

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510122

研究課題名(和文) ナノ磁性薄膜の機能性発現を担う非磁性層の誘起磁気構造解析

研究課題名(英文) Analysis on induced magnetic structures of nonmagnetic layers which generate the functionality of nanostructure magnetic thin films

研究代表者

細糸 信好 (HOSITO, Nobuyoshi)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・准教授

研究者番号：30165550

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：磁性層と非磁性層を数ナノメートルの膜厚で積層したナノ磁性薄膜は、間接交換結合や交換バイアス効果等のナノ磁性薄膜特有の磁気物性を示す。これらの物性が発現する原因を、非磁性層に誘起された磁気構造を手掛かりにして調べた。元素選択的な測定法である共鳴X線磁気散乱法を用いてFe/Au, Co/Cu, MnIr/CoFe, CoO/Au/Fe等のナノ磁性薄膜の非磁性層または反強磁性層の誘起磁気構造を明らかにし、非磁性層誘起磁気構造と強磁性層の磁気物性との関係を論じた。

研究成果の概要(英文)：Nanostructure magnetic thin films consisting of magnetic and nonmagnetic layers of several nm thick indicate characteristic magnetic properties such as an interlayer exchange coupling and an exchange bias effect. The causes which generate these magnetic properties were investigated from the magnetic structures induced in the nonmagnetic layers as a clue. The magnetic structures induced in the nonmagnetic or antiferromagnetic layers of nanostructure magnetic thin films such as Fe/Au, Co/Cu, MnIr/CoFe, and CoO/Au/Fe were revealed by resonant X-ray magnetic scattering, which has an element selective nature, and the relation between the induced magnetic structures of nonmagnetic layers and the magnetic properties of ferromagnetic layers was discussed.

研究分野：ナノ磁性薄膜の磁気構造と磁気物性

キーワード：放射光 共鳴X線磁気散乱 ナノ磁性薄膜 非磁性層誘起磁気構造 間接交換結合 交換バイアス効果

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 申請者は振動的間接交換結合発生の原因を明らかにするため、放射光を用いた共鳴 X 線磁気散乱法を開発し、間接交換結合を示す Fe/Cu 系、Fe/Au 系、Co/Ru 系、間接交換結合を示さない Gd/Cu 系などを対象として、非磁性層に誘起された磁化の深さ分布を詳細に決定してきた。その結果、RKKY モデルで期待されるような減衰振動的な誘起磁化分布は存在しないことが分かった。しかし、誘起磁化の大きさやその減衰長などは多様に変化することが明らかになった。たとえば Fe/Au(001)多層膜中の Au 層スピン分極分布は界面近傍に集中した成分に加えて、Au 層内部に一様に分布する内部成分が存在する。<sup>1)</sup> このような分布を定量的に説明するモデルは存在せず、非磁性層の電子状態と間接交換結合の発現の関係を実際の系に即して説明するにはより詳細な研究が必要であることを示している。

(2) 間接交換結合は非磁性層が磁性層間の相互作用を媒介することを示している。他方、Co/Au/CoO 膜において、磁気ヒステリシス曲線が磁場方向にシフトする現象(交換バイアス効果)が観測されている。<sup>2)</sup> これは、Au 層が、反強磁性 CoO 層に誘起された非補償磁化と強磁性 Co 磁化との磁気相互作用を媒介していることを示している。この現象はあまり注目されていないが、非磁性層が磁気相互作用を媒介する新たな例である。

(3) このような状況に鑑み、申請者はこれまで行ってきた間接交換結合系における非磁性層の電子状態研究の視野を一層広げた研究を計画した。ナノ磁性薄膜の磁気機能性に対する非磁性層の誘起磁性の役割を明らかにし、その結果に基づき、新規な機能性を持つナノ磁性薄膜の作製を試みる。

