

## 論文審査の結果の要旨

氏名 後藤秀徳

本論文で報告されている研究は、超伝導体との界面近傍のコバルト薄膜を試料として、強磁性金属中の磁壁および磁区における超伝導近接効果を議論したものである。強磁性体中では交換場による強いクーパー対破壊効果のために、超伝導秩序は数nmで減衰してまうと考えられている。そのために、これまで強磁性金属中超伝導近接効果を直接観測することは困難であった。本研究では、超伝導転移温度近傍でコバルト薄膜の $^{59}\text{Co}$ 核磁気共鳴を行うことによりコバルトの電子状態をミクロに調べ、近接効果によって生じる電子状態の変化を始めて観測することができた。外部磁場のない場合には主として磁壁からの信号が観測され、外部磁場を加えて磁区をそろえた場合には磁区の信号が得られるので、磁壁と磁区の近接効果の違いも議論している。

本論文は、4章から構成されている。第1章は序論で、強磁性金属中の超伝導近接効果に関するこれまでの理論および実験研究が紹介されたのち、研究の目的が述べられている。第2章では実験方法が述べられている。最初にアルミニウムあるいは錫薄膜とコバルト薄膜からなる試料の作成方法が説明された後、測定装置および試料の評価のために補助的に用いた磁化および電気伝導測定方法が述べられている。本章後半では、超伝導近接効果の解釈に必要な核磁気共鳴の理論と実験の詳細が述べられている。第3章では、最初に、磁化および電気伝導測定によって得られた超伝導と磁性に関するマクロな性質が議論されている。次に主要な結果であるコバルト磁壁への近接効果が述べられている。3番目に磁区への近接効果の結果が示され、この章の最後には、これまでの他の方法による近接効果の研究との比較がなされている。第4章は結論がまとめられている。

以下に本論文において得られた主な成果を記述する。

### 1. コバルト薄膜の強磁性およびアルミニウム膜の超伝導

アルミニウムと接しているコバルト薄膜の飽和磁化と保磁力は単独の薄膜の約80%になっている。また、アルミニウムの超伝導転移温度は、単独の薄膜の約60%になっている。これらにより、この2層系は、強磁性体と超伝導体が接している系になっていると結論した。

## 2. 磁壁への超伝導近接効果

外部磁場をかけない場合のコバルトの核磁気共鳴実験では、磁壁における超伝導近接効果が観測される。これにより、1) 共鳴周波数が2 K以下で減少すること、および2) 核磁気緩和が1 K以下で時間の単一指数関数に近づくことを明かにした。前者は、コバルトの磁気モーメントが超伝導近接効果によって減少したと解釈できる。すなわち、超伝導近接効果によって、コバルトのフェルミエネルギー近傍のs電子状態密度が減少し、これがs-d相互作用を通じてコバルト3d電子に起因する磁化を小さくしている。また、後者については、近接効果によるマイスナー電流が流れているために、磁壁内での核磁気緩和率の空間依存性が小さくなり、結果として指数関数的な緩和が観測されたと解釈できる。

これらの議論から、コバルト共鳴周波数がアルミニウムとの界面との距離に依存して変化していると考えられる。そこで、この考えに基づいて核磁気共鳴強度の周波数分布を定量的に解析することにより、共鳴周波数および核磁気緩和時間とアルミニウムとの界面との距離の関係を得た。この結果から、コバルト薄膜磁壁への超伝導侵入長さは1.2 nmであることが結論された。

## 3. 磁区への超伝導近接効果

外部磁場2 kGを膜に平行にかけた場合の核磁気共鳴実験では、コバルト磁区内における超伝導近接効果が観測される。これにより、1) 共鳴周波数が1.5 K以下で減少すること、および2) 核磁気緩和率が0.5 Kで小さくなることを明らかとした。これらは、定性的に磁区への超伝導近接効果を示すものである。また、その変化が磁壁の場合と比べて小さいので、超伝導侵入長さも磁壁の場合と比べて短いと結論した。この原因は、磁壁では磁気モーメントが空間分布しており、クーパ対の感じる平均の交換場が磁区と比べて小さいからである。

審査委員会は、本研究において、信号の弱い薄膜における核磁気共鳴測定が十分注意深く行なわれ、その解析及び考察がおおむね適切な手法でなされていると判断した。本研究では、試料界面の評価が十分に行われていないために定量的な議論は困難であるが、金属強磁性体への超伝導近接効果を核磁気共鳴を用いて直接観測し、磁壁と磁区への侵入の違いとその原因を考察したことは高く評価できる。なお、本研究は、小林俊一元教授（元指導教官）の指導の下に行われたが、著者が研究計画から解析・考察のすべての段階で主導的な役割を果たしており、主体的寄与があったものと認められた。したがって、審査委員全員は、本論文が博士（理学）の学位論文として合格に相当するものと認めた。