

作り方でこんなに変わる粉体の機能 (増補 2013 年改訂版)

—先端材料創生のための粒子合成技術—

定価 31,500 円 (税込) 本文 610 頁
2013 年 09 月 01 日 第 4 版第 1 刷発行

セラミックスの製造プロセスにおける粉体の役割と超微粒子を中心とする粉体の役割と超微粒子を中心とする粉体の新しい機能に関心がよせられています。粉体の機能は、原料粉体としてセラミックスの微細構造と物性を制御する粒子集合体としてのものと、磁性粒子や超微粒触媒など粒子そのものの機能が発揮されるものがあります。

新規な機能の発現や高性能・高信頼性セラミックス要求にしたがって、原料として、高品質粉末、超微粉、複合粉末の設計、構造制御、合成・製造技術が重要視され、製造工程の見直しや新しい提案がなされています。

本書は、粉末の製法を系統的にまとめるとともに、特許から最近の動向を探っています。また、月刊「マテリアルインテグレーション」に紹介された記事を系統的に編集しなおし、最新の提案を所載しております。前版とその後の関連記事や新資料を合わせて編集しなおし、増補 2013 年改訂版を発行することにいたしました。

セラミックスに関連した調査、企画、研究開発、製造などの多くの分野の方々にご活用頂ければ幸甚です。

執筆者一覧 (50 音順) 肩書は執筆当時

Bin Xia 広島大学大学院 工学研究科
W. Lenggoro 広島大学大学院 工学研究科
アグス プルフロント 広島大学大学院 工学研究科 物質化学システム専攻 助教
阿尻 雅文 東北大学多元物質科学研究所, 東北大学原子分子材料科学高等研究機構 東北大学未来科学技術共同研究センター
安部 賛 (株)アドマテックス 営業部第 2 課
跡部 真人 東京工業大学 大学院総合理工学研究科
新井 邦夫 東北大学工学部 生物化学工学科
有田 稔彦 東北大学多元物質科学研究所 プロセスシステム工学研究部門 超臨界ナノ工学研究分野
李 継光 物質・材料研究機構 ナノセラミックスセンター プラズマプロセスグループ
飯田 康夫 (株)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 超音波プロセス研究グループ
石垣 隆正 物質・材料研究機構 ナノセラミックスセンター プラズマプロセスグループ
石原 知 物質・材料研究機構 ナノセラミックスセンター 非酸化物焼結体グループ
上野 力 (株)ティー・アイ・シー
浦山 清 ホソカワミクロン(株) 粉体工学研究所
江角 邦男 東京理科大学理学部 応用化学科
榎本 尚也 東京工業大学 応用セラミックス研究所 構造デザイン研究センター
小川 正宏 (株)アドマテックス
奥山 喜久夫 広島大学大学院 工学研究科 物質化学システム専攻 教授
小田 正明 真空冶金(株) UFP 商品開発部
掛本 博文 東京工業大学大学院理工学研究科
勝俣 力 マコー株式会社 開発部
桂 正弘 大阪大学大学院 工学研究科 原子力工学専攻
加藤 正史 ホソカワミクロン(株) 粉体工学研究所
蟹江 澄志 東北大学多元物質科学研究所 プロセスシステム 工学研究部門 ハイブリッドナノ粒子研究分野
加納 正孝 大阪大学大学院 工学研究科 原子力工学専攻
神谷 秀博 東京農工大学大学院共生科学技術研究院
上條 栄治 龍谷大学理工学部
楠瀬 尚史 大阪大学産業科学研究所
越崎 直人 産業技術総合研究所 界面ナノアーキテクトニクス研究センター
小林 秀彦 埼玉大学工学部 応用化学科
近藤 勝義 東京大学 先端科学技術センター
佐々木 毅 産業技術総合研究所 界面ナノアーキテクトニクス研究センター

