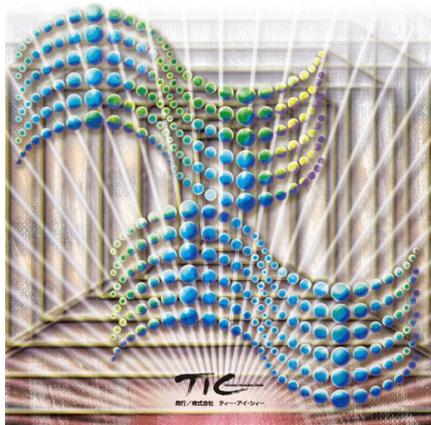


注目の誘電体セラミックス材料(2) 強誘電体薄膜の合成とデバイス開発

注目の誘電体セラミックス材料(2)

シリーズ「ナノからテラへ」

強誘電体薄膜の 合成とデバイス開発



本体価格 30,000 円 (税別) B5 版 750 頁
2014 年 5 月 10 日 第 1 版第 1 刷発行

誘電体は電界、温度、圧力、光、不純物などに対してそれぞれ分極履歴現象、焦電性、圧電性、電気光学性、半導体性などの現象を生じますが、原子、分子レベルでの精緻な構造設計によって単結晶やセラミックスのようなバルクでは実現できない優れた機能が発現します。

強誘電体薄膜は、半導体工学をベースに薄膜における原子層積層制御、クラスター変調分布制御、ナノ構造傾斜制御などに人工超格子薄膜ナノプロセスを適用することにより、次世代の人工材料創製のための研究が活発です。DRAM(Dynamic Random Access Memory)、キャパシタ、不揮発性メモリー(Ferroelectric Random Access Memory: FRAM)、マイクロピエゾアクチュエータ、(Micro piezo-actuator)、弾性表面波(Surface Acoustic Wave Device)、光変調器、光導波路、光偏向素子やパイロセンサ等への応用が進められているところです。

そこで、マテリアルインテグレーション誌に掲載された強誘電体薄膜の作製や応用に関する記事を編集し再録いたしました。また、最近、強誘電性と(反)強磁性の両方を合わせ持つ物質を示す物質がとして多値記録メモリのような新規デバイスの可能性や、新しい現象の発現の可能性が期待され、注目を集めていることからマルチフェロイクスの章も設けました。

執筆者一覧 (50 音順) 肩書は執筆当時

縫田 知宏	東京大学大学院理学系研究科化学専攻 助教
東 正樹	京都大学化学研究所
有馬 孝尚	東北大学多元物質科学研究所 無機材料研究部門 強相関固体物性研究分野
安藤 静敏	東京理科大学 理学部 応用物理学科 助手
飯島 高志	東北工業技術研究所 主任研究官
石河 睦生	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物質科学創造専攻
石沢 伸夫	東京工業大学工業材料研究所 助教授
石原 宏	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 教授
市川 能也	京都大学化学研究所
上田 一朗	松下電器産業(株) 中央研究所部品材料基礎研究所
大越 慎一	東京大学大学院理学系研究科化学専攻 教授
太田 淳	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科
岡田 秀哉	林化学工業(株)
岡村 総一郎	東京理科大学 理学部第一部応用物理学科
岡本 進	林化学工業(株)
小口 多美夫	広島大学大学院 先端物質科学研究科
奥山 雅則	大阪大学基礎工学部電気工学科 教授
尾崎 友厚	大阪府立大学・大学院工学研究科
小野瀬 佳文	東京大学工学系研究科, ERATO マルチフェロイクスプロジェクト
賀集 誠一郎	UFP プロセス開発室 囑託

