

同時発表：
筑波研究学園都市記者会（資料配布）
文部科学記者会（資料配布）
科学記者会（資料配布）



室温で動作するマルチフェロイック薄膜の開発に成功

～ナノシートの積木細工で実現 次世代の多機能電子素子への応用に期待～

配布日時：平成 28 年 6 月 16 日

国立研究開発法人 物質・材料研究機構

概要

1. 国立研究開発法人物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点の長田 実 主任研究者、佐々木高義 フェローらの研究グループは、次世代の多機能電子素子として期待されるマルチフェロイック材料¹⁾において、酸化物ナノシート²⁾の積木細工により、実用上重要な室温で動作する新しいナノ薄膜の開発に成功しました。
2. 近年、磁石の性質（磁性）を兼ね備えた強誘電体³⁾である「マルチフェロイック材料」が注目されています。このような材料では、磁場を変化させて誘電的な特性（電気分極⁴⁾）を制御することや、電圧を変化させて磁気的な特性を制御することができるため、新しいタイプの記憶メモリやエネルギー変換デバイスへの応用が期待されています。しかし、これまでに見つかったマルチフェロイック材料のほとんどは、マイナス 200℃以下の低温でしかその特性を示さないため、これが実用化に向けた大きな障壁となっていました。
3. 今回、研究グループは、室温で動作するマルチフェロイック材料を開発する新しい手法として、子供のブロック遊びのように、ナノ物質で積木細工をする人工超格子技術⁵⁾に注目しました。この技術を分子レベルの薄さのナノ物質である酸化物ナノシートに応用し、磁石のナノシート ($\text{Ti}_{0.87}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$) と誘電体のナノシート ($\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$) を重ね合わせ、強磁性と強誘電性が共存する人工超格子膜を作製しました。そしてこの人工超格子膜が、室温で磁場による電気分極の制御と電場による磁化の制御が可能であることを確認しました。この薄膜は、世界最小レベルの膜厚 10nm の極薄膜ながら、室温で安定なマルチフェロイック特性を発揮します。
4. 今回の成果は、マルチフェロイック材料の開発に向けて新たな設計指針を与えると同時に、室温での動作が可能になったことで、マルチフェロイック・ナノ薄膜が持つ多機能性、低電圧動作という特徴を利用した低消費電力型メモリなどへの応用展開が期待されます。本研究成果は、米国化学会学術誌「*Journal of the American Chemical Society*」のオンライン版で 2016 年 6 月 13 日（現地時間）に公開されました。

研究の背景

近年、強誘電体材料において、磁石の性質（磁性）を兼ね備えた強誘電体である「マルチフェロイック材料」が注目されています。この材料では、従来の強誘電体、磁性体のような電場による電気分極の制御、磁場による磁気特性の制御という機能だけでなく、磁場を変化させて誘電的な特性（電気分極）を制御することや、電圧を変化させて磁気的な特性を制御することができるため、新しいタイプの記憶メモリや複数の単機能を一つに集約した省エネルギーデバイスへの応用が期待されています。例えば、電圧を変化させて磁気的な特性を制御できると新しい磁気的不揮発性メモリに使い、磁場によって電気容量の大きさが制御できると非接触で電気エネルギーを蓄える新しいキャパシタとしての利用が可能になります。しかし、これまでに見つかったマルチフェロイック材料のほとんどは、マイナス200℃以下の低温でしかその特性を示さないため、これが実用化に向けた大きな障壁となっていました。もし、室温で動作する材料が見出されれば、次世代の電子機器などへの応用が期待できます。

研究内容と成果

今回、研究グループは、室温で動作するマルチフェロイック材料を開発する新しい手法として、子供のブロック遊びのように、ナノ物質を使って積木細工をする人工超格子技術に注目しました。人工超格子技術とは、複数の種類の結晶格子を重ね合わせ、積層の厚さの加減や原子の種類を選択により、電気特性を自由に制御することができる技術です。この人工超格子技術を分子レベルの薄さのナノ物質（酸化物ナノシート）に応用し、磁石のナノシート（ $A = \text{Ti}_{0.87}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ ）と誘電体のナノシート（ $B = \text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ ）の重ね合わせにより、室温で動作するマルチフェロイック薄膜の開発に成功しました（図1）。

