

Pt ナノ磁石の作製と精密測定～ごく小さい軌道磁気モーメントの可能性～

[1] 要旨

原子数層程度の厚みの Pt 単結晶超薄膜の作製に成功し、実験と理論計算の両観点からナノ Pt 中に生じる強磁性の磁氣的起源が明らかになった。本 Pt 超薄膜に対し、SPring-8 による X 線磁気円二色性(XMCD)測定により純 Pt の磁性を評価し、純 Pt の軌道磁気モーメントが Fe と同程度のごく小さい値を示す可能性を確認した。本結果は、Pt の有効活用に代表される、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（磁石としての特性）を積極的に活用した次世代のエレクトロニクスであるスピントロニクスは、デバイスの省エネルギー化や新奇特性を有する新しいデバイス開発への期待から、近年積極的に研究が行われている。磁石の特性と同様に、スピンは一度向きを定めればその方向は外力が加わるまで保持される。本領域の発展の一例として、スピンによる半導体メモリ上の情報保持が可能になり、将来的には計算機の演算中のデータの保持に電力が必要なくなることが期待される。本技術により、コンピュータサイエンスの発展に伴うエネルギーコストの上昇を抑制することが可能になるため、エネルギー問題の観点から、スピントロニクス材料の研究開発は必要不可欠であると言える。

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 のスピン軌道結合は、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合金材料（スピンの向きが強固に保持された磁性材料）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ため、スピントロニクス分野では、Pt を他の磁性材料と接合させ、Pt 中に磁性を誘起することで研究が行われてきていた。

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 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はごく小さい値を示す可能性があることを示した。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (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す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、SrTiO₃(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。これによってナノ 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。また、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になった(図1)。計測の結果、Pt単体の軌道磁気モーメントは、Feと同等の非常に小さな値である可能性が示された。

本研究成果は、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(電子運動の軌道)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している。よって、本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ものである。

今回のPt超薄膜のように、物理がよく理解された材料の開発は、原理に基づいた研究開発アプローチを検討する上で必須であり、デバイスの省エネルギー化のための基礎情報を提供するものである。今後、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スピントロニクスデバイスの研究開発がさらに推進されることが期待される。

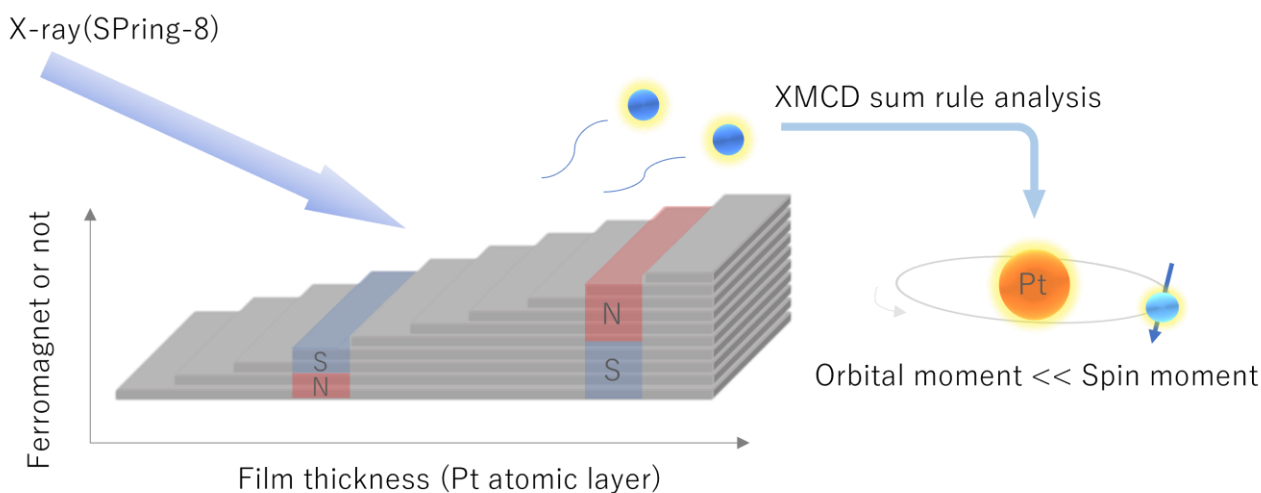


図1 : X線磁気円二色性(XMCD)測定によるPt単結晶超薄膜での強磁性の評価

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](#)

Tatsuru Yamada, Keisuke Ochiai, Hirofumi Kinoshita, Shunsuke Sakuragi, Motohiro Suzuki, Hitoshi Osawa, Hiroyuki Kageshima, and Tetsuya Sato, J. Phys. Soc. Jpn. **91**, 124708 (2022).

問合せ先:

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)

電話/FAX: 03-6705-6505(代表)

お問い合わせフォーム: <https://www.mri-ra.co.jp/form/contact.php>