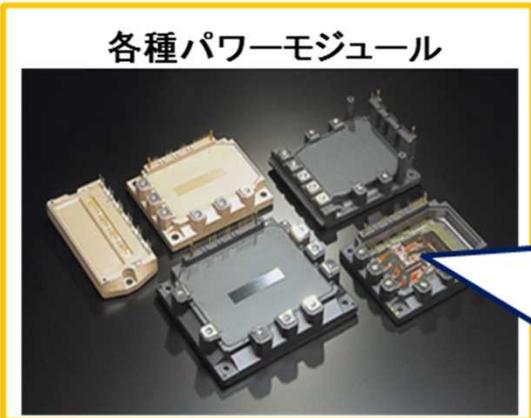
自然エネルギーによる発電 電気自動車の普及 汎用機器の効率化

電流の直流を交流に変える、周波数を変える、電圧を変えるなどの電力変換の役割を果たす「パワーデバイス」の進歩が必要不可欠

- ・現在のパワー半導体デバイス: 半導体素子としてSiを使用
- ・次世代のパワー半導体デバイス: SiCなどのワイドギャップ半導体の使用を期待
「硬く、熱的・化学的にも安定なSiCを素子化した際の期待される効果*」
①低損失化 ②高耐圧化 ③高速・高周波化 ④高温動作化(冷却低減、軽量化)

*宮代: SiCパワーデバイス実装の諸問題と世界の開発動向, 第22回マイクロエレクトロニクス シンポジウム論文集, 19-24 (2012)

SiCは、Siと適用温度(250°C程度)などの動作条件・環境が異なるため、SiCの特性を十分に引き出せる各要素技術や構成材料の確立が喫緊の課題



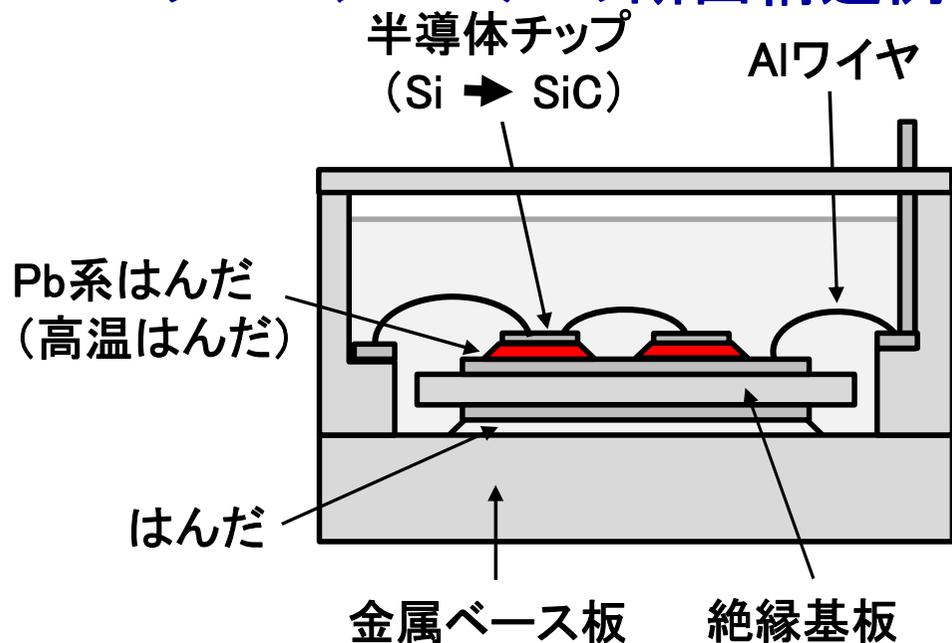
- 課題
1. 有害物質フリー材料
 2. 高放熱化、高耐熱化
 3. 高信頼性、長寿命化

半導体素子をベースに接合するはんだ部に課題

1. 研究の背景、目的、目標

参考文献) 加柴:パワーモジュールパッケージング技術の動向と課題, エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 17 No. 6 (2014), p.450