加藤 一実	産業技術総合研究所セラミックス研究部門 テーラードリキッドソース研究グループ
川崎 雅司	東京工業大学 工業材料研究所 助手
喜多川 修次	村田製作所・解析センタ
北中 佑樹	東京大学先端科学技術研究センター
木村 剛	大阪大学大学院基礎工学研究科
黒田 和夫	東京大学生産技術研究所第1部
桑野 幸徳	三洋電機(株) 機能材料研究所 所長
木口 賢紀	東京工業大学 総合分析支援センター
坂田 雅一	三洋電機(株) 機能材料研究所新材料研究室
坂本 渉	名古屋大学大学院工学研究科 応用化学専攻
佐々木 孝友	大阪大学工学部電気工学教室
塩竈 忠	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 教授
篠崎 和夫	東京工業大学 大学院理工学研究科 材料工学専攻
島 宏美	東京理科大学大学院 理学研究科物理学専攻
島川 祐一	京都大学化学研究所
清水 勝	姫路工業大学 工学部 電子工学科 助教授
菅井 弘	(財)電気磁気材料研究所 主任研究員
鈴木 一行	産業技術総合研究所セラミックス研究部門 テーラードリキッドソース研究グループ
高田 雅介	長岡技術科学大学 工学部 電気系 教授
高田 光裕	住友特殊金属(株) 開発本部 主席研究員
高橋 芳行	東京理科大学 理学部化学科 助手
高山 良一	松下電器産業(株) 中央研究所薄膜研究グループ チームリーダー
田中 省作	鳥取大学工学部電気電子工学科 教授
田中 克	NHK放送技術研究所 材料・デバイス
千島 悠司	東京大学先端科学技術研究センター
塚本 桓世	東京理科大学 理学部 応用物理学科 教授
土谷 敏雄	東京理科大学 基礎工学部 材料工学科 教授
峠 登	近畿大学 理工学部 金属工学科 教授
徳田 崇	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科
十倉 好紀	東京大学工学系研究科, ERATO マルチフェロイクスプロジェクト
所 裕子	東京大学大学院理学系研究科・科学技術振興機構さきがけ研究員
斗内 政吉	大阪大学レーザーエネルギー学研究中心 教授 (南京大学 兼任教授)
豊田 幸夫	住友特殊金属(株) 開発本部
鳥居 保良	名古屋工業技術試験所セラミックス基礎部機能材料課 課長
中嶋 誠二	大阪大学大学院基礎工学研究科
長森 喜孝	林化学工業(株)
西尾 圭史	東京理科大学 基礎工学部 材料工学科 助手
西澤 かおり	産業技術総合研究所セラミックス研究部門 テーラードリキッドソース研究グループ
西田 貴司	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科
布下 正宏	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科
祐二 野口	東京大学先端科学技術研究センター
浜川 圭弘	大阪大学基礎工学部電気工学科 教授
濱上 寿一	東京都立大学大学院 工学研究科 工業化学専攻 助手
林 邦彦	林化学工業(株)
平野 眞一	名古屋大学大学院工学研究科 応用化学専攻
藤井 英治	松下電子工業(株) 技術本部 電子総合研究所 機能LSI研究部 室長
藤田 成隆	八戸工業大学
藤村 紀文	大阪府立大学大学院 工学研究科
舟窪 浩	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物質科学創造専攻
古川 猛夫	東京理科大学 理学部化学科 教授
前岡 敏彰	林化学工業(株)
増田 陽一郎	八戸工業大学 工学部 教授
増本 博	東北大学 金属材料研究所 助教授
松田 元秀	岡山大学 環境理工学部 環境物質工学科 助教授
松本 泰道	熊本大学工学部 教授
丸山 研二	(株)富士通研究所 シリコンテクノロジー開発研究所
三木 健	産業技術総合研究所セラミックス研究部門 テーラードリキッドソース研究グループ
水谷 惟恭	東京高等専門学校
美原 康雄	UFP プロセス開発室 専門部長
宮崎 保光	豊橋技術科学大学工学部情報工学系 教授
宮澤 信太郎	日本電信電話(株) LSI研究所宮澤特別研究室 室長
宮山 勝	東京大学先端科学技術研究センター
村上 春彦	スズキ(株) 技術研究所 研究員
森 茂生	大阪府立大学・大学院工学研究科
安井 伸太郎	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物質科学創造専攻

山下 仁大	東京都立大学大学院 工学研究科 工業化学専攻 助教授
山田 智明	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物質科学創造専攻
山道 新太郎	NEC ULSI デバイス開発研究所
余語 利信	名古屋大学大学院工学研究科 応用化学専攻
横尾 俊信	京都大学 化学研究所
吉村 武	大阪府立大学大学院 工学研究科
吉村 昌弘	東京工業大学 応用セラミックス研究所 教授
脇谷 尚樹	東京工業大学 大学院理工学研究科 材料工学専攻
符 徳勝	産業技術総合研究所セラミックス研究部門 テーラードリキッドソース研究グループ

