

Bi系高温鉛フリーはんだの 実機実用化達成と展開

広島大学 大学院先進理工系科学研究科

教授 松木 一弘

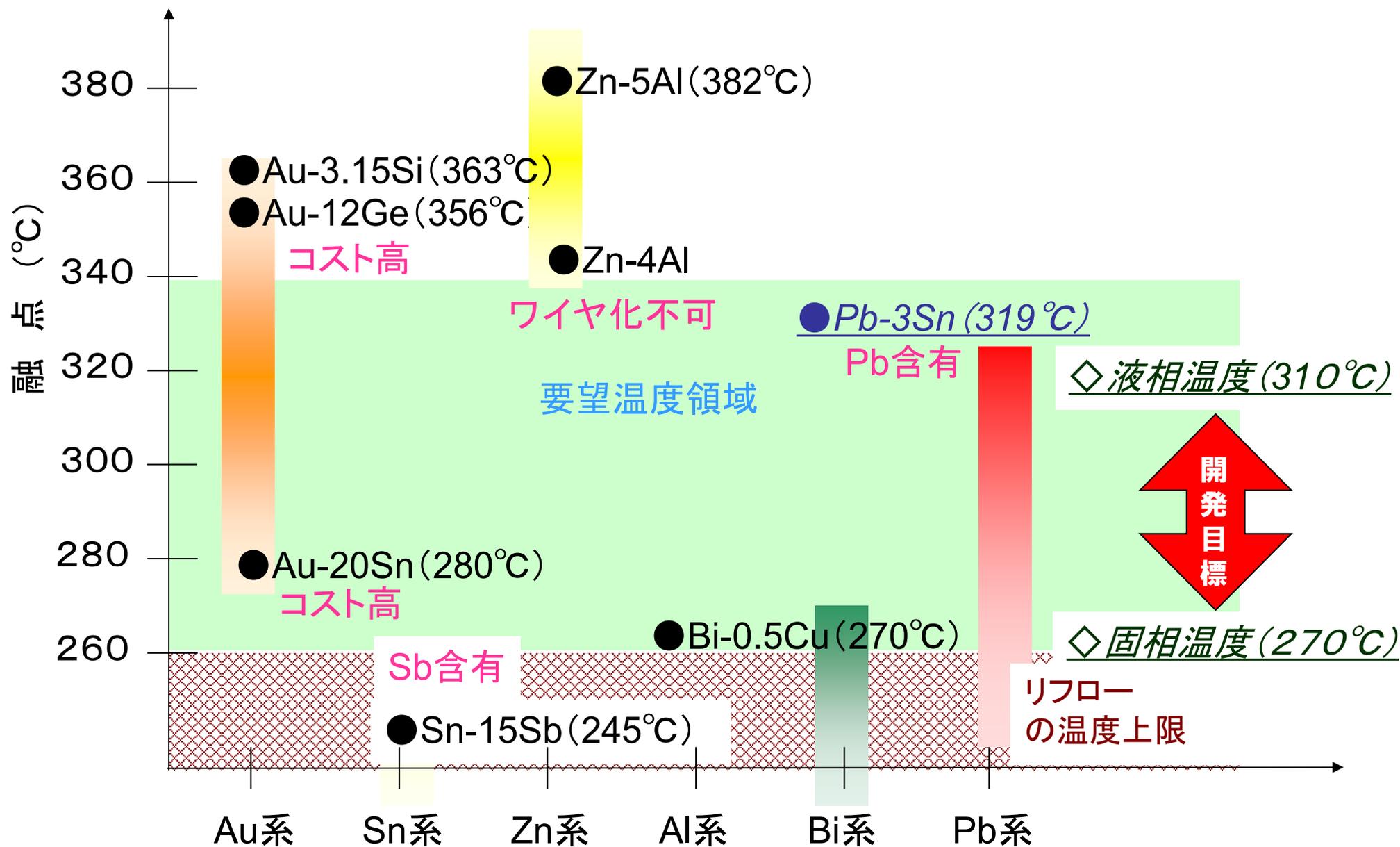
○ 客員教授 末次 憲一郎

2024年11月14日

1. 従来技術とその問題点

既に実用化されている融点 250°C 以上の高温はんだとしては、鉛含有はんだやAuSn等のはんだ材料があるが、前者は鉛含有で地球環境に大きな負荷を与え、また後者は高価格のために一般に使用は困難となっている。またその他、はんだではなくAg焼結ペースト材料等があるが、はんだ材料に比べAuSn同様高価格となっている。現状融点 250°C 以上のはんだとして、現行はんだ同様に使いがってがよく、実用に適したはんだは見当たらない。