パワーモジュールの断面構造例



○様々な材料が使用されている

例えば、線膨張係数を見ると・・・

Si半導体: $2.3 \times 10^{-6} / K$

Al : $23 \times 10^{-6} / K$

Cu : $17 \times 10^{-6} / K$

絶縁基板: 約 $10 \times 10^{-6} / K$



信頼性設計・評価が重要

○厳しい環境下での使用が見込まれる

- ・高温となるエンジンルーム内などでの使用
- ・長寿命化
- ・大電流化、高密度化



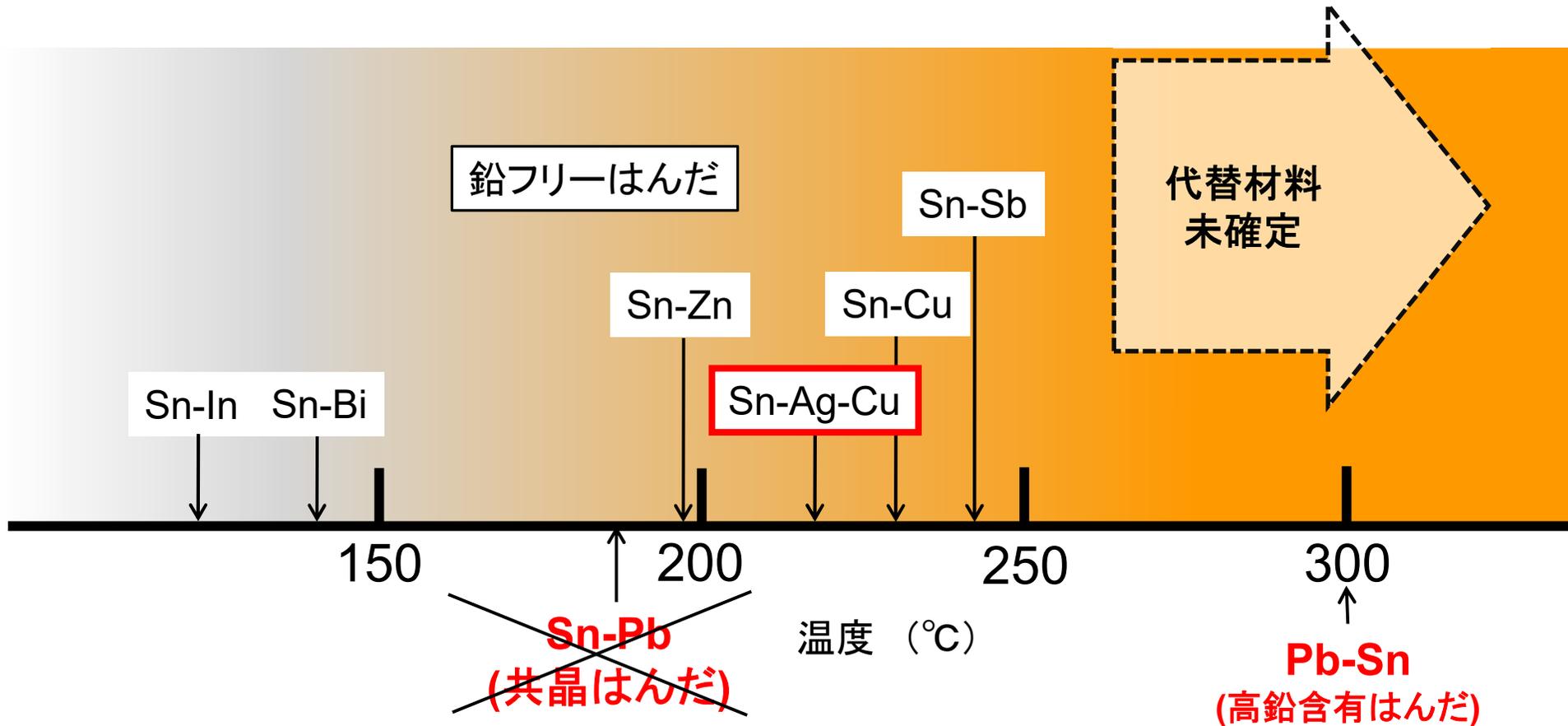
高放熱化・高耐熱化・高温安定化が重要

半導体素子の接合部への要求:
接合信頼性に加えて、
高い耐熱性と優れた放熱性



1. 研究の背景、目的、目標

高鉛含有はんだ代替接合材料について



高鉛含有はんだ代替接合材料の候補

各種合金:
Au系、Zn系、Bi系合金等

液相拡散接合 (TLP):
Sn-Ag系、Sn-Cu系など

金属ナノ粒子:
AgやCuナノ粒子ペースト



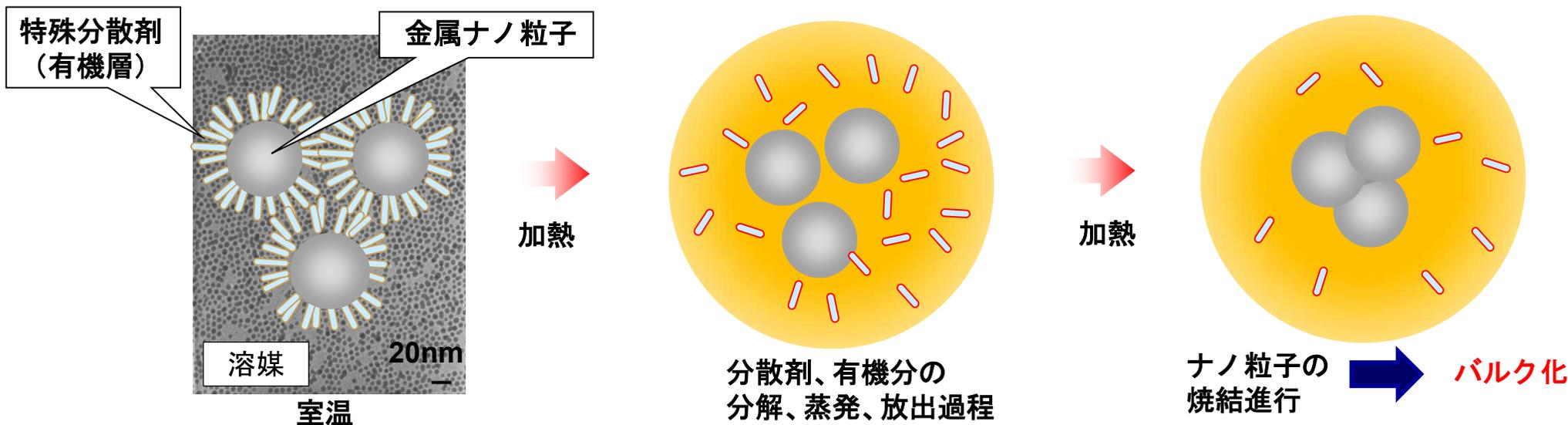
1. 研究の背景、目的、目標

高鉛含有はんだ代替接合技術の概要とその特徴

	材料	接合温度	加熱後 耐熱温度	接合強度 (MPa)	放熱特性 (W/m ² ·K)	環境・ 安全面	コスト	メリット・デメリット
Pb系はんだ接合 (現行技術)	Pb-5Sn	340 °C 以上	310 °C (液相線温度)	20~30	30~40	× ×	◎	
