課題番号　2013B ― E02

新しい放射光メスバウアー分光技術を用いたスピントロニクス関連ナノ薄膜の局所磁性探査

Investigation on Local Magnetism of Spintronics-Related Nanofilms Using Synchrotron-Radiation Mössbauer Spectroscopy

壬生 攻[1)]　三井 隆也[2)]　田中 雅章[1)]　小林 康浩[3)]　奈木 南[1)]　安藤 聡伸[1)]
瀬戸 誠[3, 2)]　柳原 英人[4)]　喜多 英治[4)]

Ko MIBU　Takaya MITSUI　Masaaki TANAKA　Yasuhiro KOBAYASHI　Minami NAGI　Satoshi ANDO
Makoto SETO　Hideto YANAGIHARA　Eiji KITA

[1)]名古屋工業大学　[2)]日本原子力研究開発機構　[3)]京都大学　[4)]筑波大学

SPring-8 BL11XU で立ち上げられた，核ブラッグモノクロメータ（核分光器）による超単色化放射光源を用いた ^{57}Fe メスバウアー分光測定を，Fe/Fe_3O_4 積層膜界面の局所構造・局所磁性の研究に適用した．今回は特に，新たに利用可能となった円偏光光源セットアップを用い，界面の Fe の局所的な磁気モーメントの方向が入射放射光に対して平行か反平行かをサイト選択的に調べることを試みた．

キーワード：　放射光，メスバウアー分光，核ブラッグモノクロメータ，界面，局所磁性

１．目的

最近，Fe と Fe_3O_4 を積層した 2 層膜において，両磁性層間に強力な反平行磁気結合が発現することが見出され，ハードディクス等の磁気デバイスやスピントロニクスデバイスに用いられている非磁性貴金属 Ru を介した磁化反平行結合膜を代替する材料として注目を集めている [1]．この強い反平行磁気結合は，理想的に平坦な界面を想定した理論計算では再現できず，何らかの界面構造の不完全性や不純物状態が重要な役割を果しているものと考えられている [2, 3]．結合機構をより明確にするためには，埋もれた接合界面の局所構造・局所磁性を実験的に調べることが重要になってくるが，そのような実験手段として，原子核によるγ線（or Ｘ線）の共鳴吸収スペクトルから核を取り巻く電子の状態を探ることができるメスバウアー分光法の利用が有望である．

一方，SPring-8 BL11XU で核ブラッグモノクロメータ（核分光器）を用いた超単色放射光メスバウアー分光測定システムが立ち上げられ，通常の密封放射線源を用いたメスバウアー分光では困難であった測定が可能になりつつある．ごく最近，円偏光放射光を用いたメスバウアー分光測定が可能になり，Fe の磁気モーメント（内部磁場）の方向を局所的かつサイト選択的に調べることができる実験法として，期待がもたれている．

今回我々は，2011B 期，2012A 期の直線偏光を用いた放射光メスバウアー分光実験 [4] に引き続き，Fe／Fe_3O_4 積層膜の Fe 層側界面あるいは Fe_3O_4 層側界面 3, 4 原子層の Fe のみをメスバウアー敏感な ^{57}Fe 核で構成した 2 種類の試料に対して，円偏光を用いた放射光メスバウアー分光測定を実施し，界面の局所的な磁気モーメントの方向が入射放射光に対して平行か反平行かをサイト選択的に調べることにより，接合界面の局所構造・局所磁性をより詳細に検討することを試みた．

２．方法

筑波大学にて反応性蒸着法で作製された，界面 3, 4 原子層にのみメスバウアー分光測定に敏感な ^{57}Fe 核からなる単原子層を配置しその他の部分の Fe を ^{56}Fe 原子核で構成した Fe/Fe_3O_4 積層膜試料 2 個をビームラインに持ち込み，核ブラッグモノクロメータによる超単色光を用いて ^{57}Fe メスバウアー分光測定を行った．^{57}Fe 核の共鳴エネルギー（14.4 keV）に合わせたアンジュレータ放射光

