

戦略的省エネルギー技術革新プログラム
フェーズ名：実用化開発＋実証開発

ナノソルダー実用化による 製造プロセス省エネ化技術の開発

プロジェクト実施者：パナソニック ホールディングス株式会社
プロジェクト事業実施期間：2018年7月～2022年2月



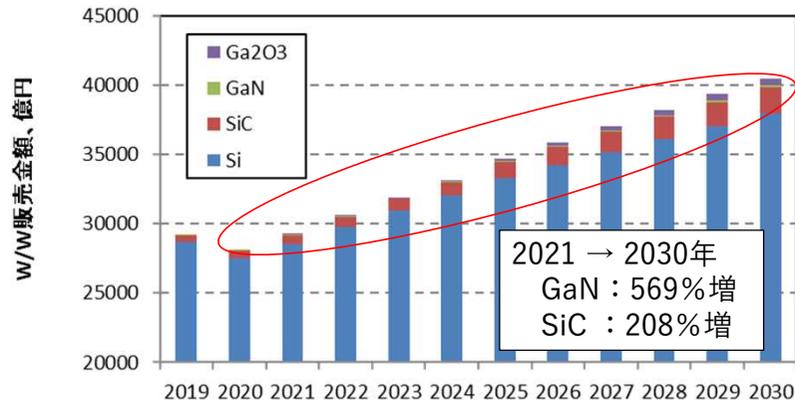
1-1. 研究開発の背景

産業界を支えるパワー半導体

- 産業機器
- 大型白物家電
- 自動車
- 鉄道
- 新エネルギー

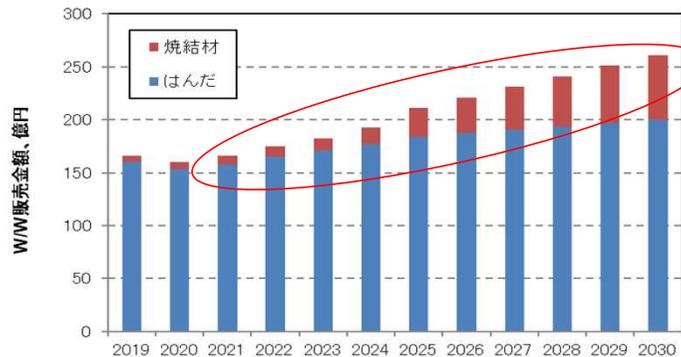
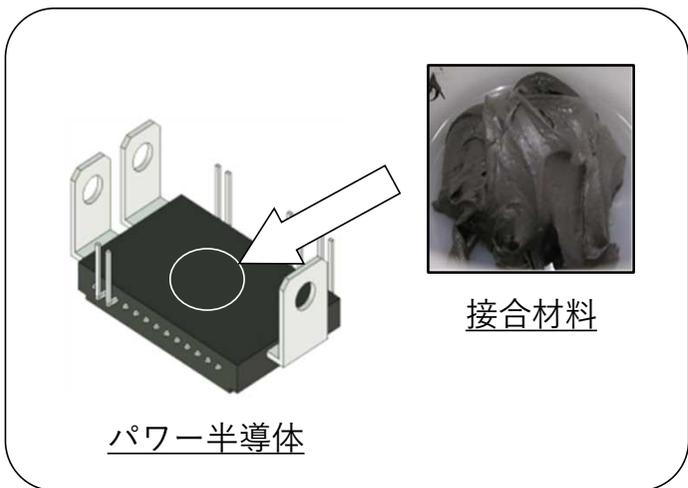
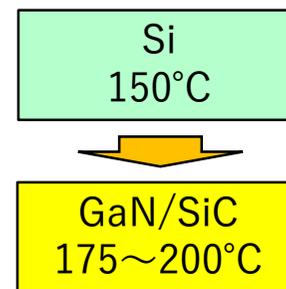
パワー半導体の高機能化

スイッチング損失の小さいGaN/SiCが急増



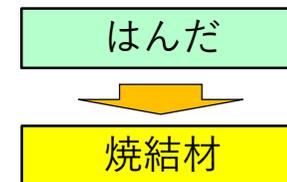
【出所：富士経済】

接合部温度 (T_j) が上昇



【出所：富士経済】

接合材料の高耐熱化



市場規模
61億円 (2030)

