

応用物理学会関西支部

平成 27 年度第 1 回講演会

「酸化物機能性材料が牽引するエレクトロニクスの新展開
～関西発、革新技術と若手研究者からの情報発信～」

主 催 : 応用物理学会関西支部

日 時 : 2015 年 6 月 22 日(月) 13:30~18:00 (懇親会~20:00)

場 所 : イーグレひめじ 3FあいめっせホールおよびB1F第3展示室
〒670-0012 姫路市本町 68 番 290 TEL:079-289-3443
<http://www1.winknet.ne.jp/~egret-himeji/>



【講演会】

「酸化物機能性材料が牽引するエレクトロニクスの新展開
～関西発、革新技術と若手研究者からの情報発信～」

【プログラム】

第一部:講演の部(於:3F あいめつせホール)

(司会 応用物理学会関西支部 幹事 中嶋 誠二)

13:30~13:35 開会の辞 挨拶:斧 高一(支部長, 京都大学)

13:35~13:40 大学紹介 兵庫県立大学 清水 勝

(座長 応用物理学会関西支部 幹事 秋田 勝史)

13:40~14:05 招待講演 1 兵庫県立大学 佐藤 眞一

「酸化物材料による結晶シリコン系太陽電池の界面制御」

14:05~14:30 招待講演 2 住友電気工業(株) 佐藤 謙一

「高温超電導の応用はどこまで進んでいるか」

14:30~14:55 招待講演 3 京都大学 藤田 静雄

「酸化ガリウムをベースにしたワイドギャップ半導体系」

14:55~15:05 休 憩

(座長 応用物理学会関西支部 幹事 山田 英明)

15:05~15:30 招待講演 4 パナソニック(株) 金子 幸広

「酸化物積層構造を用いた強誘電体ゲートトランジスタメモリ」

15:30~¹⁵16:55 招待講演 5 大阪府立大学 吉村 武

「強誘電体薄膜を用いたエネルギー変換デバイス」

¹⁵16:55~16:20 招待講演 6 九州大学 柳田 剛

「金属酸化物単結晶ナノワイヤ」

16:20~16:30 休 憩 (B1F ポスターセッション会場へ移動)

第二部:ポスター発表の部(於:B1F 第3展示室)

16:30~18:00 ポスター発表 (筆頭著者のみ記載)

(座長 応用物理学会関西支部 幹事 龍頭 啓充)

P-1 Sn ドープしたコランダム構造酸化ガリウム薄膜の電気特性

赤岩 和明 京都大学

P-2 Sn ドープ α -(InFe)₂O₃ 混晶薄膜の構造と磁化特性

内田 昌志 京都大学

P-3 コランダム構造 α -In₂O₃ 薄膜のデバイス動作特性

金子 健太郎 京都大学

P-4 室温で弱強磁性を示す新規 LiNbO₃ 型 ScFeO₃ の高圧合成と物性

河本 崇博 京都大学

P-5 コランダム構造 α -(AlGa)₂O₃ 薄膜の構造及び電気特性評価

神野 莉衣奈 京都大学

- P-6** ZnO 透明セルフスイッチングナノダイオードの作製と整流特性
孫 屹 大阪工業大学
- P-7** スパッタ法による $\text{Ni}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}$ 膜を用いたソーラーブラインド型紫外線センサの作製
西谷 拓樹 関西大学
- P-8** 準安定相の rh-ITO エピタキシャル成長
西中 浩之 京都工芸繊維大学
- P-9** 放射光と計算科学を用いた金属ナノ粒子と酸化物担体の相互作用に関する研究
倉本 圭 兵庫県立大学
- P-10** 鉛系新規銅酸化物の90K級超伝導と大電流トンネルデバイスへの応用
小森 祥央 京都大学
- P-11** Bi 系高温超伝導体固有ジョセフソン接合における第二スイッチの巨視的量子トンネルに関する研究
野村 義樹 京都大学
- P-12** 酸化チタン薄膜表面への酸素プラズマ処理による効果
荒木 佑馬 兵庫県立大学
- P-13** 酸化物表面への GCIB 照射によるカーボンナノチューブの成長制御
魚住 裕樹 兵庫県立大学
- P-14** O_2 -GCIB による金属酸化物形成を利用した低損傷エッチング
小川 晃広 兵庫県立大学
- P-15** SiO_2 へのクラスターイオンビーム照射による発光測定
織田 啓佑 京都大学
- P-16** 酸素クラスター支援蒸着による伸縮性ガスバリア薄膜の形成
高 文菲 京都大学
- P-17** テラヘルツ時間領域分光法を用いた $\text{Pb}_{1-y}\text{Sr}_2\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{2+y}\text{O}_{7+\delta}$ におけるゆらぎ伝導度の評価
鵜沢 旭 京都大学
- P-18** 導電性窒化物プラズモニックナノ粒子アレイの作製と光学特性の評価
鎌倉 涼介 京都大学
- P-19** 酸化チタン微小球を用いたテラヘルツマグネティックミラーの開発
花井 研一郎 大阪大学
- P-20** 柔軟かつロバストな $\text{Pb}[\text{Zr,Ti}]\text{O}_3$ -MEMS アクチュエータ
大久保 昂 兵庫県立大学
- P-21** $\text{Bi}_{3.25}\text{Nd}_{0.65}\text{Eu}_{0.10}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ナノプレートの構造および圧電性に及ぼすスパッタリングガス圧の影響
栗山 知侑 兵庫県立大学
- P-22** $\text{Pb}[\text{Zr,Ti}]\text{O}_3$ 薄膜の多層積層による MEMS マルチモルフ構造
佐野 良 兵庫県立大学
- P-23** Zn および Mn ドープによる単一ドメイン BiFeO_3 薄膜のリーク電流の低減
重松 晃二 兵庫県立大学
- P-24** BiFeO_3 薄膜のドメインウォールの形成位置の制御
瀬戸 翔太 兵庫県立大学
- P-25** 単一ドメイン BFO 薄膜の異常光起電力効果と光起電力テンソルの要素の算出
高山 幸太 兵庫県立大学

P-26 リンゴ酸錯体法を用いた非鉛系 $(1-x)(\text{Na}_{0.50}\text{K}_{0.45}\text{Li}_{0.05})\text{NbO}_3-x\text{BaZrO}_3$ 固溶体セラミックスの作製及び物性評価

