

SrTiO₃/SrRuO₃ 超格子の内殻磁気円二色性測定による界面磁性測定

Magnetic circular dichroism studies on the interfacial magnetism of SrTiO₃/SrRuO₃ superlattices

組頭広志^a、滝沢 優^a、豊田大介^a、大久保勇男^a、尾嶋正治、竹田幸治^b、寺井恒太^b

藤森 伸一、岡根 哲夫^b、藤森 淳^c、ミック リップマー^d、川崎雅司^e、鯉沼秀臣^f

Hiroshi KUMIGASHIRA^a, Masaru TAKIZAWA^a, Daisuke TOYOTA^a, Isao OHKUBO^a,
Masaharu OSHIMA^a, Yukiharu TAKEDA^b, Kota TERA^b, Shinichi FUJIMORI^b, Tetsuo OKANE^b,
Atushi FUJIMORI^a, Mikk LIPPMAA^a, Masashi KAWASAKI^c, and Hideomi KOINUMA^d

^a 東京大学, ^b 日本原子力研究所, ^c 東大新領域, ^d 東大物性研, ^e 東北大金研, ^f 物材機構

^aUniversity of Tokyo, ^bJAERI, ^cTohoku Univ., and ^dNIMS

SrTiO₃ 基板上に堆積させた SrRuO₃ (SRO) 極薄膜の磁化の膜厚変化について、大型放射光施設 SPring-8 の BL23SU を用いた磁気円二色性測定(MCD)測定により実験的に決定した。試料はレーザー分子線エピタキシー法を用いて、分子層制御しながら SrTiO₃ 基板状に積層した。厚さが 20 分子層と 4 分子層の SRO 極薄膜については、明瞭に MCD の信号を観測できたが、厚さが 2 原子層のものでは MCD 信号を観測できなかった。このことより、SRO 極薄膜において、強磁性が発現する臨界膜厚は 4 原子層以上であることを明らかにした。

Magnetic circular dichroism (MCD) measurements have been performed on the ultrathin SrRuO₃ (SRO) films with various thicknesses deposited on SrTiO₃ substrates to study the structure-induced evolution of the magnetic and electronic properties. We have clearly observed that the MCD signals appear at the film thickness above 4ML, indicating the ferromagnetic nature of the SRO film. In contrast, MCD signals disappeared below 2ML. These experimental results suggest that thickness-induced ferromagnetic transition occurs at 2 – 4 ML thickness of ultrathin SRO films.

背景と研究目的

数少ない電気伝導性酸化物である SrRuO₃(SRO)は酸化物エレクトロニクスデバイス材料として大いに期待された物質である。その化学的な安定性とペロブスカイト構造は他の酸化物との整合性がよく、電極材料など

として使われている。しかしながら、酸化物薄膜の電気、磁気的な性質は膜の厚さや界面の構造などに強く影響を受ける。そこで、目的に沿った機能を持つデバイスの作成のためには、薄膜の物性の厚さ依存性にかんする知見を得る必要がある。

SrTiO₃(STO)と SRO の超格子構造をもつ薄膜の磁気的特性は SQUID 測定によって調べられている[1]。しかしながら、SRO 極薄膜の磁化を求めるのは、SRO の体積がとても小さいといった実験上の制約上、これまで不可能であった。そこで、SRO 極薄膜の磁化を求めるために、我々は元素選択的でありかつ微小体積にも適用可能な磁気円二色性(MCD)測定に注目し、実験を行った。

実験

実験は、挿入光源に可変偏光型アンジュレーター(APPLE II 型)をもつ SPring-8 BL23SU で行った。X 線吸収(XAS)スペクトルは、全電子収量法を用いて測定した。右円偏光と左円偏光に対する XAS スペクトルの差分をとることで、MCD スペクトルを得た。温度は 20 K、印可磁場は+7 T で測定を行った。

SRO 極薄膜は、Nb をドープした STO 単結晶基板の(001)面方向に、パルスレーザ堆積法を用いて作製した。ターゲットとして、焼結体の SRO を用い、アブレーションには Nd:YAG レーザーの 3 倍波($\lambda=355$ nm)を 1 Hz で用いた。堆積条件は、基板温度が 750°C、酸素分圧が 10^{-3} Torr であった。極薄膜の厚さは、X 線反射法から積層レートを見積もることによりレーザーのパルス数で制御した。

結果および考察

図 1 に様々な厚さの SRO 極薄膜の MCD スペクトルと XAS スペクトルの結果を示す。XAS スペクトルにおいて、およそ 485 eV のところに Ru 3 $p_{1/2}$ の吸収がある。厚さが 20 原子層の SRO 極薄膜では、明瞭に MCD のシグナルを観測することができた(図 1 : 上)。

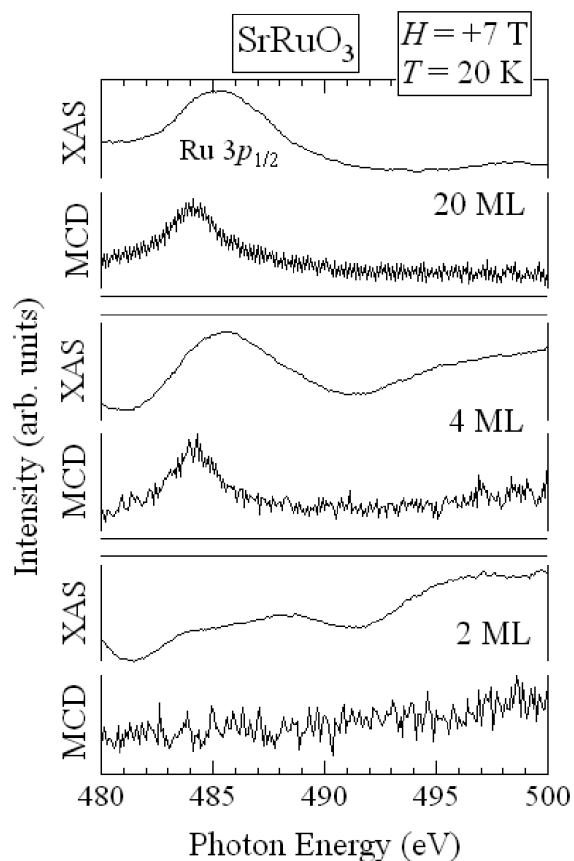


Fig.1 XAS and MCD spectra of SrRuO₃ thin films with various thicknesses.

また、厚さが4原子層の SRO 超薄においても、弱いながら MCD のシグナルを観測することができ(図 1 : 中)、このことから、4 原子層の SRO 極薄膜は強磁性を示すことが分かる。これに対し、2 原子層の SRO 極薄膜においては、MCD のシグナルは観測されなかった。このことから、SRO 極薄膜は膜厚 2-4 ML で強磁性へと転移していることが明らかになった。

まとめと今後の課題

今回はじめて、SRO 極薄膜において、厚さに依存する Ru の磁化を直接観測した。SRO 極薄膜では、4 原子層以上では強磁性を発現することが確認できたが、2 原子層では強磁性を示さないことが明らかになった。このこ

とより、金属強磁性の性質をもつ SRO 薄膜を電極材料に使用する際には、4 原子層以上の厚さが必要であることが示唆される。

薄膜の物性評価に置いては、薄膜の容積が小さいために従来の物性評価手法が適応できない場合が多く、放射光を用いた物性評価の確立が望まれている。本測定を通して、容積敏感な MCD といった磁化測定手法がナノスケールの材料評価に有用であることを示すことができた。

参考文献

- [1] M. Izumi *et al.*, Solid State Ionics **108**, 227 (1998).