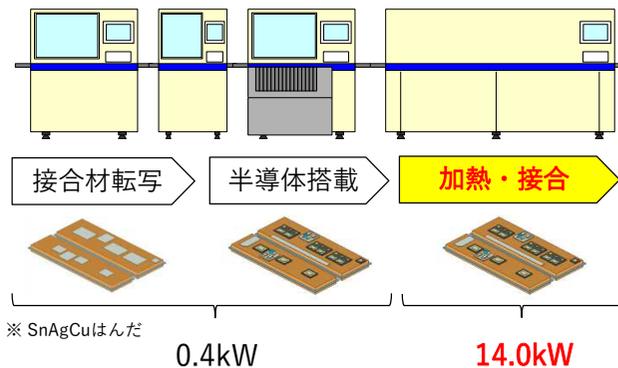
パワー半導体の高機能化に伴い焼結材の市場が拡大

目的

	Agナノ焼結材		AuSn		PbSn	
耐熱温度(°C)	200	○	175	△	175	△
接合温度(°C)	250	○	310	△	340	△
保持時間(min)	20	×	≦ 1	○	≦ 1	○
合計時間(min)	45	×	5	○	5	○
長所	高耐熱性		短時間接合		短時間接合	
短所	長時間接合		材料が高価 耐熱性		耐熱性 毒性(鉛)	

焼結材料は高温・長時間加熱が必要

パワー半導体製造プロセスの消費エネルギー



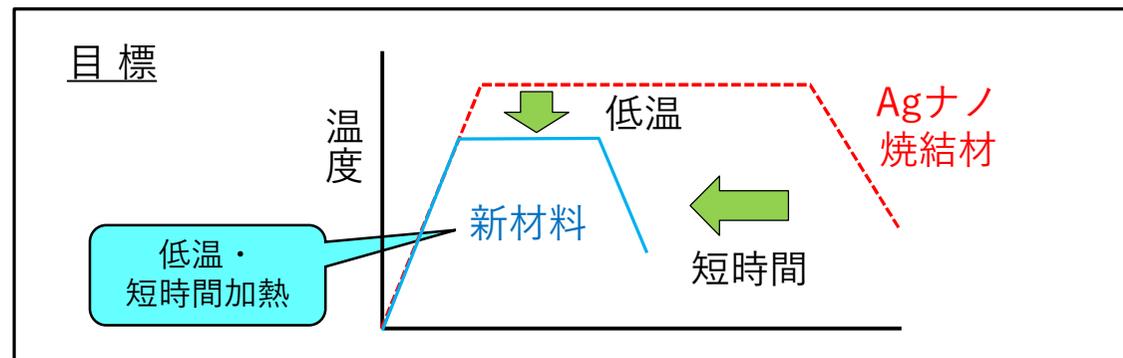
加熱炉の消費エネルギー
はんだ 14.0kW
↓
焼結材 131.7kW

9.4倍に増加

エネルギー消費量は加熱炉が97%

省エネルギー化には低温・短時間加熱の新たな接合材料が必要

目標





1-2.研究開発の目的、目標

全体目標 (主目標)	達成目標 (値) と設定理由	開発当時の 技術レベル
ナノ溶剤接合材料の実用化による製造プロセスの消費エネルギー削減	<ul style="list-style-type: none">・低温・短時間接合を実現する複合材料設計・ナノ溶剤合成設備のスケールアップ	<ul style="list-style-type: none">・固相拡散 250°C/45min・生産性 0.02kg/day
研究課題目標	達成目標 (値) と設定理由	開発当時の 技術レベル
(1)短時間焼結ナノ溶剤接合材料	<ul style="list-style-type: none">・耐熱性 1000cyc破断1/3以下・加熱保持 $\leq 10\text{min}(200^\circ\text{C})$・ペースト粘度変化 30%以内 (3ヶ月後)✓製造プロセスの消費エネルギー削減にはナノ溶剤ペーストの焼結時間の短縮が必要	<ul style="list-style-type: none">・SnSbとSnBiナノ溶剤ペーストのラボスケールでの接合検証を完了
(2)高品質ナノ溶剤合成技術	<ul style="list-style-type: none">・設計合金以外の熱反応なし・O含有率 $\leq 5000\text{ppm}$・粒径分析精度 $\geq 95\%$ (オフライン)✓接合品質確保にはナノ溶剤の均質性が必要	<ul style="list-style-type: none">・ラボスケールのナノ溶剤合成をグラム単位で実施
(3)ナノ溶剤量産技術	<ul style="list-style-type: none">・材料合成コスト算出・生産性 20kg/day・in-situ分散性分析精度 $\geq 95\%$✓省エネ目標達成にはナノ溶剤の市場拡大が必要	<ul style="list-style-type: none">・ラボスケールのナノ溶剤合成装置を保有

