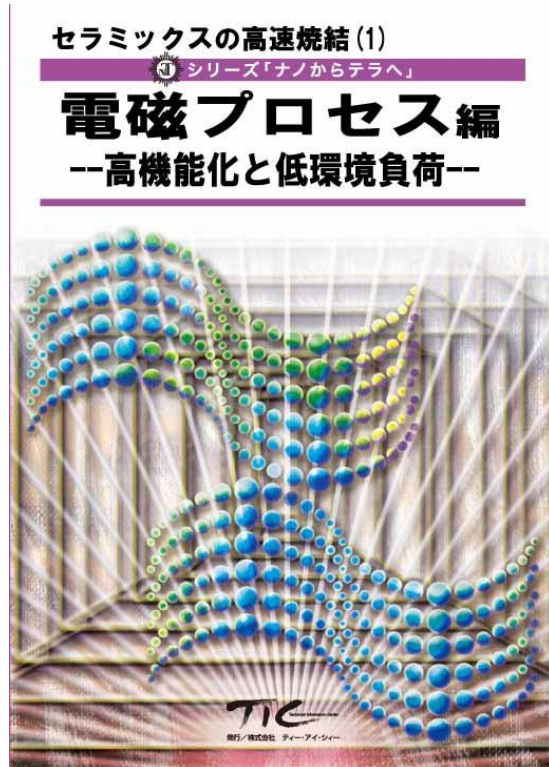


セラミックスの高速焼結技術(1) 電磁プロセス編 (増補 2015 年改訂版)

--- 高機能化と低環境負荷 ---



本体定価 30,000 円 (税別) 本文 664 頁

2015 年 2 月 10 日 第 1 版第 1 刷発行

セラミックスを内部から直接加熱したり、もっと速い速度で従来より高い温度まで容易に加熱する方法として、マイクロ波帯やミリ波帯の電磁波の照射、パルス大電流の印加あるいはプラズマの導入等の、新しい方法が最近活発に行われています。

マイクロ波・ミリ波、パルス大電流通電および熱プラズマを利用したセラミックス高速焼結は、いずれも材料を高温にした状態での熱プロセスであるにもかかわらず、電気炉での焼結より高速で粒成長の抑制を伴った焼成が行われ、省エネルギーで、割れにくくかつ新しい機能を持ったセラミックスを実用レベルで作成可能なプロセスとして、新産業育成に大いに貢献することが期待されています。

本書はセラミックスの高速焼結技術として電磁プロセスについて、マテリアルインテグレーション誌に掲載された記事を系統的に一冊にまとめました。また、2015 年度版では 2000 年度から 2013 年度にわたって掲載された記事を加え再編しています。

この分野で調査、企画、研究開発、製造、応用などを目指される方に活用いただければ幸いです。

執筆者一覧 (50 音順) 肩書は執筆当時

伊熊 泰郎	神奈川県工科大学 工学部
池内 建二	大阪大学接合科学研究所
石崎 幸三	長岡技術科学大学 機械系
出井 裕	日本大学 理工学部 航空宇宙工学科
一ノ瀬 昇	早稲田大学 理工学部
井藤 幹夫	大阪大学 大学院工学研究科 附属原子分子イオン制御理工学センター
井上 明久	東北大学 総長
上野 敏之	島根県産業技術センター 新機能材料開発プロジェクト
牛尾 誠夫	大阪大学接合科学研究所
大橋 修	新潟大学 大学院自然科学研究科 材料生産開発科学専攻
大森 守	東北大学 金属材料研究所

