

新しい放射光メスバウアー分光法を用いたスピンエレクトロニクス素子における 非平衡電子スピン分極検出の試み

Detection of Non-Equilibrium Electron-Spin Polarization in Spintronics Devices
Using Synchrotron-Radiation Mössbauer Spectroscopy

壬生 攻¹⁾ 田中 雅章¹⁾ 北尾 真司²⁾ 瀬戸 誠^{2, 3)} 三井 隆也³⁾

Ko MIBU Masaaki TANAKA Shinji KITAO Makoto SETO Takaya MITSUI

¹⁾名古屋工業大学 ²⁾京都大学 ³⁾日本原子力研究開発機構

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 ⁵⁷Fe メスバウアー分光測定を利用して、メスバウアー核である ⁵⁷Fe を表面付近の一定の深さ位置に 1 ~ 3 原子層程度ドーブした Fe (⁵⁶Fe) 薄膜細線および V 薄膜細線における非平衡・定常状態の伝導電子スピン分極（スピンホール効果）の検出を試みた。スピン蓄積を明確に示すスペクトルが得られるには至らなかったが、新しい放射光メスバウアー分光法を用いることによりこれまで不可能であったこのような実験が実現可能であることを示した。

キーワード： 放射光, 核共鳴散乱, 核ブラッグモノクロメータ, 非平衡電子スピン分極, スピンホール効果, スピンエレクトロニクス (スピントロニクス)

1. 目的

スピンエレクトロニクス (スピントロニクス) の分野では、素子への通電時にのみ生じる非平衡・定常状態の伝導電子スピン分極である「スピン流」や「スピン蓄積」に注目が集められている。非平衡伝導電子スピン分極は、スピン源となる磁性金属からそれに接する非磁性金属に直接伝導電子を流して誘起する方法や、非磁性金属に電流を流した際に現れる「スピンホール効果」を通じて左右上下の界面に誘起する方法 (Fig. 1(a)) などにより生成されている。これらの現象は、一般的には、電圧信号として電氣的に検証されているが、磁気カー効果を用いたより直接的な測定も試みられている。本研究では、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）を用いた超単色放射光メスバウアー分光法を利用して、スピンホール効果により生じる非平衡・定常状態の伝導電子スピン分極（スピン蓄積）を直接検出することを試みた。

原子核によるガンマ線 (X 線) の吸収スペクトルより原子核をとりまく電子の局所状態を調べることができるメスバウアー分光法は、物質界面付近の電子スピン分極を調べる手段としてきわめて有効である。一般に、メスバウアー分光法を単結晶基板上に作製された薄膜試料やナノ構造体試料に適用するのに際しては、いわゆる反射配置での測定が不可欠である。しかしながら、通常実験室で利用される放射性同位体線源とガス比例計数管を用いた内部転換電子検出法では、試料環境に対する制約が多く、低温や磁場中・電場中など特殊環境下での測定が困難になってくる。このような状況のもと、最近 SPring-8 BL11XU にて原子力機構・三井らにより開発された、放射光と核ブラッグモノクロメータを用いたメスバウアー分光測定法 [1, 2] の利用が有望になっており、今回この方法を利用するに至った。

2. 方法

測定試料として、メスバウアー核である ⁵⁷Fe を表面付近の一定の深さ位置に 1 ~ 3 原子層程度ドーブした Fe (⁵⁶Fe) 薄膜細線および V 薄膜細線を真空中でのマスク蒸着法を用いて作製した (ともに幅 2 mm, 長さ 20 mm, 厚さ 50 nm 程度)。前者は強磁性細線、後者は非磁性細線である。代表的な試料の構成を Fig. 1(b) に示す。スピンホール効果によるスピン蓄積は界面付近のスピン拡散長程度の領域にみられると予想されるため、⁵⁷Fe プローブ層の深さの異なる試料をそれぞれ 2 個準備した。放射光メスバウアー分光実験は、SPring-8 BL11XU にて行った。⁵⁷Fe 核の共鳴エネルギー (14.4 keV) に合わせたアンジュレーター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。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光子を NaI シンチレーションカウンターで計測した (Fig. 1(c))。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光子カウントをドップラー速度と同期させて積算し、光子カウント vs. ドップラー速度 (= 入射光子エネルギーに対応) のメスバウアースペクトルを得た。試料への印加電圧 ON 時と OFF 時、すなわち、スピン注入のための電流 ON 状態と OFF 状態でスペクトルを測定した。スピン蓄積の影響により ^{57}Fe 核位置に内部磁場 (フェルミコンタクト磁場) が誘起されるかどうか、メスバウアー分光法による核のゼーマン分裂の測定を通じて検証した。