## 2. 研究の目的

(1) 申請者はこれまで量子井戸モデルの典型例である Fe/Au(001)系を調べてきた。しかし、この系の研究だけでは、非磁性層の電子状態を決めるのが量子井戸状態の生成か、磁気近接効果か、あるいは他の原因かなどを区別できない。したがって、従来の結果と比較検討するために Fe/Au(111)系の Au 層の電子状態や誘起磁性を、放射光を用いた円偏光硬 X 線共鳴磁気散乱を用いて調べる。また、理論計算例がある Co/Cu 系の研究も比較のため行う。飽和状態あるいはゼロ磁場状態だけでなく、磁化過程全体を通した非磁性層の電子状態の変化を明らかにする。

(2) 交換バイアス系に関しては、既に研究を始めている MnIr/CoFe 系に加えて、報告のあった CoO/Au/Co 系の Co 層を Fe 層に変えた CoO/Au/Fe 系を研究対象とする。円偏光共鳴 X 線磁気散乱を用いて、強磁性 Fe 層、反強

磁性 CoO 層、非磁性 Au 層の磁性を元素選択的に研究し、交換バイアス効果を生じる磁気結合が Au 層により媒介される機構を明らかにする。

(3) 本研究課題は量子ビーム科学分野の課題であることに鑑み、従来発展させてきた放射光円偏光を用いた共鳴 X 線磁気散乱測定法をさらに改良・発展させるとともに、解析法も工夫して、種々の磁気物性を示す試料から有用な元素選択的磁気構造を得る方法を開発する。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究を遂行するためには、試料作製、構造評価、磁気特性評価、磁化過程シミュレーション、放射光利用実験、及びこれらの結果の総合的な解析を行うことが必要になる。

(2) 間接交換結合を示す Fe/Au 系については超高真空蒸着法で試料を作製した。また、Co/Cu 系についてはスパッタ法で試料を作製した。直接交換バイアス効果を示す CoO/Fe 系と間接交換結合を示す CoO/Cu/Fe 系についてはスパッタ法で試料を作製した。また、CoO/Au/Fe 系については、CoO 層はスパッタ法で、Au 層と Fe 層は超高真空蒸着法で作製した。試料構造評価は、Cu K $\alpha$  X 線を用いた小角領域の反射率測定および高角領域の X 線回折パターン測定により行い、最終的には放射光実験のデータも合わせて解析して試料構造を決定した。

(3) 磁気特性評価は振動試料型磁力計(VSM)を用いて行った。Fe/Au 間接交換結合系については室温で磁気ヒステリシス曲線を測定した。放射光実験の条件を決めるため、印加磁場方向を MgO 単結晶基板の異なった結晶軸と平行になるように変化させて、面内方向の磁気異方性の情報を取得した。また、磁化過程シミュレーションを行い、強磁性層の磁化過程を推定した。CoO/Cu/Fe 等の交換バイアス系については、磁気ヒステリシス曲線の温度変化を測定し、交換バイアス磁場の温度依存性や Cu 膜厚依存性を求めた。

(4) 放射光を用いた共鳴 X 線磁気散乱測定は、SPring-8 BL39XU で行った。磁気散乱成分の分離・抽出は円偏光のヘリシティ反転と磁場印加方向の反転を組み合わせで行った。また、部分的に円偏光変調法による測定を併用した。間接交換結合を示す Co/Cu(111)多層膜の Cu K 吸収端小角および高角測定、交換バイアス効果を示す CoO/Fe および Co/Au/Fe 膜の Co K 吸収端小角共鳴 X 線磁気散乱測定等を行った。また、他の試料のデータも含めて解析を行った。

## 4. 研究成果

(1) Fe/Au 間接交換結合多層膜

研究開始時に、Fe 磁化が飽和した状態で Fe/Au(001)多層膜中の Au 層に誘起されるスピン分極深さ分布が界面に集中した成分と一様に分布する内部成分の和で与えられることが、小角領域の Au  $L_3$  吸収端共鳴磁気散乱角度スキャン測定から分かっていた。本研究課題では、この結果をさらに確認するために、小角領域の磁気散乱ピークに対する X 線エネルギースキャン測定データと、広角領域の X 線磁気回折測定データから Au 層の誘起磁気構造を明らかにした。広角測定では、完全な元素選択性は失われるが、深さ分解能が向上するという利点がある。測定されたエネルギースキャンスペクトルは、角度スキャンから得られた Au スピン分極の深さ分布を用いて再現できた。また、高角測定から得られた誘起磁気構造は本質的に小角測定から得られた誘起磁気構造と同じであること、界面成分の減衰挙動に若干非対称性があることが分かった。