奥谷 猛 工業技術院 北海道工業技術研究所 シリコン材料研究室
 尾崎 公洋 独立行政法人 産業技術総合研究所 サステナブルマテリアル研究部門
 川上 雄士 佐賀県工業技術センター 材料環境部
 杵鞭 義明 独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 先進焼結技術研究グループ
 木村 久道 東北大学 金属材料研究所 附属金属ガラス総合研究センター
 京極 秀樹 近畿大学 工学部 機械工学科 材料システム工学研究室
 斎藤 雅弘 宮城県工業技術センター 開発部 先端技術科
 坂本 伸雄 富士電波工業（株）つくば研究所
 佐治 他三郎 富士電波工業（株）つくば研究所
 佐藤 忠行 宮城県工業技術センター 開発部 主任研究員
 佐藤 元泰 文部省 核融合科学研究所 加熱研究グループ
 佐野 三郎 名古屋工業技術研究所 セラミックス応用部
 謝 国強 東北大学 金属材料研究所 金属ガラス・無機材料接合開発共同研究プロジェクト
 宍戸 郁郎 宮城県工業技術センター 開発部
 治田 慎輔 宇部興産（株）研究開発本部 宇部研究所
 白井 孝 独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 先進焼結技術研究グループ
 沈 宝龍 東北大学 金属材料研究所 非平衡物質工学研究部門
 杉山 重彰 秋田県産業技術総合研究センター工業技術センター
 鈴木 康夫 宮城県工業技術センター 開発部 先端技術科
 鷺見 新一 工業技術院 東北工業技術研究所 金属素材部基礎物性研究室
 節原 裕一 大阪大学 接合科学研究所
 泰松 斉 秋田大学工学資源学部材料工学科
 竹内 友成 産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門 蓄電デバイス研究グループ
 田中 学 大阪大学接合科学研究所
 玉利 信幸 大阪工業技術研究所 材料物理部 セラミック材料研究室
 角岡 勉 (財) ファインセラミックスセンター 試験研究所
 鴫田 正雄 (株)エヌジェーエス
 南口 誠 長岡技術科学大学 博士課程 材料工学専攻
 西村 聡之 物質・材料研究機構 物質研究所 非酸化物焼結体グループ
 橋本 等 工業技術院 東北工業技術研究所 金属素材部材料システム研究室
 林 強 大阪大学大学院生 (現, トヨタ自動車 (株))
 平井 敏雄 東北大学 金属材料研究所
 廣田 健 同志社大学 工学部 機能分子工学科
 福島 英冲 (株) 豊田中央研究所 生産加工研究室
 巻野 勇喜雄 大阪大学 接合科学研究所
 松居 正夫 (株) 豊田中央研究所 材料1部次長
 松木 一弘 広島大学工学研究院 材料・生産加工部門
 三木 俊克 山口大学工学部 電気電子工学科
 三沢 達也 佐賀大学理工学部 電気電子工学科
 水内 潔 大阪市立工業研究所 機械課 材料プロセッシング研究室
 水谷 芳樹 工業技術院 東北工業技術研究所 金属素材部基礎物性研究室
 南口 誠 長岡技術科学大学 機械系
 三宅 正司 大阪大学 接合科学研究所
 宮野 公樹 京都大学 大学院工学研究科 マイクロエンジニアリング専攻
 宮本 晃一 富士電波工業（株）つくば研究所
 安岡 正喜 独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 先進焼結技術研究グループ
 安野 拓也 いわき明星大学 科学技術学部 システムデザイン工学科
 山本 節夫 山口大学 工学部 機能材料工学科
 吉岡 尚志 島根県産業技術センター 熱制御システム開発プロジェクト
 中田 善徳 工業技術院 北海道工業技術研究所 シリコン材料研究室
 渡利 広司 独立行政法人 産業技術総合研究所 セラミックス研究部門 低環境負荷型焼結技術研究グループ

目 次

第 I 部 低環境負荷プロセス技術と電磁プロセッシング

第 1 章 総論

第 1 節 低環境負荷型焼結技術に関する研究開発

- 1 はじめに
- 2 研究展開
- 3 低エネルギー型焼結技術の研究開発
- 4 環境調和型プロセス技術の研究開発
- 5 焼結基盤技術の研究開発
- 6 結論

第 2 節 セラミックスの低エネルギープロセス技術

- 1 はじめに
- 2 高効率焼成炉の開発
- 3 マイクロ波焼成技術
- 4 エアロゾルデポジション法による非焼結技術
- 5 パルクセラミックスの低エネルギープロセス技術
- 6 製造工程全体の消費エネルギー評価
- 7 おわりに

第 3 節 セラミックス電磁プロセッシングの動向

- 1 はじめに
- 2 マイクロ波・ミリ波プロセスの特徴と今後の展開
- 3 パルス大電流通電プロセスの特徴と今後の動向
- 4 その他の高速プロセス
- 5 おわりに