目 義雄 物質材料研究機構 ナノセラミックスセンター
 佐藤 次雄 東北大学 多元物質科学研究所
 清水 禎樹 産業技術総合研究所 界面ナノアーキテクトニクス研究センター
 末廣 隆之 物質・材料研究機構 (NIMS) サイアロンユニット
 末松 久幸 長岡技術科学大学 極限エネルギー密度工学研究センター
 鈴木 正昭 工業技術院北海道工業開発試験所 材料開発部 機能性材料課
 鈴木 常生 長岡技術科学大学 極限エネルギー密度工学研究センター
 鈴木 義和 筑波大学 数理物質系
 関野 徹 大阪大学産業科学研究所
 高尾 泰正 名古屋工業技術研究所 セラミックス基礎部セラミックス素材研究室
 高見 誠一 東北大学多元物質科学研究所 プロセスシステム工学研究部門 超臨界ナノ工学研究分野
 滝澤 博胤 東北大学大学院 工学研究科 応用科学専攻
 田中 英彦 物質・材料研究機構 ナノセラミックスセンター 非酸化物焼結体グループ
 常泉 通孝 真空冶金(株) UFP 商品開発部
 椿 淳一郎 名古屋大学大学院 工学研究科 物質制御工学専攻
 鶴見 敬章 東京工業大学大学院理工学研究科
 砥綿 篤哉 (株)産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 超音波プロセス研究グループ
 寺嶋 和夫 東京大学大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻
 床井 良徳 長岡工業高等専門学校 電気電子システム工学科
 鳥越 幹二郎 東京理科大学工学部 工業化学科
 内藤 牧男 ホソカワミクロン(株) 粉体工学研究所
 中川 貴 大阪大学大学院 工学研究科 原子力工学専攻
 中川 善兵衛 秋田大学工学資源学部 付属素材資源システム研究施設
 永島 和郎 昭栄化学工業株式会社
 中谷 昌史 東北大学多元物質科学研究所 プロセスシステム 工学研究部門 ハイブリッドナノ粒子研究分野
 中山 忠親 長岡技術科学大学 極限エネルギー密度工学研究センター
 新原 皓一 長岡技術科学大学 極限エネルギー密度工学研究センター
 西戸 守仁 富士チタン工業株式会社 電子材料事業部 取締役事業部長
 西村 聡之 物質・材料研究機構 ナノセラミックスセンター 非酸化物焼結体グループ
 早川 茂 松下電器産業(株)
 林 大和 東北大学大学院 工学研究科 応用科学専攻
 速水 諒三 元 大阪工業技術研究所
 東野 達 京都大学 大学院エネルギー科学研究科
 広崎 尚登 物質・材料研究機構 (NIMS) サイアロンユニット
 淵田 英嗣 真空冶金(株) UFP 商品開発部
 北條 大介 東北大学原子分子材料科学高等研究機構
 北條 純一 九州大学工学部 応用化学科
 保科 拓也 東京工業大学大学院理工学研究科 兼 日本学術振興会
 マニカム シバクマール JSPS 特別研究員
 松原 亨 マコー株式会社 開発部
 水越 克彰 大阪府立工業高等専門学校 講師
 三田村 孝 埼玉大学工学部 応用化学科
 南 公隆 東北大学未来科学技術共同研究センター
 村松 淳司 東北大学多元物質科学研究所 プロセスシステム 工学研究部門 ハイブリッドナノ粒子研究分野
 森 利之 東ソー(株) 筑波研究所
 森田 進 日本新金属(株) 技術開発部
 山田 真実 東京農工大学大学院共生科学技術研究院 特任准教授 科学技術振興事業団 (JST) さきがけ (PRESTO) 研究員
 山村 博 東ソー(株) 筑波研究所
 山本 泰生 ハクスイテック株式会社 技術部
 山本 孝夫 大阪大学大学院 工学研究科 原子力工学専攻
 横山 豊和 ホソカワミクロン株式会社 研究開発カンパニー 粉体工学研究所
 吉川 信一 北海道大学大学院 工学研究科
 吉住 素彦 三菱金属中央研究所 製錬化成研究部
 和田 智志 山梨大学大学院医学工学総合研究部