1.1 高温鉛フリーはんだ候補金属

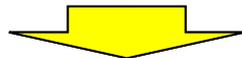


1.2 鉛の拡散被害

◆ 高温鉛はんだ;RoHS規制20年以上適用除外

半導体ダイアタッチ、フリップチップ接続樹同部品内部端子、光学パッケージ、LED、レーザー素子、水晶振動子、車載部品実装、モジュール部品、機密封止、ヒートシンク接続、リードピン接続

高温鉛はんだ市場;世界6000トン～



北海道摩周湖を年間4.5湖汚染する鉛量を地球に拡散

国連ユニセフが2020年7月 子供の3人に一人、約8億人が鉛中毒だと発表

2. 新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の課題であった鉛フリーはんだの高融点化をビスマスをベースとした材料組成で検討し、機械及び熱特性を改良することに成功した。
- 従来ビスマス基材のはんだは延びと柔軟性の点で、中低温領域での使用に限られていたが、延びや柔軟性について現行はんだ同等以上まで性能を改良できたため、高温熱疲労領域で使用することが可能となった。
- 本技術の適用により、ベース材料がビスマスであることから、材料コストが現行はんだと同等となることが期待される。

2.1. 共晶合金に注目した材料開発

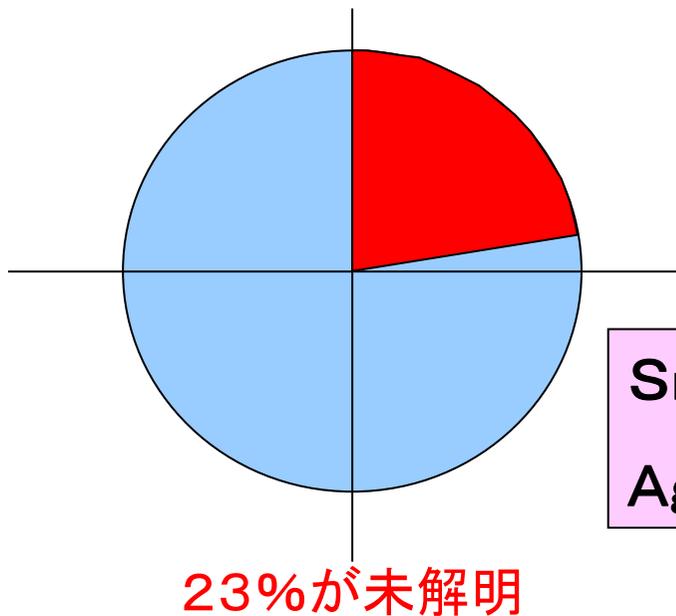
◇ 3元系以上状態図は未解明

◆ 状態図の解明状況

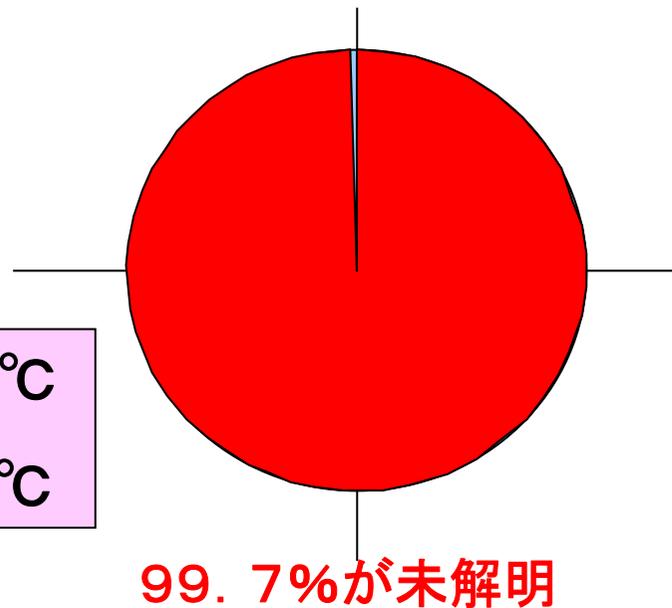
* ほとんどの材料設計に必要な状態図

・ 2元系状態図: 171種類

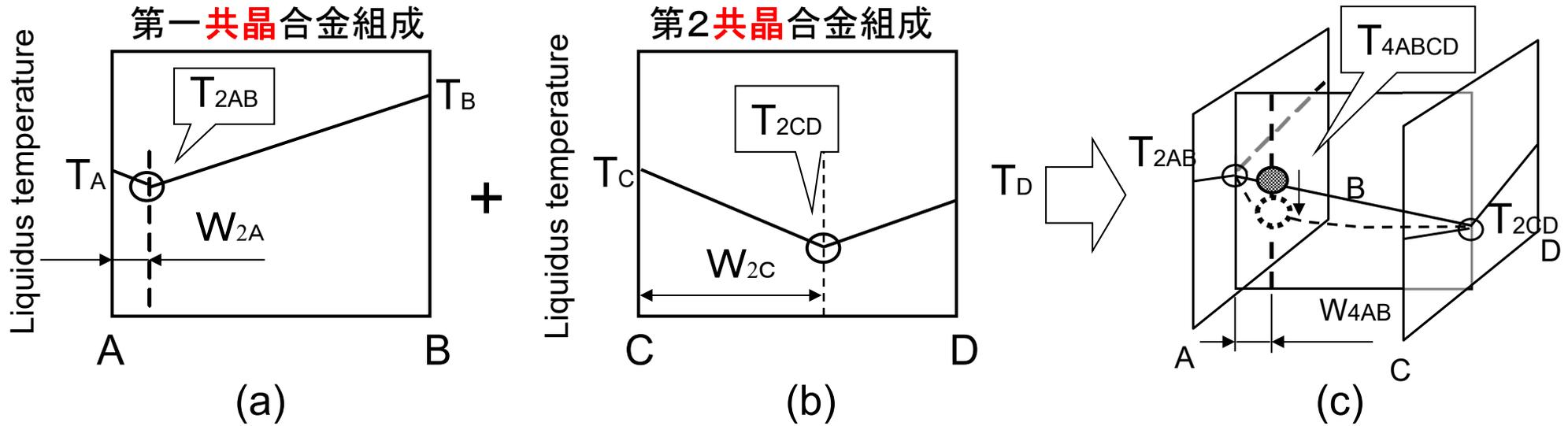
・ 3元系状態図: 2,907種類



Sn; 232°C
Ag; 962°C



2.2 非平衡1次元振動子理論による液相温度設計



4元系共晶合金システム

◆ 4元成分での液相温度の実測値から導かれた式 ; $T_{4ABCD} - T_{2CD} = W_{4ABCD}(T_{2AB} - T_{2CD})$

◆ 非平衡ファクター Nc を用いた1次元振動子モデルによる熱力学理論方程式;

$$T_{4ABCD} - T_{2CD} = W_{4ABCD} \left(\frac{N}{Nc} \right) [(T \cdot e_0 / \xi_m Nc_0) J - (T \cdot e_0 / \xi_m \cdot Nb \cdot J)]$$



