

高性能電子セラミックス (1) 積層デバイス作成の極意

TIC書籍「ナノからテラへ」シリーズ

高性能電子セラミックスデバイス (1)

積層デバイス作成の極意



定価 31,500 円 (税込)

2014 年 01 月 20 日 第 1 版第 1 刷発行

携帯機器に要求される基本的な特性として、小型軽量化や低消費電力がありますが、高性能、多機能化に伴い 1 台当たりの携帯機器に搭載される電子部品の数が多くなればなるほど重要になります。

軽薄短小化と低損失化は、セラミック系の電子部品が本来持っている特徴と重なるため、最近の携帯機器には数多くのセラミック系の電子部品が使われることとなりました。セラミック系の電子部品としては、主に積層セラミックコンデンサをはじめ、フェライト材料やアルミナ、ガラス系の材料などが使われるインダクタや EMI 除去フィルタ、表面波デバイス、セラミック多層基板技術を利用したモジュールなどがります。

本書は、実装基板技術について月刊「マテリアルインテグレーション」に掲載された記事をまとめ、今後の技術方向を明確にし応えられる内容に致しました。

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いです。

執筆者一覧 (50 音順) 肩書は執筆当時

青木 卓也	TDK 株式会社 基礎材料開発センター 磁性材料グループ
青山 尚之	国立大学法人 電気通信大学
有村 雅司	福岡県工業技術センター 化学繊維研究所
飯塚 博之	三菱マテリアル(株) 電子技術研究所
五十嵐 秀二	防衛大学校 電子工学科
石井 浩一	TDK(株) センサアクチュエータビジネスグループ テクノロジーグループ
石崎 俊雄	松下電器産業株式会社 デバイス開発センター
井上 泰史	太陽誘電(株) 総合研究所 研究員
上田 政則	太陽誘電(株) マイクロデバイス開発室
遠藤 孝子	(株) 川角技術研究所 技術部
大久保 慎一	(株) 福井村田製作所 多層技術課
大塚 隆史	TDK-EPC(株)システムズアコースティックスウェイブス B. Grp
小笠原 正	TDK(株)
岡戸 広則	太陽誘電(株) 技術グループ 高周波プロジェクト
奥村 武史	TDK-EPC (株) マグネティクス BG 薄膜デバイス製品技術部

