

論文審査の結果の要旨

氏名 武市 泰男

本論文は、鉄超薄膜の原子構造や電子状態およびスピン状態について、電子回折法、X線光電子回折法、スピン・角度分解光電子分光法などの最新の実験技術を駆使して系統的に調べた研究であり、そこで明らかとなった事実は、強磁性体超薄膜の磁気物性に関して明確な描像を与えるもので物性物理として重要であるだけでなく、ナノメータスケールの強磁性体を利用するデバイス等の基礎研究として重要な知見を与える、きわめて貴重な成果といえる。特に世界最高レベルの感度と効率を持つスピン分析器を自作して実用化し、それをを用いた成果であることは特筆に値する。

本論文は5つの章から構成されている。第1章では本研究の背景として遍歴強磁性体およびその超薄膜に関する先行研究を概観し、その中から生まれた問題意識および本研究の目的が述べられている。第2章では、本研究で扱うFeのバルク結晶および超薄膜に焦点を絞って、今までに知られている事実と先行研究を詳述している。第3章では、本研究で中心的に用いられた実験手法である光電子分光について述べている。とくに、論文申請者が中心になって開発してきたスピン分析器を詳述している。第4章で、試料作製の詳細、および実験結果と考察が述べられている。まず、反射高速電子回折およびX線光電子回折によって、鉄超薄膜の成長様式および結晶格子構造が明らかにされた。次に、角度分解光電子分光法によって、基板のパラジウム清浄表面および、その上に成長した1~20原子層程度の厚さの鉄超薄膜の電バンド構造を明らかにした。最後に、スピン・角度分解光電子分光法によって、それぞれの鉄膜厚でのスピン分解状態密度およびスピン偏極度を測定し、鉄超薄膜の磁化状態の詳細を明らかにした結果が述べられている。それぞれの結果に関して、先行研究や他の手法による研究結果も考慮しながら考察を進めており、結晶構造と電子状態とスピン状態の相関を明らかにした。第5章において本論文で明らかにされた結果、その意義、および今後の研究の展望をまとめている。

基板結晶表面上にエピタキシャル成長した超薄膜の結晶格子構造および電子バンド構造や磁化特性は、バルク結晶とは異なる場合が多い。それは、下地結晶との格子ミスマッチによって薄膜に歪みが印加されて格子定数が増減したりバルクと異なる準安定な結晶構造をとったりすることに起因している。また、基板表面との軌道混成や系の低次元性も加わり、バルク結晶では見られない多彩な物性が発現することがある。そのような現象は物性物理として興味深いだけでなく、スピントロニクスなどのデバイス応用への基礎研究としても重要である。本研究の主たるテーマである磁気特性の測定手段として、論文申請者が所属するグループが開発した高効率・高安定のスピン分析器が実用の段階にはいり、超薄膜や表面のスピン状態をきわめて精緻に計測することが可能となってきた。本研究は、そのような最先端の実験技術を駆使して行われた。

本研究の成果は大きく分けて3つある。

(1) Fe 超薄膜の成長と結晶構造：

反射高速電子回折による「その場」測定の結果、Pd(001)基板結晶上にエピタキシャル成長した Fe 超薄膜は、厚さ 3 原子層程度までは層状成長し、それ以降は島状成長に変わることがわかった。X線光電子回折の実験により、層状成長の段階では、Fe 超薄膜の結晶格子は面内方向に縮み、面直方向には伸長した bct 構造をとり、島成長に移るにしたがってバルク結晶構造である bcc 構造へと緩和が進行することを明らかにした。

(2) Fe 超薄膜の電子状態

角度分解光電子分光の測定によって、bct 構造の段階では、結晶構造の対称性の低下によって、バルク結晶では縮退している 3d バンドが分裂していることがわかった。また、多数スピン状態は結合エネルギー 2.4 eV 付近に、少数スピン状態はフェルミ準位直下に存在し、バルク結晶と同程度の交換分裂を成長初期から示していることがわかった。しかし、それらのバンドは弱い分散しか示さない。18 原子層の Fe 薄膜は bcc 構造のバルク結晶と同じ電子状態を持つことがわかった。よっ

て、交換分裂の大きさは変わらないが、膜厚の増加とともに遍歴性を増してバンド分散を獲得していくという描像が得られた。

(3) Fe 超薄膜の磁性

スピン分解光電子分光の測定により、光電子のスピン偏極度の温度依存性および膜厚依存性を測定した結果、およそ 2 原子層以下で面内磁化が現れることがわかった。先行研究から、それ以下の膜厚では面直磁化であることを考慮すると、バンド構造を保ったままスピンの揺らぎによって磁化方向が変わると考えられる。また、膜厚が約 3 原子層以下とそれ以上でスピン偏極度の温度依存性が異なることを見出した。これは膜厚が薄い段階では、スピン波の stiffness constant がバルク結晶に比べて大幅に低下していることに起因すると考えられる。3 原子層以上の膜厚になるとバルク結晶と同様の磁化特性を示すことがわかった。以上から、Fe 超薄膜の磁性は、intra-atomic な相関項 (Hubbard の U) および交換項 (Hund 則の J) を考慮した解析が必要であると言える。

以上のように、論文提出者は、Pd(001) 結晶表面上に成長させた Fe 超薄膜という特定の系のみを研究したが、構造と磁気特性を関連づけることによって明らかになった物理は強磁性薄膜の物性研究に明確な指針を与えるものであり、物性物理学としての価値と独創性が認められた。そのため、博士 (理学) の学位論文として十分の内容をもつものと認定し、審査員全員で合格と判定した。なお、本論文は、共同研究者らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験の遂行や結果の解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断した。