を超高分解能結晶モノクロメータを用いてバンド幅数 meV 程度に絞った後，核ブラッグモノクロメータに入射した．超高分解能結晶モノクロメータと核ブラッグモノクロメータの間にダイヤモンド移相子を挿入することにより，円偏光を発生させた．定位置出射されたバンド幅数 neV の超単色光を薄膜試料に斜入射させ，薄膜試料によって全反射された散乱フォトンを NaI シンチレーションカウンターで計測した．試料を速度トランスデューサーを用いて周期的に振動させ，超単色化されたビームにドップラー・エネルギー変調を加えた．マルチチャンネルアナライザーを用いて散乱されたフォトンカウントをドップラー速度と同期させて積算し，フォトンカウント vs. ドップラー速度（＝フォトンエネルギーに対応）のメスバウアースペクトルを得た．

３．結果及び考察

Figure 1 に，Fe／Fe_3O_4 積層膜の Fe 層側界面 3 原子層の放射光メスバウアースペクトルを示す．(a) が直線偏光放射光を用いて測定したスペクトル，(b) (c) が円偏光放射光を用いて測定したスペクトルである．放射光は膜面すれすれの全反射配置で入射され，入射方向に沿った面内方向に 800 Oe の磁場が印加されている．放射光実験に先立って行われた密封放射線源を用いたメスバウアー分光測定によると，この試料のスペクトルは，4 種類の磁気分裂サイトが重畳したブロードな 6 本のピークからなることが判っており，直線偏光放射光を用いて測定したスペクトルは，これを反映したものとなっている．これに対して，円偏光放射光を用いて測定したスペクトルは，偏光の極性に応じて 3，6 本目あるいは 1，4 本目のピークが消滅したものとなっている．円偏光の極性と消滅するピークの関係は，純 Fe の参照試料と逆になっており，界面の Fe の磁気モーメントが印加磁場（＝放射光入射方向）に対して反平行に向いていることを示している．一方，Fe_3O_4 層側界面 4 原子層については，印加磁場に対して平行な磁気モーメントを持つ成分と反平行な磁気モーメントを持つ成分が共存していることを示すスペクトルが得られた．今後のビームタイムでさらにデータを蓄積していくことにより，界面磁気構造の解明に結び付けていく計画である．

４．引用(参照)文献等

[1] H. Yanagihara *et al.*, Appl. Phys. Express 1 (2008) 111303.
[2] T. Kida *et al.*, Phys. Rev. B 84 (2011) 104407.
[3] J. Inoue *et al.*, Phys. Rev. B 85 (2012) 184431.
[4] K. Mibu *et al.*, Hyp. Int. 217 (2013) 127.

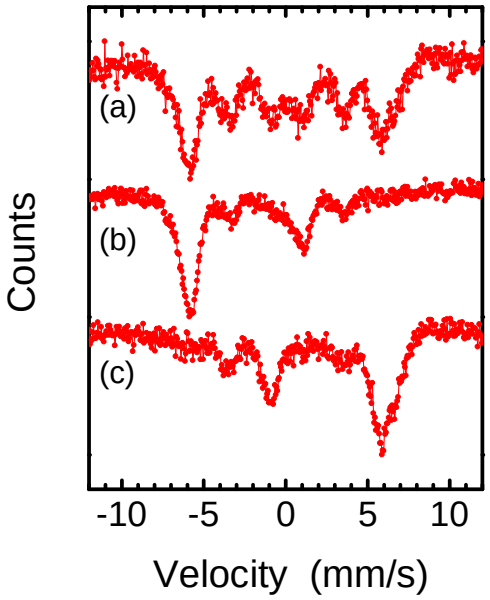

Figure 1　Fe／Fe_3O_4 積層膜 Fe 層側界面 3 原子層の放射光メスバウアースペクトル。(a) 直線偏光放射光を用いて測定したスペクトル，(b) (c) 円偏光放射光を用いて測定したスペクトル．