

課題番号 : F-16-NU-0070  
 利用形態 : 共同研究  
 利用課題名 (日本語) : エピタキシャル磁気ヘテロ接合系における垂直磁気異方性の研究  
 Program Title (English) : Study of perpendicular magnetic anisotropy of epitaxial magnetic heterostructures  
 利用者名 (日本語) : 山本真吾, 松田巖  
 Username (English) : S. Yamamoto, I. Matsuda  
 所属名 (日本語) : 東京大学大学院理学系研究科物性研究所  
 Affiliation (English) : Univ. of Tokyo, ISSP

### 1. 概要 (Summary)

強磁性超薄膜の垂直磁気異方性を調べるために名古屋大学、岩田研究室で分子線エピタキシャル法の成膜装置を用いて試料作製、交流磁界勾配型磁力計による面直、面内の磁気曲線の評価、トルク磁力計を利用した垂直磁気異方性エネルギーの評価を行った。今回は Au/Fe/Au 系の成膜を行い、定常的な磁気特性を昨年度取り組んだ Au/Fe/MgO 系と比較した。また今回成膜した Au/Fe/Au 系については、レーザー誘起の磁気ダイナミクスを放射光、自由電子レーザーを用いてサブピコ秒からナノ秒までにわたってその時間スケールを明らかにした。

### 2. 実験 (Experimental)

#### 【利用した主な装置】

磁気特性評価システム群、分子線エピタキシー装置、フェムト秒レーザー加工分析システム

#### 【実験方法】

分子線エピタキシャル法で Au/Fe/Au/Cr/MgO (基板) の成膜を行った。成膜中に、反射高速電子線回折を用いてエピタキシャル成長を確認した。垂直磁気異方性の膜厚依存性を調べるために膜厚を変えた試料を成膜し、それらの磁気特性を交流磁界勾配型磁力計とトルク磁力計測定で行った。電界効果の実験を磁気光学カー効果測定により行い、スピン歳差の時間スケールをフェムト秒レーザーシステムを用いて評価した。

### 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

昨年度取り組んだ Au/Fe/MgO の系と同様に、Au/Fe/Au 系においても膜厚の減少に伴い、垂直磁気異方性が大きくなることが確認された。界面由来の垂直磁気異方性エネルギーの寄与は Au/Fe/MgO 系の場合で 696  $\mu\text{J}/\text{m}^2$  [1] Au/Fe/Au 系の場合には 455  $\mu\text{J}/\text{m}^2$  であった。これらは、トルク磁力計により有効垂直磁気異方性エネルギー ( $K_{\text{eff}}$ ) を測定し、 $K_{\text{eff}} \cdot d$  ( $d$  は Fe 層の膜厚) を  $d$  に対してプロットすることから導出した (Fig.1)。この垂直磁気異方性の違いは Fe/MgO の場合には先行研究 [1] で指摘されているように、界面における Fe と O の軌道の混成の影響が考えられる。Au/Fe/Au の場合に対しては、放射光や自由電子レーザーを用いてサブピコ秒からナノ秒にわたるレーザー誘起の磁気ダイナミクスの追跡を行い、時間スケールの膜厚依存性、pump パルスの強度依存性が観測された。また面直と面内の磁化で異方的な振舞も観測されている。微視的理解のためには現象論的なモデル計算が今後必要になると考えられる。

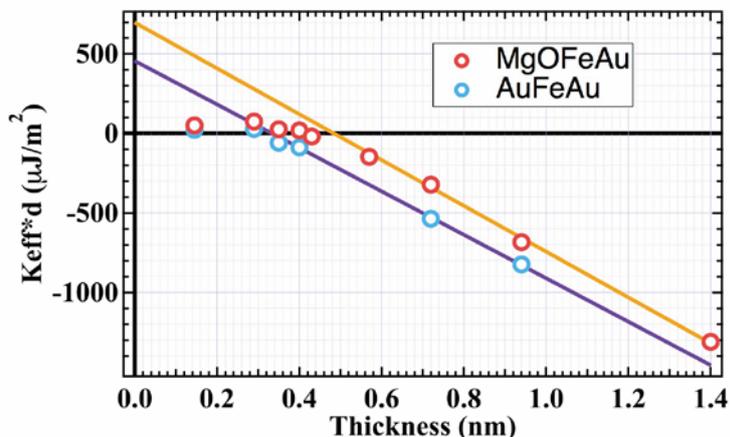


Fig. 1 Dependence of  $K_{\text{eff}} \cdot d$  on Fe thickness for MgO/Fe/Au (red circles) and for Au/Fe/Au system (blue circles) where  $d$  is Fe film thickness. Solid line is linear fitting to bulk-like region for MgO/Fe/Au (orange) and Au/Fe/Au (purple).

### 4. その他・特記事項 (Others)

- ・参考文献: [1] J. Okabayashi et al., Appl. Phys. Lett. **105**, 122408 (2014)
- ・共同研究者: 名古屋大学 未来材料・システム研究所 岩田聡教授、同 大島大輝助教、名古屋大学大学院工学研究科 加藤剛志准教授
- ・Grant-in-Aid for JSPS Fellows、the Program for Leading Graduate Schools (MERIT)
- ・修士課程学生福田憲吾様に感謝します。

### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) 山本真吾, 山本航平, 田久保耕, 福田憲吾, 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡, 和達大樹, 松田巖: 界面スピン軌道相互作用誘起の Fe 超薄膜の垂直磁気異方性の変化, 07aE-1, 日本磁気学会学術講演会, 2016年9月, 金沢大学 (口頭・査読なし)
- (2) 山本真吾, 山本航平, 田久保耕, 福田憲吾, 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡, 和達大樹, 松田巖: Vドープポロジカル絶縁体 BiSbTe の軟 X 線磁気円二色性の研究, 13aPS-89, 日本物理学会秋季大会, 2016年9月, 金沢大学 (ポスター・査読なし)
- (3) 山本真吾, 山本航平, 高橋良暢, 丸山航平, 鈴木雄太, 久保田雄也, 伊藤俊, 福田憲吾, 大島大輝, 大和田成起, 加藤剛志, 藤澤正美, 保原麗, C. Schussler-Langeheine, 平田靖透, 山本達, 小嗣真人, 岩田聡, 和達大樹, 矢橋牧名, 辛埴, 松田巖: 時間分解共鳴磁気光学効果/磁気円二色性測定による Au/Fe/Au 系の超高速消磁・緩和過程の追跡, 5F001, 日本放射光学会, 2017年1月, 神戸 (口頭・査読なし)

### 6. 関連特許 (Patent)

なし。