落合 達四郎 大研化学工業株式会社 顧問
 小野 裕司 NEC トーキョー(株) 材料研究開発本部
 加藤 好志 (株)アプライド・マイクロシステム
 川崎 健一 (株)村田製作所 コンポーネント事業本部 積層コンデンサ開発部
 川角 眞六 (株)川角技術研究所 代表取締役社長
 川田 慎一郎 (株)村田製作所 技術・事業開発本部 材料開発統括部 材料1部
 河野 健二 太陽誘電(株) 開発研究所 材料1グループ
 岸 弘志 太陽誘電 総合研究所 材料開発部
 木村 敏夫 慶應義塾大学理工学研究科 総合デザイン工学専攻 教授
 小林 寛和 TDK(株) センサアクチュエータB.G r p
 近藤 幸一 NEC トーキョー(株) 材料研究開発本部
 坂部 行雄 (株)村田製作所 技術開発本部 統括部長
 笹島 裕一 太陽誘電株式会社 開発研究所 試作センター
 佐藤 茂樹 TDK (株) 基礎材料研究所 研究主任
 佐藤 高弘 TDK 株式会社 マグネティクス B. Grp コイル製品統括部 積層製品 B.U.
 佐藤 祐己 松下電子部品株式会社 開発技術センター
 佐藤 良夫 太陽誘電(株) マイクロデバイス開発室
 車 声雷 住友金属鉱山 (株) 電子事業本部 電材事業部 ペースト部
 白露 幸祐 (株)村田製作所
 新保 利幸 アジレント・テクノロジー(株) 半導体部品 開発センタ
 鈴木 一高 太陽誘電(株) 総合研究所 基礎開発部 研究室 係長
 鈴木 孝太郎 松下電子部品株式会社 LCR デバイスカンパニー オプト・LTCC ストラテジックビジネスユニット
 鈴木 利昌 太陽誘電(株) 開発研究所
 鷹木 洋 (株)村田製作所 野洲事業所長
 高田 功 住友金属鉱山 (株) 電子事業本部 電材事業部 ペースト部
 高橋 貞行 (株)アプライド・マイクロシステム
 高谷 稔 TDK 株式会社電子デバイス事業本部 商品開発統括部 統括部長
 竹澤 洋子 太陽誘電株式会社 開発研究所
 竹島 裕 (株)村田製作所 技術開発本部 研究員
 田中 正治 松下電子部品株式会社 LCR デバイスカンパニー オプト・LTCC ストラテジックビジネスユニット
 谷 俊彦 (株)豊田中央研究所 無機材料研究室 主任研究員
 茶谷 健一 NEC トーキョー(株) 材料研究開発本部
 崔 京九 TDK(株)コーポレート RY&D グループ 材料プロセス技術開発センター
 鶴見 敬章 東京工業大学大学院理工学研究科 教授
 寺田 祐二 TDK(株) センサアクチュエータビジネスグループ アプリケーションセンター
 土信田 豊 太陽誘電株式会社
 長井 淳夫 松下電子部品(株) LCR デバイスカンパニー セラミックビジネスユニット
 永島 和郎 昭栄化学工業株式会社
 中島 規巨 (株)村田製作所 新規事業開発本部 多層事業推進部 商品開発課 係長
 中曽根 文 太陽誘電(株) 開発研究所
 新見 秀明 (株)出雲村田製作所
 西川 朋永 TDK-EPC (株) マグネティクス BG 薄膜デバイス製品技術部
 野村 修一 住友金属鉱山 (株) 電子事業本部 電材事業部 ペースト部
 原田 公樹 NEC トーキョー(株) 材料研究開発本部
 東山 嘉紀 松下電子部品株式会社 LCR デバイスカンパニー オプト・LTCC ストラテジックビジネスユニット
 平塚 信之 埼玉大学 名誉教授
 藤本 正之 太陽誘電 (株) 総合研究所 主席研究員
 藤吉 国孝 福岡県工業技術センター 化学繊維研究所
 星 健一 太陽誘電(株) 技術グループ 高周波プロジェクト
 堀川 勝弘 (株)村田製作所
 牧 秀哉 太陽誘電(株) 技術グループ 高周波プロジェクト
 牧野 晃久 福岡県工業技術センター 化学繊維研究所
 松尾 良夫 FDK 株式会社 電子事業本部
 松岡 大 TDK(株) センサアクチュエータビジネスグループ 半導体材料製品グループ
 三崎 勝弘 (株)村田製作所 EMI 事業部 第1商品開発部 開発3課
 水谷 惟恭 東京工業大学工学部
 望月 宣典 TDK(株)電子デバイス事業本部 商品開発統括部 課長
 安田 克治 TDK(株) 回路デバイスビジネスグループ インダクタグループ 積層製品統括部
 安田 拓夫 住友金属鉱山 (株) 電子事業本部 電材事業部 ペースト部
 山崎 琢也 三菱マテリアル(株) 電子技術研究所
 山田 迪夫 (株)川角技術研究所 取締役技術部長
 山本 博孝 山本技術士事務所
 吉田 栄吉 NEC トーキョー(株) 材料研究開発本部

目 次

1 章 総論

第1節 スマートフォン向けセラミック系電子部品の技術と市場の動向

- 1 はじめに
- 2 スマートフォンの市場性
- 3 スマートフォンに使われるセラミック系電子部品
- 4 部品の軽薄短小化
- 5 部品の複合化とモジュール化
- 6 部品搭載点数の削減
- 7 低損失化と小型化の両立
- 8 まとめ

第2節 多様化する積層セラミックス

- 1 小型軽量化の主役
- 2 積層セラミックコンデンサ
- 3 積層圧電セラミックス
- 4 積層セラミックスの多様化
- 5 あとがき

第3節 多層セラミックデバイス

- 1 まえがき
- 2 技術の推移
- 3 材料、プロセス
 - 3.1 材料
 - 3.2 セラミック多層プロセス
- 4 応用
 - 4.1 多層デバイス
 - 4.2 多層サブモジュール
 - 4.3 機能基板
- 5 今後の展開
- 6 まとめ

第2章 キャパシタ

第1節 セラミックコンデンサの過去・現在・未来

- 1 はじめに
- 2 粒界絶縁型半導体コンデンサ
- 3 Pb系リラクサー誘電体
- 4 Ni電極積層セラミックコンデンサ
- 5 セラミックコンデンサの将来技術
- 6 おわりに