目 次

第 I 部 基礎編

第 1 章 機能粉体

第 1 節 機能粉体を作る一粒子設計と新しい機能

- 1 はじめに
- 2 粒子構造と機能
 - 2.1 粒子の大きさ
 - 2.2 粒子の形態
 - 2.3 複合構造
- 3 複合粒子の合成と応用
 - 3.1 気相法
 - 3.2 液相法
 - 3.3 固相法
 - 3.4 表面コーティング法
 - 3.5 造粒法
- 4 おわりに

第 2 節 セラミックス粒子の構造と機能について

- 1 はじめに
- 2 粉体粒子の微粒化
- 3 粒子の複合化
- 4 ナノからミクロの複合構造制御
 - 4.1 気相反応法 (SiC 系, Si₃N₄ 系)
 - 4.2 炭素還元法 (MoSi₂-SiC 系)
 - 4.3 化学めっき法 (Ni-TiC 系)
 - 4.4 造粒コーティング法 (Ni-Al₂O₃ 系, BaTiO₃-Ni 系)
- 5 まとめ

第 3 節 こんなにもある機能をもった粉末

- 1 緒言
- 2 厚膜と薄膜技術
- 3 厚膜に用いられる機能粉末
 - 3.1 磁性粉末
 - 3.2 導電材料
 - 3.3 光学材料
- 4 他の機能粉末
- 5 終言

第 2 章 原料粉末の製法

第 1 節 特許から見た原料粉末の製造

- 1 はじめに
- 2 セラミックス用微粉末の製造プロセス
 - 2.1 固相プロセス
 - 2.2 液相プロセス
 - 2.3 気相プロセス
- 3 酸化物セラミックス用粉末
 - 3.1 アルミナ粉末
 - 3.2 磁性粉末
 - 3.3 その他の酸化物粉末
- 4 電子セラミックス用粉末
 - 4.1 BaTiO₃ 系粉末
 - 4.2 Pb(Ti, Zr)O₃ 系粉末
 - 4.3 その他
- 5 窒化物セラミックス用粉末
 - 5.1 窒化ケイ素粉末
 - 5.2 窒化アルミニウム粉末
- 6 炭化物・ホウ化物セラミックス用粉末
 - 6.1 炭化ケイ素 (SiC) 粉末
 - 6.2 ホウ化物粉末
- 7 セラミックス用複合粉末
 - 7.1 被覆型複合粉末

- 7.2 その他の複合粉末
- 第2節 最近の粉体製造プロセス技術の新展開
 - 1 はじめに
 - 2 粒子の生成
 - 2.1 粉砕法
 - 2.2 合成法
 - 3 表面改質・複合化
 - 4 造粒
 - 5 将来の技術展望
- 第3節 超微粒子材料の合成と応用
 - 1 はじめに
 - 2 超微粒子の特徴
 - 2.1 超微粒子の大きさ
 - 2.2 超微粒子の性質
 - 3 超微粒子の合成方法
 - 3.1 気相法
 - 3.2 液相法
 - 3.3 固相法-粉砕法
 - 4 超微粒子の応用
 - 5 膜状
 - 5.1 焼結体
 - 6 おわりに
- 第4節 セラミック超微粉末の合成とその応用
 - 1 はじめに
 - 2 超微粒子の特徴
 - 3 気相反応の熱力学
 - 4 酸化物超微粉末の合成
 - 5 窒化物超微粉末の合成
 - 6 炭化物超微粉末の合成
 - 7 応用
 - 7.1 粉末冶金工業への応用
 - 7.2 超微孔ガス分離隔膜への応用
 - 7.3 電解電極への応用
 - 7.4 その他の応用
 - 8 おわりに
- 第5節 セラミック複合粒子の合成
 - 1 複合構造を持つ粒子の概要
 - 2 複合粒子の製造法
 - 2.1 液相法の原理
 - 2.2 液相法に応用される反応
 - 2.3 金属アルコキシドの加水分解反応の例
 - 2.4 尿素均一沈殿法による被覆型複合粒子の合成例
 - 2.5 その他の液相法
 - 2.6 気相法
 - 2.7 超微粒子コーティング
 - 3 液相法による複合粒子の製造
 - 3.1 Al₂O₃-ペロブスカイト系
 - 3.2 Al₂O₃-ZrO₂系
 - 3.3 多層被覆
 - 4 気相法による複合粒子の製造
 - 4.1 PVD法
 - 4.2 高分散処理, 被覆法
 - 4.3 CVD法