2-1.研究開発体制

技術開発責任者
古澤 彰男

パナソニックホールディングス(株)
マニュファクチャリングイノベーション本部

1. 短時間焼結ナノ溶剤接合材料の開発
 - ・ナノ溶剤の耐熱性向上技術の開発
 - ・ナノ材料の短時間焼結技術の開発
 - ・短時間焼結ナノ溶剤ペーストの開発
2. 高品質ナノ溶剤合成技術の開発 (項目3に適用)
3. ナノ溶剤量産技術の開発
 - ・ナノ溶剤合成設備の開発

パナソニックグループ
材料製造事業部

・材料製造、材料販売 (※1)

(※1) 実用化開発フェーズ3年目から

共同研究

東北大学

2. 高品質ナノ溶剤合成技術の開発
 - ・多元系ナノ溶剤合成技術の開発
 - ・高活性ナノ溶剤合成技術の開発
3. ナノ溶剤量産技術の開発
 - ・高生産性合成技術の開発

大阪教育大学

1. 短時間焼結ナノ溶剤接合材料の開発
 - ・ナノ溶剤/ペーストの物性評価
2. 高品質ナノ溶剤合成技術の開発
 - ・微細組織評価とスクリーニング技術の開発
3. ナノ溶剤量産技術の開発
 - ・in-situ合成プロセス分析技術の開発

秋田大学

1. 短時間焼結
ナノ溶剤接合材料の開発
 - ・耐熱性向上
 - ・物性評価技術

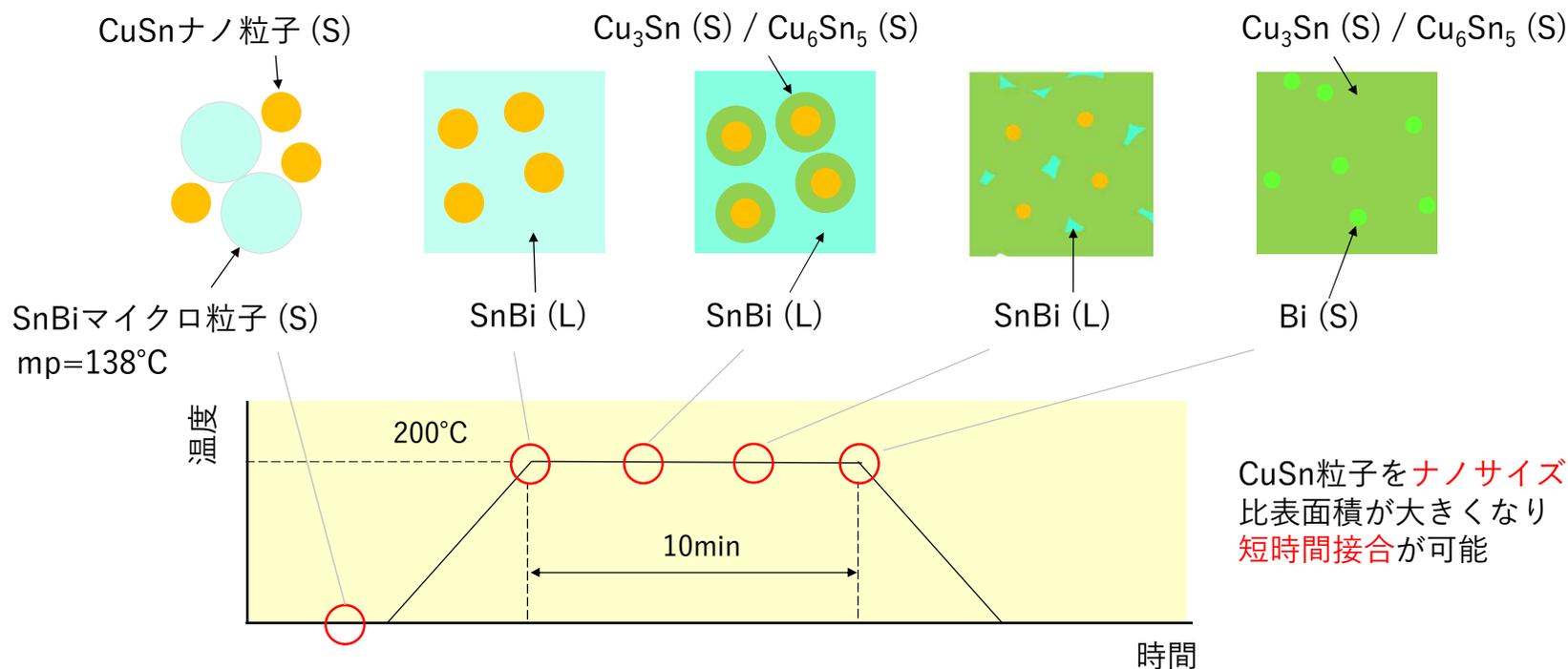
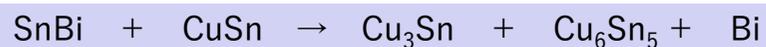
芝浦工業大学