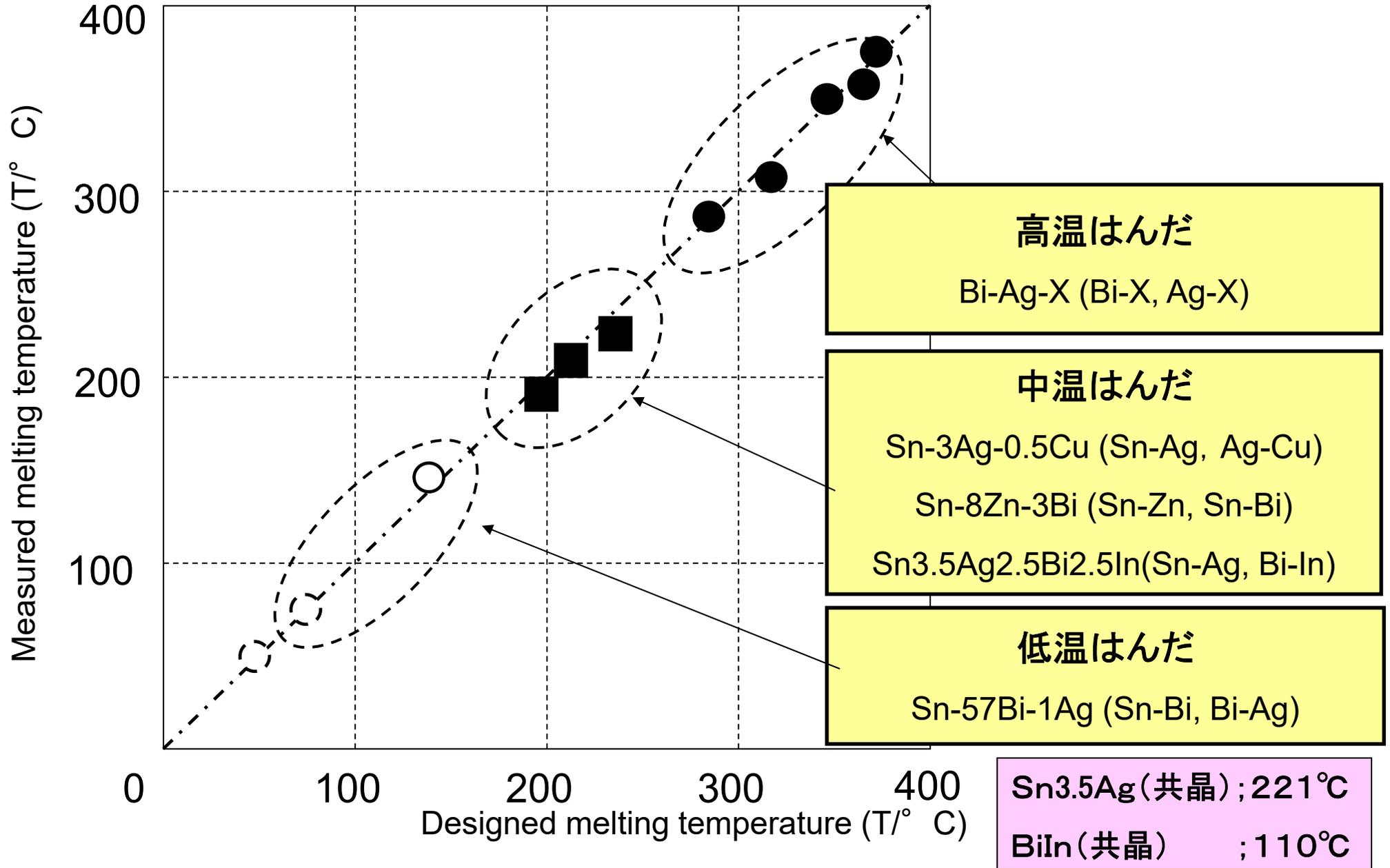
1次元振動子モデル

$$= W_{4ABCD} \left(\frac{N}{Nc_0} \right) [(Na / Nc_0)(T_{2AB} - Ts) - (T_{2CD} - Ts)]$$

