

# 「基礎から学ぶ磁性材料 ～ 上手に利用するための基礎理論から測定法・応用の実際まで～」

## 目次

### － はじめに －

### － 第1章「磁性材料を正しく理解するために」－

1. はじめに
2. 磁性のミクロな起源
3. 磁気秩序の起源—強磁性・反強磁性などはなぜ生じるか—
4. 強磁性体のマクロな磁性—磁気ヒステリシス・磁区・磁化曲線

### － 第2章「各種磁性材料の特性・開発動向と市場」－

#### 第1節 硬磁性体の特性と今後の展望～基礎物性から高性能硬質磁性材料の特性まで

1. 硬磁性体の評価と物性
  - 1.1 硬磁性体の評価
    - 1.1.1 有効磁界
    - 1.1.2 2種類の保磁力と残留磁気分極
    - 1.1.3 最大エネルギー積
  - 1.2 技術磁化過程
    - 1.2.1 磁壁移動による磁化過程
    - 1.2.2 磁化回転による磁化過程
2. 硬磁性体各論
  - 2.1 フェライト磁石材料
    - 2.1.1 結晶構造
    - 2.1.2 飽和磁気分極と磁気異方性
    - 2.1.3 キュリー温度
    - 2.1.4 フェライト磁石の磁気特性
  - 2.2 希土類磁石材料
    - 2.2.1 希土類磁石材料の特徴
    - 2.2.2 Sm-Co系磁石
    - 2.2.3 Nd-Fe-B系磁石
    - 2.2.4 Sm-Fe-N系磁石
  - 2.3 次世代磁石材料
    - 2.3.1 重希土類フリーNd-Fe-B磁石の高保磁力化
    - 2.3.2 新希土類合金
    - 2.3.3 高磁気異方性を有する3d遷移金属合金
  - 2.4 ナノコンポジット磁石材料

#### 第2節 軟磁性材料の特性

1. 軟磁性材料
  - 1.1 軟磁性材料の静的および動的磁気特性
    - 1.1.1 磁化反転過程と磁気異方性
    - 1.1.2 薄膜形状の軟磁性材料における透磁率の周波数特性

#### 第3節 スピントロニクス材料の特性と今後の展望

1. はじめに
2. スピントロニクスの機能と応用
  - 2.1 巨大磁気抵抗効果
    - 2.1.1 膜面内電流巨大磁気抵抗効果
    - 2.1.2 膜面直電流巨大磁気抵抗効果
    - 2.1.3 その他
  - 2.2 トンネル磁気抵抗効果
    - 2.2.1 アモルファスバリアを用いたトンネル接合
    - 2.2.2 結晶バリアを用いたトンネル接合
  - 2.3 スピン注入磁化反転とマイクロ波発振
    - 2.3.1 スピン注入磁化反転

- 2.3.2 マイクロ波発振
- 2.4 スピン軌道トルク
- 2.5 磁性半導体素子、その他
3. スピントロニクス材料
  - 3.1 巨大磁気抵抗効果材料
  - 3.2 高スピン分極材料
  - 3.3 トンネルバリア材料
  - 3.4 層間交換磁気結合材料
  - 3.5 低磁気ダンピング材料
  - 3.6 スピン軌道トルク材料
  - 3.7 反強磁性材料
  - 3.8 その他
4. 今後の展望

### － 第3章「計測・測定法」－

#### 第1節 磁気の計測

1. 磁気の計測
  - 1.1 磁界の発生と計測
    - 1.1.1 磁界の発生
    - 1.1.2 磁場の計測
  - 1.2 磁化の測定
    - 1.2.1 磁性体に働く力による測定
    - 1.2.2 磁性体から生じる磁界による測定
    - 1.2.3 電磁誘導を利用した測定
  - 1.3 磁気異方性の測定
    - 1.3.1 磁化曲線による測定
    - 1.3.2 磁性体に働くトルクによる測定
    - 1.3.3 磁気共鳴を利用した測定

#### 第2節 X線分光による磁性材料の分析

1. X線磁気円二色性を用いた元素選択的な磁気モーメント観察
  - 1.1 X線磁気円二色性の特長
  - 1.2 測定方法
    - 1.2.1 X線のエネルギーの選択
    - 1.2.2 透過法による測定
    - 1.2.3 電子収量法による測定
    - 1.2.4 蛍光収量法による測定
    - 1.2.5 その他の測定法
  - 1.3 磁気モーメントの見積もり
    - 1.3.1 磁気総和則
    - 1.3.2 実際の解析
2. 磁気モーメントの空間分布の観察
  - 2.1 微小ビームの利用
  - 2.2 結像系の利用
  - 2.3 深さ分解X線磁気円二色性
3. X線磁気線二色性分光を用いた反強磁性体の観察
  - 3.1 X線磁気線二色性