3. ナノ溶剤量産技術の開発
 - ・合成設備開発
 - ・高生産性合成

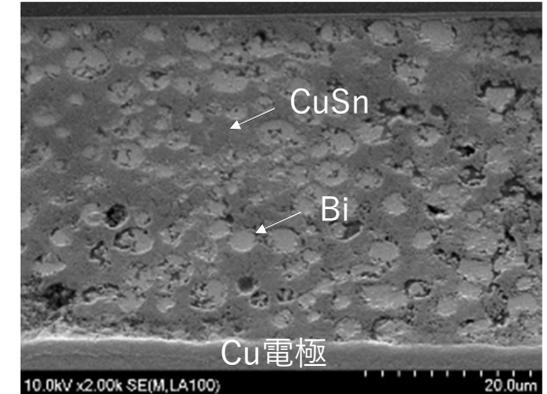
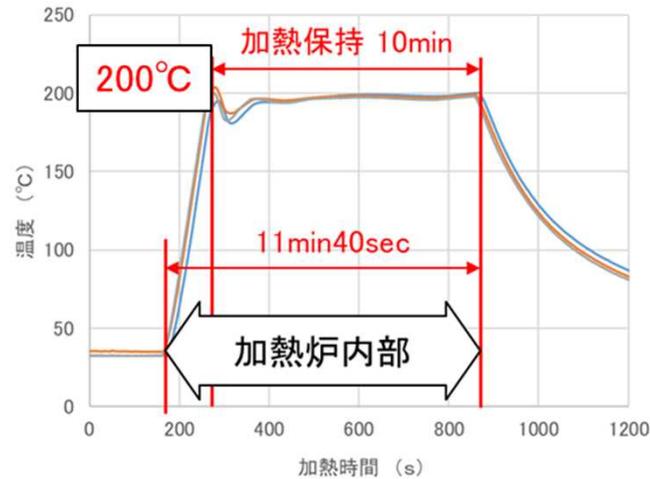
研究課題① 短時間焼結ナノソルダー 接合材料

低融点金属と高融点金属を複合化した材料を液相拡散することで低温・短時間プロセスを実現

ナノソルダー反応プロセス

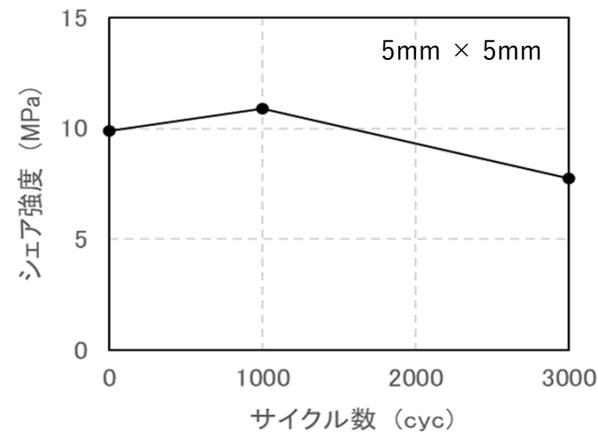


SnBi粒子が138°Cで溶融し、CuSn粒子の液相拡散によって高融点相を形成



CuSnとBiの海島構造で接合

パラメータ	水準
はんだ	SnBiマイクロ粒子 + CuSnナノ粒子
基板	DBC基板 (Cu/Si ₃ N ₄ /Cu)
部品	Siチップ (Ni/Au) 、5mm × 5mm
印刷厚み	100 μm
加圧	0.49N
試験条件	-40°C/200°C : 1000、3000サイクル 200°C : 1000、3000h