目 次

第1章 (総論) 強誘電体薄膜と物性

第1節 強誘電体薄膜の合成とデバイス開発の現状

- 1 はじめに
- 2 酸素八面体強誘電体の結晶構造と強誘電的相転移現象
 - 2.1 ペロブスカイト型 BaTiO₃ の結晶構造と強誘電性
 - 2.2 ビスマス層状構造酸化物強誘電体化合物
- 3 強誘電体薄膜の合成法
 - 3.1 BTHZ 薄膜の合成
 - 3.2 酸化物電極としての SrRuO₃ (SRO) 薄膜の結晶構造と電気的特性
- 4 デバイス開発の現状
 - 4.1 不揮発性メモリー (FRAM) を目的としたデバイス開発
 - 4.2 圧電マイクロアクチュエータを目的としたデバイス開発
- 5 むすび

第2節 強誘電体セラミックスの電気光学的特性とその応用

- 1 はじめに
- 2 複合ペロブスカイト酸化物
- 3 PLLZT セラミックス
 - 3.1 PLLZT セラミックスの相図
 - 3.2 強誘電体の分域構造
 - 3.3 透明 PLLZT セラミックスの光散乱効果
- 4 酸素八面体強誘電体と分域モデル
 - 4.1 180° 分域モデル
 - 4.2 90° 分域モデル
 - 4.3 総合的な誘電率
- 5 透明セラミックスの誘電率の電界依存性
- 6 強誘電体セラミックスの分極反転特性
 - 6.1 分極反転用高圧トランジスタパルス
 - 6.2 分極反転電流特性
- 7 電気光学効果
 - 7.1 複屈折の電界依存性
 - 7.2 横方向の電気光学メモリー効果
 - 7.3 横方向の一次の電気光学効果
 - 7.4 横方向の二次の電気光学効果
- 8 強誘電体セラミックスの光第2高調波発生
- 9 結晶の屈折率楕円体表示
- 10 透明 PLLZT セラミックスの透過率下吸収係数 α および屈折率 n の波長依存性
- 11 Nd³⁺ ガラスレーザーの発振特性
- 12 透明な PLLZT セラミックスの第二高調波発生

第3節 強誘電体薄膜のナノ構造とそのメゾスコピックな物性

- 1 はじめに
- 2 ペロブスカイト系強誘電体とそのマクロとミクロな性質
- 3 電子デバイスへの応用
 - 3.1 次世代 DRAM (Dynamic Random Access Memory) と高誘電率キャパシタ
 - 3.2 強誘電体不揮発メモリー (FeRAM: Ferroelectric Random Access Memory)
- 4 フォトニックデバイスへの応用
- 5 まとめ (今後の展開)

第4節 強誘電性・強磁性マルチフェロイック物質の現状と展望

- 1 はじめに
- 2 1種類の物質におけるマルチフェロイックス

- 2.1 孤立電子対に由来するもの
- 2.2 幾何学的な非対称性に由来するもの
- 2.3 フラストレーションに由来するもの
- 2.4 新しい概念で発現が予想されているもの
- 2.5 考察
- 3 2種類の物質の組み合わせによるマルチフェロイクス
 - 3.1 (a) 3-3型 (強誘電体バルクと強磁性体バルクの3次元的な複合材料)
 - 3.2 (b) バルク 2-2型 (強誘電体バルクと強磁性体バルクの2次元的な複合材料, 積層厚膜を含む)
 - 3.3 (c) 薄膜 2-2型 (強誘電体薄膜と強磁性体薄膜の2次元的な複合材料, 人工超格子を含む)
 - 3.4 (d) 1-3型 (強誘電体または強磁性体のナノピラー)
- 3.5 考察
- 4 おわりに

第5節 強誘電性高分子薄膜の機能物性

- 1 はじめに
- 2 フッ化ビニリデン共重合体の階層構造と強誘電性
- 3 分極反転と相転移
- 4 機能物性
- 5 高結晶化高配向厚膜からナノフィルムへ

第2章 強誘電体薄膜の合成法

第1節 強誘電体薄膜の作成プロセス

- 1 強誘電体セラミックスの製膜法
- 2 焦電体膜
 - 2.1 圧電体膜・電気光学膜

第2節 Pb含有ペロブスカイト膜の作製と応用

- 1 はじめに
- 2 ペロブスカイト薄膜の作製法
- 3 rfスパッタリング法によるPb含有ペロブスカイト膜の作製
 - 3.1 PbTiO₃薄膜
 - 3.2 PLZTエピタキシャル膜
- 4 強誘電体薄膜により実現された新機能電子デバイス
 - 4.1 不揮発性メモリFE
 - 4.2 低電圧駆動エレクトロルミネッセンス(EL)素子
 - 4.3 焦電形赤外線センサ
 - 4.4 シリコンモノリシック超音波センサ
 - 4.5 オプトエレクトロニクス素子

