

Fe/Cr 多層膜の XAFS による構造解析

Structural analysis of Fe/Cr multilayer films by XAFS

池田優里亜^{1,*}, 高杉孝樹¹, 宮永崇史¹

¹ 弘前大学理工, 〒036-8224 青森県弘前市文京町 3
Yuria Ikeda, Kouki Takasugi, Takafumi Miyanaga

Hirosaki Univ. Science and technology, 3 Bunkyou-cho, Hirosaki, Aomori, 036-8561, Japan

1 はじめに

Fe/Cr 多層膜の特徴的な性質の一つとして巨大磁気抵抗効果(Giant-Magneto-Resistance:GMR)が挙げられる。1988年にフランスのBaibichによって、BCC構造を示すFe/Cr人工格子薄膜は非磁性金属膜(スペーサー)を介した磁性層間の交換結合がスペーサーの膜厚と共に、大きな抵抗値を示すスピン依存散乱が行われる結合形人工格子であると報告された。これに伴い、磁性層と非磁性層間でRKKY相互作用などによる交換相互作用が解明され、GMRが出現した。金属人工格子薄膜はCo/Cu人工格子薄膜など他にも存在するが、Fe/Cr人工格子薄膜は室温中で高い電気抵抗率を示す。通常の金属では、数%しか電気抵抗率を示さないが、スペーサーを介してFe層が反平行に結合しているため、Fe/Cr人工格子薄膜は外部磁場を印加することなく、10数%という高い電気抵抗率を示す。このFe/Cr人工格子薄膜によるGMRは、近年の記録密度の向上に大いに貢献している。[1]

現在、このような多層膜は記録媒体などのMRAMや磁気センサなど、数多くのナノテクノロジーに用いられている。その点で金属多層膜の高保磁力化が求められているが、保磁力の詳細なメカニズムは未だに明らかになっていない。

これまで当研究室では、Fe/Cr多層膜のDebye-Waller因子が小さくなると保磁力が増加することが分かっていた。[2]そこで今回の研究では、多層膜の膜厚を変化させた場合、使用基板を変えた場合での膜原子の局所構造の違いについて着目し、FeとCrについてXAFS解析を行った。

2 実験

今回測定したFe/Cr多層膜はRFマグネトロンスパッタ法により総膜厚300nmで作製され、磁化測定および保磁力の評価は振動試料型磁力計を用いた。測定に用いた試料と保磁力をTableに示す。XAFS測定はKEK-PFで行い、ガラス基板はBL9C、MgO基板はBL12Cにて蛍光法(ライトル検出器)で測定した。また、吸収端はそれぞれの基板のFe K-edge、Cr K-edgeである。EXAFSの解析方法につい

ては、AthenaとArtemisを用いて解析した。[3]その一例としてFig.1、Fig.2はそれぞれガラス基板Fe K-edgeの $k^3\chi(k)$ スペクトルとフーリエ変換スペクトルである。ピーク周期に大きなずれは無いが、ピーク強度は膜厚によって異なっていることがわかる。今回はフーリエ変換スペクトルの第一ピークについてカーブフィッティングを行い、第一近接、第二近接原子についての原子間距離とDebye-Waller因子を求めた。その際、カーブフィットは等方膨張を仮定して行った。

Table 作製試料と保磁力

基板	膜厚と膜数	保磁力 (Oe)
ガラス 基板	Fe(100nm)/Cr(100nm)/Fe(100nm)	27.5
	{Fe(25nm)/Cr(25nm)}×6layers	29.0
	{Fe(10nm)/Cr(10nm)}×15layers	33.5
MgO 基板	Fe(100nm)/Cr(100nm)/Fe(100nm)	20.0
	{Fe(25nm)/Cr(25nm)}×6layers	25.0
	{Fe(10nm)/Cr(10nm)}×15layers	32.0