永本 健留 兵庫県立大学

P-27 多自由度な MEMS を指向した $\text{Pb}[\text{Zr,Ti}]\text{O}_3$ 薄膜の加工済みウエハへの成膜加工

森上 慎吾 兵庫県立大学

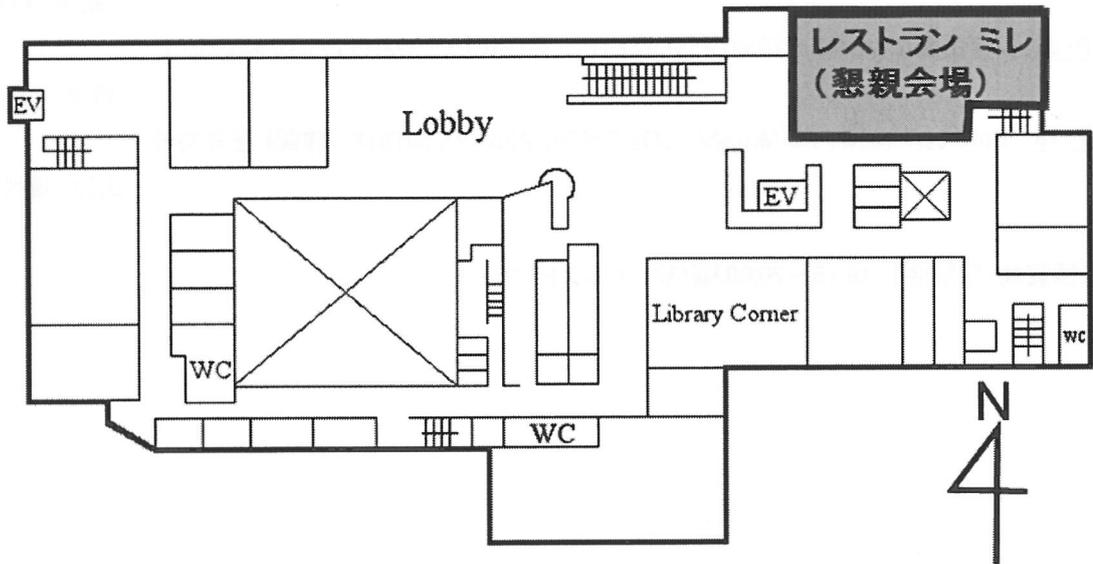
P-28 $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3-\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Sb}_{2/3})\text{O}_3-\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ 固溶体の作製と圧電特性

山口 瑞代 兵庫県立大学

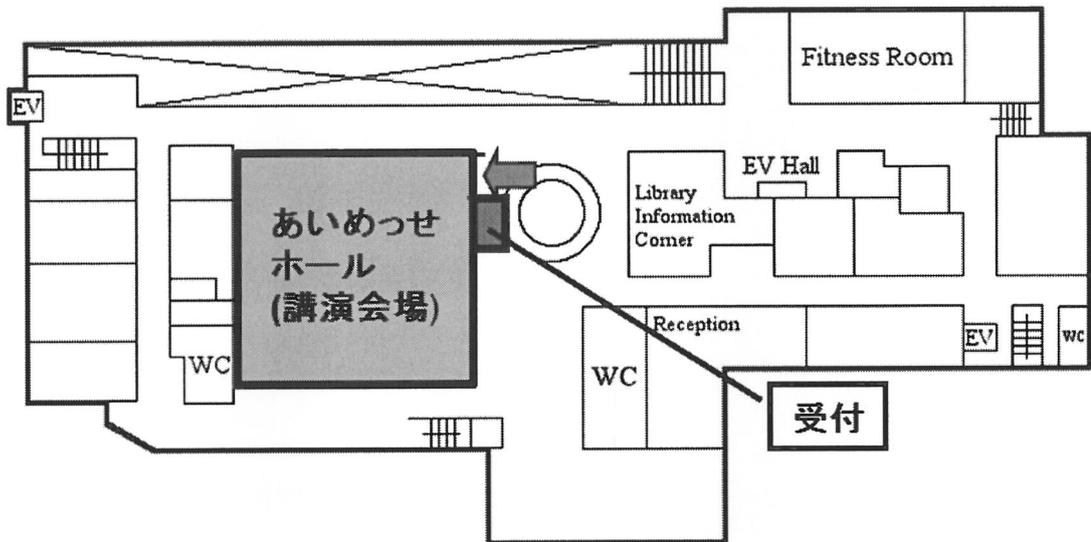
【授賞式・懇親会】 18:15~20:00 頃(於:4F レストランミレ)

【会場案内図】

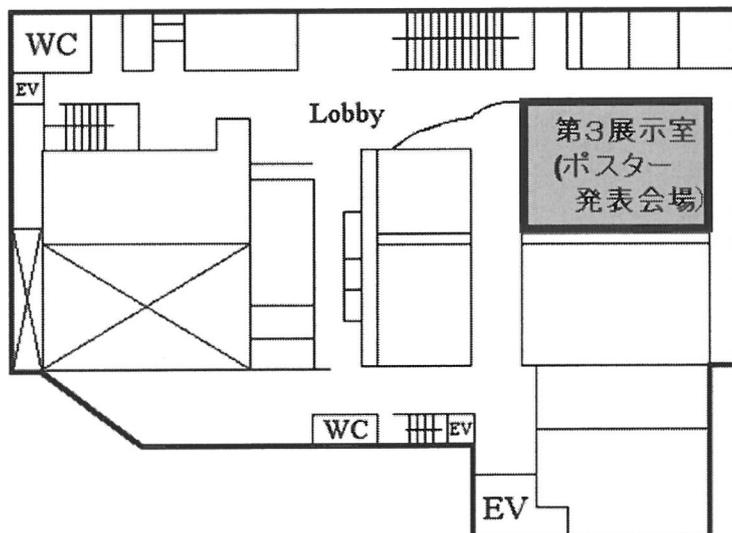
4F



3F



B1F



招待講演要旨

酸化物材料による結晶シリコン系太陽電池の界面制御 Surface passivation with oxide materials for crystalline silicon solar cells

兵庫県立大¹、JST-CREST²

○佐藤 真一^{1,2}

Univ. of Hyogo¹, JST-CREST²

S. Satoh^{1,2}

E-mail: satoh@eng.u-hyogo.ac.jp

結晶シリコン太陽電池の性能を制御しているのは主に界面におけるキャリアの損失であり、セル構造、材料、製造技術などにおいて様々な取り組みがなされているが、基板厚が 100 μm あるいはそれ以下の超薄型化を実現するためには革新的な界面パッシベーションが求められる[1]。特に薄型基板の場合は裏面再結合速度を制御するパッシベーション技術が重要であり、変換効率の劇的な向上が期待される。

高品質な界面パッシベーション用の膜としてシリコン酸化膜 (SiO_2) が知られているが、熱酸化による高温長時間の膜形成のため、多結晶シリコン基板や低コスト基板において基板品質の低下やプロセスコスト増大の問題が生じる。そのため低温プロセスによるパッシベーション膜の開発が必要となり、プラズマ CVD によるアモルファス水素化シリコン窒化膜 ($\text{a-SiN}_x\text{:H}$) が表面パッシベーション膜として標準的に用いられている。絶縁膜/半導体界面のキャリア再結合速度(SRV)の低減のためには、界面準位密度(D_{it})の低減に加えて、固定電荷(Q_f)の増大による界面付近のバンドエンジニアリングが有効とされ、製膜中に導入される水素によるダングリングボンドの終端のみならず、いかにして大きな固定電荷を誘起するか、の視点から様々なパッシベーション材料の探索が行われている。なかでも AlO_x 膜は高密度の負の固定電荷を有することから P 型基板の裏面パッシベーション膜として注目されており、ALD や CVD あるいはスパッターなど様々な製膜方法による研究が活発に行われている[2,3]。

