

熱課題解決のための 革新的な要素材料の開発

産業技術総合研究所
電子光基礎技術研究部門
石川 善恵

E-mail: ishikawa.yoshie@aist.go.jp

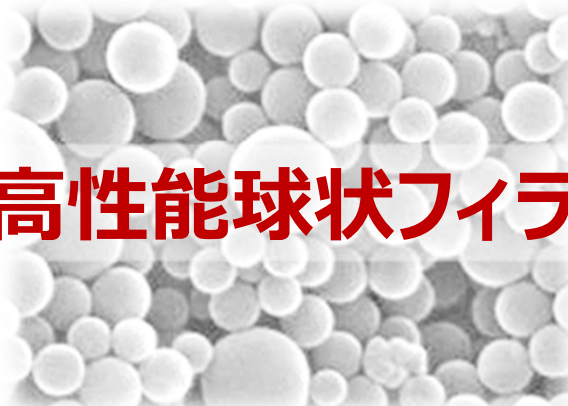
達成すべき技術課題

高熱伝導性・低誘電損失・絶縁性等に優れた材料のサブミクロンサイズで高結晶性（単結晶）かつ球状のフィラーを実現することで、コンポジットおよびデバイスの性能を大幅に向上させる。

自動運転



高性能球状フィラー



ポスト5G



産業用ロボット



基地局



先端半導体



データセンター

高性能サブミクロン球状フィラーは多様な分野で使用されるデバイスの性能向上を実現する要素材料

技術開発の概要

シリカに替わる材料で **高結晶性**かつ**球状**の**サブミクロン**ファイラー粒子製造技術を開発

① 高純度・高結晶性

フォノン散乱の抑制
高熱伝導性・低誘電損失・高絶縁性

② 球状

ファイラー/ポリマー界面面積の低減
成形時の流体抵抗の低減
充填分布が均一・優れた加工性と性能

③ サブミクロンサイズ以下

ミクロンサイズ粒子間の隙間への充填
充填率の向上
デバイスの微細構造化に対応

優れた結晶性と高熱伝導性等を有するサブミクロンサイズ以下の球状粒子を実現することにより、これまで難しかったコンポジットの性能向上と流動性向上による優れた加工性の両立が実現する。

次世代ファイラー材料候補

	熱伝導率 (W m ⁻¹ K ⁻¹)	化学的 安定性	価格
SiO ₂	1.3	◎	○
α Al ₂ O ₃	29	◎	△
h-BN	200 (a軸方向)	○	×
Si ₃ N ₄	27	◎	×
AlN	150	×	×

京セラHP <https://www.kyocera.co.jp/prdct/fc/material-property/property/thermal-conductivity/index.html>

取り組む材料

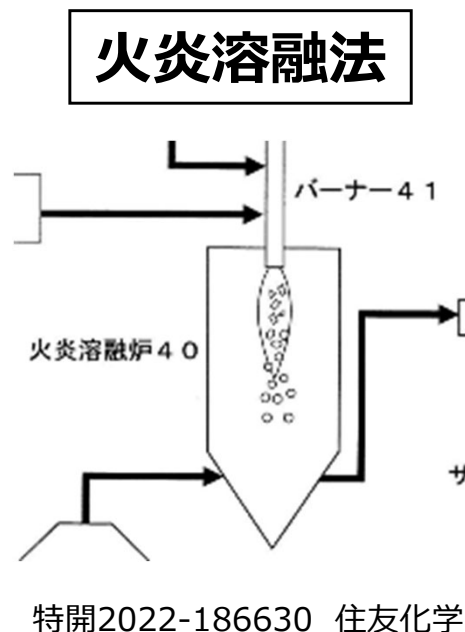
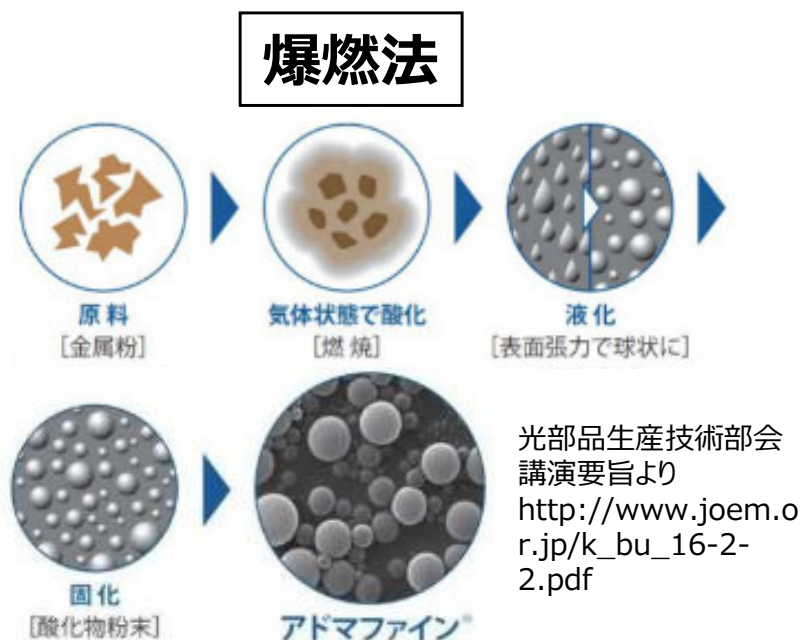
α Al₂O₃ 安価