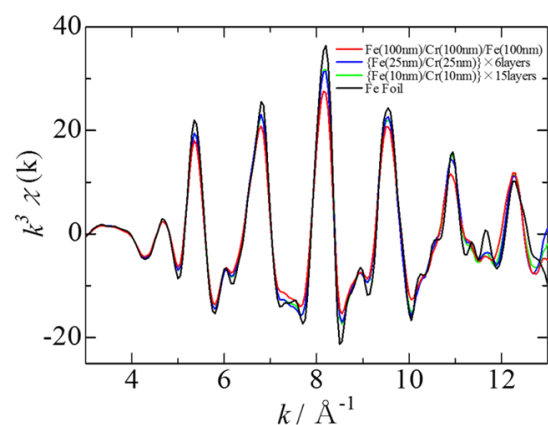


Fig.1: ガラス基板 Fe K-edge $k^3\chi(k)$ スペクトル。

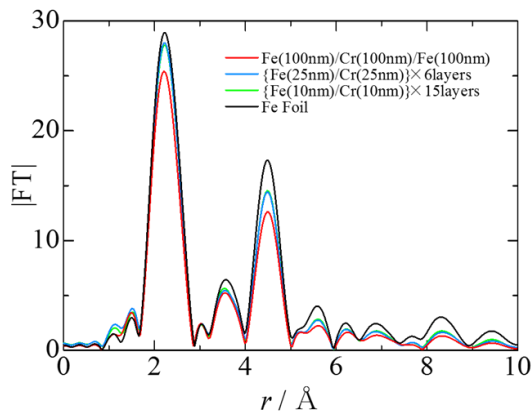


Fig.2: ガラス基板 Fe K-edge フーリエ変換スペクトル。

3 結果および考察

解析により求めた原子間距離と Debye-Waller 因子の第一近接原子についての結果を用いて考察する。

まず、膜厚と原子間距離について Fig.3 を見ると、膜厚が厚くなるにつれて原子間距離がわずかに長くなっていることが分かる。また、MgO 基板の Fe と Cr の原子間距離がガラス基板上のものより長くなっている。これは MgO 基板を用いたことによってエピタキシャル成長が起こったためと考えられる。しかし、エピタキシャル成長で歪んだ原子配列は、基板から遠ざかるにつれてもとの原子間距離に戻るはずであり、膜厚を厚くすると原子間距離が短くなると考えられる。この点で今回の結果と相違点が見られたため、フィッティング方法の再検討が必要である。

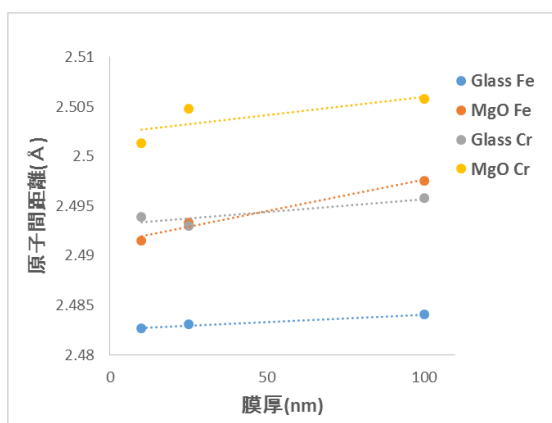


Fig.3: 膜厚変化による原子間距離の変化。

次に、膜厚と Debye-Waller 因子について Fig.4 を見ると、膜厚を厚くすることで Debye-Waller 因子が大きくなった。このことから、膜厚が厚い場合には構造の乱れが大きくなったことが分かる。また、MgO 基板では Debye-Waller 因子の変化が大きくなっているが、これはエピタキシャル成長によって原

子間距離が長くなっているために、原子のばらつきが大きくなったと考えられる。

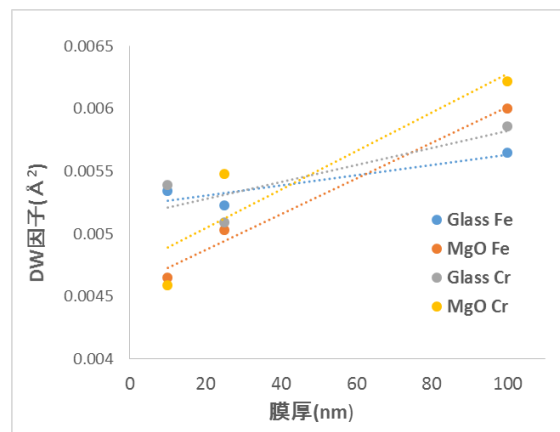


Fig.4: 膜厚変化による Debye-Waller 因子の変化。

4 まとめ

多層膜の膜厚を変化させた場合、膜厚を薄くしたところ、原子間距離が短くなり、Debye-Waller 因子も小さくなったことから、磁気モーメントの相関が大きくなり、単磁区構造に近い構造をとっていると考えられる。よって膜厚が薄い場合には保磁力が大きくなったと思われる。また、基板を変えた場合では、MgO 基板を用いるとエピタキシャル成長により、原子間距離が引き伸ばされてしまうため、構造が乱れ、保磁力が小さくなったと考えられる。しかし、今回は等方膨張を仮定したが、エピタキシャル成長を考慮すると、原子の配列は等方的ではなくなるため、(110)方向や(111)方向に歪む膨張についてもフィッティングを行うことが今後の課題である。

参考文献

- [1] Y. U. Idzerada, L. H. Tjeng, H. J. Lin, C. J. Guierrez, G. Meigs, C. T. Chen, *Surface Science*, **287-288**, (1993) 741-746.
- [2] T. Miyana, K. Takasugi, T. Ohba, T. Aida, T. Okazaki, *Magnetic and local structure analysis for Fe/Cr multilayer films*, *J. Phys. Conf. Ser.*, **502**, 012032 (2014).
- [3] <https://bruceravel.github.io/demeter/>

* h17ms201@hirosaki-u.ac.jp