一方、半導体集積回路 (LSI) における材料探索への取り組みは、近年の MOSFET におけるゲート絶縁膜への High-k 材料の導入や DRAM キャパシタへの高誘電体材料の導入に結実されたように、画期的な成果を生み出してきた。これら酸化物系材料とシリコン半導体界面に関する貴重な知見は結晶シリコン太陽電池の界面パッシベーションにおいても有効であると考えられ、界面現象の理解とそれに基づく新材料探索にその応用が期待される。

本講演では、超薄型結晶シリコン太陽電池を目指したパッシベーション技術の現状と課題を概観するとともに、 AlO_x 膜をはじめ種々の酸化物系材料を中心とした材料探索をめぐる研究成果の一端を紹介し、今後の結晶シリコン系太陽電池におけるパッシベーション技術の方向性を議論する。

AlO_x 膜については実効固定電荷の起源を明らかにする上でも有望な手法と期待されるオゾンを用いた室温 ALD 法を中心にメカニズムの追及を行うと共に[4,5]、分子動力学(MD)法を用いた $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 積層構造のシミュレーションを試み、先行研究モデル[6]に沿った界面ダイポールの発現が確認された[7]。

一方、酸化物材料に他の絶縁材料を添加するコンビナトリアル製膜法による材料探索を行った結果、 Al_2O_3 と同じ M_2O_3 組成を持つ Y_2O_3 の添加によって正負の固定電荷の制御が可能であることが判明した[8]。さらに、YZT 混晶系材料を詳細に探索した結果、 ZrO_2 混晶系が熱処理後に大きな負の固定電荷を形成することを見出した。これは ZrO_2 へ安定化材料である Y_2O_3 を添加することにより、 ZrO_2 が従来持つ膜中の負の固定電荷が増大された結果であると考えられる。

謝辞： 本報告をまとめるに当たり、明治大学小椋教授はじめ関係各位に多大なご協力を頂きました。深く感謝いたします。

【参考文献】

- [1] 大下他, 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 17a-B6-7 (2012)
- [2] B. Hoex, *et al.*, *Jpn. J. App. Phys.*, **104** (2008) 113703.
- [3] S. Miyajima *et al.*, *Appl. Phys. Express*, **3** (2010) 012301.
- [4] K. Arafune *et al.*, *Jpn. J. App. Phys.*, **51** (2012) 04DP06.
- [5] H. Lee *et al.*, *Appl. Phys. Letter*, **100** (2012) 143901.
- [6] K. Kita *et al.*, *Appl. Phys. Letter*, **94** (2009) 132902.
- [7] T. Watanabe *et al.*, *ECS Trans.*, **64** (2014)3
- [8] T. Tachibana, *et al.*, *Jpn. J. App. Phys.*, **50**(2011)04DP09

高温超電導の応用はどこまで進んでいるか

Present status of high-temperature superconductors application

○佐藤 謙一 (住友電気工業)

°Kenichi Sato (Sumitomo Electric)

E-mail: sato-kenichi@sei.co.jp

ビスマス系超電導材料($(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, BSCCO または Bi-2223 と呼ばれる)は臨界温度(110K)が高いのみならず、希土類元素を含まない特徴がある。また高温超電導材料の欠点である二次元性を克服するための結晶配向が塑性加工で可能である特徴を有する。従って大量生産性に優れる特徴も持ち、生産単長は1,500m~2,000m と長い。住友電気工業は新技術事業団(現・科学技術振興機構)の委託開発で1991年から1995年にかけて「酸化物超電導材料(Bi系超電導線)の製造技術」を実施した。この開発ではビスマス系超電導材料の発見者である前田弘さんや北澤宏一教授からアドバイスをいただきながら開発を進めた。図1は、第32回井上春成賞(科学技術振興機構)授賞式での写真である



図1 第32回井上春成賞授賞式(2007.7.11)

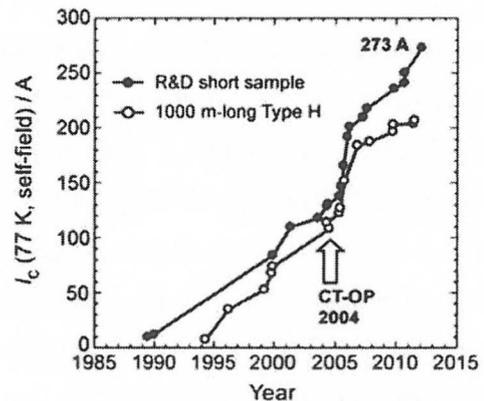


図2 ビスマス系超電導線の臨界電流向上

図2は、開発当初からのビスマス系超電導線の臨界電流(77K、自己磁場)の性能推移である。

2004年には加圧焼成法(CT-OP)と名付けた新しい生産プロセスの導入により、工業製品として世の中に供給することが可能となった。それにより、応用製品の開発が本格化し、現在では日々運転されている機器も登場している。

図3は応用製品群である。



MRI: Magnetic Resonance Imaging, NMR: Nuclear Magnetic Resonance

図3 ビスマス系超電導応用製品群

酸化ガリウムをベースにしたワイドギャップ半導体系

Gallium Oxide-Based Wide Band Gap Semiconductor System

○藤田 静雄 (京大院工)

°Shizuo Fujita (Kyoto Univ.)

E-mail: fujitasz@kuee.kyoto-u.ac.jp

単結晶の酸化ガリウム(Ga_2O_3)は、約 5 eV という大きなバンドギャップをもちながら、 10^{19} cm^{-3} レベルのキャリア密度をとり、また低キャリア密度では $300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の移動度が期待される半導体である。さらに熔融法で大面積・高品質の基板が得られることもあり、エピタキシャル成長による短波長光デバイス、高耐圧のパワーデバイス等への応用が考えられる。 Ga_2O_3 半導体は α , β , γ , δ , ϵ 型と表記される結晶構造を持つ。これらのうち、最も熱的に安定なものが単斜晶系の β 型とされており、バンドギャップは 4.8-4.9 eV である。すでに β 型 Ga_2O_3 基板を用いたショットキバリアダイオード[1]やホモエピタキシャル成長層を用いた MOSFET[2]が実証され、今後の進展が期待されている。

一方、幅広いデバイス応用には、混晶によるバンドギャップ制御とヘテロ構造の作製が重要である。 Ga_2O_3 は Al_2O_3 および In_2O_3 との混晶化が期待される。ただし、 Al_2O_3 はコランダム構造、 In_2O_3 は立方晶系のピクソバイト構造が安定なため、混晶化による結晶構造の変化が問題で、混晶組成の限界がある。 β 型 Ga_2O_3 と Al_2O_3 とを混晶化させた場合、 β 型をとりうる限界は Al/Ga 組成比 61%程度とする実験結果がある[3]。他方、われわれの研究によると、コランダム構造の α 型 Ga_2O_3 および α 型 In_2O_3 がサファイア(α 型 Al_2O_3)基板上に成長可能なことが明らかになった[4,5]。このことから、図に示すように α 型 Al_2O_3 - Ga_2O_3 - In_2O_3 の混晶によりバンドギャップ 3.8~9 eV にわたる制御が可能であると考えられる。これは GaN 系半導体よりワイドギャップの領域をカバーし、新しい応用分野の開拓につながると考えられる。

本発表では、 Ga_2O_3 をベースとした酸化物半導体に関して、期待される応用と研究開発の現状について講演する予定である。

参考文献

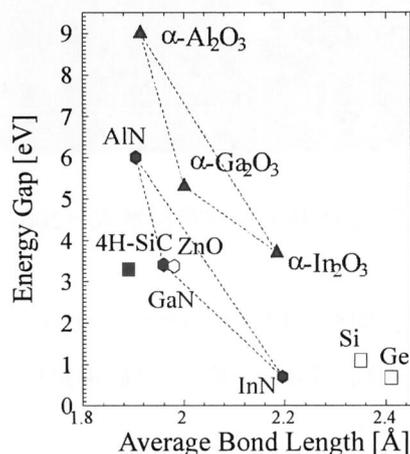
[1] K. Sasaki 他, IEEE Electron Device Lett. 34, 493 (2013).