第II部 プロセス技術各論

第3章 粉砕技術

第1節 粉体の製法と粒度測定

- 1 はじめに
- 2 微粉体の製造法

- 3 機械的粉碎技術
 - 3.1 超微粉碎機の最近の動向
 - 3.2 複合粒子の機械的製造
- 4 おわりに
- 第2節 ナノ粉碎・ナノ構造粒子
 - 1 はじめに
 - 2 ナノ粉碎
 - 2.1 粉碎機の種類と粉碎機構
 - 2.2 機械的粉碎条件と粉碎限界
 - 2.3 分散条件の影響とナノ粉碎の追及
 - 3 ナノ構造粒子
 - 3.1 粉碎と機械的粒子複合化
 - 3.2 粒子複合化例
 - 4 おわりに
- 第4章 液相法の新展開
 - 第1節 高機能性酸化物ナノ粒子の新合成法開発とその実力
 - 1 はじめに
 - 2 単分散酸化物ナノ粒子合成
 - 3 新規開発ゲルゾル法による単分散酸化物ナノ粒子合成
 - 4 アナターズ型チタニア（酸化チタン）ナノ粒子合成
 - 5 透明導電膜用単分散ITO粒子合成
 - 6 おわり
 - 第2節 超音波エネルギーを利用したセラミックス材料プロセス
 - 1 はじめに ー超音波とソノケミストリーー
 - 2 溶解析出過程を含む粉体プロセスへの応用
 - 2.1 非晶質アルミノゲルの熟成
 - 2.2 磁性沈殿の湿式化学プロセス
 - 3 金属アルコキシドを用いた粉体プロセスへの応用
 - 3.1 球状シリカ粒子の凝集
 - 3.2 ムライト組成粉末の合成
 - 4 無機溶融物の凝固における超音波振動の影響
 - 5 おわりに
 - 第3節 超音波エコ・デザインによるナノ複合材料創製技術
 - 1 はじめに
 - 2 金属ナノ粒子における環境負荷とコストの関係
 - 3 超音波とソノケミカルプロセス
 - 4 貴金属ナノ粒子のためのエコ・ファブリケーションデザイン
 - 5 無機材料への貴金属ナノ粒子担持
 - 6 有機材料への貴金属ナノ粒子複合化
 - 7 単分散ナノ粒子への応用
 - 8 分解生製と反応のメカニズム
 - 9 求められる技術
 - 10 最後に
 - 第4節 新規噴霧熱分解法による単結晶ナノ粒子の合成
 - 1 はじめに
 - 2 新規噴霧熱分解プロセス
 - 3 製造されたナノ粒子の特性
 - 4 おわりに
 - 第5節 火炎噴霧熱分解法によるナノ粒子の合成
 - 1 はじめに
 - 2 火炎噴霧熱分解装置とナノ粒子の生成機構
 - 3 ナノ粒子の合成例
 - 3.1 急速加熱によるY₂O₃:Eu³⁺ ナノ粒子の合成
 - 3.2 添加剤による(YAG:Ce) ナノ粒子の合成
 - 3.3 微粒子の再蒸発によるBaTiO₃ ナノ粒子の合成
 - 4 おわりに
 - 第6節 デンドリマー ー金属微粒子ナノコンポジットの調製と物性ー
 - 1 はじめに
 - 2 水溶液中でのデンドリマー ー金属微粒子ナノコンポジットの合成ー