Au系はんだ接合 (現行技術)	Au-20Sn	310 °C 以上	280 °C (共晶温度)	100以上	60程度	○	× ×	・被接合材との間で硬く脆い 金属間化合物を形成しやすい (熱疲労特性が劣る)
Agナノ粒子接合	Agナノ 粒子	250 °C 以上	962 °C (Agの融点)	35	100以上	△	× ×	・加圧と無加圧の共に可能 ・有機物によるボイド形成 ・金属含有量が低い ・高温安定性は不明 ・安全性の懸念
液相拡散接合	多層薄膜 (Sn, Ag, Cu)	250 °C 以上	1000 °C以上 (金属間化合物 の融点)	30	90程度	○	△	・多層の膜を形成する必要が あり、プロセスが複雑 ・接合層が硬く脆い金属間化 合物(熱疲労特性が劣る)

1. 研究の背景、目的、目標

金属ナノ粒子ペーストによる焼結型接合プロセス



例えば、Agナノ粒子の場合
接合部(焼結層)融点 > プロセス温度
960°C 300°C前後

ナノ粒子特有の解決し難い問題点

- ・「コストが高い」(100万円/kg)
分散剤や溶媒などの有機物の割合が高いことから
- ・「加熱後も有機物が接合層中に残留し易い」
- ・「有機物の蒸発により体積変化が大きい」

さらに、ナノ物質の安全性の懸念*：
ヒトへの健康影響を及ぼすという指摘も有

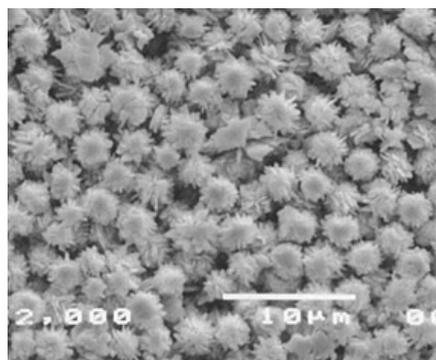
*経済産業省化学物質管理課：ナノ物質の管理に係る現状について、第1回ナノ物質の管理に関する検討会資料、2011年12月2日開催

2. 技術シーズの内容・特徴・関連する研究成果

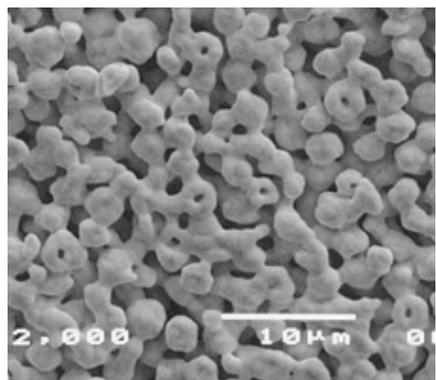
シーズの新規性とA-STEP・シーズ顕在化(2012年度)の成果

化研テック(株)