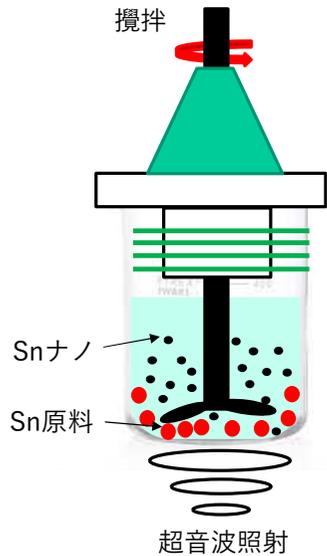
温度サイクル試験

条件： -40°C/200°C、3000cyc
結果： 破断長さ1/3以下 (15%)

研究課題② 高品質ナノソルダー合成技術

省エネルギーと高品質を両立した金属ナノ粒子製造を実現

■ 超音波合成装置

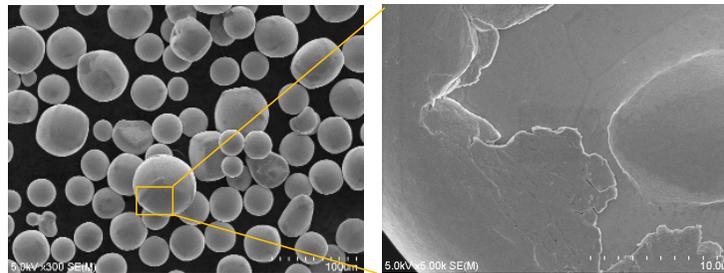


造粒時の省エネも可能

エネルギー原単位	
高周波プラズマ法	0.1 kW/g
超音波法	0.062 kW/g

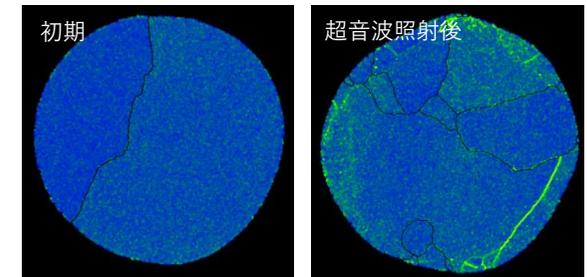
■ ナノ粒子形成メカニズム

超音波照射後の原料粒子表面状態

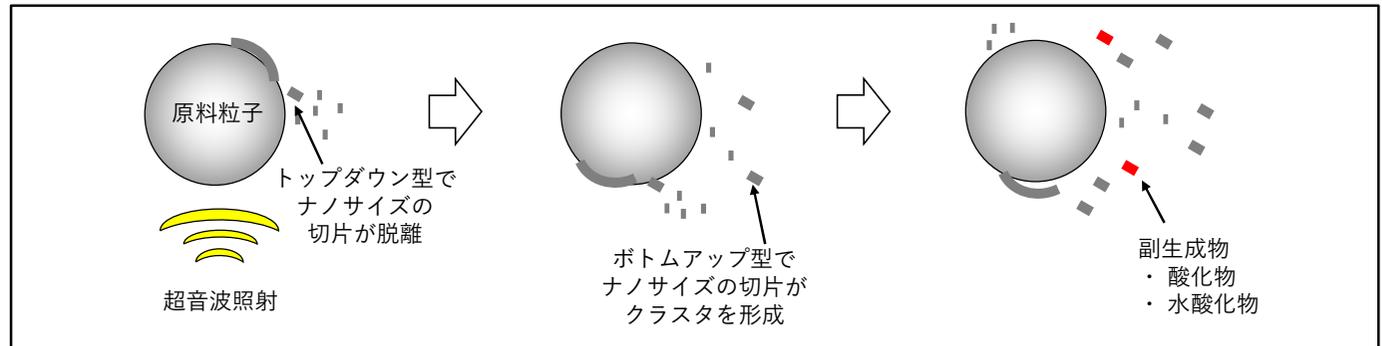


超音波照射で粒子表面が剥離

原料粒子断面のKAMマップ



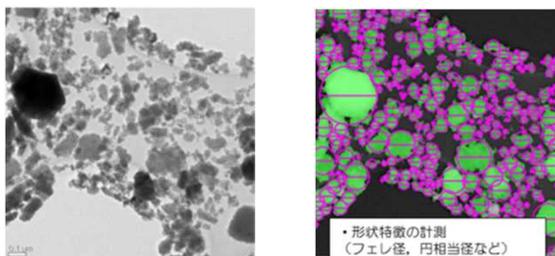
超音波照射で粒子表面に塑性ひずみ蓄積



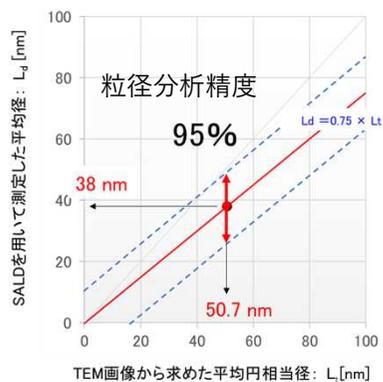
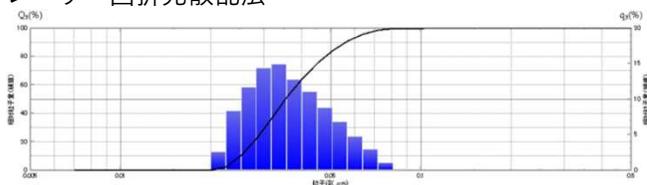
原料粒子表面から脱離した微細切片がクラスタ化し、トップダウン型でナノ粒子を形成