一様な内部成分の存在は、スピン分極の減衰長が Au 膜厚に比べて長いことを示している。Au 層中のスピン分極の減衰長を評価し、Au 層スピン分極の生成原因を探るため、Fe 磁化が飽和した状態で、Fe(15 Å)/Au(50 Å) 二層膜および Fe(15 Å)/Au(50 Å)/Fe(15 Å) 三層膜の Au 層誘起磁気構造を解析した。二層膜の測定から、ひとつの Fe/Au 界面が生成するスピン分極構造を明らかにした。内部成分の減衰長は 15 Å 以上と長いこと、内部成分と界面成分の強度比はおおよそ 40:60 であることが分かった。二層膜から得られる Au スピン分極分布は量子干渉モデル<sup>3)</sup>の 1 回磁気反射スピン分極に相当する。これをもとに三層膜中の Au 層の誘起磁気構造を量子干渉モデルに従って解析すると、若干 2 回磁気反射スピン分極の寄与があるが、おおむね二つの Fe/Au 界面が生成する 1 回磁気反射スピン分極の和で与えられるが明らかとなった。これは Fe 磁化飽和状態での Au 層スピン分極がおおむね二つの界面が生成する誘起スピン分極の重ね合わせで与えられることを示す。

Fe 磁化が反平行状態での Au 層のスピン分極分布を決定するため [Fe1 (10 Å)/Au(35 Å)/Fe2 (15 Å)/Au(35 Å)] $\times$ 16 構造を持つ 2 倍周期多層膜を作製した。二つの Fe 層の膜厚をわずかに変えたのは、1 倍周期多層膜では化学周期の 2 倍の周期を持つ Au スピン分極構造を共鳴 X 線磁気散乱で検出できないためである。MgO 基板の[110]方向に磁場を印加した条件下で測定した磁気ヒステリシス曲線を解析し、ゼロ磁場において Fe1 層と Fe2 層の磁化が反平行になること、Fe 磁化の方向は印加磁場方向と直交することを見出した。この構造は 1 倍周期多層膜と同じである。これらのことから、Fe 磁化が反平行配置での Au スピン分極分布を決定するための共鳴 X 線磁気散乱の実験配置として、MgO [110]方

向に磁場を印加し X 線進行方向を印加磁場方向と直交する配置を採用した。これに加えて、印加磁場と X 線進行方向を平行にとり、Fe 磁化が飽和した条件下での Au スピン分極分布を決定した。得られた Au スピン分極の深さ分布を以下に示す。

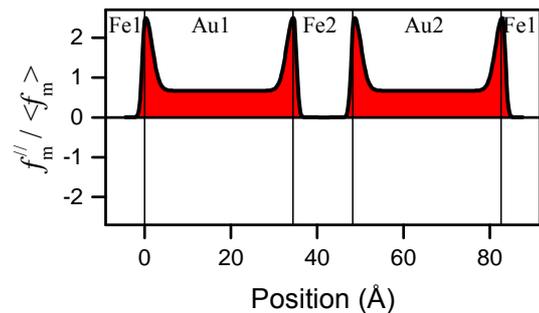


図 1. Fe 磁化飽和状態における Au 層スピン分極分布(磁場に平行な成分)