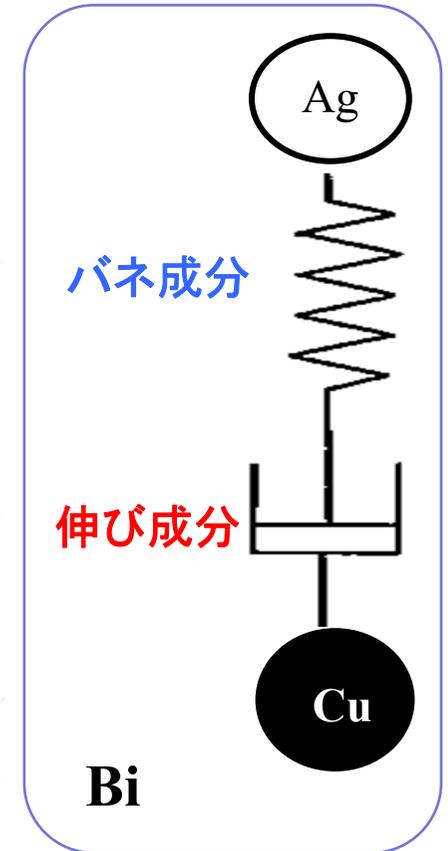
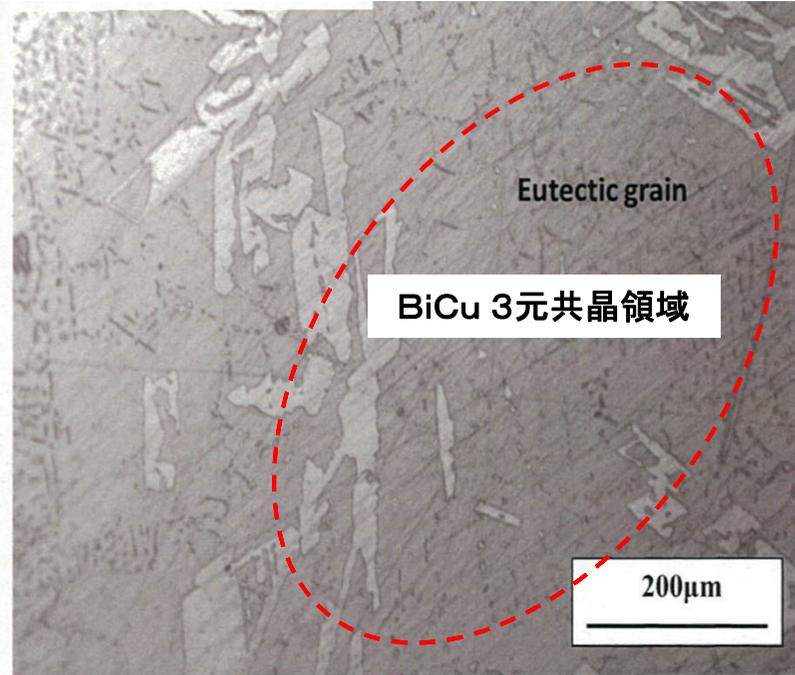
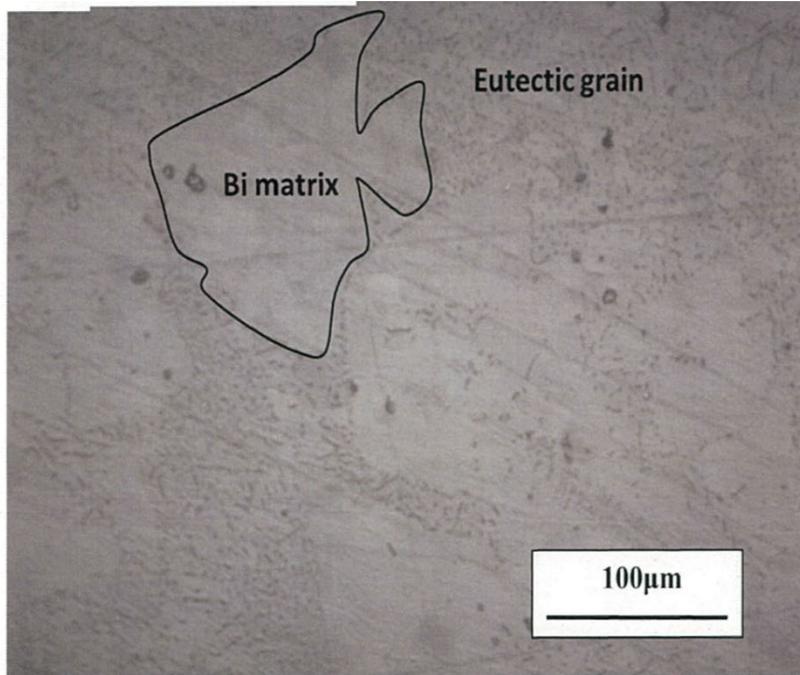
$$= \alpha W_{4ABCD} [T_{2AB} - T_{2CD}]$$



2. 3. 液相温度の実験値と計算値の対応



2. 4 開発材料の断面組織



Agの針状結晶が弾性率向上に影響を与えている

3. 想定される用途

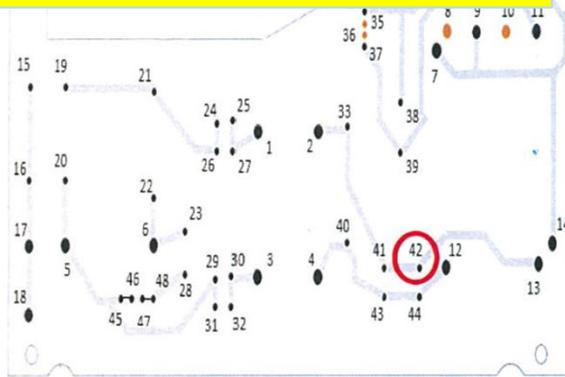
- 本技術の特徴を生かすためには、これまで高温鉛はんだが使用されてきたレーザー素子、半導体ダイアタッチ材、車載部品等の製造に適用することが重要である。これによって環境負荷低減の大きなメリットが得られると考えている。
- 上記以外に、サーキュラーエコノミー推進への効果が得られることも期待される。
- また、達成された機械・熱特性に着目すると、太陽光発電や風力発電といった分野や用途に展開することも可能と思われる。