■ オフライン粒径測定精度

- ・ TEM画像解析法



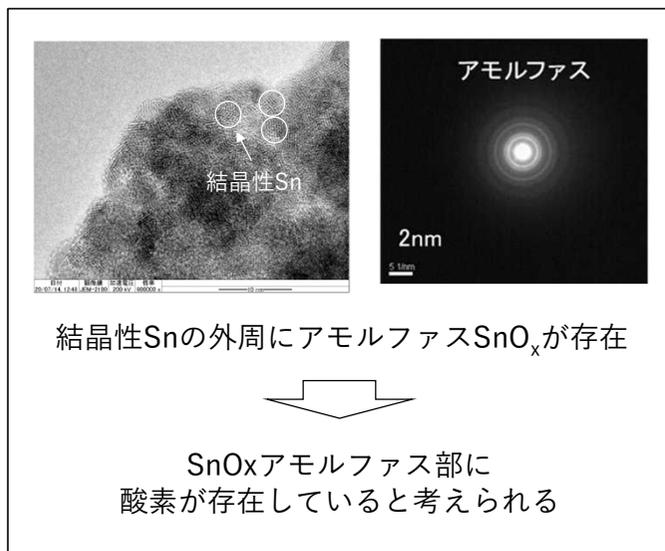
- ・ レーザー回折光散乱法



TEM画像解析
4546粒子

レーザー回折
測定15回

■ Snナノ粒子構造と酸素含有率

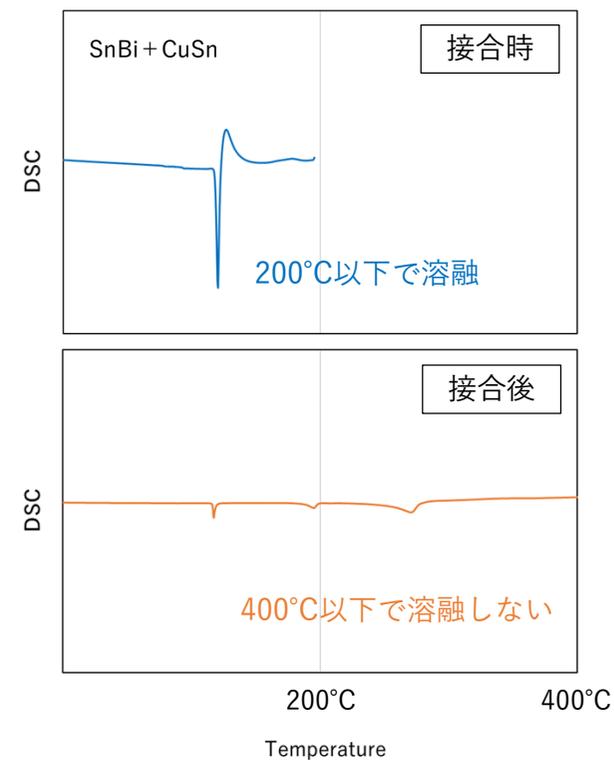


熱重量測定で各成分の含有比率を定量化

酸素含有率は3185~4937ppm

Snナノ粒子単体での熔融性は良好

■ ナノソルダの熱物性

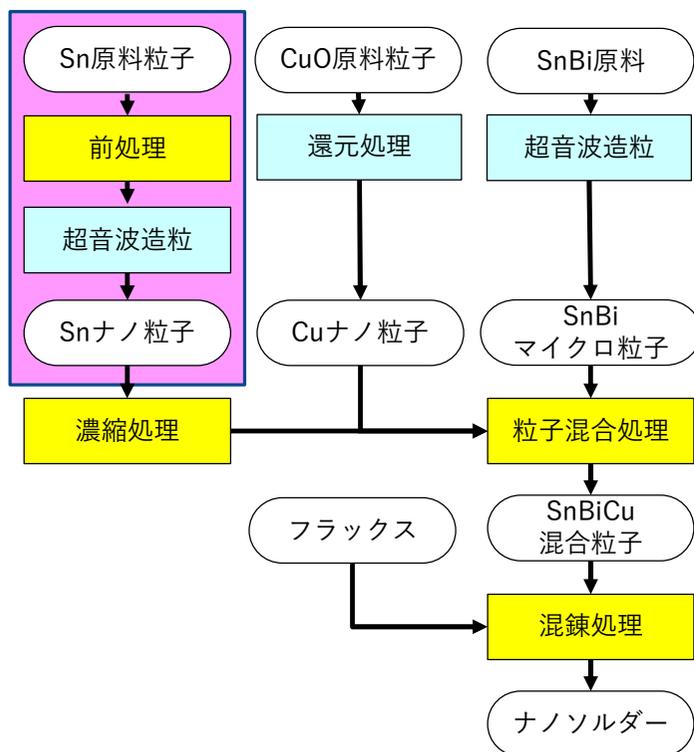


200°C以下で接合可能であり
接合後は400°C以下で再熔融しない

研究課題③ ナノソルダー量産技術

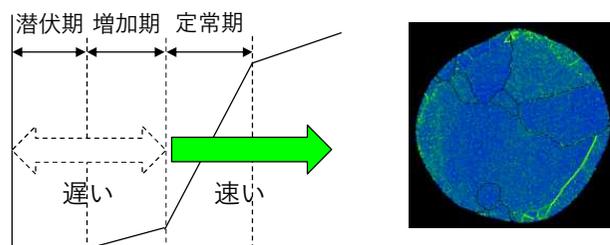
ナノソルダーの実用化に向けて生産性確保と製造コスト試算を実施

■ 製造プロセス概略図



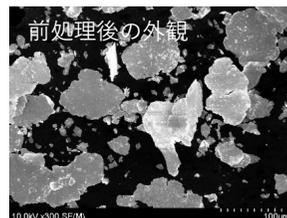
■ Snナノ粒子の収量向上

キャビテーションエロージョンのメカニズム

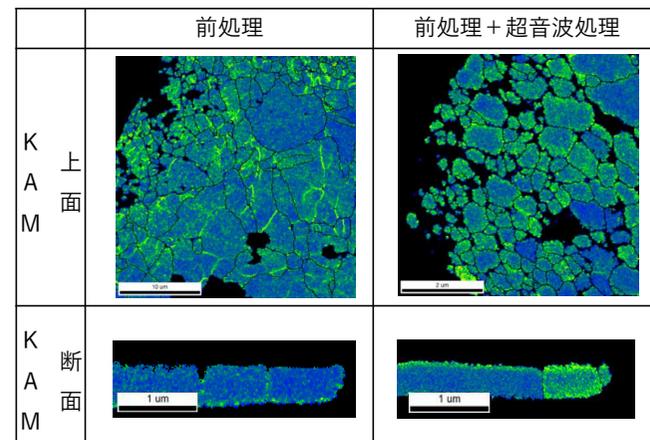


- ① 潜伏期と増加期を短縮
- ② エロージョン面積拡大

原料の前処理でエネルギーを加えることで、
① エネルギー蓄積、 ② 比表面積拡大



エロージョンは表面から進行



検証設備による収量評価

	未処理	前処理あり
収率 (%)	1.5	42.3
収量 (g/day)	0.71	19.9

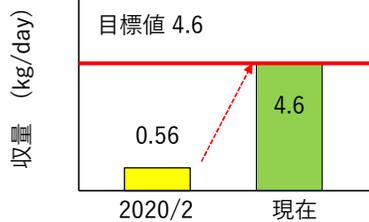
ナノ粒子の収量を **28倍**に向上

原料の前処理工程を追加することで目標収量を達成

ナノソルダー生産装置を新規開発

■ ナノ粒子超音波造粒装置

固体金属に超音波キャビテーションを作用させて粒子形成

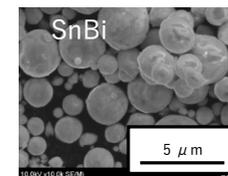
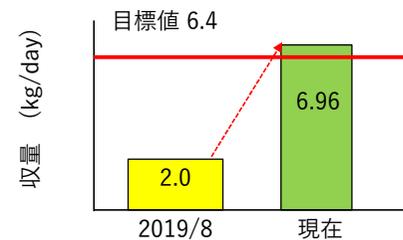


in-situ分析装置搭載
 粒径を緩和時間で検出
