

1章 熱電変換の基礎と材料プロセス技術

1. 熱電変換の基礎
 - 1.1 熱電変換の原理
 - 1.2 熱電3効果
 - 1.3 ジュール熱と熱伝導
 - 1.4 熱電変換の特性
2. 材料製造プロセス
 - 2.1 バルク熱電変換素子の製造プロセス
 - 2.2 バルク材料マイクロ構造の制御
 - 2.3 バルク材料ナノ構造の制御
 - 2.4 特殊熱電変換材料の製造プロセス

2章 熱電材料・素子のプロセス技術

- 1節 Bi-Te系材料と融解育成法
 1. 結晶構造
 2. Bi-Te系材料の状態図
 - 2.1 Bi, Sb, Te, Se 間での二元状態図とBi-Te系材料
 - 2.2 p型材料としてのBi₂Te₃とSb₂Te₃の固溶体
 - 2.3 n型材料としてのBi₂Te₃とBi₂Se₃の固溶体
 3. Bi-Te系材料の異方性
 4. Bi-Te系材料と融解育成法
 - 4.1 原材料の準備とブリッジマン・ストックバーガー法
 - 4.2 ブリッジマン・ストックバーガー法の結晶成長条件と熱電性能
 - 4.3 ゾーンメルト法
 5. ドーパント
 6. Bi-Te系材料の熱電特性
- 2節 薄膜Bi₂Te₃に基づいた超格子熱電材料および装置
 1. Bi₂Te₃系超格子材料の創製と主要特性
 2. Bi₂Te₃系超格子材料からのデバイスの創製
 3. Bi₂Te₃系を基本とした薄膜超格子デバイスを用いるエネルギーハーベスト
 - 3.1 生体医療用埋め込み用エネルギーハーベスト
 - 3.2 ワイヤレスセンサー用エネルギーハーベスト
 4. 超格子熱電デバイスでの高熱流束の熱管理
- 3節 有機熱電材料の製造プロセス技術
 1. 熱電特性を示す有機材料とその特徴
 2. 熱電材料としての導電性高分子の製造

- 2.1 基本的な考え方
- 2.2 ポリアニリン
- 2.3 ポリピロール
- 2.4 ポリチオフェン
- 2.5 ポリフェニレンビニレン
- 2.6 ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)(PEDOT)
3. 有機-無機ハイブリッド熱電材料
4. 有機熱電素子製造プロセス技術
- 4節 ナノ構造スクッテルダイト:MS-SPS技術
 1. メルト・スピン(MS)法と放電プラズマ焼結(SPS)法
 - 1.1 独特の微構造を得るためのメルト・スピン法
 - 1.2 比較的短時間に完全密度のバルク材料を得るための放電プラズマ焼結法
 2. MS-SPS法により作成したナノ構造充填スクッテルダイト材料
 - 2.1 MS-SPS法で作成したスクッテルダイトの特徴と卓越性
 - 2.2 微細構造と相転移プロセスと機構:リボンからバルクへ
 3. “その場”形成されたInSbナノ相を含む高性能In_xCe_yCo₄Sb_{12+z}ナノ複合体の急速合成
 - 3.1 In_xCe_yCo₄Sb_{12+z}ナノ複合体の微細構造と形成機構
 - 3.2 In_xCe_yCo₄Sb_{12+z}ナノ複合体の熱電輸送特性
4. 結論と展望
- 5節 クラスレート材料と単結晶育成
 1. 金属間クラスレート
 2. フラックス法による単結晶育成法
 3. 同質二形クラスレートBa₈Ga₁₆Sn₃₀の結晶構造
 4. 金属間クラスレートの熱伝導率の抑制
 5. タイプVIII Ba₈Ga₁₆Sn₃₀のp型とn型のキャリア制御
 6. タイプVIII Ba₈Ga₁₆Sn₃₀の元素置換効果と中温で優れた熱電変換特性
 7. 熱電モジュールの試作
- 6節 シリサイド
 1. Mg₂Si
 - 1.1 高品質・高耐久Mg₂Si原料
 - 1.2 ドーピング特性
 - 1.3 焼結による電極一体型ペレット作製