[2] M. Higashiwaki 他, Appl. Phys. Lett. 103, 123511 (2013).

[3] T. Oshima 他, Jpn. J. Appl. Phys. 48, 070202 (2009).

[4]. Shinohara 他, Jpn. J. Appl. Phys. 47, 7311 (2008).

[5] N. Suzuki 他, J. Cryst. Growth, 364, 30 (2013).



α型酸化物によるバンドギャップ制御

酸化物積層構造を用いた強誘電体ゲートトランジスタメモリ Ferroelectric-gate Field-Effect-Transistor based on an Oxide Heterostructure

パナソニック株式会社 先端研究本部, °金子 幸広, 西谷 雄, 上田 路人

Panasonic Corporation, °Yukihiro Kaneko, Yu Nishitani, and Michihito Ueda

E-mail: kaneko.yukihiro001@jp.panasonic.com

MOS(Metal Oxide Semiconductor)トランジスタのゲート絶縁膜部分に強誘電体を用いた強誘電体ゲートトランジスタ(Ferroelectric-gate Field-effect Transistor: FeFET)は、新しい強誘電体メモリとして注目されている。強誘電体における分極反転現象は1 ns以下で起こるため、データ書き込み時の消費エネルギーが小さいという特長を持つ¹。さらに強誘電体における元来の分極反転の性質から書き換え耐性に優れるといった利点も持つ。つまり、FeFETは高速・低消費電力・高書き換え耐性を併せ持ったメモリ素子である²。

FeFETはゲート電圧によって反転する強誘電体の自発分極がチャンネルを形成し、それが不揮発に保持されることで動作するデバイスである。しかしながら、チャンネル面である強誘電体と半導体(シリコン)界面が安定に形成できなかつたため、保持特性が劣化するという課題をこれまで有していた^{2,3}。これに対し我々は、安定な界面を持つ強誘電体と半導体の直接スタック構造を実現するために、従来用いられていたシリコンではなく酸化物半導体(ZnO)を用いた逆スタガ型薄膜トランジスタ構造のFeFETを開発した。本構造の作製においては、ゲート電極と強誘電体に格子定数の比較的近いSrRuO₃とPb(Zr,Ti)O₃を採用しエピタキシャル成長させることで、電子の走行面を理想的に平坦とすることを狙った。パルスレーザー堆積法で作製した膜は目論見通り、基板から半導体までエピタキシャル成長しており、ZnO/Pb(Zr,Ti)O₃界面が原子レベルで平坦であった。このスタック構造を用いて強誘電体ゲートトランジスタを作製したところ、ゲート電圧によって強誘電体分極が反転し、それに伴ってドレイン電流も5桁変調することが確認できた。これまで課題であった保持特性も良好であり、10年のデータ保持が可能であることがわかった⁴。さらに、本素子のチャンネル形成ダイナミクスを詳細に調べたところ、ゲート電圧印加に伴いソース・ドレイン電極直下よりスイッチングが開始し、それがチャンネル中央部へと伝播することでスイッチングすることが明らかとなった⁵。また、我々は本構造を元にメモリセルの開発⁶や脳型素子へ応用⁷などアプリケーションの開発も行っている。詳細については参考文献をご覧ください。

FeFETは課題であった保持特性が改善され、その特徴を活かしたアプリケーションの開発へと研究内容は広がっている。他の研究機関からも特性改善やFeFETの特徴を活かしたアプリケーションの報告が相次いでおり、実用化されるのも遠くはないと考えられる。

1. H. Ishii, et. al.: *Applied Physics Express* **4**, 031501 (2011).
2. 石原宏: *応用物理* **75** (第5号), 546 (2006).
3. T. P. Ma and J.-P. Han: *Electron Device Lett.*, *IEEE* **23** (7), 386-388 (2002).
4. Y. Kato, Y. Kaneko, et. al.: *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 2719 (2008).
5. Y. Kaneko, et. al.: *J. Appl. Phys.* **110**, 084106 (2011).
6. Y. Kaneko, et. al.: *IEEE Trans. Electron Devices* **58**, 1311 (2011).
7. Y. Kaneko, et. al.: *IEEE Trans. Electron Devices* **61**, 2827 (2014).

強誘電体薄膜を用いたエネルギー変換デバイス

Energy conversion devices using ferroelectric thin films

○吉村 武(大阪府立大学)

°Takeshi Yoshimura (Osaka Prefecture Univ.)

E-mail: tyoshi@pe.osakafu-u.ac.jp

インターネットは、普及が始まってから現在までの約 20 年間に、ブロードバンド通信、ワイヤレス通信、クラウド、スマートフォンなどいくつかのキーテクノロジーの登場により幾度かの大きな変化を経験してきた。最近、次の大きな変化としてモノのインターネット(IoT: internet of things)が注目を集めるようになってきている。これは、モノがセンサを使って多量の情報を収集してインターネット上に供給し、それを活用した新しいサービスが出現するというものである。その実現には兆単位のセンサノードの活用が必要と言われており、小型低消費電力のセンサや環境中に存在する未利用の微小エネルギーを利用した発電素子などの開発が活発化している。

強誘電体は、図 1 に示すように様々な物理量を別の物理量に変換することが可能な物質であり、IoT において重要な役割を担える能力を有している。既に加速度センサ、ジャイロセンサ、焦電型赤外線センサなど多くのデバイスが実用化されているが、近年の強誘電体薄膜の作製技術の向上により MEMS 技術を活用した新しい応用の開拓も期待できるようになっている。本研究では、振動エネルギーから正圧電効果を用いて発電するデバイスに焦点を当てている。IoT においてセンサノードへの電力供給は重要な課題の一つであり、安定な電力が得られる振動発電は有力な候補となっている。振動から電力への変換には、電磁、静電などの方式も検討されているが、圧電方式は小型化に有利という特徴があり、研究報告例は最も多い。筆者は、振動発電応用に適した強誘電体薄膜として BiFeO_3 に着目し、その発電性能の実証に取り組んできた(APEX 6(2013)051501)。図 2 に試作した素子の発電の負荷抵抗依存性を示す。 $10.5 \mu\text{W}\cdot\text{mm}^{-3}\cdot\text{G}^{-2}$ の最大発電量はセンサノードの電源として利用できるレベルであるが、一方でいくつかの課題も明らかになっている。講演では、圧電式振動発電素子の現状を紹介し、将来展望について議論する。