 分散性分析精度 $\geq 95\%$

原料の前処理と超音波出力の向上で収量改善

■ マイクロ粒子超音波造粒装置

液体金属に超音波キャビテーションを作用させて粒子形成



10 μm 以下の
 粒子を
 高収率で生産可能

超音波照射構造の改良で収量改善

ナノソルダー **20kg/day**の生産性を確保する造粒設備を製作



3-1.研究開発成果

全体計画	最終目標 (値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
ナノ溶剤接合材料の実用化による製造プロセスの消費エネルギー削減	<ul style="list-style-type: none">低温・短時間接合を実現する複合材料設計ナノ溶剤合成設備のスケールアップ	<ul style="list-style-type: none">固相拡散 250°C/45min生産性 0.02kg/day	<ul style="list-style-type: none">○固液拡散 200°C/10min○生産性 21.8kg/day
個別研究項目	最終目標 (値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
(1) 短時間焼結 ナノ溶剤接合材料	<ul style="list-style-type: none">耐熱性 1000cyc破断1/3以下加熱保持 $\leq 10\text{min}$(200°C)ペースト粘度変化 30%以内	<ul style="list-style-type: none">SnSbとSnBiナノ溶剤ペーストのラボスケールでの接合検証を完了	<ul style="list-style-type: none">○3000cyc破断1/3以下 (15%)○加熱保持 10min (200°C)○粘度変化 12% (3ヶ月後)
(2) 高品質 ナノ溶剤合成技術	<ul style="list-style-type: none">設計合金以外の熱反応なしO含有率 $\leq 5000\text{ppm}$分析精度 $\geq 95\%$ (オフライン)	<ul style="list-style-type: none">ラボスケールでのナノ溶剤合成をグラム単位で実施	<ul style="list-style-type: none">○設計合金以外の熱反応なし○O含有率 4937ppm以下○分析精度 95%以上