今回用いたナノシートは、水に分散したコロイド溶液として得られるため、環境にやさしい水溶液プロセスを用いてナノシートを1層ずつ精密に積み重ね、A、Bを交互に積層した人工超格子膜を作製しました。さらに、アンモニウムイオンをのりにしてナノシート同士をつなぎ合わせ、強磁性と強誘電性が共存するような環境を整えました。作製した薄膜に対して特性評価を行ったところ、AとBを交互に並べた人工超格子膜では、磁場による誘電分極の制御、電場による磁化の制御を確認しました（図2）。この薄膜は、世界最小レベルの膜厚10nmの極薄膜ながら、室温で安定なマルチフェロイック特性を示すことを確認しました。

今後の展開

今回の成果は、ナノ物質の組み合わせでマルチフェロイック機能を実現することを証明した初めての例であり、マルチフェロイック材料の開発に向けて新たな設計指針を与えると同時に、マルチフェロイック・ナノ薄膜が持つ多機能性、低電圧動作という特徴を利用した低消費電力型メモリなどへの応用展開が期待されます。

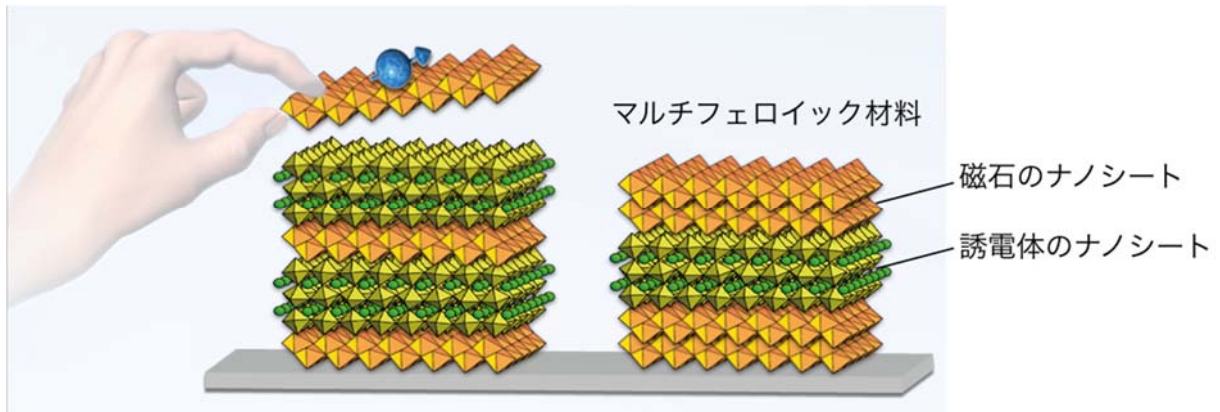


図1. ナノシートの人工超格子技術のイメージ図。

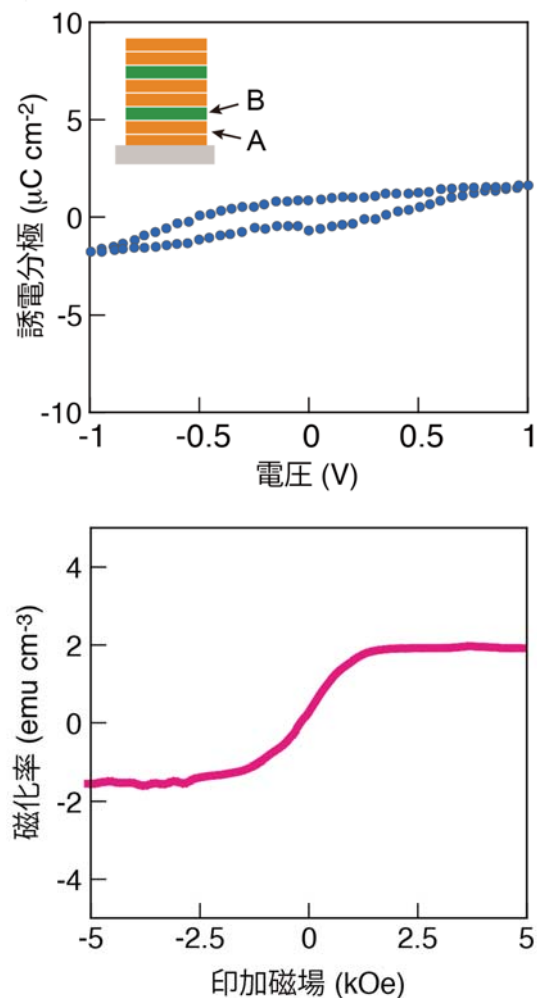


図2. 磁石のナノシート ($A=\text{Ti}_{0.87}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$) と誘電体のナノシート ($B=\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$) から作製した人工超格子膜の強誘電ヒステリシス測定 (上)、磁気ヒステリシス測定 (下) の結果。上図中には、人工超格子膜の模式図を示してある。室温で強誘電性、強磁性に起因したヒステリシス特性を示し、磁石の性質を兼ね備えた強誘電体である「マルチフェロイック材料」であることを確認した。さらに、磁場を変化させた誘電特性評価の結果、磁場によって電気容量、電気分極の大きさを増幅できることを確認している。

掲載論文

題目 : Coexistence of Magnetic Order and Ferroelectricity at 2D Nanosheet Interfaces

著者 : Bao-Wen Li, Minoru Osada, Yasuo Ebina, Shigenori Ueda, Takayoshi Sasaki

雑誌 : Journal of the American Chemical Society