第 II 部 ミリ波・マイクロ波による焼結

第 1 章 焼結機構

第 1 節 マイクロ波焼結機構とミリ波による焼結

- 1 はじめに
- 2 マイクロ波による加熱と焼結の機構
 - 2.1 拡散促進説
 - 2.2 粘性低下説
 - 2.3 選択加熱説
 - 2.4 粗密効果説
 - 2.5 内部加熱説
 - 2.6 測温誤差説
 - 2.7 表面活性化説
- 3 ミリ波による焼結の現状
- 4 ミリ波によるセラミックス焼結の特徴
 - 4.1 電界分布が均一になりやすい。
 - 4.2 誘電損率の温度依存性が小さい。
 - 4.3 誘電損率が大きく加熱効率が高い。
 - 4.4 非熱的作用が大きい。
 - 4.5 準光学的挙動を示す。
- 5 新型ジャイラトロン焼結炉による省エネルギー焼結
- 6 ミリ波による大型品の焼結技術
- 7 おわりに

第 2 節 ミリ波によるセラミックス加熱・焼結

- 1 はじめに
- 2 電磁波によるセラミックス加熱の特徴
- 3 収束型高エネルギー密度ミリ波ビームの発生とセラミックス加熱・焼結への応用
- 4 マルチモード型アプリケーションを用いたセラミック材料のミリ波焼結
- 5 おわりに

第 3 節 マイクロ波による焼結

- 1 はじめに
- 2 マイクロ波加熱の原理
- 3 マイクロ波焼結の特徴
- 4 おわりに

第4節 マイクロ波プロセスの基礎，応用と世の中の動向

- 1 はじめに
- 2 材料の基礎特性
 - 2.1 マイクロ波加熱の原理，特徴
 - 2.2 材料の誘電特性とマイクロ波加熱性
 - 2.3 加熱室内の電磁界分布
- 3 将来の自動車への応用
 - 3.1 セラミックスの焼成技術
 - 3.2 セラミックスの超高速加熱法の開発
 - 3.3 エタノール改質による新規な水素生成法
- 4 世の中の動向
- 5 おわりに

第2章 焼結プロセス設計

第1節 マイクロ波焼結の最近の動向

- 1 はじめに
- 2 マイクロ波とは
- 3 セラミックスの焼成の省エネルギーに向けて
 - 3.1 サセプタによるセラミックス材料の焼結挙動について
 - 3.2 効率的なマイクロ波加熱を目指して
- 4 マイクロ波を用いた新しい応用技術

第2節 マイクロ波加熱と焼結—課題と展望

- 1 はじめに
- 2 マイクロ波加熱の特徴
- 3 マイクロ波加熱の状況
- 4 効果的なマイクロ波加熱
- 5 急速加熱と局部加熱に対する課題と展望
- 6 おわりに

第3節 マイクロ波焼結による緻密化のプロセス

- 1 要約
- 2 はじめに
- 3 実験
- 4 実験結果と考察
 - 4.1 Si₃N₄の焼結
 - 4.2 Al₂O₃の焼結
 - 4.3 固相焼結の緻密化機構
- 5 まとめ

第4節 セラミックスのマイクロ波焼結炉の概念設計

- 1 焼結炉に要求されるマイクロ波電力
- 2 マイクロ波炉の型式と周波数の選定
- 3 マイクロ波源
- 4 終りに

第3章 ミリ波・マイクロ波による焼成の実際

第1節 28GHz ミリ波によるイットリア部分安定化ジルコニアの焼結

- 1 はじめに
- 2 加熱中の試料内部の温度分布
- 3 28GHz ミリ波によるイットリア部分安定化ジルコニアの焼結
- 4 おわりに

第2節 機能性セラミックスのマイクロ波焼結

- 1 はじめに
- 2 マイクロ波加熱の原理，特徴
- 3 マイクロ波加熱制御装置
- 4 ZnO バリスタの焼結
- 5 PZT セラミックスの焼結
- 6 多層基板の同時焼成
- 7 おわりに