h-BN 低誘電正接や低熱膨張係数

α Al₂O₃やh-BNの球状化で培った技術をその後Si₃N₄やAlNに拡張

球状粒子製造における既存技術

共通メカニズム：高温環境で熔融液滴化→固化

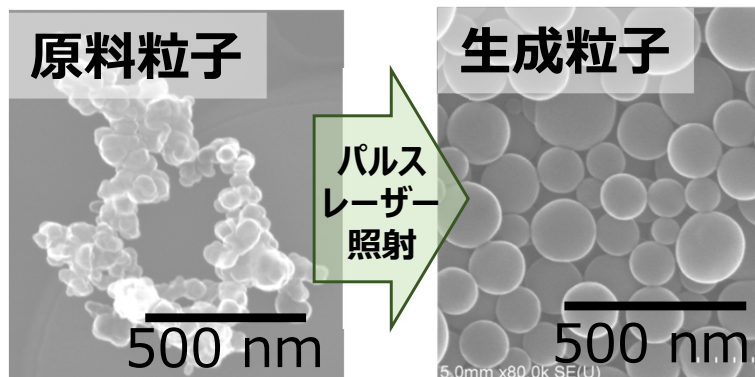


長時間の加熱・冷却プロセス(10^{-2} s ~)・熱的平衡なプロセス

- サブミクロン以下で結晶性の低下や結晶相の制御が困難 (Al_2O_3)
- 昇華性材料の分解 (Si_3N_4 , h-BNなど)
- 酸化反応 (AINなど)

主要な次世代フィラー材料には適用できない

技術課題解決手段としての液中レーザー溶融法



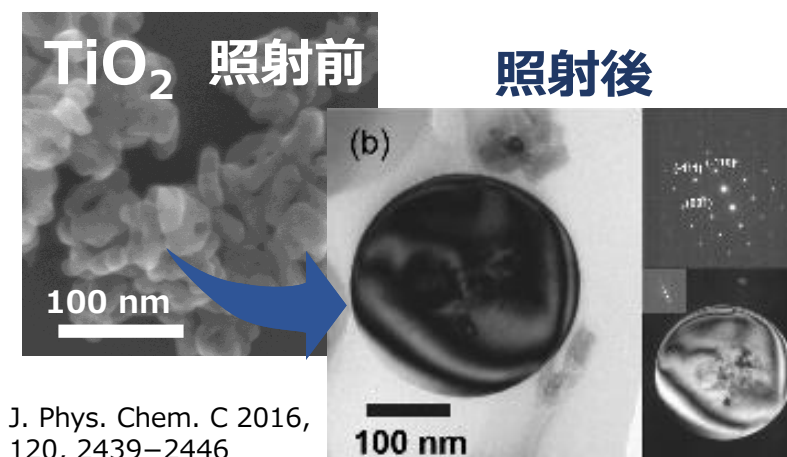
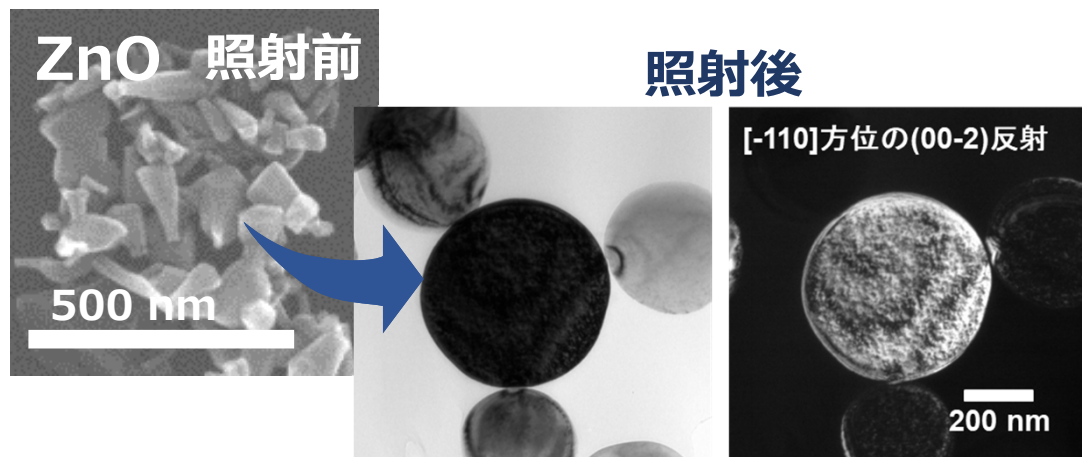
生成粒子の特徴