- 3 有機溶媒中での dendrimer-金属微粒子ナノコンポジットの合成
- 4 dendrimer-金属微粒子ナノコンポジットの特性
- 5 おわりに
- 第7節 ソルボサーマル反応による環境調和機能セラミックスの創製
 - 1 はじめに [224]
 - 2 ジルコニアの形態制御と低温劣化の抑制
 - 3 層間包摂半導体ナノ粒子による水分解光触媒
 - 4 高活性可視光応答性窒素ドープ酸化チタン光触媒
 - 5 酸化セリウム基無機紫外線遮蔽材
 - 6 おわりに
- 第5章 超臨界流体の応用
 - 第1節 超臨界流体の材料への応用
 - 1 はじめに
 - 2 超臨界流体を用いた微粒子製造
 - 2.1 RESS (Rapid Expansion of Supercritical fluid Solutions) 法
 - 2.2 GAS 法 (Gas Anti-Solvent) による晶析
 - 2.3 超臨界流体場の逆ミセル中での反応晶析
 - 2.4 超臨界水中での反応晶析
 - 3 超臨界流体を用いた充填, 被覆
 - 3.1 C/C コンポジットの製造
 - 3.2 粒子のコーティング
 - 4 超臨界流体を用いた乾燥, 脱脂
 - 4.1 エアゲルの製造
 - 4.2 ポリマーからの脱脂
 - 4.3 セリア固溶正方晶ジルコニアの製造
 - 5 おわりに
 - 第2節 超臨界水を活用した有機・無機ハイブリッド材料合成, バイオマス変換プロセスの開発
 - 1 研究室の概要
 - 2 超臨界水熱合成の特性
 - 2.1 超臨界水の物性, 相挙動および反応平衡・速度
 - 2.2 超臨界水熱合成の特性
 - 3 有機無機ハイブリッドナノ粒子の創製
 - 3.1 有機無機ハイブリッド粒子合成
 - 3.2 有機修飾ナノ粒子の完全分散と2次元配列化
 - 3.3 ナノ結晶から構成される3次元規則構造の形成
 - 3.4 水中分散と医療応用
 - 4 おわりに
- 第6章 ガス中蒸発法
 - 第1節 ガス中蒸発法による超微粒子の作成と応用
 - 1 はじめに
 - 2 誘導加熱方式ガス中蒸発法による金属超微粒子生成
 - 2.1 強磁性体連鎖状超微粒子生成
 - 2.2 Cu-Zn 複合超微粒子生成
 - 2.3 孤立超微粒子生成
 - 2.4 まとめ
 - 3 アーク加熱方式ガス中蒸発法によるセラミックス超微粒子生成
 - 3.1 生成法及び生成装置
 - 3.2 作製された超微粒子の種類
 - 3.3 粒径制御
 - 3.4 γ -Al₂O₃ 粒子の耐熱特性
 - 3.5 まとめ
 - 4 ガス中蒸発法による有機物超微粒子生成
 - 4.1 生成法と生成装置
 - 4.2 生成条件と生成粒子の粒径, 形状
 - 4.3 有機物超微粒子の特性
 - 4.4 応用への展開
 - 4.5 まとめ
 - 第2節 ナノクラスターコンポジットの設計・開発および実用化
 - 1 はじめに

- 2 ガス中蒸発法について
- 3 ナノクラスターコンポジットの作製法
- 4 酸化雰囲気中蒸発により酸化制御されたナノクラスター合成
- 5 ナノクラスターを原料としたバルク体の合成
- 6 多元同時蒸発によるナノクラスターコンポジットの合成
- 7 まとめ

第7章 熱プラズマ応用

第1節 高周波熱プラズマによる高機能ナノ粒子の創製

- 1 はじめに
- 2 反応性熱プラズマプロセスによるセラミックス合成
- 3 熱プラズマ合成ナノ粒子の粒径制御
- 4 酸化チタンナノ粒子合成—相選択性および非平衡化学組成ドーピング—
- 5 おわりに

第2節 熱プラズマを用いたナノ粒子合成

- 1 熱プラズマ合成にもとめられるナノ粒子合成
- 2 プラズマ蒸発法によるナノ粒子合成
- 3 噴霧プラズマ分解法によるナノ粒子合成
- 4 まとめ

第3節 反応性 RF 熱プラズマを用いたセラミックスナノ材料合成

- 1 はじめに
- 2 プラズマ酸化反応による酸化物粉末合成
- 3 炭素粉末の熱プラズマ処理とリチウム二次電池負極材への応用
- 4 パルス変調 RF 熱プラズマの発生と酸化亜鉛への水素ドーピング
 - 4.1 新しいプラズマ発生法—パルス変調 RF プラズマ法—の開発
 - 4.2 パルス変調 RF プラズマ法による酸化亜鉛への水素ドーピングと高効率 UV 発光
- 5 おわりに

