

# 2021年度 固体電子物性研究室（旧強相関電子磁性 II）

## 1. メンバー

准教授：松山 秀生 011-706-4416 [matsu@phys.sci.hokudai.ac.jp](mailto:matsu@phys.sci.hokudai.ac.jp)

MC2：佐藤 美銀、朴 光緒

MC1：江田 拓己

4年生：笠井 涼太、山田 英毅

## 2. 研究成果

### 2. 1 SrTiO<sub>3</sub>(100)上のPd超薄膜・微粒子の磁性の研究

Pdは常磁性の貴金属であるが、近年 SrTiO<sub>3</sub>(001) (STO) 上の単結晶 Pd 薄膜の特定の膜厚(3.3、4.3、5.3 nm)において室温で強磁性が発現することを慶應大のグループにより報告された。量子井戸状態を取り入れた理論はこの現象をよく説明するが、磁気転移温度、磁気異方性など実験的にも理論的にも未だ不明な点が多く、実験データの蓄積が期待されている。一方、上記理論では強磁性が発現する膜厚から1原子層ずれるだけで非磁性になることが予想されている。しかし、これまでの実験では膜厚の揺らぎがあるため原子1層の精度の議論はできなかった。またナノメータでのスピン分布の顕微鏡観察も行われてこなかった。そこで原子レベルで平坦な幅数 100 nm程度のテラスをもつ理想的なPd薄膜を作製し、その磁性をスピン偏極STMを用いて評価し、Pd(001)薄膜の磁性とナノ構造の関係を明らかにする研究を2020年4月より科研費の補助を得て開始した。

STO(100)上に理想的なPd(100)超薄膜を形成する必要があるが、Pd(100)の表面エネルギーはSTO(100)のそれと比べて高いため、Pdは島状成長する。このため3ステップ成膜法という特殊な成膜方法が使われている。フッ化処理したSTO(001)を超高真空中で脱ガス処理(800°C)した後、Ar<sup>+</sup>スパッター、約1000°C、1時間の熱処理をすることで(あるいはAr<sup>+</sup>スパッターと熱処理を繰り返すことで)、原子レベルで平坦なTiO<sub>2</sub>表面のみが現れる。TiO<sub>2</sub>表面上の原子はパッチワーク状に再構成面が形成された。このSTO(100)上にPd超薄膜を3ステップ法(Pd蒸着@320°C、Pd蒸着@室温、250°C熱処理)で成膜した。しかし、Pd(100)単結晶薄膜とはならず、15時間の熱処理でSTO基板のステップ、テラスを反映した約5nmの均質な結晶粒で構成された膜となった。しかし、その表面は原子レベルで平坦なものではなかった。Pd膜質を改善するため、3ステップ成膜法の第1ステップで得られる多数のPd微粒子が幾何学的形状をとった単結晶微粒子となる条件を探った。一方、Pd(100)単結晶微粒子もPd超薄膜と同様に強磁性を示すことが報告されており、直接スピン分布を観察されていないことも同様であり、Pd(100)微粒子単結晶のスピン像観察も我々の目的の一部である。Pdを320°CでSTO(100)上に蒸着し、熱処理(650°C、1時間)で四角錐形状のPd微粒子を得た。これはPd(100)単結晶の熱平衡状態での形状と近いものであった。全微粒子が四角錐形状ではないので、この形状の微粒子を増やす条件を探索することが必要である。これらの結果は朴と江田が日本物理学会でそれぞれ発表した。

