

氏 名	モハメド アルモクタル M. アブデル-モラ Mohamed Almokhtar M. Abdel-Mola
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2411 号
学位授与の日付	平成 14 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 化 学 専 攻
学位論文題目	MAGNETISM OF Cr THIN FILMS WITH ^{119}Sn MONOLAYERS IN Fe/Cr AND V/Cr MULTILAYERS (鉄/クロムおよびバナジウム/クロム人工格子中のスズ119単原子層を含む クロム薄膜の磁性)
論文調査委員	(主 査) 教 授 西 嶋 光 昭 教 授 高 野 幹 夫 助教授 壬 生 攻

論 文 内 容 の 要 旨

本研究はスズ核を用いたメスバウアー分光法によってクロム薄膜の磁性を調べたものである。巨大磁気抵抗効果 (GMR) は、鉄とクロムからなる人工格子 (2 種類の金属を、原子レベルで各層厚を制御しつつ積層した人工多層構造膜) において、1988年に初めて観測された現象であり、近年の磁性物理分野で最も注目された発見のひとつである。基礎研究面で大きなブレークスルーを与えたのみならず、その原理を利用した磁気記録再生ヘッドが開発されるなど、基礎応用両面でその重要性は高い。GMR の原理の基本にはクロム層を介した強磁性鉄層間の反強磁性的層間結合の存在があるが、そこでのクロム層自身の磁性の役割は十分理解できていなかった。通常バルク状態のクロムはスピン密度波と呼ばれる長周期の構造を持つ反強磁性体で、ネール温度が室温付近であることが知られている。しかし、超薄膜状態のクロムの磁気的性質は明らかではなかった。強磁性鉄にサンドイッチされている反強磁性体クロム薄膜の研究は技術的に困難であり、当初はクロムに磁気秩序が存在するかどうかとも明らかではなく、層間結合のメカニズムの議論においても無視されていた。

本研究は、スズ119核をプローブとして利用し、人工格子中のクロムの磁性を明らかにしようとするものである。人工格子試料作製は超高真空蒸着法によっている。クロムの磁性を明らかにするためにクロムとスズ119単原子層からなる人工格子を作製したところ、結晶性の良好なエピタクシャル積層構造が実現することがX線回折測定から確認された。鉄とクロムからなる人工格子の研究のために、そのクロム層中にスズ119単原子層を挿入した試料を作製した。さらに比較のためにバナジウムとクロムからなる人工格子についても同様に、スズ119プローブ層をクロム層内に配置した。これらの試料について、スズ119メスバウアー測定を行なった。スズ119の量が少ないので透過法による測定は不可能であり、反射法によって内部転換電子を計測してスペクトルを得た。一部の試料については低温で反射法測定を行い、スペクトルを得た。

まずクロムとスズのみからなる人工格子については、室温で大きな内部磁場を示すスペクトルが得られた。内部磁場は11ないし13テスラに達し、バルクのクロム中に不純物状態で存在するスズの内部磁場よりもはるかに大きい。この結果からクロム薄膜は室温よりもかなり高いネール温度を持つ反強磁性秩序を持ち、バルクとはかなり性質が異なっていることが明らかとなった。大きな内部磁場は、スズに隣接するクロムが大きな磁気モーメントを持ち、しかも平行に配置していることを意味しており、スズがクロムの磁性を調べるためのプローブとして有効であることを証明している。クロムの厚さを変えても内部磁場には顕著な変化はなかった。スズプローブ層を数原子層にまで厚くしても本質的な差が見られないことも確認しているが、以後の測定には常にスズ層を単原子層 (名目的には2オングストローム) 一定で行なっている。

鉄クロム人工格子についてのスズ119メスバウアー測定でも常に室温で内部磁場が観測され、クロム層が反強磁性秩序をもつことが明らかとなった。その内部磁場は鉄のない場合と大差はないが、クロム層を薄くした場合には減少し、クロムの磁気モーメントが減衰していることが示唆された。クロム層内でスズプローブ層の位置を変化させ、鉄との界面からの距離を変化させた測定を行なったが大きな差は見られず、磁気モーメントは全体的に減少していることが結論された。なお、内部磁場の温度変化からネール温度は約400Kと推定された。バナジウムクロム人工格子では、クロム層が反強磁性であると