掲載日時 : 2016 年 6 月 13 日 (現地時間) オンライン版掲載

用語解説

1) マルチフェロイック材料 :

磁石の性質 (磁性) と強誘電体の性質を併せ持つ物質。

2) 酸化物ナノシート :

層状酸化物をソフト化学的な処理により結晶構造の基本最小単位である層 1 枚にまで剥離することにより得られる、本研究グループ・オリジナルのナノ物質。

3) 強誘電体 :

絶縁体の一種で、外部より与える電圧の向きに応じて電気分極のプラス、マイナスが反転し、しかも電圧がゼロとなっても分極が保たれるというユニークな性質を持つ物質。代表的な物質には、チタン酸バリウムやジルコン酸チタン酸鉛などがあり、メモリ、キャパシタ、圧電素子、光学素子など多種多様な電子デバイスに応用されており、現代の電子技術に欠かせない物質。

4) 電気分極 :

物質内の一方の表面にプラス電荷が、もう一方の表面にマイナス電荷が生じ、電荷に偏りがある状態。

5) 人工超格子 :

江崎 玲於奈博士によって発明された技術で、複数の種類の結晶格子の重ね合わせにより、その周期構造が基本単位格子より長くなった結晶格子。近年の薄膜作製技術の進歩により、原子層オーダーでの制御が可能となっており、金属、半導体、酸化物など様々な物質の新材料、新機能の創製に利用されている。

本件に関するお問い合わせ先

(研究内容に関すること)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点

MANA 主任研究者 長田 実 (おさだ みのる)

E-mail: osada.minoru@nims.go.jp

TEL: 029-860-4352 (直通)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点

フェロー 佐々木 高義 (ささき たかよし)

E-mail: sasaki.takayoshi@nims.go.jp

TEL: 029-860-4313 (直通)

(報道・広報に関すること)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 経営企画部門 広報室

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

E-mail: pressrelease@ml.nims.go.jp

TEL: 029-859-2026, FAX: 029-859-2017