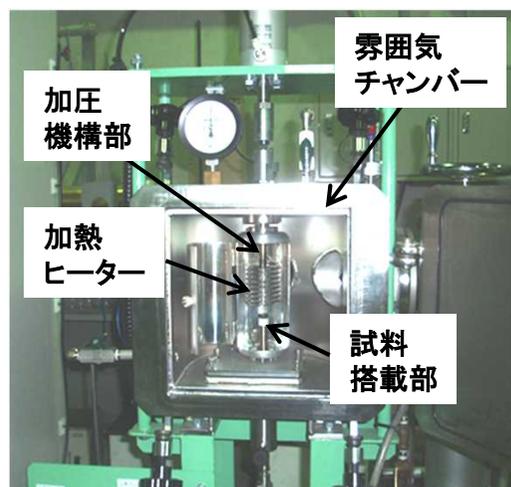
いがぐり状マイクロサイズAg粒子



250°C → 加圧無

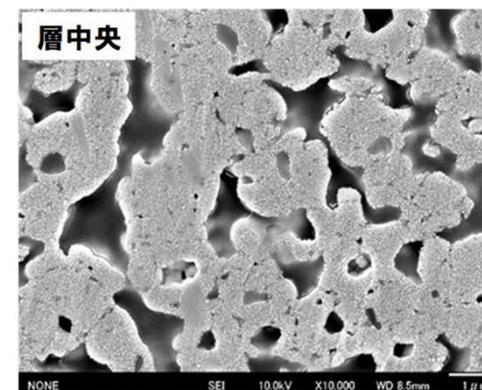
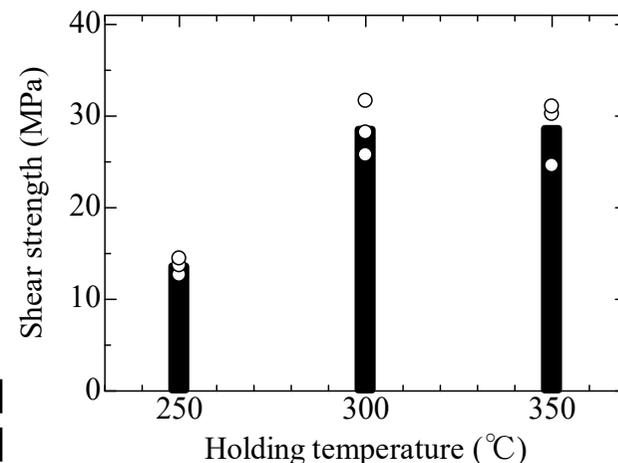


大阪大学 西川研究室
金属粒子による接合技術開発



ナノ粒子等による接合技術の研究で培ってきた加熱加圧接合技術や接合部の詳細な評価技術を有する

参考:
Pb-5Snはんだを用いた際の
接合強度: 約 20 MPa
熱伝導率: 約 50 W/mK



本加熱 300 °C- 10 min
予熱 130 °C- 5 min
加圧力 10 MP:
接合強度 30 MPa

権利化:
特許第6380791号(登録)

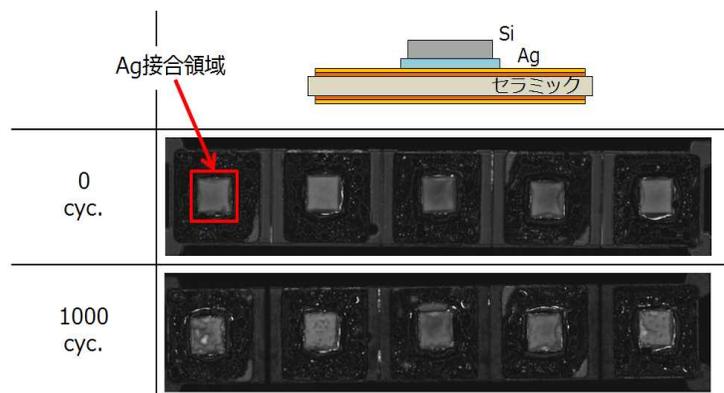
2. 技術シーズの内容・特徴・関連する研究成果

A-STEP・ハイリスク挑戦タイプ(2013年12月～2016年11月末)の成果

「高強度・高放熱接合技術による次世代パワーデバイスの特性向上」

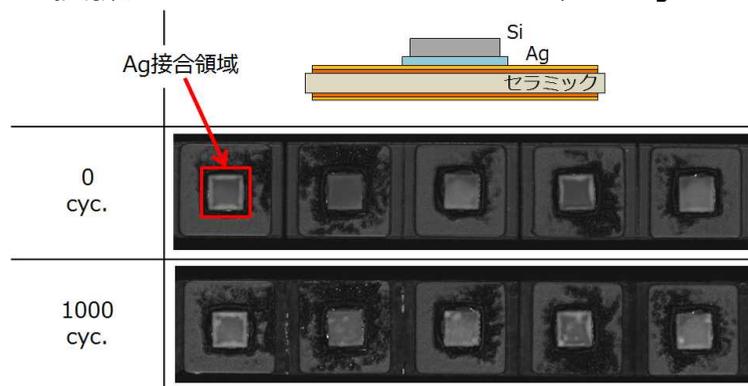
民間企業(企業責任者): 各種評価・信頼性試験方法の確立と評価試験の実施
 実施体制 大阪大学(研究責任者): 各種接合プロセスの構築と評価解析、接合サンプルの作製
 化研テック: 各種試験に適したマイクロAg粒子ペーストの作製