第2節 これからのセラミック誘電体

- 1 積層コンデンサ用誘電体材料
- 2 高周波用誘電体材料
- 3 高電圧用誘電体材料

第3節 薄層大容量積層セラミックコンデンサ

- 1 はじめに
- 2 積層セラミックコンデンサ
- 3 小型大容量化への取り組み
- 4 薄層用誘電体材料について
 - 4.1 添加物の分散の影響について
 - 4.2 焼結体粒子径の影響について
 - 4.3 微粒子高誘電率材料
- 5 おわりに

第4節 積層セラミックスコンデンサ

- 1 はじめに
- 2 積層電子部品の技術動向
 - 2.1 電子機器からみた電子部品の動向
 - 2.2 電子部品の小型・低背化
 - 2.3 高性能化
- 3 積層コンデンサの技術動向
 - 3.1 積層コンデンサの構造

- 3.2 積層セラミックスコンデンサの製造方法
- 3.3 積層セラミックコンデンサ用の材料技術の動向
- 3.4 積層プロセスの技術動向
- 4 終わりに

第5節 超小型積層セラミックコンデンサの開発

- 1 はじめに
- 2 小型化に必要な新規技術
 - 2.1 誘電体材料設計技術
 - 2.2 プロセス設計技術
- 3 超小型 MLCC 0201 品の特徴
 - 3.1 0201 品のラインナップ
 - 3.2 0201 品の実装に与える影響
- 4 おわりに

第6節 超低背薄膜コンデンサ

- 1 はじめに
- 2 BST 低背コンデンサ
- 3 実効容量保証コンデンサ
- 4 低 ESL コンデンサ
- 5 Si インターポーザ上へのコンデンサ形成
- 6 まとめ

第7節 高周波インピーダンスマッチング用薄膜キャパシタ (Z-match) の開発

- 1 はじめに
- 2 Z-match の設計
 - 2.1 インピーダンスマッチング素子
 - 2.2 Z-match の構造設計
 - 2.3 Z-match の薄膜工程設計
- 3 Z-match の特性
 - 3.1 高周波特性
 - 3.2 PA モジュール評価
- 4 今後の展開

第3章 キャパシタ材料と積層技術

第1節 Ni 電極積層セラミックコンデンサの薄層化に向けた誘電体材料の進展

- 1 はじめに
- 2 誘電体材料の高信頼性化
- 3 誘電体材料の微細化
 - 3.1 BaTiO₃ の小径化と誘電特性
 - 3.2 微粉 BaTiO₃ 固相合成
- 4 おわりに

第2節 高容量積層セラミックスキャパシタの将来技術

- 1 はじめに
- 2 MLCC の非線形誘電性
- 3 高温 DC 電界下での寿命
- 4 コンピュータシミュレーションによる MLCC の設計
- 5 高容量 MLCC の将来技術
- 6 おわりに

第3節 MOCVD 法による BST 薄膜積層コンデンサ

- 1 はじめに
- 2 成膜及び評価方法
- 3 結果及び考察
 - 3.1 BST 単層薄膜
 - 3.2 BST/Pt 薄膜積層コンデンサ
- 4 まとめ

第4節 BaTiO₃ ナノ粒子を用いた電気泳動堆積法による薄膜キャパシタの作製

- 1 はじめに
- 2 高濃度ゾルゲル法による BaTiO₃ ナノ粒子の合成と一次粒子単分散サスペンションの調製
- 3 電気泳動堆積法による BaTiO₃ ナノ粒子堆積膜の形成
- 4 EPD 法による連続薄膜作製
- 5 連続 EPD 装置により作製した薄膜キャパシタの特性

6 まとめ

第5節 チタン酸バリウムナノクリスタルを用いた薄膜キャパシタ

- 1 はじめに
- 2 ナノクリスタルを用いた薄膜形成技術
 - 2.1 BaTiO₃ ナノクリスタルの合成
 - 2.2 BaTiO₃ ナノクリスタルスラリーの塗布と熱処理による膜緻密化
- 3 ナノクリスタルを用いた配向性柱状構造形成のメカニズムと固相エピタキシー
- 4 Cu 電極上でのナノクリスタル BaTiO₃ 薄膜の形成
- 5 おわりに

第6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7節 貴金属被覆セラミック粉末の開発

- 1 はじめに
- 2 被覆方法の概要
- 3 積層セラミックコンデンサへの応用
 - 3.1 積層セラミックコンデンサ用電極材料
 - 3.2 被覆粉末ペーストの膨張と収縮
 - 3.3 被覆粉末電極の導電性
 - 3.4 パラジウム被覆粉末の効果
- 4 最近の被覆粉末の紹介