第8章 粉体コーティング

第1節 パルス細線放電による有機物被覆超微粒子作製装置開発とその用途探索

- 1 はじめに
- 2 PWD の原理とその装置
- 3 有機物被覆銅超微粒子の作製
- 4 縞り線原料を用いた合金超微粒子の作製
- 5 量産用パルス細線放電装置の開発
- 6 まとめ

第2節 表面間相互作用の制御によるナノ粒子分散技術

- 1 はじめに
- 2 ナノ粒子の凝集・分散挙動制御の困難さ
 - 2.1 ナノ粒子の特徴, 高い比表面積
 - 2.2 ナノ粒子の運動特性
 - 2.3 DLVO 理論から導かれるナノ粒子分散の困難さ
 - 2.4 ナノ粒子表面間距離
 - 2.5 ナノ粒子の表面構造と相互作用
- 3 粒子表面設計・粒子間相互作用の設計によるナノ粒子液中分散挙動の制御
 - 3.1 水, 極性溶媒中への親水性粒子分散とコロイドプローブ AFM 法による解析
 - 3.2 親水性粒子の無極性溶媒への分散
 - 3.3 疎水性粒子の水中分散性
- 4 ナノ粒子 in-situ 合成法による粒子合成分散同時設計
- 5 終わりに

第3節 有機シェル—無機コア構造体ナノ粒子の湿式プロセス合成

- 1 はじめに
- 2 湿式プロセス合成の基礎
- 3 近年における湿式プロセス合成の新展開
- 4 機能性分子保護—金属ナノ粒子
 - 4.1 Redox 分子修飾—貴金属ナノ粒子
 - 4.2 液晶分子修飾—金ナノ粒子
- 5 立方体白金ナノ粒子
- 6 自己集積型錯体ナノ粒子
- 7 まとめ

第 III 部 応用編

第 9 章 酸化物

第 1 節 金属粉末燃焼法による酸化物粉末の合成

- 1 はじめに
- 2 合成原理と方法
 - 2.1 合成原理
 - 2.2 合成方法
- 3 結果
 - 3.1 合成メカニズム
- 4 応用
- 5 おわりに

第 2 節 ソルゲル法による高純度ジルコン微粉末の合成とその焼結体特性

- 1 はじめに {381}
- 2 ジルコン微粉末の合成法
- 3 ジルコン粉末の合成で得られた知見
 - 3.1 ジルコン種子結晶添加の影響
 - 3.2 出発原料の調製条件の影響
 - 3.3 ジルコン前駆体の合成
 - 3.4 $ZrSiO_4$ 前駆体仮焼時の昇温速度の影響
- 4 ジルコン粉末の焼結性から得られた知見
- 5 ジルコニ焼結体の特性から得られた知見
 - 5.1 高温構造材料としての特性
 - 5.2 アルカリガラス中での安定性
- 6 おわりに

第 3 節 導電性 ZnO パウダの開発とその特性

- 1 はじめに
- 2 導電性 ZnO パウダの製法と特徴
- 3 導電性 ZnO パウダの比抵抗
- 4 導電性 ZnO パウダの点欠陥
- 5 導電性 ZnO パウダの分光反射率
- 6 導電性 ZnO パウダの分散
- 7 導電性 ZnO パウダの塗膜
- 8 導電性 ZnO のドライ製膜
- 9 終わりに

第 4 節 静電噴霧熱分解法を用いたナノ・マイクロ TiO₂ 粒子の合成

- 1 はじめに
- 2 静電噴霧熱分解による TiO₂ 粒子の作製
- 3 静電噴霧熱分解による TiO₂ 粒子の微構造
- 4 静電噴霧熱分解による TiO₂ 粒子の機能性
- 5 まとめ