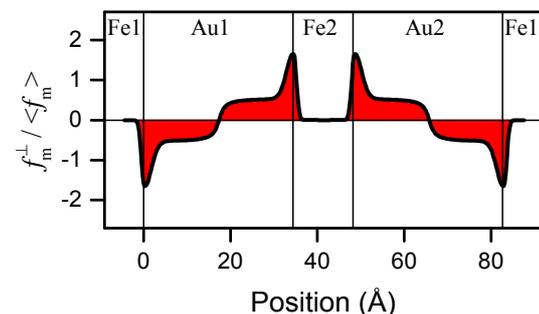


図 2. Fe 磁化反平行状態における Au 層スピン分極分布(磁場に直交する成分)

Fe 磁化飽和状態での Au スピン分極分布は、図 1 に示すように、1 倍周期 Fe/Au 多層膜のそれと同じである。すなわち、Au スピン分極分布は主に二つの Fe/Au 界面での 1 回磁気反射で生成されたスピン分極の和で与えられる。もし、Fe 磁化反平行配置でのスピン分極分布も同様の機構で生成されるとすると、Fe1 層からの負の寄与と Fe2 層からの正の寄与が打ち消しあうため、内部成分は非常になくなるはずである。しかし、得られたスピン分極分布は、その符号は Au 層の中心で反転するが、ほぼ一様な内部成分の存在を示している。このことは、Fe 磁化反平行状態の Au スピン分極分布は 1 回磁気反射スピン分極の重ね合わせでは表すことができないことを示している。つまり、Fe/Au 多層膜中の Au 層の電子状態は量子干渉モデル(量子井戸モデル)では表すことができない。Fe 層に挟まれた Au 層は強磁性的な性質を持つと推測される。以上の知見をもとに、今後 Au 層の磁化過程を明らかにする。

Fe/Au(001)系と比較するため Fe/Au(111)系の作製を試みた。サファイア基板を用いることにより Au(111)配向の多層膜を作成できたが、放射光実験を行うにはさらに試料の質を向上することが必要である。

(2) Co/Cu 間接交換結合多層膜

スパッタ法で作製した強磁性結合および反強磁性結合 Co/Cu(111)多層膜の Cu K 吸収端共鳴磁気散乱測定を行い、Cu 層スピン分極分布を決定した。得られたスピン分極分布は Fe/Au(001)多層膜のそれとは異なり、一様な分布を示す内部成分は存在しないことが明らかになった。強磁性結合試料と反強磁性試料のスピン分極分布はほぼ同じで、減衰長が 3-5 Å の界面成分のみが存在する。現在 Co/Cu(001)試料を作製しており、今後 Cu スピン分極分布の配向面依存性を調べる予定である。

(3) MnIr/CoFe 交換バイアス膜

この研究は東北大工学研究科のグループとの共同研究として行った。反強磁性 MnIr 層と強磁性 Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub> 層からなる二層膜は交換バイアス効果を示す。Mn L<sub>2,3</sub> 吸収端 XMCD 測定から MnIr/Co<sub>70</sub>Fe<sub>30</sub> 試料では Mn スピンと強磁性層スピンは強磁性的、MnIr/Fe 試料では反強磁性的に結合していることが知られている。<sup>4)</sup> このような違いが Ir 原子の誘起磁性にどのように反映されるかを見るために、Mn<sub>73</sub>Ir<sub>27</sub>(50 Å)/ Co<sub>70</sub>Fe<sub>30</sub>(200 Å) 試料と Mn<sub>77</sub>Ir<sub>23</sub>(50 Å)/ Fe(100 Å)試料の Ir 原子の界面磁性を Ir L<sub>3</sub> 吸収端共鳴 X 線磁気散乱により調べた。Ir 磁気散乱プロファイルの解析から、Ir スピン分極の方向、スピン分極の深さ分布、磁気モーメントの大きさの比（正確には共鳴磁気散乱長の比）などを決定した。得られた結果を第一原理計算結果と比較した。結果を次の表に示す。

表 I Ir 原子の界面磁性の比較

	磁気散乱 実験	第一原理 計算
界面磁気結合	強磁性層 に平行	強磁性層 に平行
磁気モーメント分布	界面第一層に集中	界面第一層に集中
磁気モーメントの比 $\mu_{Ir}(\text{MnIr}/\text{CoFe})/$ $\mu_{Ir}(\text{MnIr}/\text{Fe})$	1.42	1.44