### 2. 2 スピン偏極STM用2D磁性探針による磁性体試料面上磁化方向の定量検出

スピン偏極走査トンネル顕微鏡 (SP-STM) は磁性体表面のスピン分布を原子分解能で観察できる装置である。通常の STM と異なり磁性探針を用いることで探針-試料間に流れるスピン偏極したトンネル電流から試料表面のスピン分布をマッピングする。そこで我々は 10 Oe 以下の弱い磁場で検出方向を面内任意方向に制御可能な磁性探針の開発を進めた。また、面内任意の方向に一様な磁場印加を可能とする磁場印加機構 (>20 Oe) の開発を行い、Fe(001)を標準試料として、本磁性探針を用い、試料表面の磁化方向を定量的に検出することを試みた。Fe(001)試料の保磁力は 100 Oe 以上であり、20 Oe の磁場では磁化方向はほとんど変化しない。20 Oe の磁場を印加して探針先端の磁化を磁場方向に向け、スピンに依存した検出信号 ( $dI/dV$ 信号、試料磁化の探針磁化方向への射影成分に比例) を記録した。磁場方向を 8 方向順次変化して検出信号を記録し、得られた検出信号が正弦波的に変化することを確認した。その振る舞いから Fe(001)表面磁化の方向を  $\theta = 135^\circ$  と決定した。また、表面磁区像も得られている。これらの結果は佐藤が日本物理学会で発表した。

### 2. 3 スピン偏極走査電子顕微鏡

北大スピン偏極 SEM に搭載していた昨年度までに立ち上げたスピン検出器 (日立資産) を日立基礎研究センターに移設し、日立のスピン偏極 SEM に搭載した。これにより、日立のスピン偏極 SEM の検出器感度が従来の 5 倍以上になり、高分解能化、短時間画像取得、高精度磁化測定等、これまでにない 2 次電子スピン偏極度検出測定が可能となった。

日立のスピン偏極 SEM にハードディスク装置の磁気ヘッド専用の試料台を開発し、磁気ヘッドの磁区観察に応用した。磁気ヘッドを駆動した状態での磁区観察を可能とし、磁気ヘッドポールピース近傍の磁化分布の方向を定量的に評価した。また、これらの結果をまとめたものを日立と共同で執筆し、論文に掲載された。また、試料の温度を高温にした状態で磁場を印加し、Fe(100)単結晶試料の磁化分布がどのように変化するかを詳細に追跡した論文を投稿し、2022 年に掲載される予定である。

## 3. 成果発表

### <原著論文>

T. Kohashi\*, K. Motai, H. Matsuyama, and Y. Maruyama, "Operand measurement of magnetic writing head using spin-polarized scanning electron microscopy (spin SEM)", *Microscopy* **70**, 436 (2021) \*

### <著書>

該当なし

### <解説>

該当なし

#### 4-1. 学術講演（国際学会・国際シンポジウム）（\*講演者）

<招待講演>

該当なし

<一般講演> 《ポスター発表》

該当なし

<一般講演> 《ポスター発表》

該当なし

#### 4-2. 学術講演（国内学会・国内その他）（\*講演者）

《ポスター発表》

・佐藤美銀\*、Park Gwangseo、江田拓己、松山秀生、“スピン偏極 STM用2D 磁性探針による磁性体試料面上磁化方向の定量検出”、日本物理学会 2021 年秋季大会 講演番号：21pPSJ-35

・Park Gwangseo\*、佐藤美銀、江田拓己、松山秀生、“SrTiO<sub>3</sub>(100)再構成面上の Pd 微粒子の STM/STS 観察”、日本物理学会 2021 年秋季大会 講演番号：21pPSJ-36

・江田拓己\*、Park Gwangseo、佐藤美銀、松山秀生、“SrTiO<sub>3</sub>(100)再構成面上の Pd 超薄膜の STM/STS 観察”、日本物理学会 2021 年秋季大会 講演番号：21pPSJ-37

#### 5. 国際学会および国際シンポジウムの組織・運営等

<組織・運営委員>

該当なし

#### 6. 在外研究

該当なし

#### 7. 科研費、助成金等の取得状況

・科研費 基盤研究 C 「4d 遷移金属超薄膜のスピン分布観察による磁性評価と強磁性発現機構の解明」 代表 1,565 千円（2021 年 4 月 1 日～2022 年 3 月 31 日）

#### 8. その他