加圧接合サンプルの長期信頼性評価
Si模擬チップ $-40^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 175^{\circ}\text{C} / 1,000\text{cycle}$



試験前SAT画像では剥離している部分はなく、初期接合状況は良好である。
また、試験後のSAT画像に大きな変化はない。

低加圧力(0.5MPa程度)接合サンプルの長期信頼性評価
Si模擬チップ $-40^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 175^{\circ}\text{C} / 1,000\text{cycle}$



チップ周辺部に一部空隙と思われる部分が見られる。しかし、試験後のSAT画像に顕著な変化はない。

総合所見

概ね目標を達成し、次の研究開発フェーズに進むための技術的成果が得られたが、企業化に向けた課題が周辺技術にも存在する。今後はモジュールメーカー等と連携して、モジュール全体でブレークスルーを目指すことが望まれる。



3. 現在進行中のA-STEP産学共同(育成型)での実施概要

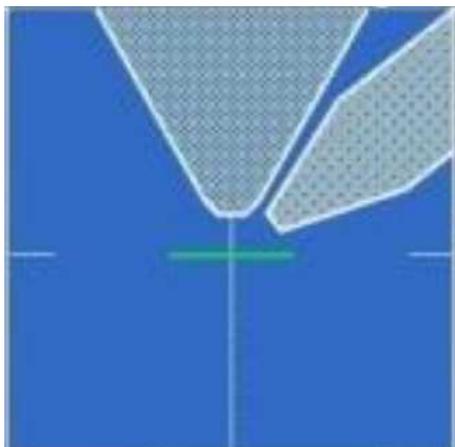
研究開発実施予定表

No.	研究開発項目	実施内容	2020	2021	2022		
1	1	AIN粒子の添加効果メカニズムの解明					
2	1	AIN粒子の添加量の最適化					
3	2	接合部の放熱特性評価					
4	3	模擬半導体素子を用いた接合部の接合信頼性評価					

3. 現在進行中のA-STEP産学共同(育成型)での実施概要

○セラミック粒子添加の効果メカニズムの検討

観察サンプル準備



Ag粒子焼結部界面のTEM観察

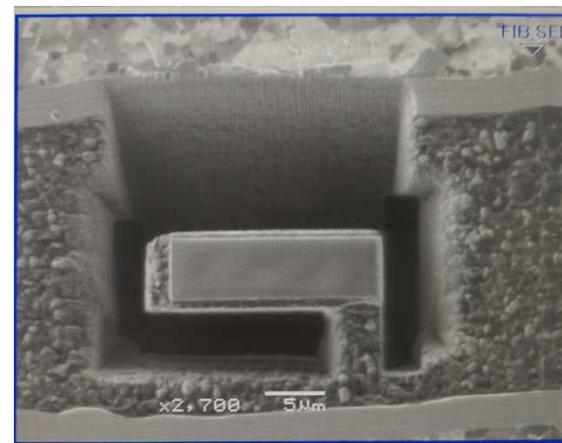
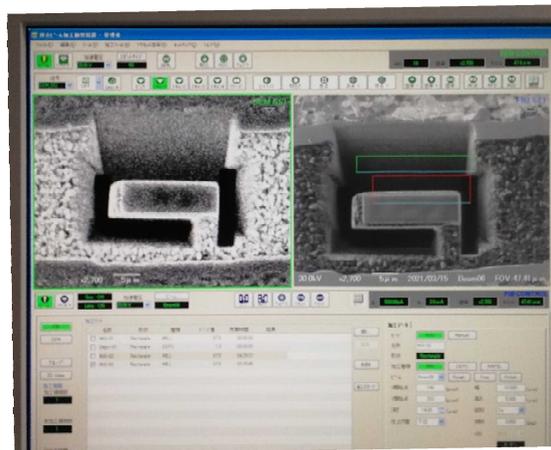
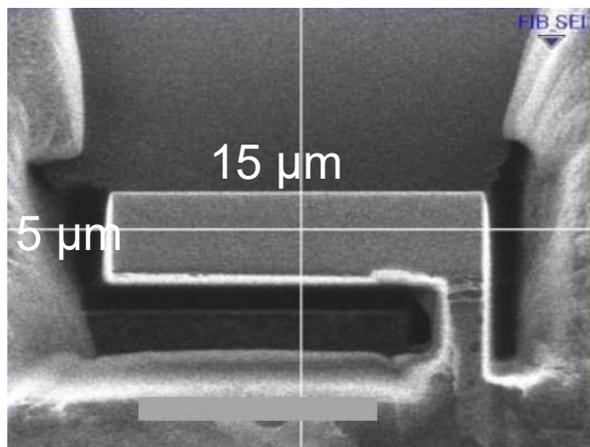
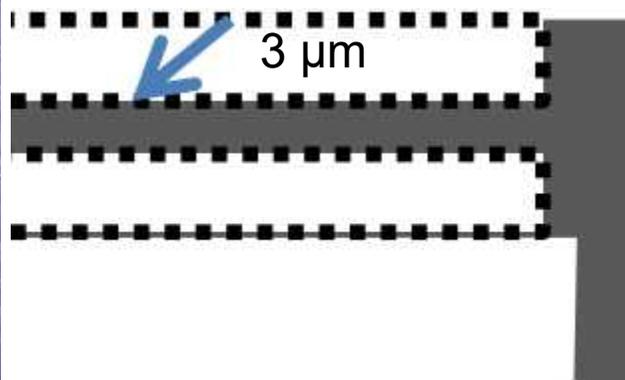