第一原理計算では、Mn, Fe, Co などの磁気モーメントについての知見だけでなく、Ir に誘起された磁気モーメントについての知見も得られる。その結果を実験で確認することは一般に困難であるが、共鳴 X 線磁気散乱はこれを可能にする。磁気散乱測定により得られた結果は第一原理計算の結果とよい一致を示すことが分かった。

(4) CoO/Cu/Fe および CoO/Au/Fe 間接交換バイアス膜

スパッタ法で試料を作製する際の利便性を考慮して、非磁性層を Au ではなく Cu とした試料をまず作製した。Cu 膜厚を 0-15 Å の

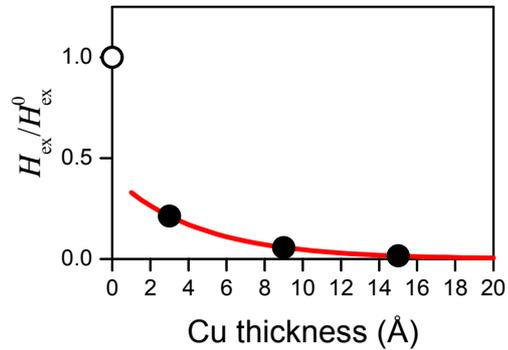


図 3. CoO/Cu/Fe における交換バイアス磁場の Cu 膜厚依存性(20 K)

範囲で変化させて、交換バイアス磁場の Cu 膜厚依存性を VSM による磁気ヒステリシス測定から決定した。室温では交換バイアス効果による磁気ヒステリシスシフトは観測されなかったが、温度を下げると保磁力が増大し、160 K 以下で交換バイアス効果が観測された。20 K における交換バイアス磁場の Cu 膜厚依存性を図 3 に示す。縦軸は得られた交換バイアス磁場  $H_{ex}$  を Cu 膜厚がゼロの場合の値  $H_{ex}^0$  で規格化した値である。Cu 膜厚がゼロでない場合の交換バイアスの減少（印）は  $\exp(-x/4.6 \text{ Å})$  と表すことができる（赤線）。この挙動は Co/Cu 多層膜における Cu 層誘起スピン分極の減衰長である 3-5 Å とよく対応している。このことは、Cu 層のスピン分極が Fe スピンと CoO 層の非補償 Co スピンの磁気相互作用を媒介することを示唆している。

反強磁性 CoO 層の界面近傍に誘起された非補償 Co スピンに関する知見を得るため CoO/Fe および CoO/Au/Fe を試料として Co K 吸収端共鳴 X 線磁気散乱測定を室温で行った。CoO/Fe 使用では明瞭な Co 磁気散乱を観測した。このことは室温でも CoO 層に非補償スピが生じていることを示す。CoO/Au/Fe 試料でも Co 磁気散乱を観測したが、強度が弱いためさらに検討する必要がある。

(5) 放射光磁気散乱測定法の改良等

共鳴 X 線磁気散乱の測定は SPring-8 BL39XU で行っている。このビームラインは本来、硬 X 線 XMCD 測定を想定したビームラインであるが、我々は自作の測定プログラムを導入して、磁気散乱の測定を可能にした。当初、ユーザーが使用できる PC は Windows 2000 で動作していたので、Visual Basic Ver. 6 で作成したプログラムをインストールして測定に使用してきたが、この PC の老朽化等により Windows 7 で動作する PC に更新された。このため、磁気散乱測定プログラムを作り直す必要が生じ、C#/ .NET Framework を用いて作成したプログラムに更新した。これにより、今後も安定して磁気散乱を測定することが可能になった。

通常の磁気散乱測定では円偏光のヘリシティを反転することにより磁気散乱成分を抽出している。この方法では検出感度はX線の総カウント数で決まるため、良好な結果を得るためには数十万 cps 以上の反射強度が必要である。この制限を緩和することが可能かどうか検討するため、数万 cps 程度の反射強度に対して円偏光変調法の適用可能性を検証した。未だ完全ではないが、測定が可能であることを示すデータを得た。