- サブミクロンサイズ
- 球状粒子
- 高結晶性

提案者オリジナル技術

単結晶生成の例

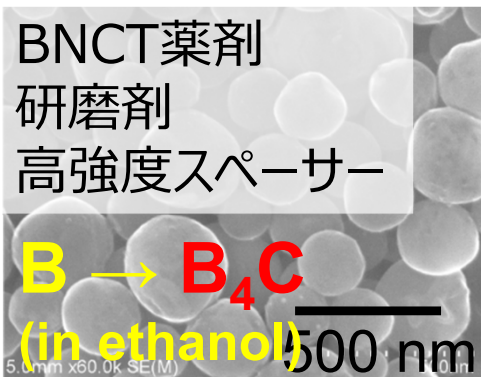
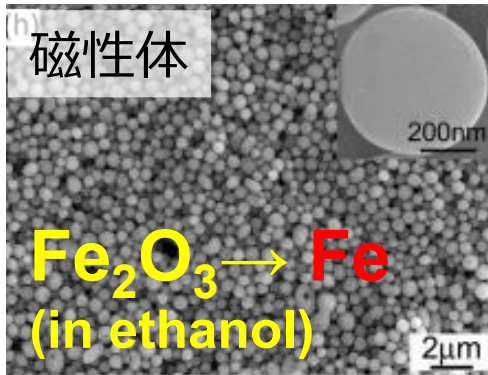
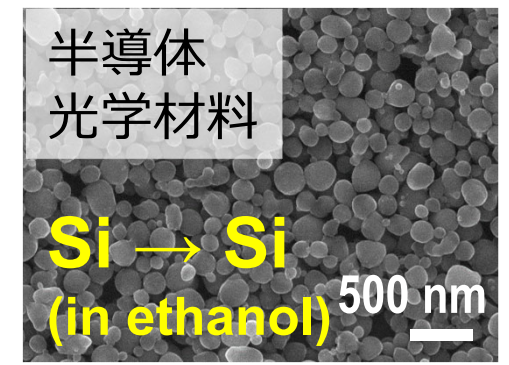
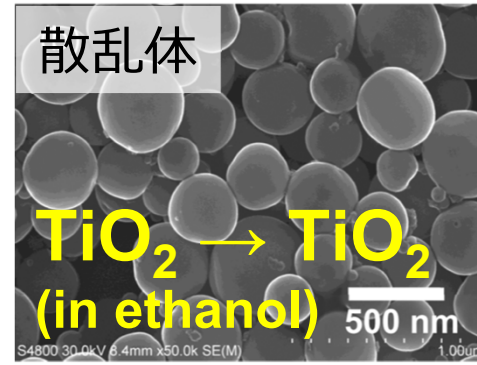
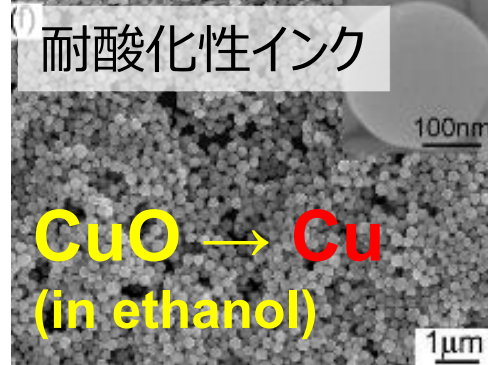
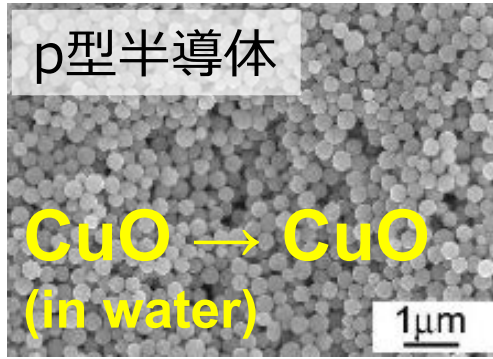
特許第5168690号, 特許第5808003号, 特許第6142994号