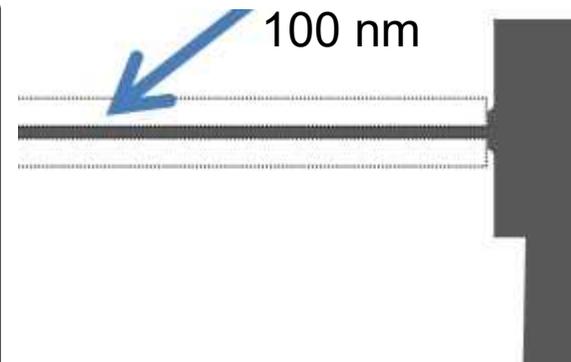
Illustration of FIB



Coarse processing



Middle processing

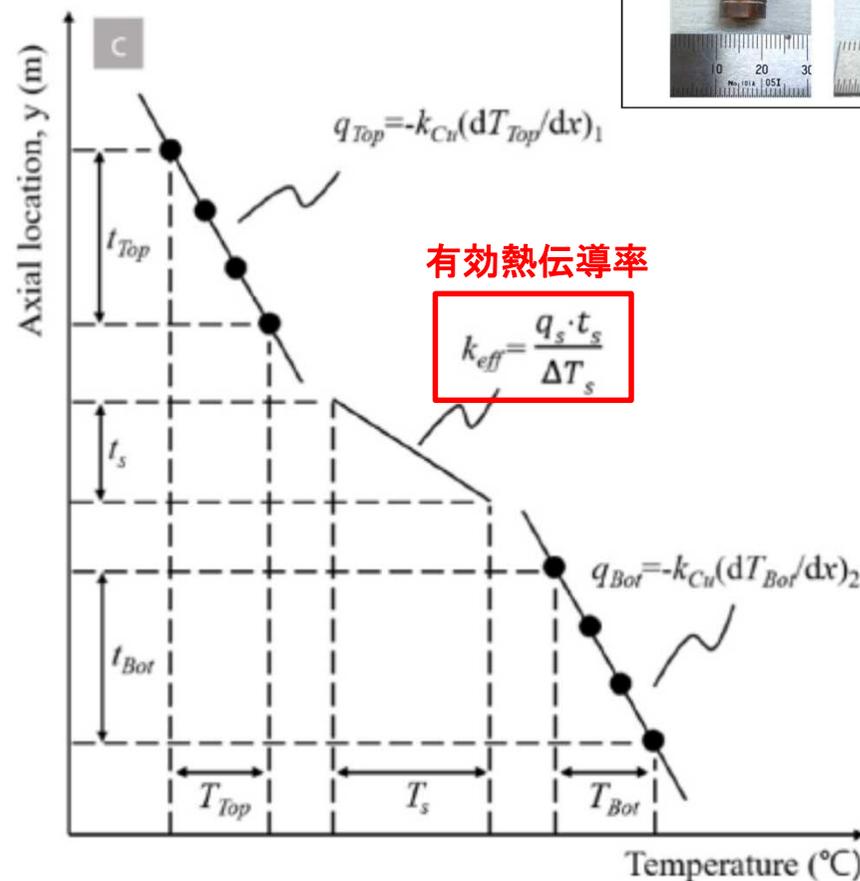
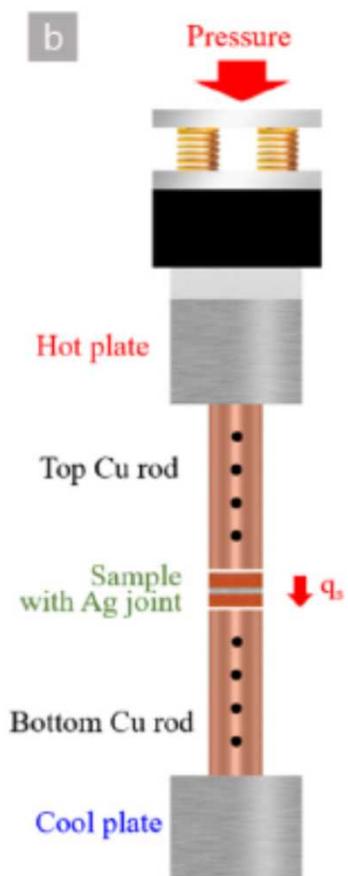
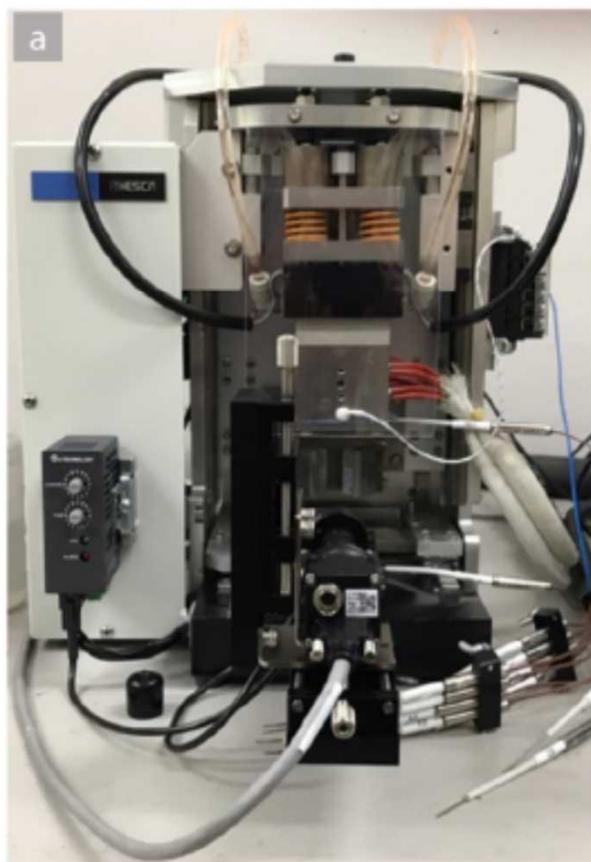
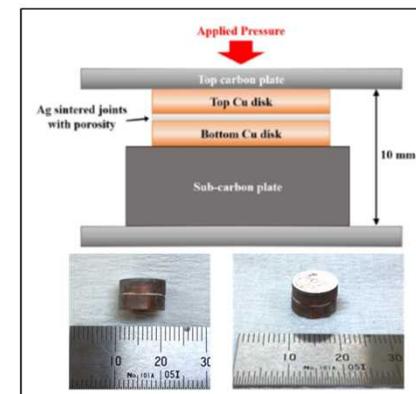