【謝辞】本研究は NEDO 平成 23 年度先導的産業技術創出事業の支援を受けている。

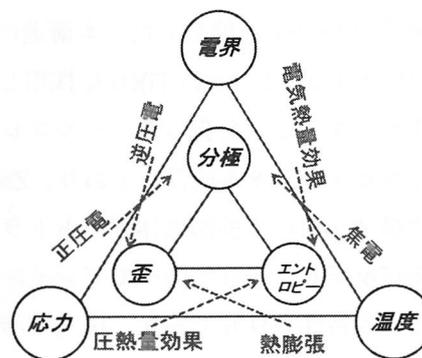
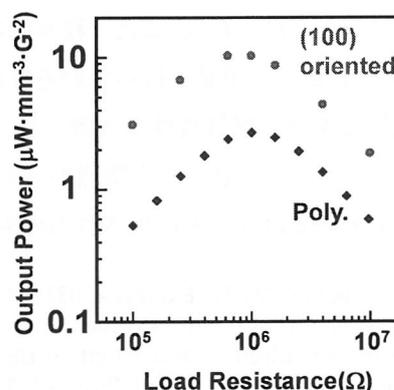


図 1 強誘電体における結合相互作用

図 2 BiFeO_3 薄膜を用いた振動発電素子の発電特性

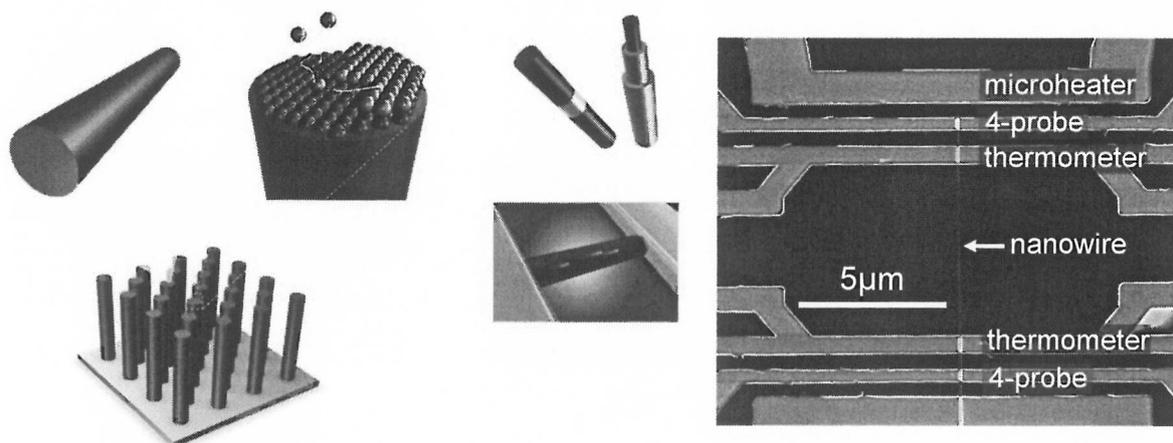
金属酸化物単結晶ナノワイヤ

九大・先導研 柳田 剛

IMCE, Kyusyu Univ., Takeshi Yanagida

E-mail: yanagida@cm.kyushu-u.ac.jp

近年、単結晶構造の優れた物性機能を使用する新しい科学技術が注目されている。従来は、格子整合性の制限から単結晶の機能物性を展開することが不可能だと考えられてきた材料群が様々な基板上でデバイス化することが可能になりつつある。その有望な単結晶ナノ構造の一つがナノワイヤである。極めて高品質な単結晶ナノワイヤ形成技術、単一ナノワイヤ物性評価技術、空間配列制御に関する新しい科学技術の目覚ましい進展がこれらの新しいサイエンス・テクノロジーの展開を可能にしてきた。本講演では、筆者の研究グループが最近展開してきた金属酸化物単結晶ナノワイヤに関する研究に関する内容を概説する。



関連する発表論文

[1] *J. Am. Chem. Soc.*, 131, 3434 (2009), [2] *J. Am. Chem. Soc.*, 132, 6634 (2010), [3] *Nano Lett.*, 10, 1359 (2010), [4] *J. Am. Chem. Soc.*, 133, 12482 (2011), [5] *Nano Lett.*, 11, 2114 (2011), [6] *J. Am. Chem. Soc.*, 134, 134567 (2012), [7] *Nano Lett.*, 12, 5684 (2012), [8] *Sci. Rep.* 3, 1657 (2013), [9] *J. Am. Chem. Soc.*, 135, 7033 (2013), [10] *ACS Nano*, 7, 3029 (2013), [11] *Phys. Rev. E*, 87, 012405 (2013), [12] *Phys. Rev. E*, 83, 061606 (2011), [13] *Phys. Rev. E*, 82, 011605 (2010), [14] *Adv. Mater.*, 25, 5893 (2013), [15] *Sci. Rep.* 4, 5252 (2014), [16] *J. Am. Chem. Soc.*, 136, 14100 (2014), [16] *Sci. Rep.* (2015) in press

ポスター発表要旨

P-1

Sn ドープしたコランダム構造酸化ガリウム薄膜の電気特性
赤岩和明、金子健太郎、藤田静雄
京大院工 藤田研究室
我々は低コストなサファイア基板上に作製可能な新規ワイドバンドギャップ半導体であるコランダム構造酸化ガリウム薄膜を用いたデバイス応用を目指して研究を行っている。本発表では導電性制御を目的に行ったコランダム構造酸化ガリウム薄膜への Sn ドープの結果について報告する。Sn ドープによりコランダム構造の酸化ガリウムでは最高の移動度が得られ、またバッファ層の最適化により更なる移動度の向上が行え、実用的なデバイス実現への大きな突破口を開くことができた。

P-2

Sn ドープ α -(InFe) ₂ O ₃ 混晶薄膜の構造と磁化特性
内田 昌志, 赤岩 和明, 小森 祥央, 掛谷 一弘, 金子 健太郎, 藤田 静雄
京都大学
近年スピントロニクス応用に向けた磁性半導体に大きな関心が寄せられており、本研究では α -(InFe) ₂ O ₃ の磁性半導体材料としての可能性に注目した。本材料は先行研究において室温強磁性の発現が報告されていたが、電気伝導性に乏しいことが課題であった。そこで本研究において α -(InFe) ₂ O ₃ に Sn ドープを行い、電氣的・磁氣的特性への影響を評価したところ、電気伝導性の向上が確認でき、室温下で面内方向の磁気ヒステリシスが確認できた。

P-3

コランダム構造 α -In ₂ O ₃ 薄膜のデバイス動作特性
金子健太郎、伊藤義人、赤岩和明、藤田静雄
京都大学 大学院工学研究科 附属光・電子理工学教育研究センター 藤田静雄研究室
新しい混晶系としてコランダム構造酸化物群が注目されている。この中でも、当研究室が安定的な作製方法を確立した α -In ₂ O ₃ は移動度が 130cm ² /Vs と酸化物半導体の中で大きく、また光学バンドギャップ値も 3.7 eV と大きいので、魅力的な物性を備えた材料である。本講演会では、 α -In ₂ O ₃ をチャネル層に用いた MOSFET のデバイス動作特性を報告し α -In ₂ O ₃ のパワーデバイスとしての応用可能性を示す予定である。