第8節 厚膜法による電極の形成とその評価

- 1 はじめに
- 2 導体ペーストの構成と種類
- 3 厚膜法による電極の形成方法
- 4 電極の特性評価
- 5 積層セラミックコンデンサの電極形成
- 6 まとめ

第4章 インダクタ

第1節 磁性体デバイス

- 1 はじめに
- 2 表面実装インダクタ部品
- 3 巻線型チップインダクタ
- 4 積層型チップインダクタ
- 5 おわりに

第2節 積層チップインダクタ

- 1 はじめに
- 2 積層フェライトチップインダクタ
 - 2.1 構造と性能
 - 2.2 製造方法
 - 2.3 要素技術
 - 2.4 電気特性
- 3 積層セラミックチップインダクタ
 - 3.1 構造と性能
 - 3.2 要素技術
 - 3.3 電気特性
- 4 今後の動向

第3節 超小型インダクタ

- 1 はじめに
- 2 フィルムタイプチップインダクタ LQP シリーズの紹介
- 3 厚膜微細加工技術
- 4 超小型品での高 Q 特性の実現

5 今後の超小型インダクタの動向

6 まとめ

第4節 スマートフォンに使用される積層チップパワーインダクタ

1 はじめに

2 磁性材料の種類と特徴

3 小型パワーインダクタの開発

3.1 高周波低損失材料の開発

3.2 コア損失の分析

3.3 インダクタ構造の設計

3.4 回路に整合するインダクタ設計

3.5 小型DCDCコンバータの設計

3.5.1 損失の分析

3.5.2 インダクタの設計

3.5.3 積層型パワーインダクタの改善事例

4 おわりに

第5章 インダクタ材料と技術

第1節 ソフトフェライトの技術発展と高性能化

1 はじめに

2 通信機用フェライト

2.1 高安定高透磁率材 (H5A 材)

2.2 微細構造の検討

2.3 低損失材 (H6B 材) の雰囲気トンネル炉焼成

2.4 温度特性

3 HDD用フェライトパルクヘッド (高密度フェライト)

4 スwitching電源用フェライト (高磁束密度, 低パワーロス材)

5 積層チップインダクタ

6 おわりに

第2節 NiZnフェライトの技術発展と高性能化

1 はじめに

2 積層インダクタのプロセス技術

2.1 積層技術

2.2 積層インダクタの小型化技術

3 積層インダクタの材料技術

3.1 積層インダクタに用いられる材料

3.2 フェライト材料の低損失化

4 おわりに

第3節 六方晶ソフトフェライトとその応用展望

1 はじめに

2 結晶構造および基本特性

2.1 組成

2.2 強磁性共鳴および高周波特性

3 各種の六方晶ソフトフェライト

3.1 Z型フェライト

3.2 Y型フェライト

3.3 マグネトプラムバイト (M) 型フェライト

3.4 X型フェライト

3.5 U型フェライト

4 六方晶ソフトフェライトの応用展望

4.1 インダクタ素子用

4.2 電波吸収材料

第4節 Ni-Zn系フェライトのバルク, 厚膜および薄膜材料の技術動向

1 はじめに

2 アプリケーションと技術動向

2.1 Ni-Zn系フェライトのバルク, 厚膜および薄膜材料の位置付け

2.2 バルク材料

2.3 厚膜材料

2.4 薄膜材料

3 材料形状とフェライトの透磁率特性

- 3.1 材料形状と透磁率の関係
- 3.2 透磁率の周波数分散特性
- 4 フェライトめっき薄膜の応用開発事例—内層にフェライト薄膜が成膜された4層プリント基板のノイズ輻射特性
- 4.1 研究の背景
- 4.2 実験方法
- 4.3 実験結果と考察
- 5 まとめ

第5節 レーザ加工超小型積層チップインダクタにおける高精度印刷技術

- 1 はじめに
- 2 レーザ加工法
- 3 高精度印刷
- 3.1 実験方法
- 3.2 実験結果
- 4 積層チップインダクタへの応用
- 5 おわりに

第6節 積層インダクタの銀内部電極によるフェライト格子歪み

- 1 積層インダクタ
- 1.1 積層インダクタ製造法
- 1.2 積層インダクタの用途
- 2 内部銀電極によるフェライトの格子歪
- 2.1 実験方法
- 2.2 フェライトの格子歪分布
- 3 まとめ