これまで、多層膜試料から得られる磁気ブランクピークから磁気構造を決定する方法は確立していたが、本研究課題により二層膜から得られる磁気反射率データから磁気構造を決定することが可能になった。

(6) 本研究では、間接交換結合や交換バイアス効果を示すナノ磁性薄膜の非磁性層（または反強磁性層）に誘起されたスピン分極に着目し、その誘起磁気構造を元素選択的な磁気構造解析法である共鳴X線磁気散乱を用いて決定した。その結果、非磁性層に誘起されたスピン分極がナノ磁性薄膜特有の磁気物性の発現に深くかかわっていることを示す知見が得られた。

#### 引用文献

- T. Ohkochi, K. Mibu, and N. Hosoito, J. Phys. Soc. Jpn. **75**, 104707 (2006).  
M. J. Prandolini, Rep. Prog. Phys. **69**, 1235 (2006).  
K. Ishiji, H. Hashizume, Y. Suzuki, and E. Tamura, Phys. Rev. B **74**, 174432 (2006).  
H. Takahashi, Y. Kota, M. Tsunoda, T. Nakamura, K. Kodama, A. Sakuma, and M. Takahashi, J. Appl. Phys. **110**, 123920 (2011).

#### 5. 主な発表論文等

##### 〔雑誌論文〕(計6件)

- 1 Induced Spin Polarization in the Au Layers of Fe/Au Multilayer in an Antiparallel Alignment State of Fe Magnetizations by Resonant X-ray Magnetic Scattering at the Au  $L_3$  Absorption Edge, Shinjiro Amasaki, Masao Tokunaga, Kiminori Sano, Kazuki Fukui, Kenji Kodama, Nobuyoshi Hosoito, J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 064704-1-8 (2015) 査読有, 10.7566/JPSJ.84.064704
- 2 Depth Profile of Induced Magnetic Polarization in Cu Layers of Co/Cu(111) Metallic Superlattices by Resonant X-ray Magnetic Scattering at the Cu K Absorption Edge, Shin Uegaki, Akihiro Yoshida, Nobuyoshi Hosoito, J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 034704-1-7 (2015), 査読有, 10.7566/JPSJ.84.034704

- 3 Charge and Induced Magnetic Structures of Au Layers in Fe/Au Bilayer and Fe/Au/Fe Trilayer Films by Resonant X-ray Magnetic Reflectivity at the Au  $L_3$  Absorption Edge, Nobuyoshi Hosoito, Takuo Ohkochi, Kenji Kodama, Motohiro Suzuki, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 024704-1-8 (2014), 査読有, 10.7566/JPSJ.83.024704
- 4 Direction and Size of Ir Magnetic Moment Induced in MnIr/Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub> Exchange Bias Bilayers from Resonant X-ray Magnetic Scattering Experiments at the Ir  $L_3$  Absorption Edge, Nobuyoshi Hosoito, Kenji Kodama, Ryuichiro Yamagishi, Hirokazu Takahashi, Yohei Kota, Akimasa Sakuma, Masakiyo Tsunoda, J. Phys. Soc. Jpn. **82**, 034711-1-7 (2013), 査読有, 10.7566/JPSJ.82.034711
- 5 Depth Profile of Induced Magnetic Polarization in Au Layers of Fe/Au(001) Metallic Superlattice by Resonant X-ray Magnetic Scattering at High Angle Region, Shin Uegaki, Takuo Ohkochi, Kenji Kodama, Nobuyoshi Hosoito, J. Phys. Soc. Jpn. **82**, 024711-1-7 (2013) 査読有, 10.7566/JPSJ.82.024711
- 6 Au Spin Polarization Induced in an Fe/Au(001) Multilayer with Interlayer Exchange Coupling from the X-ray Energy Dependence of Resonant X-ray Magnetic Scattering at the Au  $L_3$  Absorption Edge, Nobuyoshi Hosoito, Kenji Kodama, Ryuichiro Yamagishi, J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 064713-1-5 (2012), 査読有, 10.1143/JPSJ.81.064713

