

# ナノPt に生じる自発磁化の起源解明と小さな軌道磁気モーメントの観測

## [1] 要旨

原子数層程度の厚みの Pt 単結晶超薄膜の作製が成功され、Pt 超薄膜に強磁性が生じることが明らかにされた。加えて、実験と電子論に基づく理論計算の両観点より、その強磁性の起源が量子閉じ込め効果に起因することが明らかになった。この強磁性 Pt に対し、SPring-8 による X 線磁気円二色性測定により磁気特性が評価され、純 Pt の軌道磁気モーメントが Fe と同程度の極小さい値を示す可能性が示された。本結果は、電子構造に立脚したスピントロニクス of 学理を構築する上で、重要な知見を与えるものと考えられる。

## [2] 本文

電子のスピン自由度を積極的に活用し応用に繋げる物理であるところのスピントロニクスは、電子デバイスの省エネルギー化や新奇特性の発現への期待から、近年積極的に研究が行われている。Pt はスピントロニクス研究の黎明期より、その非常に大きなスピン軌道結合からスピン流のディテクターとして利用されるなど、当該分野において重要な材料として扱われている。また、Pt におけるスピン軌道結合は、磁性材料中のスピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントの結びつきを高めることから、高い保磁力を有する磁性合金材料を開発する上でも重要である。通常、Pt は単体では常磁性を示す物ため、スピントロニクス分野では主に Pt に対し他の磁性材料と接合させ、Pt 中に磁性を誘起することでその特性が研究されてきた。

三菱総研グループエム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社の櫻木俊輔主任研究員、慶應義塾大学の佐藤徹哉名誉教授、島根大学の影島博之教授および、関西学院大学の鈴木基寛教授らを中心とする研究グループは、15 層に及ぶ原子層からなる Pt 単結晶超薄膜に強磁性を発現させることに成功し、磁化測定および密度汎関数法による計算から、その強磁性が量子閉じ込め効果に起因することを明らかにした。また、SPring-8 による精密な分光計測を活用し Pt 超薄膜の磁性を詳細に調べ、Pt 単体の軌道磁気モーメントが Fe と同等の極小さい値を示す可能性があることを示した。この成果は、JPSJ の 2022 年 12 月号に掲載された。

バルク物質を原子単位まで微細化することで、その物理特性が劇的に変調されることはよく知られている。Pt 等の遷移金属では、触媒への応用面から、ナノ粒子の研究が盛んに行われてきており、それらの研究を通じ Pt ナノ粒子に強磁性が発現することは明らかになっていた。しかしながら、ナノ粒子はその形状が非常に複雑であることに加え、試料作製において微粒子の粒径にばらつきが生じることから、Pt ナノ粒子の磁氣的起源や電子状態を詳細に議論することは困難であった。

本研究グループは、SrTiO<sub>3</sub>(100)基板上に Pt をエピタキシャル成長させることで、原子層単位の単結晶 Pt 超薄膜を作製することに世界で初めて成功した。また、その膜厚を原子層単位で制御することに成功し、Pt の膜厚を調節することで Pt の電子状態を操り、ナノ Pt の磁気特性および電子状態を系統的に研究することを可能にした。エピタキシャル薄膜のような均一な物質では分光測定も容易であることから、SPring-8 の放射光を用いた X 線磁気円二色性測定により、Pt 単体のスピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントを分解して計測することが可能である (図 1)。本研究グループは本手法を用いることで、Pt 単体の軌道磁気モーメントが Fe と同程度の非常に小さな値しか持たない可能性を示した。

スピントロニクス分野において、Pt のスピン軌道結合は積極的に活用されており、純 Pt における軌道磁気モーメントの情報は重要なものである。今回の成果は、Pt を効果的に活用するためには、他の物質との界面の形成や外場の印加により、その波動関数の形状を調節し、軌道磁気モーメントを高める工夫が必要になることを示唆する。よって、本研究成果はスピントロニクス研究における Pt の役割を再考する上で重要な知見を提供するとともに、電子状態および磁気状態がよく定義された Pt 超薄膜をベースに、電子論的観点から多層膜デバイスの基礎研究を推進するきっかけとなることが期待される。

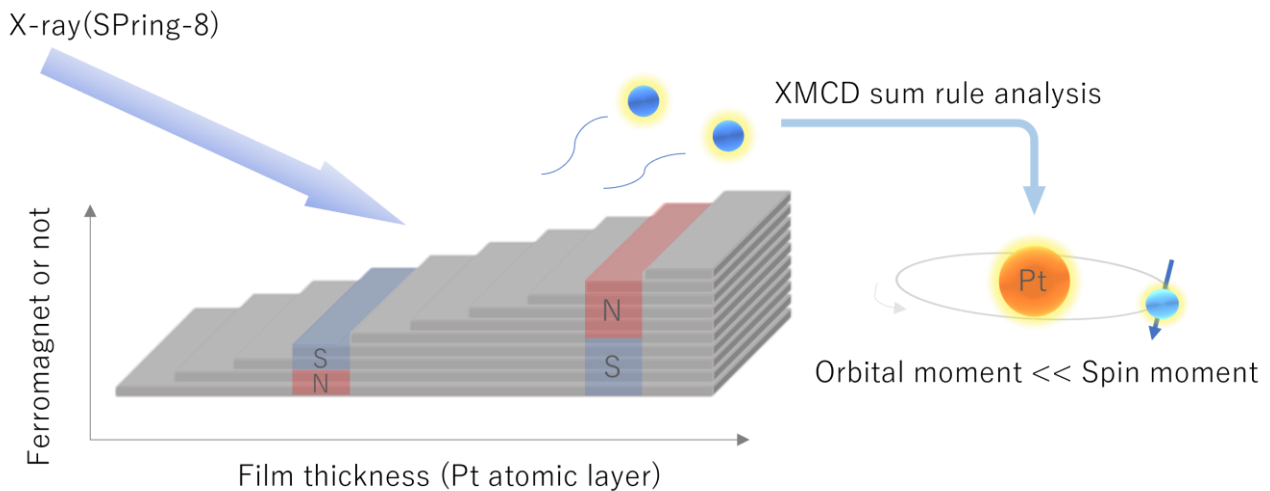


図 1 : X 線磁気円二色性 (XMCD) 測定による Pt 単結晶超薄膜での強磁性の評価

原論文 (2022 年 11 月 10 日公開済)

Appearance of Ferromagnetism in Pt(100) Ultrathin Films Originated from Quantum-well States

T. Yamada, K. Ochiai, H. Kinoshita, S. Sakuragi, M. Suzuki, H. Osawa, H. Kageshima, and T. Sato, J.

Phys. Soc. Jpn. **91**, 124708 (2022).

<情報提供：櫻木俊輔（エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社 主任研究員）>