

論文審査結果の要旨

氏名 宮田伸弘

固体表面や金属超薄膜の物性を調べる手段のひとつとして、表面に金属電極を接触させる4端子電気伝導測定法が開発されてきた。本論文では、この手法の発展として、磁場中極低温での電気伝導測定が超高真空中で可能である装置を開発し、超高真空中で成長させたビスマスおよび銀単結晶薄膜の磁気抵抗効果について調べた結果を報告している。

本論文は6章からなる。第1章は序章で、本研究の背景と装置開発の意義および本研究の目的が述べられている。第2章前半では、金属薄膜の低温電気伝導に関する弱局在領域のアンダーソン局在および本研究で対象とする金属薄膜の電子伝導において重要なスピン軌道相互作用について基礎事項がまとめられている。第2章後半では、ビスマスおよび銀単結晶薄膜のこれまでの実験研究が紹介されている。第3章は、開発した超高真空磁場中極低温電気伝導測定装置とその制御および測定装置の改良について述べられている。この装置を用いた研究では、超高真空中で作成した薄膜の電気伝導をその表面が残留ガスによって汚染される前に迅速に測定できるようにする必要がある。本研究では、適切なクライオスタット設計により低温の維持時間を長くするとともに、電極を試料に圧着する機構や測定回路の工夫を行って測定時間を短縮し、上記の目的を達成した。本装置の完成により、従来不可能であった間隔 $20\ \mu\text{m}$ の電極を用いた7 Tまでの磁場中の4端子電気伝導測定が7 K程度の極低温で可能となった。第4章では、完成した装置を用いた研究として、Si(111)面上に成長させたBi(001)単結晶薄膜の磁気抵抗効果について述べられている。従来の研究により、この薄膜の単結晶性はスパッタ膜や分子線エピタキシャル膜に比べてよいことが知られており、平均自由行程の長い半金属試料で実現される古典的な巨大磁気抵抗効果が期待できる。膜厚 $1\ \mu\text{m}$ の試料を用いて7.6 Kで測定した結果、これらの薄膜に比べて大きな磁気抵抗効果を観測した。一方、膜厚が数nmから数10 nmの試料では磁気抵抗は10%程度であった。このような薄膜では、電子の表面散乱効果が大きいために巨大磁気抵抗が現れないと結論した。第5章では、Si(111)面上に作成した銀単結晶薄膜およびその表面にさらにビスマスを $1/3$ 原子層蒸着して表面に $\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{Bi}$ 構造を作成した薄膜の磁気抵抗について述べられている。従来の研究により、Si(111)面上には、Ag(111)単

結晶薄膜が成長することが知られている。本研究では、銀膜厚が6および15原子層の試料について磁気抵抗を測定した。その結果 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ Bi構造のあるなしにかかわらず、磁気抵抗はスピン軌道散乱を取り入れた弱局在領域のアンダーソン局在として理解できることがわかった。特に15原子層の試料では、 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ Bi構造を表面に作ることによるスピン軌道散乱時間の減少が観測された。この系での光電子分光の研究では、表面のビスマス原子がつくるバンドが強いラッシュバ効果を示すことが報告されている。薄膜の電気伝導をになう銀のバンドも表面のビスマス原子との相互作用により、スピン軌道散乱時間が短くなったと結論した。最後の第6章では、本研究の結論がまとめられている。

審査委員会は、本論文で述べられた研究において装置開発および超高真空中での実験が計画的かつ十分注意深く行なわれ、その解析及び考察が適切な手法でなされていると判断した。本装置開発では、超高真空中極低温という環境での磁気抵抗測定技術を確立したことの意義は大きい。また、この装置を用いて、単結晶金属薄膜の磁気抵抗の起源を定量的に議論できる計測ができるようになったことは重要な成果である。この研究を基礎として、今後高品質の薄膜や清浄な表面をもつ試料の電気伝導研究がさらに発展していくと期待できる。

なお、本論文の第3-5章は、指導教員の長谷川修司氏らとの共同研究の結果であるが、論文提出者が主体となって装置を開発して組み上げ、それを用いた実験を行い、その結果を解析して研究を遂行したものである。したがって、論文提出者の本研究への寄与が十分であると判断する。本論文には高く評価できる研究成果が述べられており、論文提出者の物性物理学に対する学識も博士（理学）の学位を受けるに十分であるので、審査員全員が博士（理学）の学位を授与できるものと認める。