P-4

室温で弱強磁性を示す新規 LiNbO ₃ 型 ScFeO ₃ の高圧合成と物性
○河本崇博 ¹ ・藤田晃司 ¹ 、山田幾也 ² 、入舩徹男 ³ 、田中勝久 ¹
¹ 京都大学大学院工学研究科 ² 大阪府立大学 21 世紀科学研究機構ナノ科学・材料研究センター ³ 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター
磁性イオンを含んだ LiNbO ₃ (LN)型酸化物は強磁性と強誘電性を併せ持つマルチフェロイック物質として、新規電子デバイス応用に向けた物質探索が盛んに行われている。しかし、既報の LN 型酸化物の磁気転移点は全て室温以下であり、動作温度の点で不利である。このため、室温以上の磁気転移点をもつ LN 型酸化物の合成が課題となっている。今回、我々は高圧合成法を用いて LN 型 ScFeO ₃ を合成した。磁化測定からこの新物質は磁気転移温度が 545 K の弱強磁性体であることがわかった。

P-5

コランダム構造 α -(AlGa) ₂ O ₃ 薄膜の構造及び電気特性評価
神野莉衣奈、伊藤義人、鈴木健太、赤岩和明、金子健太郎、藤田静雄
京都大学工学研究科電子工学専攻藤田研究室
近年パワーデバイスの新材料として、バンドギャップ値 5.3 eV の半導体であり、n 型伝導を示す α -Ga ₂ O ₃ が注目されている。本研究では、n 型 α -Ga ₂ O ₃ のデバイス応用に向けその結晶構造及び電気特性評価を行った。また、n 型 α -Ga ₂ O ₃ をチャンネル層に用いた MOSFET 構造を作製し、電気特性評価を行った。ゲート電圧に対する I_D 値変化が確認され、 α -Ga ₂ O ₃ を用いた MOSFET 実現の第一歩となった。

P-6

ZnO 透明セルフスイッチングナノダイオードの作製と整流特性
孫屹、芦田浩平、佐々木祥太、小山政俊、前元利彦、佐々誠彦
大阪工業大学
我々はナノ構造を有するセルフスイッチングナノダイオード (SSD) に着目し、作製プロセスの開発、電極や構造の最適化を行った。SSD は新原理の整流デバイスで pn 接合を必要とせず、L 字形の溝を形成するだけで整流効果が得られ、ナノ構造を用いるため微細化にも有利であると考えられる。薄膜作製および加工プロセスを 170°C 以下で行い、完全透明な SSD の作製とともに、明瞭なダイオード特性の観測に成功した。

P-7

スパッタ法による Ni _x Mg _{1-x} O 膜を用いたソーラーブラインド型紫外線センサの作製
西谷拓樹、太田晃平、稲田貢、清水智弘、新宮原正三、齊藤正
関西大学 理工学研究科
ソーラーブラインド型紫外線センサ (SBPD) は、深紫外線のみを検知し、太陽光を検知しない光センサである。SBPD には、大きなバンドギャップを有しており、大気中での安定性が高く、安価に形成できるという特徴から、酸化物半導体が注目されている。そこで、本研究では NiO と MgO から成る Ni _x Mg _{1-x} O に着目した。Ni _{0.52} Mg _{0.48} O を用いたデバイスの感度のピーク波長は約 270nm であり、SBPD が作製できたことを示す。

P-8

準安定相の rh-ITO エピタキシャル成長
西中浩之、吉本昌広
京都工芸繊維大学 電気電子工学
透明導電膜の ITO は薄膜の中で最も利用されているといってもいいほど、多く利用されているが、その利用は bcc 構造と非晶質構造に限られている。ITO は古くから研究されており、すでに研究はやりつくされた感のある材料であるが、一方で準安定相 rh-ITO は高温・高圧が必要なため、薄膜として形成したという報告がなかった。本発表では、その rh-ITO の形成結果と、その物性評価および、rh-ITO の応用可能性について報告する。

P-9

放射光と計算科学を用いた金属ナノ粒子と酸化物担体の相互作用に関する研究
倉本 圭, 大川 哲也, 永田 祥平, 横山 和司
兵庫県立大学
酸化物担体に担持された金属ナノ粒子の電子状態解析はそれらの相互作用の理解および金属ナノ粒子の機能性を議論する上で重要なものとなる。本研究では担持金属触媒表面の電子状態解析について放射光を用いた分子分光および第一原理計算によるアプローチを行い、その相互作用が機能（表面反応）に及ぼす影響について調べて結果を報告する。

P-10

鉛系新規銅酸化物の90K級超伝導と大電流トンネルデバイスへの応用
小森祥央、掛谷一弘
京都大学工学研究科
我々は、超伝導線材としての応用が期待できる高い超伝導転移温度 ($T_{c,onset} = 88$ K) と低い電気的異方性 ($\gamma \approx 10$) を有する鉛系銅酸化物高温超伝導体 Pb1212 の単結晶化にはじめて成功した。単結晶を用いて c 軸の電流電圧特性を評価したところ、超伝導層/絶縁層/超伝導層の良質なトンネル接合が結晶内に存在することがわかり、超伝導線材としての応用だけでなく c 軸トンネルデバイスとしての応用も期待できることがわかった。

P-11

Bi 系高温超伝導体固有ジョセフソン接合における第二スイッチの巨視的量子トンネルに関する研究
野村義樹 神原仁志 水野孝昭 中川裕也 掛谷一弘
京都大学大学院 工学研究科
Bi 系高温超伝導体を用いた電子デバイスの一つとして結晶構造内部のジョセフソン接合における巨視的量子トンネル効果(Macroscopic Quantum Tunneling, MQT)を用いた量子ビットが考えられている。 Bi 系高温超伝導体中の固有ジョセフソン接合では、第二スイッチと呼ばれるスイッチでMQTが異常に高温で観測されているかのように見える現象が報告されている。本研究では第二スイッチの異常に高温でのMQT観測に関して、3種類のBi系高温超伝導体を用いた実験結果を報告する。

P-12

酸化チタン薄膜表面への酸素プラズマ処理による効果
荒木佑馬,竹平徳崇,新部正人(兵庫県大,高度研),川上烈生(徳島大,工)
兵庫県立大学材料・放射光工学研究科
スパッタ法で成膜したTiO ₂ 薄膜は、過去の研究で、酸素欠損していた。本研究では、その酸素欠損を補うために大気圧酸素プラズマを照射し、酸素空孔密度を減少させ、光触媒反応性の向上を図った。TiO ₂ 薄膜に酸素プラズマを照射した後、色素分解速度を測定し、またXPSを用いてその表面組成などを評価した。プラズマ処理時間を長くした場合、むしろ酸素濃度は減少したが、光触媒反応性と酸素濃度の間には緩い相関があることが分かった。

P-13

酸化物表面への GCIB 照射によるカーボンナノチューブの成長制御
魚住 裕樹
イオン工学研究室
カーボンナノチューブ(CNT)は、優れた電気容量、高アスペクト比から電子デバイスへの利用が期待されている。しかし、1層の円筒構造をもつ単層カーボンナノチューブの電気的特性は、直径と巻き方により変化するため、直径の制御が必要となる。そこで Ar-GCIB を酸化物あるいは半導体表面に照射し、CNT の成長制御について検討した。GCIB 照射では、高密度エネルギー付与効果によって、表面に直径数 nm のクレーターが形成されるため、酸化シリコン上の触媒粒子がクレーター内で凝集し、微小ドット形成と直径の小さな SWCNT の成長が見られた。