第3節 マイクロ波加熱による半導体セラミックスの合成

- 1 はじめに
- 2 マイクロ波加熱の原理と装置の概略
- 3 Nb 添加 BaTiO₃ セラミックスのマイクロ波加熱

- 3.1 微構造と室温抵抗率
- 3.2 抵抗率-温度特性
- 3.3 粒成長機構に関する一考察

4 まとめ

第4節 セラミックスのマイクロ波接合

- 1 はじめに
- 2 マイクロ波加熱の原理と接合の現状
- 3 マイクロ波加熱装置
- 4 アルミナの接合
- 5 窒化ケイ素の接合
- 6 おわりに

第5節 新しい炭化物電極材料の高周波プラズマ焼結

- 1 緒言
- 2 実験方法
- 3 実験結果および考察
 - 3.1 炭化タンタル TaC のプラズマ焼結
 - 3.2 炭化ハフニウム HfC の焼結
- 4 結言

第 III 部 パルス大電流通電プロセスによる焼結

第4章 メカニズムと装置

第1節 パルス通電場プロセッシングとは？

- 1 概要
- 2 ネック形成メカニズムとパルス通電効果
 - 2.1 ネック形成メカニズム
 - 2.2 パルス通電効果と SPS プロセス諸説

第2節 歴史的経緯と将来性

- 1 歴史的経緯
- 2 応用分野と将来性
 - 2.1 SPS プロセスの応用分野
 - 2.2 SPS プロセスの普及状況と将来性
 - 2.3 経済性と将来性
 - 2.4 技術課題と将来性

第3節 パルス通電場プロセッシングのハードウェア

- 1 はじめに
- 2 各種焼結法と装置概要
- 3 SPS 装置の基本構成
 - 3.1 機械本体と全体システム構成
 - 3.2 DC パルス発生電源
 - 3.3 SPS の真空系装置
 - 3.4 その他の SPS 周辺機器
- 4 各種 SPS 装置のハードウェア
 - 4.1 新材料研究開発用 SPS 装置
 - 4.2 生産兼研究用 SPS 装置
 - 4.3 SPS 生産システム装置
 - 4.4 特殊 SPS 装置
- 5 今後の展開

第5章 パルス通電場プロセッシングの機構とプロセス特性評価

第1節 パルス通電場プロセッシングのシミュレーション実験

- 1 はじめに
- 2 放電現象
 - 2.1 黒鉛型の発光・放電現象
 - 2.2 粉体間での放電現象
- 3 粉末界面での現象とパルスの効果
- 4 異種材料間での電流の効果
- 5 まとめ

第2節 パルス通電場プロセッシングにおけるプロセス評価

- 1 はじめに
- 2 パルス通電場プロセスの固有パラメータの測定方法
- 3 パルス通電場プロセスの固有パラメータ測定における問題点

4 パルス通電場プロセスにおける内部電流の測定例—磁気プローブを用いた測定—

第3節 パルス通電場プロセスの熱的シミュレーション

- 1 はじめに
- 2 これまでの研究
- 3 パルス通電初期の温度上昇
- 4 電気および温度計算モデル
- 5 温度および熱伝達係数の測定
 - 5.1 単純形状圧粉体系
 - 5.2 複雑形状圧粉体系
- 6 電気—熱連成解析
 - 6.1 単純形状圧粉体系
 - 6.2 複雑形状圧粉体系の電気—熱連成解析
- 7 衝撃—放電接合における熱解析

第4節 パルス通電場プロセスによる焼結・固化および拡散現象

- 1 はじめに
- 2 固体内の拡散
- 3 セラミックスにおける拡散
- 4 エレクトロマイグレーション
- 5 クリープ
- 6 焼結と拡散
- 7 パルス通電焼結における焼結機構の理解
 - 7.1 金属：導電性材料
 - 7.2 セラミックス：絶縁性材料
- 8 おわりに

第6章 パルス通電場プロセスと材料機能・構造特性

第1節 緻密化挙動・組織および機能特性

- 1 はじめに
- 2 ナノ構造アルミナ焼結とパルス通電現象
- 3 準安定相アナターゼの焼結
- 4 その他の酸化物の焼結
- 5 耐酸化性材料の合成
- 6 磁性材料の合成
- 7 最近の興味ある構造・機能材料の合成
- 8 本節のまとめ

第2節 熱物性特性

- 1 はじめに
- 2 セラミックスの熱伝導率
- 3 窒化アルミニウム
- 4 窒化珪素
- 5 炭化珪素
- 6 複合材料
 - 6.1 ダイヤモンド
 - 6.2 黒鉛系炭素材料