いう点では共通する結果が得られた。クロムとの界面近傍では、内部磁場が減衰したり消失した部分が見られた。この様子はクロム層上にバナジウムが来る場合と、その逆ではかなり異なっており、界面における拡散の進行の度合いに差があることを示している。

相補的実験として、SQUID 磁力計による磁化測定、磁気抵抗効果測定を行なった。またスズを含むクロム人工格子の磁気構造の直接的観測として、共同研究として中性子回折測定を行なっている。

論文審査の結果の要旨

本研究はクロム薄膜の磁性研究にスズ119核によるメスバウアー分光法を利用したものである。メスバウアー分光法は原子核をプローブとして物性を研究する手段であり、微視的情報が得られ、磁性研究に有効な手段であることが知られているが、プローブが不純物状態の場合には、まず適切なプローブとして利用できるかどうかの確認が必要である。クロムとスズからなる人工格子試料を作製し、X線による構造解析を行なったところ、エピタキシャル積層構造が観測され、結晶学品質の高い人工格子が作製できることが確認された。クロム中に単原子層のスズを挿入した試料について、内部転換電子による反射法メスバウアー測定を行い、室温で大きな内部磁場が存在することを観測した。この結果はクロムに磁気秩序が存在すること、スズがその磁気秩序に参画していることを示し、スズがクロムの磁性を調べるためのプローブとして有効であることを証明している。

クロムと鉄による人工格子は巨大磁気抵抗効果の最初の例として知られ、そのクロムの磁性の解明は重要な課題である。本研究ではクロム鉄人工格子中のクロム層の磁性の研究に初めてスズ119メスバウアー分光法を導入し、その磁性に関して明確な情報を得ている点が評価される。すなわち、クロム鉄人工格子中のクロム層にスズ119単原子層を配置し、反射法メスバウアースペクトルを観測したところ、室温で内部磁場によって明瞭に分裂したスペクトルが得られた。この結果、バルク状態よりもはるかに高いネール温度を持つ反強磁性であることが明らかとなった。反射法メスバウアー測定は室温から20Kの低温まで行い、その結果からネール温度は約400Kと推定している。スズプローブはその近傍のクロムの磁気モーメントを反映するが、強磁性である鉄層との界面領域ではむしろクロムの磁気モーメントは減少しているという興味深い結果を報告している。

人工格子中でクロム薄層がどのような磁氣的挙動を示すかを総合的に研究するため、鉄の代わりにバナジウムや銀を配置した、クロム・バナジウム、クロム・銀人工格子についてもクロム層中にスズ119プローブを配置した試料を作製し、同様の実験を行った。これらの場合もスズ単原子層が敏感なプローブとしての役割を果たしていることを観測している。クロムが銀と人工格子を形成した場合にはクロムの磁性には大きな影響は見られていない。それに対し、クロムとバナジウムが接する界面近傍では内部磁場が現象あるいは消失する。この結果は、クロム表面にバナジウムを蒸着した場合は組成の変化がシャープな界面が形成されるのに対し、バナジウムの表面にクロムを配置する場合には数原子層にわたる拡散が進行してしまうことから引き起こされていると結論した。

本来はクロムとは溶け合わないスズがプローブとして有効かどうか、は実験以前に予測できなかったが、結果的には非常に有効であることが証明され、他の手段では得られない情報を得ることに成功した。この結果によって、クロム層を介する層間反強磁性結合のメカニズムの解明にはクロム層自体の反強磁性の理解が重要であることが明らかになった。本研究は人工格子中にスズ単原子層を挿入してプローブとし、反強磁性構造を研究した初めての例であり、メスバウアー分光法の新しい利用方法を拓くものとして注目される。

このように本研究では新しい成果が得られており、今後の研究に種々の示唆を与える重要な情報を提供している。既に国際会議等で内容を紹介し、興味深い内容として国際的にも評価を受けている。主論文はいずれも連名で発表されているが、本人が主体的に貢献したことが確認されている。したがって博士（理学）学位論文としての価値あるものと認定された。

参考論文3篇中の2篇は関連の内容で、スズ119核メスバウアー測定結果を報告している。他の一篇は修士課程における研究結果で、イオン結晶における熱安定性を研究した内容である。

主論文内容とそれに関連した口頭試問を行なった結果、合格と認めた。