#### 第3節 磁気力顕微鏡を用いた磁気イメージング技術

1. 磁気力顕微鏡の基礎
2. 交番磁気力顕微鏡による顕微鏡性能の向上
3. 磁性材料・磁気デバイスの観察例
4. おわりに

#### 第4節 磁気光学効果を利用した計測技術

1. はじめに
2. 磁気光学効果

3. 磁気光学効果の測定原理
    - 3.1 回転偏光子法
    - 3.2 差動法
    - 3.3 ファラデーセル法
    - 3.4 円偏光変調法
    - 3.5 楕円率の測定法
  4. 磁気光学スペクトル測定法
    - 4.1 分光器を用いた方法
    - 4.2 マルチチャンネル分光器を用いた方法
  5. 磁気光学イメージング
    - 5.1 磁気光学イメージングの原理
  6. 磁気転写を用いた磁気光学イメージング
- 第5節 電子顕微鏡を用いた局所領域の磁性評価
1. 電子顕微鏡による磁性評価
  2. 透過型電子顕微鏡
    - 2.1 磁性材料内での電子線の位相変化
    - 2.2 ローレンツ電子顕微鏡
      - 2.2.1 フレネル・ローレンツ法と強度輸送方程式解析
      - 2.2.2 フーコー・ローレンツ法
    - 2.3 電子線ホログラフィー
    - 2.4 微分位相コントラスト法
    - 2.5 その他の手法
      - 2.5.1 電子線タイコグラフィー
      - 2.5.2 電子磁気円二色性
  3. 走査型電子顕微鏡
    - 3.1 走査電子顕微鏡 Type-I 磁気コントラスト
    - 3.2 走査電子顕微鏡 Type-II 磁気コントラスト
    - 3.3 スピン偏極走査電子顕微鏡 (Type-III 磁気コントラスト)
  4. 投影型電子顕微鏡
    - 4.1 スピン偏極低エネルギー電子顕微鏡
    - 4.2 光電子顕微鏡
- 第6節 Kerr 効果顕微鏡を用いた高分解能磁区観察
1. 磁性体の磁区と磁気イメージング技術
  2. 磁区観察手法と観察の空間分解能
  3. Kerr 効果顕微鏡を用いた磁区観察
    - 3.1 Kerr 効果による磁区観察の原理と特徴
    - 3.2 Kerr 効果顕微鏡の高分解能磁区観察の取り組み
- － 第4章「利用・応用例」 －
- 第1節 モータ駆動システムのための磁性材料活用技術
1. モータ駆動システムにおける磁性材料
  2. モータにおける磁性材料
    - 2.1 軟磁性材料
    - 2.2 硬磁性材料 (永久磁石)
  3. パワーエレクトロニクスにおける磁性材料
- 第2節 磁性材料の高周波インダクタへの応用
1. 高周波インダクタの現状
  2. インダクタの種類
    - 2.1 積層インダクタ
    - 2.2 平面インダクタ (プレーナインダクタ)
      - 2.2.1 伝送線路デバイス
    - 2.3 磁性材料を高周波インダクタにも用いるには
      - 2.3.1 インダクタのインピーダンスと磁性体の透磁率との関係
      - 2.3.2 R AC は磁性体の  $\mu$  ”由来だけではない (表皮効果・近接効果)
      - 2.3.3 磁性材料を高周波インダクタに用いる際の課題
  3. 磁性材料の高周波インダクタへの応用でおさえおきたい特性
    - 3.1 透磁率の高い共鳴周波数と高い絶対値との両立
    - 3.2 低い渦電流損失 (高い比抵抗)
      - 3.2.1 磁性膜の比抵抗と膜厚との関係
      - 3.2.2 磁性膜のマイクロパターン化
      - 3.2.3 多層膜
      - 3.2.4 磁性材料自体の高抵抗化
    - 3.3 異方性分散の低減
    - 3.4 磁歪 (磁気ひずみ)
    - 3.5 反磁界 (形状異方性)
    - 3.6 等方性
      - 3.6.1 面直一軸異方性膜の膜面内等方困難面の利用
      - 3.6.2 面内一軸異方性膜の45度方向励磁
      - 3.6.3 面内一軸異方性膜を用いた異方性直交膜
4. 実用材料
- 4.1 フェライト材料
    - 4.1.1 パルク材料
    - 4.1.2 薄膜
  - 4.2 アモルファス磁性合金薄膜
    - 4.2.1 アモルファス磁性合金
    - 4.2.2 ナノ結晶磁性体
  - 4.3 金属磁性微粒子複合材料による厚膜・薄膜
    - 4.3.1 樹脂混練材料
    - 4.3.2 ナノグラニューラー磁性膜
5. おわりに
- 第3節 磁性材料、応用磁気設計、回路技術の複合化によるパワーコンバータの高性能化
1. はじめに
  2. 車載用電力変換システムの動向と基本構成
  3. 小型軽量化/大容量化を目指した結合インダクタと圧粉コアの適用
    - 3.1 マルチフェーズコンバータ (回路応用) と結合インダクタ (応用磁気設計) の基本
    - 3.2 磁性材料 (圧粉コア)
    - 3.3 結合インダクタへの圧粉コアの適用
4. おわりに
- 第4節 ワイヤレス給電の伝送効率向上に向けた磁性材料の適用
1. まえがき
  2. 伝送周波数 13.56MHz のワイヤレス給電
    - 2.1 コイルの構造
    - 2.2 塗布材料の磁気特性
    - 2.3 磁束経路制御技術 MPC
  3. インピーダンス特性
  4. 電力伝送特性
    - 4.1 コイル間の伝送効率の算出方法
    - 4.2 結合係数の算出方法
    - 4.3 電力伝送特性
    - 4.4 発熱特性
  5. あとがき
- 第5節 電波吸収体、電磁遮蔽材料への応用を目的とした磁性粒子分散複合材料の開発
1. はじめに
  2. 磁性粒子分散複合材料の高周波透磁率
    - 2.1 透磁率の周波数分散
    - 2.2 透磁率の周波数分散機構と分散式
    - 2.3 磁性粒子分散複合材料の透磁率スペクトル
  3. 異方的形状金属磁性粒子を含む複合材料の高周波透磁率

4. 金属粒子分散複合材料による電磁メタマテリアル
5. おわりに

#### 第6節 磁性材料の磁気ディスク装置への応用

1. はじめに
2. 磁気記録装置の概要
3. 磁気ヘッド材料
4. 再生ヘッド材料
5. 磁気記録媒体材料
6. テラビット級の高記録密度HDDに向けて