第3節 微細構造解析

- 1 はじめに
- 2 集束イオンビーム加工法による薄膜作製
- 3 過共晶 Al-Si 合金焼結体の微細組織
 - 3.1 SEM による焼結体の微細組織観察
 - 3.2 TEM による微細組織観察
- 4 アルミナ焼結体の微細組織
 - 4.1 TEM による明視野観察
 - 4.2 STEM-EDS による粉末粒界の分析
 - 4.3 HRTEM による微細構造解析

第7章 パルス通電場プロセスによる材料創製

第1節 セラミックス構造材料（窒化ケイ素、炭化ケイ素など）

- 1 はじめに
- 2 窒化ケイ素系材料
- 3 炭化ケイ素系材料
- 4 今後の展望

第2節 放電プラズマ焼結によるウイスカー強化ジルコニアの作製

- 1 はじめに
- 2 作製及び評価法
- 3 緻密化と機械的性質
- 4 微細組織
- 5 おわりに

第3節 セラミックス/セラミックスコンポジット

- 1 はじめに
- 2 カーボンナノファイバー分散セラミックス/セラミックスコンポジット
 - 2.1 CNF/Al₂O₃ コンポジット
 - 2.2 CNF/ β -SiC コンポジット
 - 2.3 CNF/SiAlON コンポジット
 - 2.4 CNF/B₄C 系コンポジット

- 3 まとめ

第4節 プラズマ焼結を利用する SiC-Si 複合成形体の製造

- 1 はじめに
- 2 高温燃焼触媒構造支持体としての SiC-Si 複合体
- 3 プラズマ焼結による SiC-Si 複合体の製造
- 4 おわりに

第5節 アルミニウム合金

- 1 はじめに
- 2 焼結過程に及ぼす焼結温度・圧力の影響
- 3 Al 粉末のパルス通電焼結体の界面構造
- 4 通電焼結に及ぼす周波数の影響
- 5 パルス通電焼結過程に及ぼす焼結金属の影響
- 6 Mg 添加による Al 焼結体の性能改善
- 7 おわりに

第6節 金属/金属間化合物積層材料の高機能化

- 1 金属/金属間化合物積層材料とは
- 2 パルス通電圧接法 (Pulsed Current Hot Pressing: PCHP) の成形メカニズム
- 3 パルス通電圧接法 (Pulsed Current Hot Pressing: PCHP) による金属/金属間化合物積層材料の成形
- 4 PCHP 成形した金属/金属間化合物積層材料の組織
- 5 機械的性質
- 6 き裂進展抑制効果
- 7 応用に向けて
- 8 おわりに

第7節 金属/セラミックスコンポジット

- 1 はじめに
- 2 各複合材料の開発動向
 - 2.1 粒子・ウイスカ強化複合材料
 - 2.2 連続繊維強化複合材料
- 3 金属基複合材料の作製法
 - 3.1 粒子およびウイスカ強化複合材料
 - 3.2 連続繊維強化複合材料
- 4 複合材料の実用化研究
 - 4.1 粒子・ウイスカ強化複合材料
 - 4.2 連続繊維強化複合材料
- 5 放電プラズマ焼結法による金属基複合材料の研究
 - 5.1 粒子分散複合材料
 - 5.2 ウイスカ強化複合材料
 - 5.3 連続繊維強化複合材料

第8節 放電プラズマ焼結法による傾斜機能材料の作製

- 1 はじめに
- 2 傾斜機能材料の作製
- 3 セラミックス-金属系傾斜機能材料
 - 3.1 ZrO₂(X・Y₂O₃)-TiAl 系傾斜機能材料
 - 3.2 ZrO₂(3Y₂O₃)-ステンレス鋼系傾斜機能材料
 - 3.3 ZrO₂(3Y₂O₃)-Ni 系傾斜機能材料
- 4 高分子-金属系傾斜機能材料