P-14

O ₂ -GCIB による金属酸化物形成を利用した低損傷エッチング
小川晃広*,山田公,豊田紀章
イオン工学研究科
ガスクラスターイオンビーム (GCIB) は、表面のみに高温・高圧状態を形成できることから、基板温度が低温でも表面反応が促進される。例えば、O ₂ -GCIB を Pt に照射した場合、酸化されにくい Pt 上に酸化物が形成され、それらが雰囲気ガスの酢酸と反応することによりエッチングが促進される。また GCIB 照射では低損傷のエッチングが可能であることから、各種難加工材料の低損傷加工を行うことが出来、半導体、磁性体、有機材料への応用が期待される。本報告では、各種金属材料の O ₂ -GCIB による酸化物形成を利用した低損傷エッチングについて紹介する。

P-15

SiO ₂ へのクラスターイオンビーム照射による発光測定
織田 啓佑、 龍頭 啓充、 Francesco Musumeci、 坂田 彬、 竹内 光明、 高岡 義寛
京都大学工学研究科附属光・電子理工学教育研究センター
クラスターイオンビームは基板の加工や表面改質に有効であることが知られているが、その際、クラスターイオン自体をプローブとしたその場観察が可能になれば幅広い応用につながると考えられる。クラスターイオンビーム照射により微弱ながら発光が生じることが予備実験で分かったため、これを用いた評価方法の開発に向けて高感度のスペクトロメータを開発した。このスペクトロメータを用いて、SiO ₂ にクラスターイオンビームを照射した際の発光スペクトルを測定した。

P-16

酸素クラスター支援蒸着による伸縮性ガスバリア薄膜の形成
高文菲、竹内光明、龍頭啓充、高岡義寛
京都大学 工学研究科附属光・電子理工学教育研究センター
有機半導体は太陽電池やディスプレイなどに応用され、高機能・フレキシブル・軽量の特性が期待されている。しかし、水蒸気と酸素により、薄膜の性能が劣化する。このため我々は、酸素クラスターイオン支援蒸着による Si-O-C 系フレキシブル・ガスバリア膜の形成をしている。予備実験として、オルトケイ酸テトラエチル雰囲気中で基板に酸素クラスターイオンビームを照射し、薄膜形成を確認した。

P-17

テラヘルツ時間領域分光法を用いた $Pb_{1-y}Sr_2Y_{1-x}Ca_xCu_{2+y}O_{7+\delta}$ におけるゆらぎ伝導度の評価
鶴沢 旭(1)、小森 祥央、掛谷 一弘
(1)京都大学 工学研究科
$Pb_{1-y}Sr_2Y_{1-x}Ca_xCu_{2+y}O_{7+\delta}$ (Pb1212)は異方性が低く、超伝導転移温度が液体窒素温度を超える超伝導体であることから、超伝導線材などの応用が期待される物質である。Pb1212 は単結晶化が困難な物質であることから、超伝導特性に関して不明な点が多かったが、本研究室において世界で初めて単結晶薄膜の育成に成功し、その超伝導特性が明らかになりつつある。本研究では、テラヘルツ時間領域分光法を用いた Pb1212 超伝導特性の測定結果、特にゆらぎ伝導度の評価結果について報告する。

P-18

導電性窒化物プラズモニクナノ粒子アレイの作製と光学特性の評価
鎌倉涼介、大道陽平、村井俊介、藤田晃司、田中勝久
京都大学工学研究科材料化学専攻
表面プラズモンポラリトン(SPP)は光によって金属表面の自由電子が集団的に振動する現象であり、金属表面に局在・集中した電場を発生させるため、SPP を用いた太陽電池やセンサーなどの研究が盛んに行われている。しかしながら、現状ではプラズモニクス材料は金や銀などに限定されており、材料の制約が応用の広がりを妨げている。本研究では、高品質の単結晶窒化チタン薄膜を作製し、ナノインプリントおよび反応性イオンエッチングを施すことにより窒化チタン粒子が周期的に配列したプラズモニクナノ粒子アレイを作製し、光学特性を評価した。

P-19

酸化チタン微小球を用いたテラヘルツマグネティックミラーの開発
花井研一郎 高野恵介 中嶋誠
大阪大学レーザーエネルギー学研究センター
金属からの電磁波の反射は、入射電場と自由電子との強い相互作用により、位相の反転を伴う。一方で、物質と磁場との強い相互作用によって、電場の位相を反転させずに電磁波を反射する”磁気ミラー”を作る一般的な手法はまだ確立されていない。人工的な構造が付与された材料を使うことで、電磁波と磁氣的に強い相互作用を示す性質を得ることができる。我々は、テラヘルツ帯で誘電率が大きく、かつ損失の小さい酸化チタン微小球を用いてメタ表面を作製し、テラヘルツ領域での反射波の位相と振幅を直接観測することにより、その磁気ミラーとしての性質を実証した。

P-20

柔軟かつロバストな Pb[Zr,Ti]O ₃ -MEMS アクチュエータ
大久保昂, 佐野良, 嶋真弥, 神田健介, 藤田孝之, 前中一介
兵庫県立大学
近年、圧電薄膜を用いた様々な MEMS デバイスが広く注目されている。圧電薄膜を Si などの基板に成膜することで、様々な機能をもつデバイスが研究および実用化されてきた。しかしながら、Si は硬く脆いため、大ひずみや衝撃に対して弱いという欠点があり、用途によっては適さないこともある。本研究では、柔らかい樹脂材料を基板として用いることで、ウェアラブルを含む様々な用途に利用可能な、衝撃に強く丈夫な MEMS デバイスを実現した。

P-21

Bi _{3.25} Nd _{0.65} Eu _{0.10} Ti ₃ O ₁₂ ナノプレートの構造および圧電性に及ぼすスパッタリングガス圧の影響
栗山知侑, 小舟正文, 釘宮拓也, 上島慧史, 風呂谷亮佑, 西岡洋, 菊池丈幸, 藤澤浩訓, 中嶋誠二, 清水勝, 福室直樹
兵庫県立大学 大学院工学研究科
Bi _{3.25} Nd _{0.65} Eu _{0.10} Ti ₃ O ₁₂ (BNEuT) ナノプレートの特性向上とナノプレート間の空隙率制御技術の確立を目指し、スパッタガス圧を 0.4–5.0 Pa の範囲で変化させて薄膜合成と特性評価を行った。BNEuT 膜は高い <i>ab</i> 軸配向率(92.9–98.3%)を示した。0.4–2.0 Pa では、空隙率は 23–25% で横ばいを示したが、5.0 Pa では[001] 方向への著しい粒成長が観測され、空隙率は最小(15%)となった。圧電応答顕微鏡の振幅像観察より、BNEuT 膜は完全に <i>a</i> 軸配向していることが明らかとなった。