第6章 LCRの集積化

第1節 LCR集積化と積層技術

- 1 はじめに
- 2 LCR集積化技術
- 2.1 積層インダクタ
- 2.2 積層インダクタ用材料
- 2.3 積層LC部品
- 2.4 積層混成集積回路部品
- 3 技術動向
- 3.1 大電流対応
- 3.2 高周波対応
- 3.3 小型集積化
- 4 まとめ

第2節 積層トランスについての最新動向

- 1 はじめに
- 2 製品の特徴
- 3 製品例
- 3.1 DC-DCコンバータ用積層トランス
- 3.2 積層コモンモードインピーダ MCZシリーズ
- 3.3 積層広帯域伝送トランス
- 4 応用例
- 4.1 製品の特長
- 4.2 構造
- 4.3 工法
- 4.4 積層DC-DCコンバータの回路例
- 5 今後の展開

第3節 積層モジュール DC-DCコンバータ

- 1 はじめに
- 2 要求性能
- 3 回路構成
- 4 構造・製法
- 5 技術説明
- 6 特性
- 7 おわりに

第4節 低温焼結セラミック材料によるマイクロ波フィルタ

- 1 はじめに
- 2 試料の作成
 - 2.1 組成系
 - 2.2 試料加工条件
- 3 セラミック特性
 - 3.1 セラミックの電気、機械的特性
 - 3.2 セラミック微細構造
 - 3.3 CZG 材の焼結挙動
 - 3.4 焼成安定性
- 4 チップ積層マイクロフィルタへの応用
 - 4.1 構造・特徴
- 5 まとめ

第5節 薄膜コモンモードフィルタの技術動向

- 1 まえがき
- 2 差動伝送
- 3 受信感度
- 4 小型化
- 5 低 Rdc 化
- 6 薄膜工法を利用した複合化部品
- 7 まとめ

第6節 ソフトフェライトを用いたノイズ抑制部品

- 1 はじめに
- 2 ソフトフェライトを用いた誘導性ノイズ抑制部品
 - 2.1 電源用 (AC) コモンモードチョーク
 - 2.2 AC 電源用 EMC フィルタ
 - 2.3 信号用 (DC) コモンモードチョーク
 - 2.4 フェライトコア
 - 2.5 フェライトビーズ
- 3 ソフトフェライトを用いたノイズ抑制部品の市場規模
- 4 まとめ

第7章 サーミスタ、バリスタ、熱電素子

第1節 PTC サーミスタの歴史と今後の展開

- 1 はじめに
- 2 PTC 特性の発見と基礎研究～1960 年代
- 3 多種多様な用途開拓～70 年代
- 4 PTC 特性の改善と市場急拡大～現在
- 5 PTC サーミスタの現状と今後の動向
- 6 むすび

第2節 0402 形状積層チップ NTC サーミスタの開発

- 1 はじめに
- 2 NTC サーミスタの基本特性
- 3 積層チップ NTC サーミスタについて
- 4 0402 チップ NTC サーミスタの開発
- 5 0402 形状開発における素材技術
- 6 おわりに

第3節 PTC サーミスタの積層化

- 1 はじめに
- 2 電極との同時焼成の課題
 - 2.1 PTC サーミスタの原理
 - 2.2 積層化の課題と解決策
- 3 実用特性
 - 3.1 耐電圧支配要因の検討
 - 3.2 積層構造と特性
- 4 まとめと今後の展開

第4節 積層チップバリスタの最新技術

- 1 はじめに
- 2 チップバリスタの構造
- 3 チップバリスタの作製方法とその評価

- 4 チップバリスタの低静電容量化
- 5 インピーダンスマッチングを図った新しい高速伝送線路向けバリスタ
- 6 低バリスタ電圧での誤動作防止改善
- 7 おわりに

第5節 シート積層型熱電素子

- 1 緒言
 - 1.1 研究の背景
 - 1.2 熱電素子の原理
- 2 実験方法
 - 2.1 製造方法
 - 2.2 評価方法
- 3 実験結果と考察
 - 3.1 一対品の特性
 - 3.2 多対品の特性 (6 対)
 - 3.3 耐久性試験結果
- 4 結言

第8章 SAW, FBAR, アンテナ

第1節 高周波弾性波デバイスの技術開発と携帯電話への応用

- 1 はじめに
- 2 SAW デバイス開発
 - 2.1 SAW デバイス温度特性改善技術
 - 2.2 デュープレクサへの応用
- 3 FBAR デバイス開発
 - 3.1 Air-gap 型 FBAR デバイスの開発
 - 3.2 デュープレクサへの応用と高周波化の検討
- 4 おわりに