第 5 節 大気圧マイクロプラズマによる酸化物ナノ粒子の合成

- 1 はじめに
- 2 マイクロデポジション用マイクロプラズマ装置
- 3 金属ワイヤーを原料として用いたデポジション法
- 4 酸化物ナノ粒子の生成機構
 - 4.1 プロセス装置と条件
 - 4.2 生成ナノ粒子の解析
 - 4.3 プロセッシング終了後のワイヤー表面の解析
 - 4.4 プロセスの発光分光による解析
 - 4.5 酸化物ナノ粒子の生成メカニズム
 - 4.6 低流量域でのプロセスメカニズム
 - 4.7 高流量域でのプロセスメカニズム
- 5 まとめ

第 6 節 酸化セリウム微粉末の合成とリサイクル

- 1 はじめに
- 2 酸化セリウム微粉末の合成
 - 2.1 共沈法
 - 2.2 均一沈殿法
 - 2.3 ソルボサーマル反応法

- 3 酸化セリウムのリサイクル
- 4 まとめ
- 第10章 窒化物
 - 第1節 遷移金属ナイトライド粉末の製法と特性
 - 1 はじめに
 - 2 窒化物粉の合成方法
 - 2.1 金属粉、金属水素化物の窒化
 - 2.2 金属酸化物の窒化
 - 2.3 気相法による合成
 - 3 ナイトライド粉末の特性
 - 4 おわりに
 - 第2節 ガス還元窒化法を用いた窒化物微粒子の合成
 - 1 はじめに
 - 2 GRNによる窒化物微粒子の合成
 - 2.1 GRNを用いたAlNの粒子形態制御
 - 2.2 GRNによる α -SiAlON微粒子蛍光体の合成
 - 2.3 GRNによる希土類窒化ケイ素系蛍光体の合成
 - 3 おわりに
 - 第3節 金属酸化物とアンモニア気流の反応による窒化物の合成
 - 1 はじめに
 - 2 金属酸化物とアンモニア気流の反応による窒化物生成の反応経路
 - 3 アンモニアによる酸化物の還元
 - 4 まとめ
 - 第4節 Fe₁₆N₂の低温合成
 - 1 はじめに
 - 2 窒化鉄の熱的な不安定性
 - 3 低温窒化法によるFe₁₆N₂の合成
 - 4 窒化鉄系磁性微粒子分散膜および多層膜
 - 5 まとめ
 - 第5節 アルミニウム粉末の直接窒化反応によるAlNの固相合成
 - 1 はじめに
 - 2 Mgによるアルミニウム粉末表面酸化皮膜の還元分解
 - 2.1 表面Al₂O₃皮膜の化学的分解の提案
 - 2.2 放射光を用いたX線光電子分光法による表面反応解析法
 - 2.3 MgによるAl₂O₃皮膜の還元分解挙動
 - 2.4 加熱過程におけるAl粉末の表面性状観察
 - 3 固相温度域でのAl粉末の直接窒化とその特性
 - 3.1 固相温度域での窒化反応とAlN皮膜の特性
 - 3.2 Al/AlN複合焼結材料の特性
 - 4 おわりに
- 第11章 炭化ケイ素
 - 第1節 SiC高純度微粉末の新合成法と焼結技術
 - 1 はじめに
 - 2 SiC粉末合成
 - 2.1 粉末合成の経緯
 - 2.2 新しいSiC粉末合成法
 - 2.3 粉末が高純度化することの意味
 - 3 新しい焼結理論
 - 3.1 表面エネルギーと焼結挙動
 - 3.2 焼結の従来理論
 - 3.3 焼結の駆動力と物質移動速度式
 - 4 おわりに
 - 第2節 前駆体プロセスによる炭化ケイ素ナノ粉末の合成
 - 1 はじめに
 - 2 フュームドシリカを用いたSiC粉末の作製
 - 2.1 原料混合比の影響
 - 2.2 フュームドシリカの親水/疎水性の相違
 - 3 有機金属ポリマーを前駆体としたSiCナノ粒子の作製
 - 4 おわりに

第12章 電子セラミックス用粉体

第1節 シュウ酸法によるチタン酸バリウムのナノパウダー

- 1 はじめに
- 2 シュウ酸バリウムチタニルの合成
- 3 シュウ酸バリウムチタニルの熱分解によるチタン酸バリウムの合成
- 4 微粒子化の課題
- 5 おわりに