第3節 ECRスパッタ法による強誘電体薄膜(BIT, BNN)の合成

- 1 はじめに
- 2 ECRプラズマスパッタ
- 3 BITおよびBNN薄膜の合成と評価
 - 3.1 実験方法
 - 3.2 BIT薄膜合成結果と考察
 - 3.3 BNN薄膜合成結果と考察
- 4 まとめ

第4節 YAGレーザーアブレーション法による強誘電体薄膜の作製と焦電特性

- 1 はじめに
- 2 レーザーアブレーション法による酸化物薄膜の作製
- 3 多層構造膜の電気的特性と界面依存性
- 4 強誘電体多層構造の素子特性: 分極疲労特性
- 5 強誘電体多層構造の素子特性: 焦電特性
- 6 まとめ

第5節 パルスレーザーMBE法による量子構造セラミック薄膜の形成

- 1 はじめに
- 2 量子構造セラミックス
- 3 パルスレーザーMBE法と原子レベル制御
- 4 基板の平坦化と2次元エピタキシー
- 5 表面・界面のキャラクタリゼーション
- 6 今後の展望

第6節 電子線誘起反応を用いた強誘電体薄膜の微細加工プロセス

- 1 はじめに
- 2 電子線誘起反応微細加工プロセスの概要
- 3 電子線描画システム
- 4 電子線誘起反応
- 5 微細強誘電体 BIT パターンの結晶化の様相
- 6 強誘電体 SBT パターンの電気的特性
- 7 むすび

第7節 ビスマス層状構造強誘電体薄膜の合成と物性

- 1 はじめに
- 2 ビスマス層状構造強誘電体
- 3 チタン酸ビスマス ($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$: BIT) 薄膜
 - 3.1 MOD (Metalorganic Decomposition) 法により作製された BIT 薄膜と特性
 - 3.2 MOCVD (Metalorganic Chemical Vapor Deposition) 法による BIT 薄膜の作製
- 4 タantal酸ストロンチウムビスマス ($\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$: SBT) 薄膜の作製
 - 4.1 MOD 法およびゾル・ゲル法による SBT 薄膜の作製
 - 4.2 MOCVD 法による SBT 薄膜の作製
- 5 終わりに

第8節 PbTiO_3 , $(\text{PbLa})\text{TiO}_3$, $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 系強誘電体薄膜の作製と諸性質

- 1 まえがき
- 2 強誘電体薄膜の作製
- 3 結晶構造
- 4 電気的性質
 - 4.1 誘電性および焦電性
 - 4.2 D-E ヒステリシス曲線
- 5 焦電形赤外線センサ
 - 5.1 ポイント形センサ
- 6 リニアアレイセンサ
- 7 まとめ

第9節 MOCVD 法による強誘電体 PZT 薄膜の合成

- 1 はじめに
- 2 MOCVD 法
- 3 MOCVD 装置
- 4 PZT 薄膜の合成
- 5 原料純度が PZT 薄膜の電気特性に及ぼす影響
- 6 PZT 薄膜のサイズ効果
- 7 結び

第10節 ゾルーゲル法による機能性薄膜の現状と動向

- 1 はじめに
- 2 機能性薄膜の作製プロセス
 - 2.1 出発原料
 - 2.2 化学修飾
 - 2.3 ゾルの複合化
 - 2.4 ち密化/結晶化過程
- 3 ゾルーゲル法による機能性薄膜
 - 3.1 電気的機能薄膜
 - 3.2 光学的機能薄膜
 - 3.3 化学的機能薄膜
- 4 無機・有機複合ゲル膜を用いた薄膜の微細加工
 - 4.1 スタンパーを用いる方法
 - 4.2 光分解を利用する方法
- 5 おわりに

第11節 ゾルーゲル法によるセラミックス薄膜の作製と評価

- 1 はじめに
- 2 ゾルーゲル法の基礎化学
- 3 コーティング
- 4 基板とコーティング膜の接着
- 5 機能性コーティング膜
 - 5.1 光学機能膜
 - 5.2 電磁気機能