4. 実用化に向けた課題

- 現在機械及び熱特性については、一般家電製品の高温鉛はんだ代替が可能なところまで開発が進展した。しかしながら、さらに車載製品や半導体製品等に向けた高信頼性対応に関しては未解決である。
- 今後熱衝撃特性等の信頼性確保のための実験データを取得し、車載部品や半導体製品等に不可欠な高信頼性品質に適用していけるよう改良を行っていく。
- さらなる実用化に向けて、信頼性品質精度を車載部品及び半導体部品レベルまで、向上できるように技術確立していく必要がある。

4.1 ヒートサイクル試験結果

150サイクル後
(-50°C~+150°C)



高温鉛フリーはんだ A



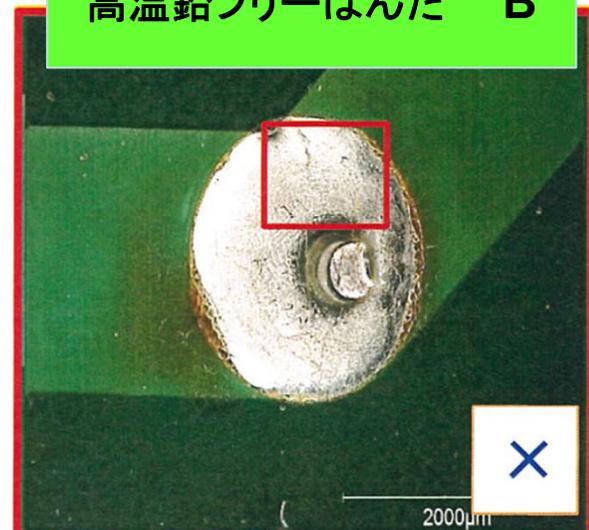
高温鉛フリーはんだ B



現行鉛フリーはんだ
(Sn3Ag0.5Cu)



高温鉛はんだ(Pb-20Sn)



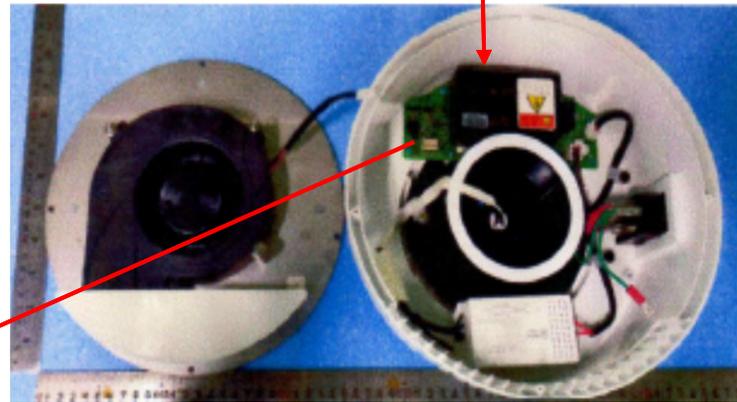
鉛はんだ(Pb-38Sn)