第2節 FBAR 技術と FBAR 製品の携帯電話への応用例

- 1 はじめに
- 2 FBAR 技術
 - 2.1 Film
 - 2.2 Bulk
 - 2.3 Acoustic
 - 2.4 Resonator
- 3 FBAR の特性および他技術との比較
- 4 FBAR 技術の応用例
 - 4.1 北米 PCS 用デュプレクサ
 - 4.2 北米 PCS 用 RF 送信フィルタ (フル・バンド)
- 5 FBAR 製品開発動向

第3節 高周波セラミックチップアンテナ

- 1 はじめに
- 2 主なアンテナの種類と原理
 - 2.1 モノポールアンテナ
 - 2.2 逆Fアンテナ
 - 2.3 セラミックス化の流れ
- 3 高周波用セラミックチップアンテナ開発
 - 3.1 開発品の特徴
 - 3.2 アンテナ評価手法
 - 3.3 アンテナ用誘電体材料
 - 3.4 アンテナプロセス技術
- 4 チップアンテナ特性例
- 5 おわりに

第4節 LTCC デバイス—アンテナスイッチフィルタの開発—

- 1 はじめに
- 2 積層スイッチフィルタの要素技術
- 3 積層スイッチフィルタの構成
- 4 SAW フィルタ内蔵積層スイッチフィルタ
- 5 高密度実装化に対する取り組み
- 6 将来の積層スイッチフィルタ

第9章 積層圧電素子

第1節 積層圧電アクチュエータで駆動するマイクロロボット

- 1 はじめに
- 2 積層圧電アクチュエータとは
- 3 積層圧電アクチュエータの応用分野
 - 3.1 半導体製造装置（マスフローコントローラ）
 - 3.2 自動車への応用
 - 3.3 他の半導体装置への応用
- 4 積層圧電アクチュエータで駆動するマイクロロボット
 - 4.1 積層圧電アクチュエータと電磁石で駆動するマイクロロボット
 - 4.1.1 積層圧電アクチュエータ 2個並列型のマイクロロボット
 - 4.1.2 積層圧電アクチュエータ 4個口型のマイクロロボット
 - 4.2 積層圧電アクチュエータのみで駆動する慣性駆動型のマイクロロボット
- 5 微少液滴塗布システム
- 6 まとめと今後の課題

第2節 非鉛積層圧電セラミックスを用いた小型超音波モータ

- 1 はじめに
- 2 モータの設計
 - 2.1 設計指針
 - 2.2 圧電素子
 - 2.3 モータ構造
- 3 積層圧電セラミックスの作製
 - 3.1 (Sr, Ca)₂Nb₅O₁₅の特性と改良
 - 3.2 積層圧電セラミックスの設計と特性
- 4 モータの作製とその特性
 - 4.1 モータの作製と測定方法
 - 4.2 モータ特性
- 5 アレイ形積層圧電セラミックスによる特性改善
- 6 モータ特性の期待値
- 7 おわりに

第3節 Ni 内部電極積層無鉛圧電セラミックスの研究

- 1 はじめに
- 2 無鉛圧電セラミックス組成の検討
- 3 (K, Na)NbO₃系セラミックスの耐還元性調査
- 4 Ni 積層 (K, Na)NbO₃系セラミックスの試作・評価
- 5 まとめと今後の課題

第4節 積層圧電アクチュエータの変位特性に寄与する内部電極構造因子の解析

- 1 はじめに
- 2 積層圧電アクチュエータの変位量を決定する因子
- 3 積層圧電アクチュエータにおける内部電極構造と変位特性との関係
 - 3.1 内部電極層自体による変位阻害の実証
 - 3.2 端面圧電不活性部による変位阻害の実証
- 4 内部電極層自体の変位阻害のシミュレーション技術と解析結果
 - 4.1 シミュレーション技術の必要性
 - 4.2 シミュレーション手法（FEM解析）
 - 4.3 電位分布の内部電極層構造依存性
 - 4.4 残留応力の内部電極層構造依存性
 - 4.5 変位特性の内部電極層構造依存性
- 5 まとめと今後の展開

第5節 RTGG プロセスで設計する配向圧電セラミックス

- 1 はじめに
- 2 圧電セラミックスへの結晶配向付与の要請
- 3 RTGG 前史：結晶配向セラミックスの作製法
- 4 RTGG 法による圧電セラミックスの作製
- 5 配向度と緻密化に影響を与える因子
 - 5.1 配向度
 - 5.2 緻密化挙動
- 6 まとめ