(3) ナノ溶剤量産技術	<ul style="list-style-type: none">材料合成コスト算出生産性 20kg/dayin-situ分析精度 $\geq 95\%$	<ul style="list-style-type: none">ラボスケールのナノ溶剤合成装置を保有	<ul style="list-style-type: none">○原価試算完了 (20kg/day)○生産性 21.8kg/day○in-situ分析精度95%以上



3-1.研究開発成果

特許権利化・出願状況

		権利化件数	出願件数
基本IP	国内	0	2
	外国	0	2
周辺IP	国内	0	3
	外国	0	0

公知化状況

日付	学会名	発表テーマ
2018/10	Ultrasonics Snonochemistry	Formation of particle of bismuth-indium alloys and particle diameter by ultrasonic cavitation
2021/6	電子情報通信学会	懸濁粒子が存在する環境での反射型光プローブマイクロ波の適用可能性
2021/8	日刊工業新聞	銅ナノ粒子を50倍速で合成する技術
2021/8	日本機械学会	Cu ₃ Snによる次世代パワー半導体実装時の熱変形解析
2021/8	日本機械学会	複合材料型銅線試験片によるCu ₃ Snの繰返し変形特性評価
2021/8	日本セラミックス協会	固-液系反応場を用いた分散剤フリーCuナノ粒子の高スループット合成
2022/6	パナソニック HEADLINES	低温プロセスで接合できる耐熱200°Cのナノソルダー接合材料を開発

省エネルギー効果

	2026年		2030年	
	国内	国外	国内	国外
指標A (効果量)	223.7	223.7	223.7	223.7
指標B (導入量)	13	14	288	328
省エネルギー効果量 (k L/年)	0.29万	0.31万	6.44万	7.34万

省エネルギー効果の拡大