Fine processing

3. 現在進行中のA-STEP産学共同(育成型)での実施概要

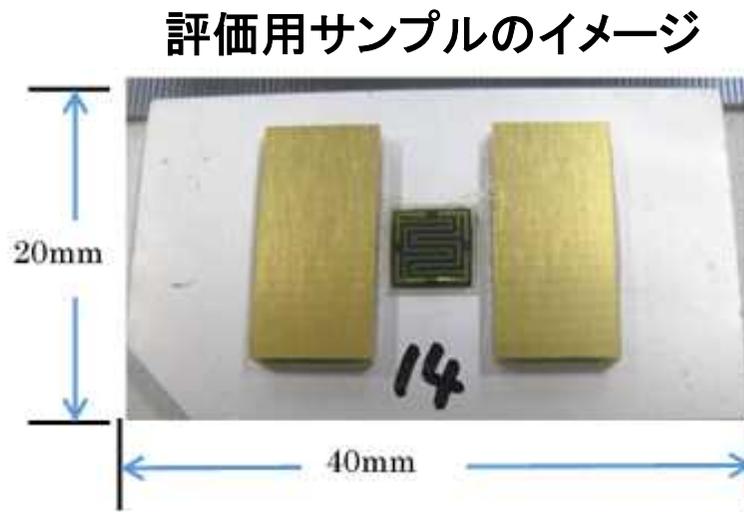
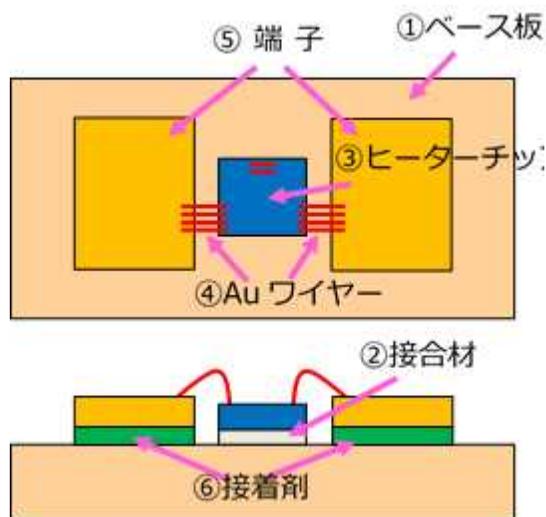
○ 接合直後の接合部放熱特性評価
定常法を用いた接合部放熱特性評価