- 5.3 化学的および機械的保護機能膜
- 5.4 触媒機能コーティング膜
- 6 まとめ

第12節 化学溶液法によるタングステンブロンズ型強誘電体薄膜の合成

- 1 はじめに
- 2 化学溶液法による合成プロセス
- 3 ニオブ酸塩タングステンブロンズ強誘電体膜の合成例
 - 3.1 (Sr, Ba)Nb₂O₆[SBN]およびK置換SBN [KSBN]膜
 - 3.2 Sr₂KNb₅O₁₅[SKN]膜
 - 3.3 (Pb, Ba)Nb₂O₆[PBN]およびK置換PBN [KPBN]膜
 - 3.4 Ba₂NaNb₅O₁₅[BNN]膜
- 4 まとめ

第13節 水熱電気化学法による機能性複合酸化物薄膜の作成

- 1 水熱電気化学法
- 2 BaTiO₃ 薄膜の作成
- 3 ガラス基板上のBaTiO₃ 薄膜
- 4 SrTiO₃ 薄膜

第14節 電気泳動法によるセラミック複合膜の製造プロセス

- 1 はじめに
- 2 電気泳動プロセスの原理
- 3 電気泳動による複合化
 - 3.1 混合と複合化
 - 3.2 積層化（ラミネーション）、接合、傾斜化
 - 3.3 マルチ電極、複雑形状電極、パターンニング
- 4 セラミックスへの適用例
 - 4.1 誘電・圧電性セラミックス
 - 4.2 固体電解質
 - 4.3 バイオセラミックス
 - 4.4 高強度セラミックス
- 5 おわりに

第15節 電気泳動法によるBaTiO₃/SrTiO₃, PZ/PT コンポジット膜の作製

- 1 はじめに
- 2 BaTiO₃/SrTiO₃ 複合膜の調整
- 3 PbZrO₃/PbTiO₃ 複合膜
 - 3.1 電気泳動法に用いる懸濁液の調製
 - 3.2 電気泳動法と焼結
- 4 おわりに

第16節 ソフト溶液プロセスによる高機能セラミックス開発

- 1 はじめに
- 2 ソフト溶液プロセス
- 3 ソフト溶液プロセスの例
 - 3.1 蛍光セラミックス SrWO₄ 膜の常温合成
 - 3.2 水熱電気化学法によるBaTiO₃ 薄膜の作製
 - 3.3 その他
- 4 おわりに

第17節 電気化学的手法を用いるソフト溶液プロセス

- 1 はじめに
- 2 電気化学反応を用いる複合酸化物膜作製の基本原理
 - 2.1 電解酸化を用いる場合
 - 2.2 電解還元を用いる場合
- 3 電解酸化による複合酸化物膜作製
 - 3.1 金属電極自身が酸化される場合
 - 3.2 溶液中の金属イオンが酸化される場合
- 4 電解還元を用いる場合
 - 4.1 チタン酸バリウムペロブスカイト膜
 - 4.2 PZT, PLZT ペロブスカイト膜
 - 4.3 鉄ペロブスカイト膜
- 5 無電解酸化によるマンガンペロブスカイト膜作製

- 6 その他の電解を用いた酸化物膜作製方法
 - 6.1 高温高压下での電解
 - 6.2 半導体単結晶電極上への酸化物電析
- 7 おわりに

第18節 LB法によるチタン酸鉛薄膜の合成とその物性

- 1 はじめに
- 2 ラングミュア・プロジェクト(LB)法とは
- 3 LB法を用いたチタン酸鉛の合成
 - 3.1 単分子膜の形成
 - 3.2 チタンおよび鉛を含む単分子膜の累積
 - 3.3 累積膜の無機薄膜への変換
- 4 LB法を用いて作製したチタン酸鉛薄膜の物性
- 5 まとめ

第19節 エアロゾル式ジェット・プリンティング法による強誘電体膜の形成

- 1 はじめに
- 2 エアロゾル式 JPS
- 3 強誘電体膜の形成とその電気特性
- 4 PZT 堆積膜とポリ尿素薄膜の積層
- 5 今後の展望

第3章 強誘電体の LSI 応用

第1節 強誘電体薄膜を用いた電子デバイス

- 1 強誘電体薄膜の作製
- 2 新機能電子デバイス
 - 2.1 不揮発性メモリ素子
 - 2.2 低電圧駆動エレクトロルミネッセンス (EL) 素子
 - 2.3 Si モノリシック超音波センサ
 - 2.4 焦電形赤外線センサ
 - 2.5 オプトエレクトロニック素子