3. 結果および考察

まず、Fe 薄膜細線の測定を行った。強磁性 Fe の 33 T の内部磁場が、試料への印加電圧 ON 時に変化するかどうかについて調べた。1 本の S/N 比が良好なスペクトルを測定するのに約 4 時間の測定を要した。電流を 100 mA (電流密度 $8 \times 10^8 \text{ A/m}^2$) まで段階的に変化させて測定したところ、通電状態においてごくわずかながらスペクトルの変化を示唆する結果が得られたが、スピン蓄積を検出していることを明確に確認するには至らなかった。引き続き、V 薄膜細線の測定を行った。この試料では非磁性の V 中に挿入された ^{57}Fe 単原子層が非磁性化しており、試料への印加電圧 ON 時にのみ内部磁場が現れることが期待される。各スペクトル約 2 時間の測定の結果、この系においてもスピン蓄積を明確に示すスペクトルが得られるには至らなかった (Fig. 1(d))。今回は放射光メスバウアー分光法を用いた非平衡電子スピン分極検出の初めての試みであり、今後、より原子番号が大きくスピン-軌道相互作用が大きい金属中にプローブ核を挿入した試料の測定や、より電流密度を上げた測定を行うことにより、現象の検証を進めて行く計画である。

4. 引用 (参照) 文献等

- [1] T. Mitsui *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **46** (2007) L903,
- [2] T. Mitsui *et al.*, J. Synchrotron Radiation **19** (2012) 198.

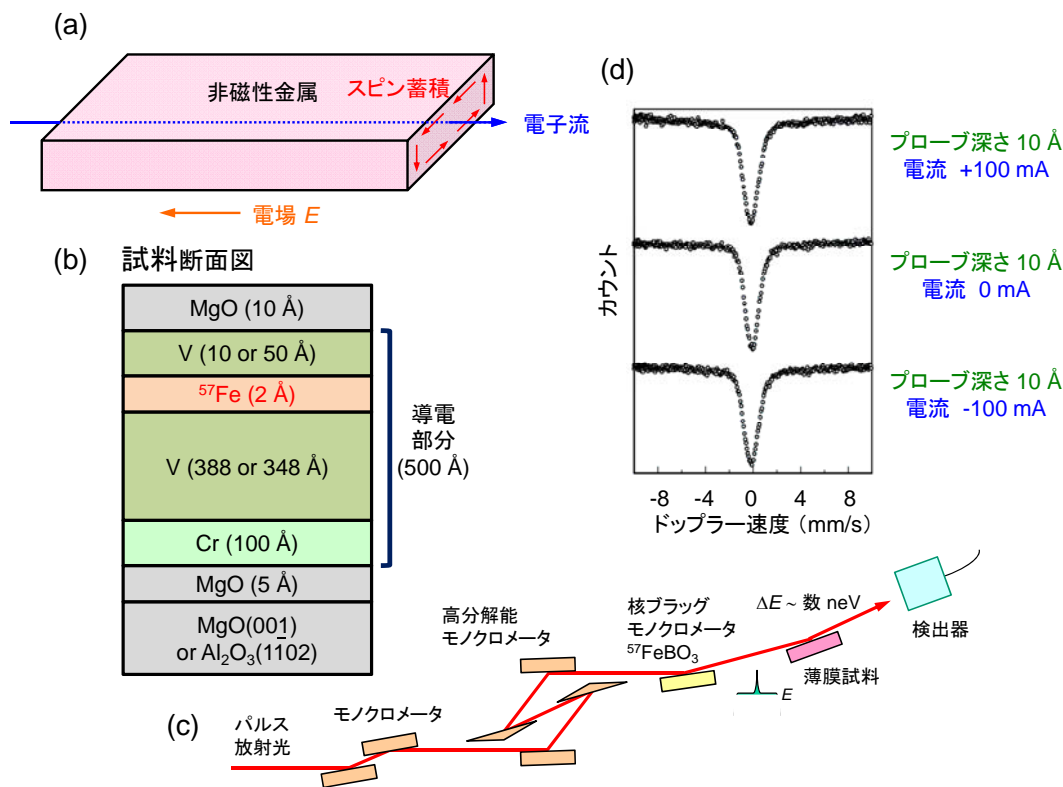


Fig. 1 (a) スピンホール効果の概念図, (b) メスバウアープローブ核をドーブした薄膜細線試料の構成例 (V 細線薄膜), (c) 核ブラッグモノクロメータを用いた放射光メスバウアー分光測定セットアップ (薄膜測定用配置), (d) 代表的メスバウアースペクトル (V 細線薄膜)。