接合サンプル作製



3. 現在進行中のA-STEP産学共同(育成型)での実施概要

○模擬半導体素子を用いた接合部の接合信頼性評価用サンプル作製



熱抵抗測定のイメージ

T : ヒーターチップ温度
放熱プレート
 T_c : ベース板温度 (Kタイプ貼付型温度センサー)

熱抵抗測定は、一次元放熱経路を持つデバイスの R_{thj-c} 測定法とする。
(JEITA EDR-7336,等参照)

$$R_{thj-c} = (T - T_c) / W$$

T : ヒーターチップ表面温度
測定電流: 10mA
 W : 全損失(負荷電力)
 T_c : ベース板温度

構成材料

①ベース板

種類: Cu-40%Mo
サイズ: 20×40mm 3mm厚

②接合材

種類: マイクロサイズAg粒子

③ヒーターチップ

サイズ: 5×5mm 0.4mm厚

④Auワイヤー

線径: φ25um 6本×3箇所

⑤端子台

サイズ: 12×14mm 1.6mm厚
材質: ガラエポFR-5相当

Cu厚: 35um

表面処理: Ni(3.0um)/Au(0.3um)

⑥接着剤

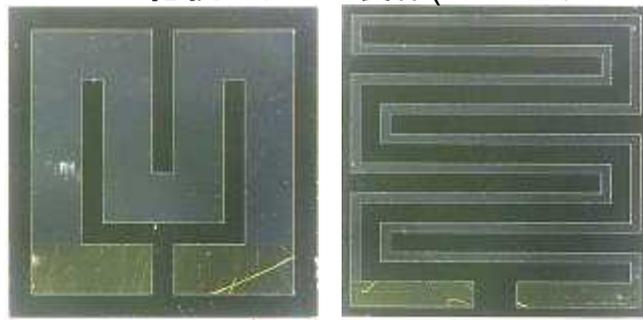
型番: KE-45W

3. 現在進行中のA-STEP産学共同(育成型)での実施概要

○模擬半導体素子を用いた接合部の接合信頼性評価用サンプル作製

(1) 試験材料

抵抗チップの製作(5mm□)



(低抵抗用チップと高抵抗用チップ)

Cuベース板40×20mm



電極板

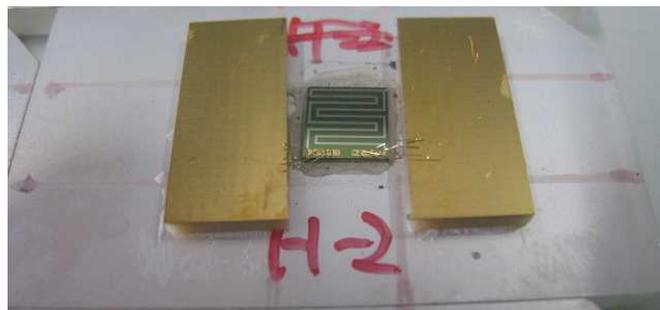


(2) チップと電極の接続

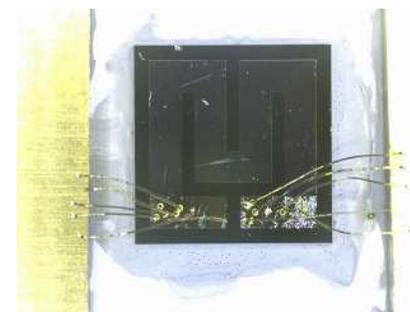


(TPT社製マニュアルタイプ、金線用ボールボンディング装置)

(3) 組立完成品



(4) ボンディング状況





焼結型接合技術のまとめ

鉛などの有害物質を含まない、マイクロサイズAg粒子にセラミック粒子を添加することで耐熱性及び信頼性にも優れた接合材料・プロセスの研究を実施しており、高温はんだ代替の接合材料・プロセスとしての多くの可能性を見出している。

新技術の特徴

1. 接合温度の低温化
2. 接合後の高耐熱化
3. 接合部の高放熱化

想定される用途

1. 高温はんだ代替接合
2. 高耐熱性接合
3. ろう付の低温化

今後の展開

- ・産学連携による共同研究を希望
- ・具体的な応用先のイメージを有する企業
- ・A-STEP産学共同(本格型)への共同申請を検討できる企業



お問い合わせ先

大阪大学 共創機構

イノベーション戦略部門 知的財産室

西浦 正孝 氏

TEL: 06-6105-6262

e-mail: nishiura-masataka@uic.osaka-u.ac.jp