

強相関電子系酸化物ナノヘテロ構造による室温動作 スピントロニクスデバイスの創製

田中 秀和

大阪大学産業科学研究所

1. 研究のねらい

遷移金属酸化物は電子スピンの非常に強く相互作用している強相関電子系であり、高温で強磁性などが発現する興味深い物質群である。電子濃度、圧力、温度のわずかな変化で系のバランスが崩れ、物性が非常に大きく変化するため、強磁性を光・電場等の外場の変化により室温で制御できる新機能デバイスを構築することが期待される。しかしこれらの物質はナノレベルの薄膜では強磁性が強く抑制され室温ではスピントロニクスデバイスとして利用できない。レーザーMBE法を用い作成したMn酸化物薄膜において基板-薄膜界面での結晶構造制御を行うことによりこの問題を克服した。その上でこの強相関系強磁性体と強誘電体酸化物を組み合わせた強磁性電界効果トランジスタナノヘテロ構造を作製し、微小な電界によるキャリア濃度制御を通じた室温で強磁性の制御に成功した。

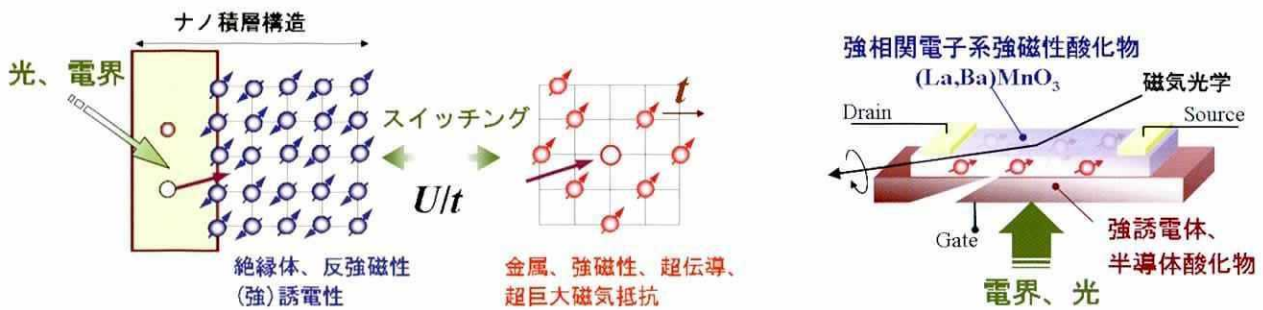


図1 強相関電子系酸化物を用いた強磁性電界効果トランジスタデバイスの説明図

2. 研究成果と考察

(1) (La,Ba)MnO₃極薄膜における歪誘起室温強磁性の発見とメカニズム解明

室温で動作する強磁性デバイスを作製する為には、極薄膜(5-20nm)でも室温以上で強磁性を示すことが必要であるが、通常酸化物強磁性体は薄膜化により強磁性が非常に強く抑制される。(La_{0.8}Ba_{0.2})MnO₃薄膜をSrTiO₃基板上に作製することにより強磁性転移温度(T_C)が逆に向上することを見出した。薄膜を薄くしていくと、 T_C は上昇し、20nmの薄膜で最大310K_Cを示す。5nmの薄膜においても室温付近の290Kで T_C が観測された。SrTiO₃基板とLa_{0.8}Ba_{0.2}MnO₃では、約0.3%の格子ミスマッチがあり、この為(La,Ba)MnO₃薄膜は引っ張り歪を受け格子が変形し、その結果電子・スピン状態が変調を受け T_C が向上することをX線回折、磁気力顕微鏡(MFM)、硬X線内殻光電子分光法により明らかにした。デバイス構築に重要な膜厚5nm-20nmの領域において室温強磁性を示し、また移動度がバルクに対して10倍(5cm²/Vs→50cm²/Vs: 10K)の高品質薄膜が実現できた。