第2節 強誘電体の LSI 応用 —FRAM—

- 1 はじめに
- 2 強誘電体を用いた半導体メモリの歴史
- 3 FRAM の特徴
- 4 回路設計技術
- 5 FRAM のプロセス技術
- 6 おわりに

第3節 強誘電体ゲートトランジスタ用薄膜

- 1 はじめに
- 2 強誘電体ゲート FET の動作原理と現状
- 3 YMnO₃ を用いた MFIS 構造の作製とその特性
- 4 強誘電体ゲート—圧電半導体チャンネル FET
- 5 まとめ

第4節 強誘電体薄膜集積メモリー

- 1 強誘電体メモリー—最近の進歩
 - 1.1 デバイス化への検討事項
- 2 強誘電体薄膜の物性研究

第5節 テーラードリキッドソースで作る高性能デバイス

- 1 はじめに
- 2 結晶構造制御と不揮発性メモリへの応用
 - 2.1 層状ペロブスカイト構造の設計
 - 2.2 六方晶構造の安定化
- 3 微構造制御と高感度センサーへの展開
- 4 まとめ

第6節 次世代メモリー用強誘電体エピタキシャル積層膜の作製

第7節 DRAM用高誘電率薄膜

- 1 はじめに
- 2 高誘電率材料の必要性
- 3 PVD 法による BST 薄膜と Pt 系下部電極
- 4 CVD 法による BST 薄膜と RuO₂・Ru 系下部電極

- 5 Pb系薄膜
- 6 まとめと今後の課題

第8節 強誘電体不揮発性メモリの現状と応用

- 1 はじめに
- 2 FeRAMの動作原理と特長
- 3 Bi系層状超格子
- 4 集積化技術
- 5 FeRAMの特性
- 6 FeRAMの応用
- 7 まとめ

第9節 不揮発性メモリ用強誘電体薄膜の分極特性に及ぼす空間電荷の影響

- 1 はじめに
- 2 強誘電体薄膜キャパシタの作製
- 3 結果と考察
 - 3.1 多結晶PZT薄膜のヒステリシス特性の初期電圧軸シフト
 - 3.2 多結晶PZT薄膜の分極保持特性
 - 3.3 エピタキシャルPLT薄膜のヒステリシス特性
- 4 結び

第4章 光機能材料への応用

第1節 強誘電体薄膜を用いた光導波型機能素子

- 1 強誘電体材料と光機能素子
- 2 光薄膜導波路
- 3 導波型光薄膜機能素子

第2節 波長変換材料

- 1 波長変換材料の現状
- 2 高出力レーザー用非線形光学材料
 - 2.1 KDP
 - 2.2 KTP
 - 2.3 KTA
 - 2.4 BBO
 - 2.5 LBO
- 3 低パワーレーザー用高効率波長交換材料
 - 3.1 LiNbO₃
 - 3.2 KNbO₃
 - 3.3 BNN
 - 3.4 KTP

第3節 フォトリフラクティブ材料

- 1 原理
 - 1.1 拡散
 - 1.2 外部電力，光起電力効果
 - 1.3 限界電界
 - 1.4 非線形屈折率
 - 1.5 応答速度
 - 1.6 電子-正孔競合と多重トラップ準位
- 2 光波混合と光増幅
- 3 ビームファニング
- 4 光波混合と位相共役波発生
- 5 短パルス光の記録への応用
- 6 化合物半導体
 - 6.1 特徴
 - 6.2 フォトリフラクティブ中心
 - 6.3 GaPのフォトリフラクティブ効果
 - 6.4 増幅係数の温度特性
 - 6.5 光波混合増幅係数の増大化
- 7 誘電体材料
 - 7.1 強誘電体結晶
 - 7.2 シレナイト化合物