4.2. 開発実用化の一事例

◇ コロナ殺菌UVクリーナにBi系高温鉛フリーはんだで実用化



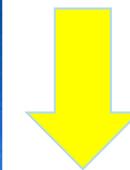
サイクロン式UV除菌装置



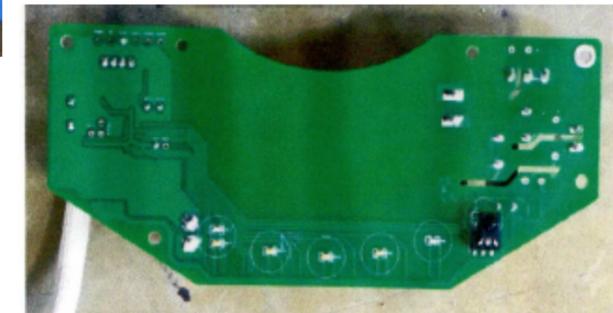
電源基板



電源ボックス
中部品



電源基板搭載電源ボックス
中部品が基板接合部と密接
しており加熱故障の危険性



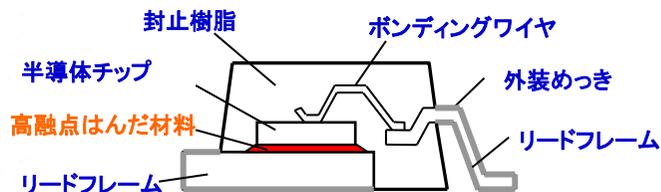
高温鉛フリーはんだを使用

2021年12月から世界初高温鉛フリーはんだ(4元系)
を用いて電源基板のはんだ接合に使用、実用化を開始

5. 企業への期待

- 半導体ダイボンド材対応未解決の大面積薄シート形成（厚み100 μ 以下、幅10センチ以上）については、はんだ材料の特殊な加工方法により克服できると考えている。
- 車載製品における高品質接合の技術を持つ企業やパワーエレクトロニクス企業との共同研究を希望している。
- また鉛フリーダイボンド材を開発中の企業、環境対応SiC分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が極めて有効と思われる。

5.1 SiC搭載次世代自動車への応用



■ SiCの課題; ヒートサイクルによる劣化防止

- ・Si -40~150°C ($\Delta T=190^{\circ}\text{C}$)
- ・SiC -40~250°C ($\Delta T=290^{\circ}\text{C}$)

・各部材の熱膨張係数の差による劣化防止が必要

◇ 車両電動化により必要となる自動車部品

		アイドリング ストップ	制動回生	HV	PHV	EV
モータ	空調用電動ウォーターポンプ	○	○	○	○	◎
	エンジン冷却用電動ウォーターポンプ	○	○	○	○	
	インバータ冷却電動ウォーターポンプ			◎	◎	◎
	電動オイルポンプ	○	○			
	ブレーキ負圧用真空ポンプ			◎	◎	◎
	空調用電動コンプレッサ			◎	◎	◎
	ジェネレータ	△	◎	◎	◎	
車両電動モータ			◎	◎	◎	
インバータ& コンバータ	DC-DCコンバータ	○	◎	◎	◎	◎
	車両駆動モータ用インバータ				◎	◎
	ワイヤレス充電器				◎	◎
	車載AC100V電源	○	○	○	○	○
	車両充電器	△	◎	◎	◎	◎
電池	2次電池バッテリーパック	○	○	○	○	○
空調	電動ファンPWM制御ユニット			○	○	○
	排熱回収装置			○	○	
	シートウォーマー、輻射熱暖房部品他			○	○	○
	ヒートポンプ式エアコン			○	○	○
エバポシステム	密閉タンク他			◎	◎	
トランスアクスル	遊星ギアユニット			◎	◎	
その他	パワーケーブル		△	◎	◎	◎

△; 従来のオルタネータや鉛バッテリー、電源ケーブルを特殊化したもの、○; 燃費改善上あった方がいい(AC100V電源は、社会的要求)、◎; 必要

6. 企業への貢献、PRポイント

- 本技術は材料設計による材料特性の予測が可能のため、各企業が所望する材料特性のスムーズな材料開発と材料提供が可能になる。製品の早期実用化が可能となるため、より企業の事業化促進に貢献できると考えている。
- 本材料技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで“Know – Why”が明らかになり、材料特性を理解する科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本格導入にあたっては、材料設計や接合技術指導等について実証を伴うテクノスクールの開設を検討中であり、企業への早期対応のための実用化協力を図っていく。

7. 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : はんだ材料及びはんだ接合体
- 出願番号 : 特願2013-250251
- 出願人 : 広島大学
- 発明者 : 松木一弘、末次憲一郎

8. 産学連携の経歴

- 2021年- ; ケイ・マック社との共同実用化推進
- 2022年 ; 令和4年度広島大学一産総研との
マッチング研究支援事業
『パワーエレクトロニクスの実装に向け
高温はんだに関する研究』
- 2023年 ; 令和5年度広島大学一産総研との
マッチング研究支援事業
『高温はんだシートのパワーエレ用途適用
に関する研究』

9. お問い合わせ先

広島大学

産学連携部 産学連携部門

T E L 082-424-4302

e-mail techrd@hiroshima-u.ac.jp