P-22

Pb[Zr,Ti]O ₃ 薄膜の多層積層による MEMS マルチモルフ構造
佐野良, 井上純一, 神田健介, 藤田孝之, 前中一介
兵庫県立大学
電極と圧電薄膜を交互に多層積層成膜することができれば、低電圧で大きな駆動力または大変位を得ることが可能な MEMS (MicroElectroMechanical Systems) アクチュエータが実現可能である。しかし、圧電薄膜を積層するにつれて圧電特性が劣化する問題や成膜および加工プロセスの複雑さから積層構造を作製することは従来困難であった。本研究では、Pb[Zr _{0.52} , Ti _{0.48}]O ₃ (PZT) を用いて、安定した圧電特性をもつ薄膜の積層化、および PZT 薄膜と電極のみで構成される積層自立構造をもつアクチュエータの作製に成功した。

P-23

Zn および Mn ドープによる単一ドメイン BiFeO ₃ 薄膜のリーク電流の低減
重松 晃二(1)、中嶋 誠二(2)、藤沢 浩訓(3)、清水 勝(4)
兵庫県立大学 工学研究科
BiFeO ₃ (BFO)は室温で強誘電性と反強磁性を併せもつマルチフェロイック材料であり、高い自発分極をもつことから注目されている。BFO のリーク電流はドメイン構造や他元素のドーピングなどによって大きく変化することが知られている。しかし、その動作メカニズムは未だ明らかにされていない。そこで本研究ではドメインウォールの影響のない単一ドメインの BFO 薄膜を作製し、Zn と Mn のドーピングがその電気的特性に与える影響を調べたので報告する。

P-24

BiFeO ₃ 薄膜のドメインウォールの形成位置の制御
瀬戸 翔太、中嶋 誠二、藤沢 浩訓、清水 勝
兵庫県立大学大学院 工学研究科
近年 BiFeO ₃ (BFO)薄膜内に存在するドメインウォール(DW)が特異な物性を示すことが報告されているが、それらの特性をデバイス応用するには任意位置に DW を形成する必要がある。分極反転を用いて BFO 薄膜中の任意位置に DW を形成した報告は存在するが、基板形状を利用して任意位置に DW を形成した報告例はない。本研究では SrTiO ₃ のバイクリスタル基板上に BFO 薄膜を作製し、バイクリスタルの接合面のみに DW の形成を試みたので報告する。

P-25

単一ドメイン BFO 薄膜の異常光起電力効果と光起電力テンソルの要素の算出
高山 幸太、中嶋 誠二、藤沢 浩訓、清水 勝
兵庫県大院・工
SrTiO ₃ 基板上に単一ドメイン BiFeO ₃ 薄膜、その上に Pt 電極を用いてコプレーナキャパシタを作製し、電極間に青紫色 LD 光を照射して BiFeO ₃ 薄膜の異常光起電力効果を調べた。光の吸収を考慮して SrTiO ₃ 基板の影響を受けずに測定できる BiFeO ₃ の膜厚を調べ、LD の偏光回転、結晶回転、測定回転の 3 種類の回転特性を測定し、発生する光電流と電界を関係付ける光起電力テンソルの要素の値を算出した。

P-26

リンゴ酸錯体法を用いた非鉛系(1-x)(Na _{0.50} K _{0.45} Li _{0.05})NbO ₃ -xBaZrO ₃ 固溶体セラミックスの作製及び物性評価
永本 健留, 小舟 正文, 菊池 丈幸, 松本 浩一, 中井 友晃, 村上 郁
兵庫県立大学大学院 工学研究科
高キュリー温度 (T_c)とすぐれた圧電特性をもつことから、(Na, K)NbO ₃ (NKN)系が、Pb(Zr, Ti)O ₃ (PZT)に代わる高温圧電アクチュエータやセンサ材料として注目されている。本研究では(Na, K, Li)NbO ₃ (NKLN)の構造相転移温度 T_{R-O} 、 T_{O-T} に着目し、エンドメンバとして BaZrO ₃ (BZ)で同形置換することで、さらなる圧電性能の向上はかることを目的としている。BZ 置換量の増加に伴い、構造は斜方晶、正方晶、菱面体晶へと順次変化した。特に 0.94NKLN-0.06BZ 組成において菱面体晶と正方晶の二相共存を確認し、最も高い圧電性能 [d_{33} (= 230 pC/N), k_p (= 35%), Q_m (= 105), T_c = 300°C]を示すことを見出した。

P-27

多自由度な MEMS を指向した Pb[Zr,Ti]O ₃ 薄膜の加工済みウエハへの成膜加工
森上慎悟, 神田健介, 藤田孝之, 前中一介
兵庫県立大学
圧電薄膜は、小型・低消費電力の観点で MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)デバイスへの応用が注目されている。一般的に、圧電薄膜による MEMS デバイスでは、駆動や検出軸はウエハ垂直方向に制限される。本研究では、予め加工したウエハに対し、圧電薄膜構造を形成し、多自由度な動作が可能なアクチュエータを実現することを指向し、加工側壁に成膜した PZT 薄膜の評価を行い、良好な特性が得られたので報告する。

P-28

Pb(Zr _{0.52} Ti _{0.48})O ₃ -Pb(Mn _{1/3} Sb _{2/3})O ₃ -Pb(Zn _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ 固溶体の作製と圧電特性
山口瑞代・小舟正文・菊池丈幸
兵庫県立大学大学院 工学研究科
Pb(Zr _{0.52} Ti _{0.48})O ₃ -Pb(Mn _{1/3} Sb _{2/3})O ₃ -Pb(Zn _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ (PZT-PMS-PZN)固溶体の誘電・圧電特性を詳細に検討し、ピンポイント組成の探索を行った。 d_{33} はMPBであるPZT/PMS/PZN = 92/4/4 のとき最大(201 pC/N)を示した。 Q_m (p)は菱面体晶である PZT/PMS/PZN = 86/ 8.5/5.5 のとき最大(2218)を示した。現状の至適組成はPZT/PMS/ PZN = 86/8.5/5.5 と判断され、その圧電諸特性は、 d_{33} = 170 pC/N, k_p = 46%, Q_m (p) = 2218, $d_{33} \cdot Q_m$ (p) = 376×10^3 pC/N 及び T_c = 259°C を示した。以上の結果から、PZT-PMS-PZN 固溶体はハイパワー圧電応用のための高出力・高性能素子材料として有望である。

賛助会員

応用物理学会関西支部の本事業活動に関し、下記賛助会員各位よりご支援を頂いております。ここに社名を記載させて頂き、感謝の意を表します。

エア・ウォーター(株)
 (株)SDI
(株)大阪真空機器製作所 堺工場
 京セラ(株)
(株)神戸製鋼所 技術開発本部
 (株)島津製作所
 シャープ(株) 研究開発本部
新日鐵住金(株) 技術開発本部 尼崎研究開発センター
 住友電気工業(株)
 大陽日酸(株)
 東京エレクトロン(株)
 東京応化工業(株)
 ネオアーク(株)
パナソニック(株) R&D 本部 技術政策室 技術外交チーム
 (株)フジキン
三菱電機(株) 先端技術総合研究所
 (株)村田製作所
 (株)リガク
 ローム(株)

(2015年6月1日現在、50音順)