第4節 PLZTセラミックスとその応用

- 1 2次電気光学材料用 PLZT
- 2 PLZT 応用デバイス例
 - 2.1 標準光シャッター
 - 2.2 カラーフィルター
 - 2.3 7セグメントデジット表示器
 - 2.4 ランダムアクセスマトリクス
- 3 光シャッター
 - 3.1 実験方法
 - 3.2 結果と考察
- 4 高密度、微結晶 PLZT の作製と光シャッターへの応用
 - 4.1 HIP による PLZT セラミックスの作製
 - 4.2 積層型電極偏光切換え素子
 - 4.3 小型光スイッチング素子
 - 4.4 光シャッターアレイ
 - 4.5 まとめ

第5節 フルカラー無機 EL ディスプレイの最近の開発動向

- 1 はじめに
- 2 薄膜 EL デバイスの動作機構と EL 発光材料
- 3 発光中心とカラー-EL ディスプレイ
 - 3.1 遷移金属イオン
 - 3.2 希土類イオン
- 4 薄膜発光層/厚膜絶縁層混成構造 EL 素子
- 5 薄膜発光層/厚膜絶縁層混成構造を用いたカラー-EL ディスプレイ
- 6 Eu^{2+} を発光中心とするカラー-薄膜 EL 材料
- 7 まとめ

第6節 無機 EL の開発状況

- 1 はじめに
- 2 EL 用蛍光体の歴史と現状
- 3 無機 EL の種類
 - 3.1 分散型
 - 3.2 薄膜型
- 4 無機 EL の最近のトピック
- 5 新しい発光機構
- 6 結晶成長と不純物
- 7 まとめ

第5章 薄膜焦電材料

第1節 薄膜焦電材料の開発とその応用

- 1 まえがき
- 2 薄膜焦電材料
 - 2.1 焦電材料とその薄膜化
 - 2.2 焦電薄膜の動向
 - 2.3 スパッタ法による焦電薄膜
- 3 薄膜焦電型赤外線センサ
 - 3.1 マイクロポイント形センサ
 - 3.2 アレイ形焦電センサ
- 4 あとがき

第2節 焦電形赤外線センサの最新動向

- 1 薄膜セラミックスを用いた焦電形センサ
 - 1.1 PbTiO_3 薄膜を用いた赤外線センサ
 - 1.2 PLT 薄膜を用いたポイントセンサ
- 2 チョップパ内臓焦電形赤外線センサ

第3節 焦電センサの開発

- 1 はじめに
- 2 焦電セラミック材料
- 3 焦電センサの具体例
 - 3.1 ポイントセンサ
 - 3.2 アレイセンサ
- 4 おわりに

第6章 マルチフェロイック材料の構造と作製

第1節 マルチフェロイック物質—機能材料への課題

- 1 マルチフェロイックとは
- 2 スピン誘起強誘電性
- 3 らせん磁性体における巨大電気磁気応答
- 4 機能材料への課題

第2節 鉄酸化物および銅酸化物における磁気秩序誘起の強誘電性

- 1 はじめに
- 2 磁気秩序によって誘起される強誘電性
- 3 六方晶フェライトにおける電気磁気効果
- 4 酸化銅 (II) CuO における磁気秩序誘起強誘電性
- 5 おわりに

第3節 マルチフェロイックの構造物性研究

- 1 マルチフェロイックとは
- 2 独立型マルチフェロイックと従属型マルチフェロイック
- 3 スピン偏極中性子による従属型マルチフェロイックの検証
- 4 巨大電気磁気効果の構造物性研究
- 5 巨大電気磁気効果の機構

第4節 マルチフェロイックにおける新規物性の探索

- 1 研究室概要
- 2 外部磁場による TbMnO₃ の電気分極の操作
- 3 外部電場による (Cu, Ni)B₂O₄ の磁化の操作
- 4 CuB₂O₄ における光の方向二色性
- 5 おわりに

第5節 ダブルペロブスカイト構造マルチフェロイック酸化物

- 1 はじめに
- 2 ダブルペロブスカイト構造マルチフェロイック酸化物
 - 2.1 物質設計
 - 2.2 高圧合成多結晶 Bi₂NiMnO₆
 - 2.3 エピタキシャル単結晶薄膜 Bi₂NiMnO₆
 - 2.4 人工超格子 BiFeO₃-BiCrO₃
- 3 おわりに

第6節 MOCVD 法による BiFeO₃ 基薄膜の合成と評価

- 1 緒言
- 2 MOCVD 法による薄膜の合成
 - 2.1 原料ガス
 - 2.2 MOCVD 装置
- 3 BiFeO₃ 薄膜の合成
 - 3.1 薄膜の作製
 - 3.2 結晶構造評価
 - 3.3 特性評価
- 4 BiCoO₃-BiFeO₃ 薄膜の合成
 - 4.1 薄膜の作製
 - 4.2 結晶構造評価
 - 4.3 特性評価
- 5 まとめ