- 1.4 電極材料
- 1.5 耐久性
- 1.6 スケーラビリティ
- 1.7 商用大口径Sb添加n形Mg₂Si素子の熱電特性
- 1.8 Mg₂Siの性能を生かす実用デバイス構造
- 2. MnSix (Higher manganese silicide : HMS)
 - 2.1 MnSix 結晶
 - 2.2 MnSix 原料作製
 - 2.3 熱電特性
- 7節 ハーフホイスラー
 - 1. 熱電変換材料としてのハーフホイスラー型化合物
 - 1.1 ハーフホイスラー型の規則結晶構造と相安定性
 - 1.2 相平衡に基づくハーフホイスラー熱電材料の設計指針
 - 2. 溶解凝固法と粉末冶金法
 - 2.1 凝固過程が組織形成に及ぼす影響
 - 2.2 アーク溶解法と粉末焼結法の組み合わせ
 - 2.3 組織微細化と異相分散による複相組織化
 - 3. 相平衡に基づく作製プロセス
 - 3.1 一方向凝固法による結晶成長
 - 3.1.1 相平衡に基づく一方向凝固と浮遊帯域溶融法
 - 3.1.2 一方向凝固で成長させたハーフホイスラー化合物合金の熱電特性
 - 3.2 Sn液相と金属間化合物相の界面反応
 - 3.2.1 固相-液相z(Sn)界面におけるTiNiSnの形成反応と拡散経路
 - 3.2.2 固相-液相反応焼結法への応用展開
 - 4. 相平衡に基づく組織制御と規則構造制御
 - 4.1 ハーフホイスラーの相分離傾向と組織制御の可能性
 - 4.2 ハーフホイスラー型規則構造の空孔サイト固溶による熱電特性制御の可能性
 - 4.2.1 ハーフホイスラーの相安定性と空孔サイト固溶
 - 4.2.2 空孔サイトの固溶が熱電特性に及ぼす影響
- 8節 ホイスラーと微細粒製法
 - 1. ホイスラー型Fe₂VAl合金
 - 1.1 結晶構造と材料特性
 - 1.2 電子構造と熱電特性
 - 2. 粉末冶金技術を用いたホイスラー型Fe₂VAl合金の微細組織化
 - 2.1 粉末冶金法によるFe₂VAl焼結体の作製
 - 2.2 微細組織化したFe₂VAl焼結体の熱電特性
 - 2.3 重元素置換による熱伝導率の低減
 - 3. ホイスラー型Fe₂VAl合金の量産化技術の検討
 - 3.1 高エネルギー型振動ボールミルによる合金粉末の高速合成
 - 3.2 ガスアトマイズ法による合金粉末の大量合成
 - 3.3 ニアネット成形体の作製
- 4. Fe₂VAl熱電モジュール
 - 4.1 直接接合による電極形成
 - 4.2 Fe₂VAl熱電モジュールの発電性能
- 9節 硫化物熱電材料と硫化合成
 - 1. 二硫化炭素を用いた硫化合成
 - 2. 希土類硫化物
 - 3. 層状硫化物
 - 4. シェブレル相硫化物
 - 5. 硫化物熱電発電モジュール
- 10節 層状構造の酸化物の配向した規則性組織化構造の作製
 - 1. 組織解析
 - 2. 組織化プロセス
 - 2.1 加熱加圧と焼結鍛造
 - 2.2 放電プラズマ焼結 (SPS)法
 - 2.3 テンプレート粒塊成長 (TGG)
 - 2.4 磁場中鑄込み成形法
 - 2.5 レーザー浮遊帯 (LFZ)法
 - 2.6 高圧冷間圧縮法
- 11節 ホウ素系材料
 - 1. ホウ素, ホウ素化合物の特徴
 - 1.1 B₁₂正二十面体クラスター
 - 1.2 B₆正八面体クラスター
 - 2. ホウ素, ホウ素化合物の作製方法
 - 2.1 金属ドーピングβ菱面体晶ホウ素
 - 2.2 炭化ホウ素
 - 2.3 金属六ホウ化物
 - 3. ホウ素, ホウ素化合物の熱電特性
 - 3.1 金属ドーピングβ菱面体晶ホウ素
 - 3.2 炭化ホウ素
 - 3.3 金属六ホウ化物

3章 熱電ナノ構造の形成プロセス

1節 ナノ構造の化学合成

1. ボトムアップ法によるナノ粒子の合成

- 1.1 核生成
- 1.2 結晶成長と形態制御
- 1.3 不混和現象-スピノーダル分解

2. ナノ構造の化学合成

- 2.1 液相反応法
- 2.2 気相反応法
- 2.3 固相反応法

3. 量子ナノ構造材料

2節 ナノ構造の自己形成

1. ナノ構造熱電材料の研究動向
2. ナノ構造の自己形成(自然ナノ材料)
 - 2.1 PbTe 基材料
 - 2.2 構造空孔制御系材料
3. スクッテルダイト化合物に見られるナノ構造の自己

形成

3節 金属材料の強加工による結晶粒微細化

1. 熱電材料の性能指数と結晶粒径
2. 微細結晶粒材料の作製方法
3. バルク材料の巨大歪み加工による結晶粒の微細化
4. HPT加工

4節 ナノ気孔薄膜

1. 作製プロセス概略
 - 1.1 ナノ粒子を利用したプロセス
 - 1.2 ナノ気孔薄膜と蒸着を利用したプロセス
2. ナノ気孔生成プロセス
 - 2.1 微粒子によるナノ気孔熱電薄膜プロセス
 - 2.2 高湿度雰囲気を利用したマイクロ気孔薄膜プロ

セス

- 2.3 ナノ気孔アルミナ
3. 熱電薄膜プロセス(フラッシュ蒸着法)
4. 気孔熱電薄膜プロセス
 - 4.1 マイクロ気孔熱電薄膜プロセス
 - 4.2 ナノ気孔熱電薄膜プロセス

4章 熱電変換技術の将来展望

1. 熱電材料技術の第三の波
2. 次世代熱電モジュール技術の進展と展望
3. 熱電変換システム技術の展開と将来展望
 - 3.1 自動車排熱利用熱電発電システム
 - 3.2 産業排熱利用熱電発電
 - 3.3 自然エネルギー利用熱電発電システム

3.4 エネルギーハーベスト熱電発電

4. アカデミック・ロードマップから見た将来展望