第2節 チタン酸バリウム微粒子の誘電特性におけるサイズ効果

- 1 はじめに {516
- 2 BaTiO₃ 微粒子の誘電特性の粒子サイズ依存性
- 3 BaTiO₃ 微粒子における粒子複合構造
- 4 おわりに

第3節 積層セラミックコンデンサ内部電極用ニッケル微粒子の製造方法と特徴

- 1 はじめに
- 2 ニッケル微粒子の製造方法
- 3 ニッケル微粒子の特性比較
 - 3.1 粒子の形状
 - 3.2 加熱によるガスの発生
 - 3.3 粒子の表面状態
 - 3.4 粒子の結晶性と焼結性
- 4 PVD法粒子の改良と今後の材料開発

第13章 複合粒子

第1節 メカノフュージョン技術による複合微粒子の製造と応用

- 1 はじめに
- 2 メカノフュージョン法の原理
- 3 メカノフュージョンの機能
- 4 メカノフュージョンの応用
 - 4.1 樹脂粒子と酸化チタンの複合化
 - 4.2 金属とセラミックスの複合化
 - 4.3 分散、均質化（精密混合）
 - 4.4 粒子形状制御（球形化）
- 5 あとがき

第2節 気相反応法によるナノ複合粒子の合成

- 1 はじめに
- 2 合成プロセス（Si₃N₄-SiC系）
 - 2.1 電気炉法による複合粒子の合成
 - 2.2 プラズマ法による複合粒子の合成
- 3 非晶質複合粒子（SiC-BN系、Si₃N₄-BN系）
- 4 相分離型複合粒子（SiC-TiC系、Si₃N₄-TiN系）
- 5 まとめ

第3節 エアロゾル静電気プロセスによる複合粒子の合成とその応用

- 1 はじめに
- 2 酸化物超電導体の複合粒子合成とその応用
 - 2.1 静電凝集法による焼結体用原料粉体合成プロセス
 - 2.2 複合粒子の合成
 - 2.3 焼結体の微細構造と超電導特性向上
- 3 エアロゾル静電気プロセスによる半導体ガスセンサの作製
 - 3.1 静電凝集と静電付着によるSnO₂針状粒子とSnO₂-Pd複合粒子ガスセンサの合成プロセス
 - 3.2 SnO₂針状粒子ガスセンサの作製
 - 3.3 SnO₂-Pd複合粒子ガスセンサの作製
- 4 おわりに

第4節 高周波プラズマで複合微粉体を作る

- 1 はじめに
- 2 高周波プラズマによるシリカアルミナ超微粒子の合成
 - 2.1 複合微粒子の合成
 - 2.2 SiO₂-Al₂O₃粒子の性質と触媒特性
- 3 高周波プラズマによるSiC-Si₃N₄複合微粉体の合成
 - 3.1 微粉体の合成
 - 3.2 微粉体の性状

4 おわりに

第5節 ナノコンポジットの合成と構造制御

1 はじめに

2 SiC-BN系, Si₃N₄-BN系複合微粒子の構造

3 複合微粒子からのナノコンポジットの作製

3.1 SiC-BN ナノコンポジット

3.2 Si₃N₄-BN ナノコンポジット

4 ミクロ/ナノコンポジットの作製

5 耐熱衝撃性と靱性の向上作用

6 まとめ

第6節 高次機能調和セラミックス系ナノコンポジットの創製と応用展開

1 はじめに

2 BN分散セラミックスナノコンポジットの開発

2.1 BN分散セラミックスナノコンポジット

2.2 BN分散ナノコンポジットを可能にした化学プロセス

2.3 BN分散ナノコンポジットの機械的, 熱・機械的特性

3 粒界制御型セラミックスナノコンポジットの開発

3.1 粒界制御型 Si₃N₄/YSiO₂N ナノコンポジット

3.2 Si₃N₄/YSiO₂N ナノコンポジットの機械的特性

4 BN包含 GaN ナノ粒子

5 化学プロセスを用いた炭化ホウ素微粒子の合成

6 In-Situ 焼結法によるコーディエライト/ZrSiO₄ ナノコンポジット

7 おわりに