5 おわりに

第8章 パルス通電場プロセッシングによる電子材料・デバイスへの応用

第1節 放電プラズマ焼結法によるセラミックス、合金系材料の合成と物性

1 はじめに

2 積層ソフトフェライトの合成と磁気的特性

3 Nd-Fe-B系化合物の合成と磁気的特性

4 傾斜構造を有する FeSi_x 系化合物の合成と熱電特性

5 アルミナ-チタン傾斜層を用いたアルミナ-チタン合金の接合

6 おわりに

第2節 電子・情報デバイス部材への応用

1 はじめに

2 SPSによる熱電変換材料 Zn_4Sb_3 の作製と熱電変換素子への応用

2.1 熱電変換素子と熱電変換材料

2.2 熱電材料 Zn_4Sb_3

2.3 SPS法による熱電材料 Zn_4Sb_3 の作製

2.4 SPS法で作製した Zn_4Sb_3 の特性

2.5 まとめ

3 SPSによるYIGフェライトの作製と低背型アイソレータへの応用

3.1 アイソレータの用途と課題

3.2 低背型アイソレータの構造

3.3 SPS法による極薄YIGフェライト焼結体の製造

3.4 まとめ

第3節 熱電材料

1 はじめに

2 金属間化合物系材料

3 酸化物系材料

第4節 誘電体材料

1 はじめに

2 粒径制御による誘電特性制御

3 還元領域を利用した電気特性制御

4 複数成分の複合による誘電特性制御

5 その他

第5節 磁性材料

1 磁性材料の概要

2 SPS法によるNi-Zn-Cu軟磁性フェライトの作成

2.1 Ni-Zn-Cu軟磁性フェライト

2.2 SPS法によるNi-Zn-Cuフェライトの焼結

3 SPS法による高周波対応型の積層磁性体の作成

3.1 高周波対応型の高飽和磁束密度磁性体の必要性

3.2 SPS法によるNi-Zn-Cuフェライト/45パーマロイ積層体の作製

4 SPS法による極薄のNi-Zn-Cu軟磁性フェライトの作成

4.1 極薄フェライトの必要性

4.2 製造方法

4.3 SPS法で作成した極薄フェライトの特性

5 おわりに

第6節 放電プラズマ焼結 (SPS) 装置を用いた透光性セラミックスの創製

1 はじめに

2 直線透過率 (In-Line Transmission)

3 透光性スピネルの創製

3.1 サンプル

3.2 焼結

3.3 光学特性および組織評価

4 結果および考察

4.1 昇温速度 α 依存性

4.2 焼結温度 T 依存性

4.3 焼結組織の α と T 依存性

4.4 組織と透光性の関係

4.5 SPS法を用いた透光性材料創成の課題

5 おわりに

第9章 パルス通電場プロセッシングによる硬質・塑性材料への応用

第1節 超硬合金材料

- 1 はじめに
- 2 パルス通電焼結法による金属バインダーを含む超硬合金の研究開発
- 3 パルス通電焼結法による金属バインダーを含まない超硬合金 (WC) の研究
 - 3.1 WC-TiC-TaC 系バインダレス WC のパルス通電焼結
 - 3.2 焼結温度と離型剤の影響
 - 3.3 焼結時の加圧力、HIP 処理の影響
 - 3.4 表面粗さの測定
- 4 おわりに

第2節 セラミックス基材料

- 1 はじめに
- 2 TiB₂ 基硬質セラミックス
- 3 WC 基硬質材料

第3節 ボールミリングー放電プラズマ焼結 (SPS) 法によるナノセラミックスの創製：酸化物系

- 1 はじめに
- 2 ナノセラミックスの創製
- 3 結果および考察
 - 3.1 HEBM 処理によるナノ粉末の創製
 - 3.2 SPS 法によるナノバルクセラミックスの創製
 - 3.3 超塑性特性
 - 3.4 破壊強度
- 4 おわりに

第4節 高エネルギー粉砕—SPS 法による窒化ケイ素ナノセラミックスの作製

- 1 はじめに
- 2 高エネルギー粉砕法による窒化ケイ素ナノ粉末の作製
- 3 SPS 法による窒化ケイ素ナノ粉末の焼結
- 4 塑性変形について
- 5 おわりに