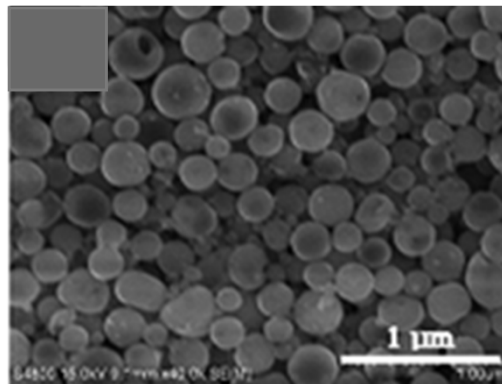
J. Phys. Chem. C 2016,
120, 2439–2446

中実の単結晶サブミクロン球状粒子(SMPs)生成が可能

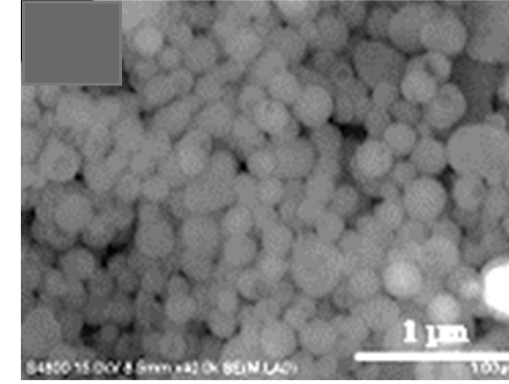
液中レーザー溶融法 材料汎用性の実証例



光学吸収が無い材料への適用も可能



ZrO₂ /C (光吸収剤)
→ **ZrO₂**



MgO /C (光吸収剤)
→ **MgO**

J. Mater. Chem., 2011,21, 14406-14409

様々な材料に適応可能

開発する技術の優位なポイント

熱伝導性等に優れる材料を、サブミクロンサイズで高結晶性（単結晶）かつ球状のフィラーとすることで、コンポジット中のフィラー粒子充填率の向上と加工成形時の流動性の向上の両立を実現し、コンポジットの大幅な性能向上を可能にする点。

本研究のTRL

TRL 1 : 科学的な基本原理・現象の発見・確認

TRL 2 : 原理・現象の定式化、応用可能性の確認、応用的な研究

TRL 3 : 技術コンセプトの確認、要素技術の構想（創案・調査・予備実験・設計など）

TRL 4 : 各開発要素の製作と性能確認、応用的な開発（要素レベル）

TRL 5 : 全てを統合した実証システム（試作品）の製作（要素レベル）

TRL 6 : 実証システム（試作品）の導入環境に近い環境での実証（システムレベル）

TRL 7 : 製品候補の製作と導入環境での実証（システムレベル）

TRL 8 : 製品の製作と販売（パイロットライン）

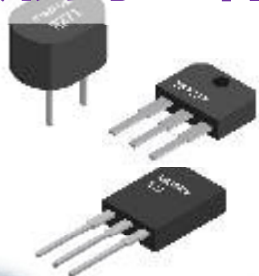
TRL 9 : 商品化、大量生産

社会実装のイメージ

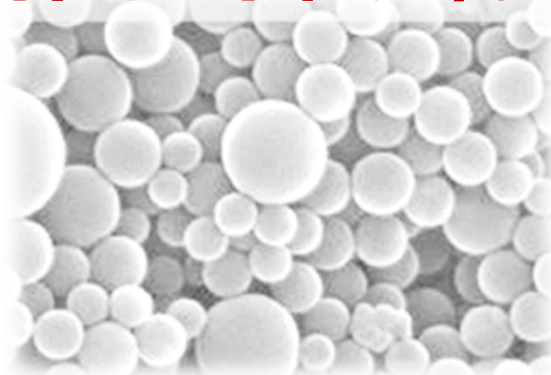
自動運転



固形封止材



高性能球状フィラー



有機インターポザー

層間絶縁膜
プリプレグ

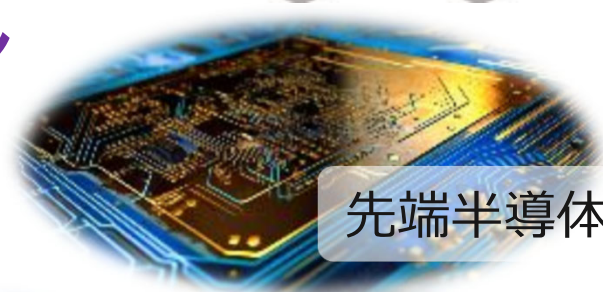


産業用ロボット

TIM



アンダーフィル



先端半導体

基地局



データセンター



ポスト5G



各種のコンポジット部材としてパワーエレクトロニクス
や先端半導体産業、ポスト5G社会を支える。