##### 〔学会発表〕(計11件)

- 1 李美希, 細糸信好, 吉田明弘, 小西卓, 武智亮太, 共鳴 X 線磁気散乱測定による Fe/Pt 多層膜の Pt 層に誘起された磁気構造の評価, 日本物理学会第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 21 日-24 日, 早稲田大学早稲田キャンパス(東京都新宿区)
- 2 M. Lee, N. Hosoito, T. Konishi, A. Yoshida, The depth distribution of the induced magnetic moments of the Pt layer in the Fe/Pt multilayers investigated by RXMS, The 7th International Symposium on Surface Science, 2014 年 11 月 2 日-6 日, 島根県立産業交流会館(島根県松江市)
- 3 吉田明弘, 上垣伸, 細糸信好, Fe/Cu/CoO 薄膜における交換磁気異方性の Cu 膜厚依存性, 日本物理学会 2014 年秋季大会 2014 年 9 月 7 日-10 日, 中部大学春日井キャンパス(愛知県春日井市)
- 4 上垣伸, 吉田明弘, 細糸信好, Cu K 吸収端小角 X 線磁気散乱による間接交換結合 Co/Cu 多層膜の Cu 層の誘起磁性, 日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27 日-30 日, 東海大学湘南キャンパス(神奈

学研究科・准教授

研究者番号：30165550

- 川島平塚市)
- 5 山岸隆一郎, 長谷川崇, 甘崎晋次郎, 細糸信好, 反強磁性結合した磁気異方性を持つ2倍周期 Fe/Au 多層膜の層分解 Fe 磁化構造, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 25 日-28 日, 徳島大学常三島キャンパス (徳島県徳島市)
  - 6 吉田明弘, 上垣伸, 細糸信好, CoO/Cu/Fe 三層膜の交換バイアス効果, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 25 日-28 日, 徳島大学常三島キャンパス (徳島県徳島市)
  - 7 上垣伸, 大河内拓雄, 児玉謙司, 細糸信好, 高角領域円偏光共鳴 X 線磁気回折法によるエピタキシャル Fe/Au(001)多層膜中 Au 層誘起磁化分布の短周期変調の可能性, 日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 26 日-29 日, 広島大学東広島キャンパス (広島県東広島市)
  - 8 R. Yamagishi, S. Uegaki, T. Hasegawa, S. Amasaki, N. Hosoito, Magnetic scattering of a double periodic Fe/Au multilayer with magnetic anisotropy at the Fe K absorption edge, The 2nd International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies, 2012 年 10 月 2 日-5 日, 奈良県新公会堂 (奈良県奈良市)
  - 9 T. Hasegawa, R. Yamagishi, K. Kodama, N. Hosoito, H. Takahashi, M. Tsunoda, Magnetic structures of Mn 4p magnetization induced in the MnIr-base exchange bias system by resonant X-ray magnetic scattering at the Mn K absorption edge with helicity modulation technique, The 2nd International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies, 2012 年 10 月 2 日-5 日, 奈良県新公会堂 (奈良県奈良市)
  - 10 S. Uegaki, T. Ohkochi, K. Kodama, N. Hosoito, Depth profile of induced magnetic polarization in Au layers of Fe/Au(001) superlattice by resonant X-ray magnetic scattering at the high angle region, The 2nd International Conference of the Asian Union of Magnetism Societies, 2012 年 10 月 2 日-5 日, 奈良県新公会堂 (奈良県奈良市)
  - 11 山岸隆一郎, 花坂周邦, 上垣伸, 長谷川崇, 甘崎晋次郎, 細糸信好, 反強磁性的交換磁気異方性2倍周期Fe/Au多層膜の層分解面内磁化過程, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 18 日-21 日, 横浜国立大学 (神奈川県横浜市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://mswebs.naist.jp/courses/443/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

細糸 信好 (HOSOITO Nobuyoshi)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科