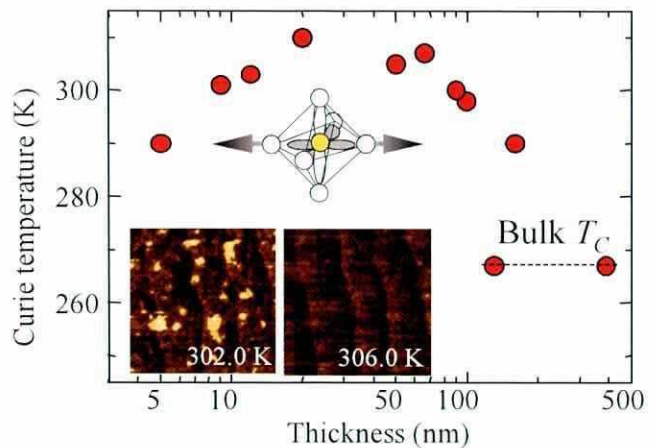


図2 (La_{0.8}Ba_{0.2})MnO₃歪薄膜の強磁性転移温度の膜厚依存性。(挿入図)周波数シフトMFM像

(2). 室温強磁性体電界効果トランジスタの構築

極薄膜での室温強磁性を実現した $(\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x)\text{MnO}_3$ ($x=0.1, 0.15$)をチャンネル層、その上に強誘電体 $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3$ をゲート層として積層したトップゲート型電界効果トランジスタ構造を作製した。チャンネル層の厚さは最適化した $5\text{nm}\sim 10\text{nm}$ 、強誘電体の残留分極量(Pr)は約 $40\mu\text{C}/\text{cm}^2$ である。 $x=0.15$ のドーピング濃度を持つ素子に於いては、 282K において約 3V の電圧印加で金属-絶縁体転移温度(T_p)を約 3K シフトさせることに成功した(図3)。このシフト幅(ΔT_p)はゲート層のPr値にほぼ比例して変化すること、極性の反転に際して可逆的に変化する事を確認している。Mn酸化物に於いては抵抗に於ける金属-絶縁体転移温度と強磁性-常磁性転移温度がほぼ対応する事が知られているためチャンネル層の強磁性を室温において制御できたと考えられる。更に直接の証拠としてバックゲート型電界効果トランジスタ($\Delta T_p=1.5\text{K}$ at 309K)において磁気光学効果により磁性評価を行った。トランジスタ構造のチャンネル部の磁気円二色性(MCD)測定($\lambda=670\text{nm}$)の結果を挿入図に示す。室温(296.5K)に於いて、強誘電ゲート層の極性を反転させることにより、強磁性層のヒステリシス層を変調できることを初めて示す事に成功した。

今後は、成果を進展させ電界アシスト型の酸化物不揮発性磁気メモリ(MRAM)創成に向けた研究を展開する。走査型プローブ顕微鏡を用いたナノリソグラフィにより、薄膜成長方向だけでなく面内方向にも 30nm 程度のナノ加工を施した構造の作製にも成功しており、より一層顕著な変化を示すナノスピンドバイスへも発展させたい。

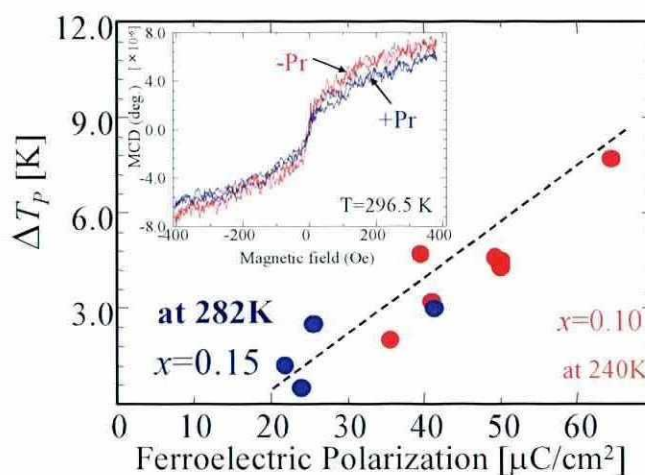


図3 酸化物強磁性電界効果トランジスタの金属-絶縁体転移温度の強誘電残留分極依存性。(挿入図)磁気光学効果(MCD)の強誘電分極の室温における変調。

3 謝辞 本研究は川合 知二教授、神吉輝夫氏(現IBMアルマデン研究所)を始めとして多くの方の協力の元になされました。ここに感謝いたします。

4 主な論文

- 1) "Electrical-field control of metal-insulator transition at room temperature in a $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3/\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{MnO}_3$ filed effect transistor" T. Kanki, Y.-G. Park, H. Tanaka, T. Kawai, Appl. Phys. Lett., **83** (2003) 4860-4862
- 2) "Nano-scale characterization of the ultra thin $(\text{La,Ba})\text{MnO}_3$ film with room temperature ferromagnetism", T. Kanki, R. Li, Y. Naitoh, H. Tanaka, T. Matsumoto, T. Kawai, Appl. Phys. Lett., **83** (2003) 1184 - 1186
- 3) "Rectifying characteristic in all-perovskite oxide film p-n junction with room temperature ferromagnetism", J. Zhang, H. Tanaka and T. Kawai, Appl. Phys. Lett., **80** (2002) 4378 - 4380
- 4) "Nano-Scale Modification of Electrical and Magnetic Properties on a Fe_3O_4 Thin Film by AFM Lithography", M. Hirooka, H. Tanaka, R. Li, T. Kawai, Appl. Phys. Lett., **85** (2004) 1811-1813
- 5) "AFM Lithography in Perovskite Manganite $\text{La}_{0.8}\text{Ba}_{0.2}\text{MnO}_3$ Films", R. Li, T. Kanki, H. Tohyama, J. Zhang, H. Tanaka, A. Takagi, T. Matsumoto, T. Kawai, J. Appl. Phys. **95** (2004) 7091-7093
- 6) "Hall effect in strained $\text{La}_{0.85}\text{Ba}_{0.15}\text{MnO}_3$ thin films", T. Kanki, T. Yanagida, B. Vilquin, H. Tanaka, T. Kawai, Phys. Rev. B, *in press*
- 7) "Metal-insulator transition and ferromagnetism phenomena in $\text{La}_{0.7}\text{Ce}_{0.3}\text{MnO}_3$ thin films: Formation of Ce-rich nanoclusters", T. Yanagida, T. Kanki, B. Vilquin, H. Tanaka, T. Kawai, Phys. Rev. B, (2004), November issue

5. その他

◆出願特許 2件