第7節 (1-x)BiFeO₃-xBaTiO₃ の磁気誘電特性と微細構造

- 1 はじめに
- 2 実験方法
- 3 実験結果と考察
 - 3.1 (1-x)BiFeO₃-xBaTiO₃ の結晶構造
 - 3.2 (1-x)BiFeO₃-xBaTiO₃ の磁気・誘電特性
 - 3.3 (1-x)BiFeO₃-xBaTiO₃ の強誘電分域構造
- 4 まとめ

第8節 マルチフェロイック材料の第一原理計算

- 1 はじめに
- 2 BiMnO₃ の強磁性・強誘電性秩序
- 3 PbVO₃ と BiCoO₃ の巨大分極
- 4 マルチフェロイック酸化物の物質設計

5 ガーネット構造をもつマルチフェロイック酸化物の探索

第9節 多結晶 BiFeO₃ 薄膜の応力および電界による結晶変形

- 1 はじめに
- 2 BiFeO₃ の結晶構造
- 3 多結晶 BiFeO₃ 薄膜の作製と基礎特性
 - 3.1 パルスレーザー堆積法による多結晶 BiFeO₃ 薄膜の作製
 - 3.2 巨大分極を示す強誘電性ならびに強磁性、強弾性
- 4 多結晶 BiFeO₃ 薄膜結晶構造の応力効果
 - 4.1 メンブレン構造を用いた膜応力の緩和
 - 4.2 多結晶 BiFeO₃ 薄膜中に混在する各配向結晶粒の微視的評価
- 5 多結晶 BiFeO₃ 薄膜の電界誘起歪
 - 5.1 電界誘起歪の直接観察
 - 5.2 電界印加下における in situ X線回折
- 6 まとめ

第7章 マルチフェロイックス材料の応用

第1節 YMnO₃ 系マルチフェロイック薄膜の物性と応用

- 1 はじめに
- 2 YMnO₃ 系物質の強誘電性と磁性
- 3 YMnO₃ エピタキシャル薄膜の強誘電性ドメイン反転と磁気秩序との関係
- 4 YbMnO₃ エピタキシャル薄膜の磁場誘起強磁性
- 5 マルチフェロイック薄膜のデバイス応用
- 6 YMnO₃ 薄膜の電界効果トランジスタ (FET) 応用
- 7 むすび

第2節 次世代メモリとしてのマルチフェロイック材料

- 1 はじめに
- 2 強誘電体メモリの現状
- 3 化学溶液堆積法を用いた BiFeO₃ 膜の形成
- 4 Mn置換によるリーク電流の低減
- 5 おわりに

第3節 マルチフェロイック材料における磁化誘起非線形光学効果

- 1 はじめに
- 2 RbMnFe プルシアンブルー類似体における強誘電—強磁性特性
- 3 (PLZT)_x(BiFeO₃)_{1-x} 固溶体における強誘電—強磁性と非線形磁気光学効果
- 4 まとめ

第4節 マルチフェロイック薄膜の光学特性

- 1 はじめに
- 2 物質中での光の伝播
- 3 屈折率
- 4 BiFeO₃ 薄膜の作製
- 5 BiFeO₃ 薄膜の光学特性
- 6 まとめ

第5節 BiFeO₃ 薄膜からのテラヘルツ波発生と光新機能

- 1 はじめに
- 2 フェムト秒レーザー励起によるテラヘルツ波発生
- 3 BF0 光スイッチの作製とテラヘルツ波電磁波発生検出システム
- 4 BF0 からのテラヘルツ波発生
- 5 光アシスト効果による分極反転
- 6 テラヘルツ波発生のイメージング応用
- 7 その他の特性例
- 8 まとめ

第6節 BiFeO₃ 単結晶における欠陥制御 —欠陥誘起分極反転—

- 1 緒言
- 2 強誘電体における分極反転
- 3 分極反転における新しいドメインの核発生
- 4 欠陥複合体および欠陥誘起分極反転
- 5 第一原理計算による欠陥複合体の設計
- 6 欠陥複合体の導入効果
- 7 おわりに 6 応用と今後の展開