第5節 傾斜機能材料

- 1 はじめに
- 2 傾斜機能材料の各種作製方法と応用分野
 - 2.1 傾斜機能材料の作製方法
 - 2.2 傾斜機能材料の応用分野
- 3 SPS 法による傾斜機能材料作製上の留意点
 - 3.1 温度傾斜焼結法
 - 3.2 SPS 法の「寸法効果」「形状効果」(size effect, shape effect)
 - 3.3 SPS 焼結温度 (SPS sintering temperature) と焼結時間
- 4 SPS 法による各種傾斜機能材料の創製例
 - 4.1 ZrO₂(3Y)/SUS410L ステンレス鋼系 (8 層構造) 傾斜機能材料の合成
 - 4.2 Al₂O₃/Ti/Ti-6Al-4V 合金系 (10 層構造) 傾斜機能材料の試作
 - 4.3 φ150mm 大形バルク状 ZrO₂(3Y)/SUS410L 系傾斜機能材料の作製
- 5 実用材料としての傾斜機能材料
 - 5.1 開発の背景
 - 5.2 大形 FGM 超硬合金と専用製造システムの開発
 - 5.3 超微粒超硬合金焼結プロセスの最適化と機械的特性
 - 5.4 100 × 100 × 40--60mmWC/Co 大形バルク状傾斜機能性超硬合金 (FGM 超硬) の開発
 - 5.5 その他の FGM 超硬の実用材料例
- 6 今後の展開

第10章 パルス通電場プロセッシングによる多孔質材料，生体材料への応用

第1節 放電プラズマ焼結 (SPS) 法による多孔質セラミックスの作製

- 1 はじめに
- 2 SPS 法による多孔質セラミックスの作製
- 3 多孔質セラミックスを作製する上での SPS 法の特徴
- 4 最後に

第2節 放電プラズマ焼結法 (SPS) の生体材料作成への適用

- 1 金属系生体材料への SPS の適用
- 2 金属—セラミックス系複合材料への SPS の適用
- 3 ハイドロキシアパタイト焼結への SPS の適用

- 4 ハイドロキシアパタイト複合材料への SPS の適用
- 5 傾斜機能生体材料への SPS の適用
- 6 あとがき

第 11 章 パルス通電場プロセッシングで造るその他の材料・デバイス

第 1 節 形状記憶合金

- 1 はじめに
- 2 作製方法
- 3 パルス通電焼結による形状記憶合金の作製条件
- 4 形状記憶合金の密度および組織
- 5 形状記憶合金の機械的性質
- 6 形状記憶合金の熱・力学的性質
- 7 試作品の例
- 8 おわりに

第 2 節 金属ガラスへの応用

- 1 はじめに
- 2 過冷却液体域を利用した金属ガラス粉末の固化成形の例
- 3 軟磁気特性を持つ Fe 基金属ガラス SPS 材の開発
- 4 硬磁気特性を持つ Fe 基金属ガラス SPS 材の開発
- 5 金属ガラス/セラミックスおよび金属粒子混合粉末体の SPS 材とその機械的性質
 - 5.1 高強度 Ni 基金属ガラス SPS 材の開発
 - 5.2 高強度 Ni 基金属ガラス/セラミックスおよび金属粒子分散複合 SPS 材の開発
 - 5.3 高強度二相 Ni 基金属ガラス複合 SPS 材の開発
- 6 まとめ

第 3 節 カーボン基材料

- 1 はじめに
- 2 カーボン材料単体の放電プラズマ焼結
- 3 ナノカーボン複合材料
- 4 ミクロンサイズカーボン複合材料
- 5 まとめ

第 4 節 MEMS およびマイクロ部品への応用

- 1 はじめに
- 2 Ti-Ni-Cu 微細構造体の作製方法
 - 2.1 LIGA プロセスによるニッケル金型の製作
 - 2.2 MA による合金粉末の製作
 - 2.3 SPS 焼結
 - 2.4 機械研磨およびエッチング
- 3 Ti-Ni-Cu 微細構造体の MA による粉末製作と SPS 焼結
- 4 金属間化合物の微細構造体製作
- 5 まとめ

第 5 節 接合・燃焼合成への応用

- 1 はじめに
- 2 接合におよぼす接合条件因子の影響
- 3 パルス通電電流値の接合部への影響
- 4 パルス通電波形の接合部への影響
- 5 パルス通電接合機構
- 6 通電接合部の改善策
- 7 通電接合の特徴
- 8 燃焼合成