

論文審査の結果の要旨

氏名 永村 直佳

半導体超格子構造や金属多層膜においては電子の一方向の運動が制約されることによる量子サイズ効果が現れる。これらは新奇かつ多様な電子物性の舞台として基礎から応用にいたる研究が盛んに行われてきた。半導体結晶表面に形成される金属薄膜は第3の舞台として表面物理学の新しい研究対象になっている。本論文は、典型的半導体基板であるシリコン (Si) (111) 表面に、金属インジウム (In) を緩衝層として成長させた銀 (Ag) 薄膜が自発的に形成するストライプ状の特異な構造とその異方的電子輸送現象を探求したものである。論文は全6章からなる。

第1章では、金属薄膜や半導体界面研究の歴史、半導体シリコン上の金属薄膜研究の背景と現状を要約し、その上に立った本研究の目的が述べられている。

第2章は、本研究でえられた実験結果の解析と考察の基礎となる、表面電子構造や電気伝導の理論が紹介され、第3章では本研究の主要な実験手段である表面構造解析法、表面電子構造を調べるための角度分解光電子分光 (ARPES) と走査型トンネル顕微鏡 (STM) の原理、そのSTM探針を4本用いた表面電気抵抗測定手法が説明されている。

第4章は本論文の主要部の一つである。STM探針を4本正形状に並べることにより薄膜表面の電気抵抗率の異方性をマイクロメータ領域で測定するための装置の改良が詳しく述べられている。この装置の従来の問題点は、電気抵抗測定の不安定性と低温域での温度制御の難しさであった。本研究では、機械的振動の除去、電気信号回線の改良、差動増幅器の導入により第一の問題を克服し、半導体から金属までの広い電気抵抗領域での安定な電気抵抗率測定と電気抵抗率の異方性の測定を可能にした。さらに、熱遮蔽を強化し、STM装置と寒剤との間の熱伝導を向上させることで液体ヘリウム温度の極低温でも安定的に測定ができる装置と測定システムの開発に成功した。

続く第5章では、もう一つの主要部である半導体 Si 上に作製した Ag 薄膜の構造評価と異方的電気抵抗率測定結果が示され、これらの結果に対する考察が記述されている。Si(111)表面上に In を1原子層蒸着させると In 原子が1次元的に並び、その In 鎖が4本つつ周期的に配列する表面構造が実現する。この上に Ag 薄膜を成長させると、下地の In 鎖周期構造を反映して Ag 薄膜内部に積層欠陥が周期的に入る。その結果、Ag 薄膜表面にストライプ状の凹凸ができることになる。これが本研究の異方的電気伝導測定の対象である。研究では、反射高速電子線回折 (RHEED)、STM 直接観察により所期の構造ができていないことを検証するとともに、Ag 薄膜を16原子層積んでもストライ

ブ構造が保持されることを見出した。このような Ag 薄膜に対して正形状に並べた STM4 探針を用い電気抵抗測定を行った結果、ストライプ方向の電気抵抗率がそれに直交する方向よりも低くなるという予想通りの異方的電気伝導の観測に成功した。電気抵抗率の異方性は膜厚の増大とともに減少するが、表面ストライプ構造が保持される Ag16 原子層までは観測されることから、この構造が電氣的異方性をもたらしていることが実証された。

第 5 章後半部では、薄膜構造と照らし合わせ、異方的電気伝導がどのようなメカニズムによって生じているかを議論している。周期的な積層欠陥あるいはストライプ状表面の凹凸による電子の散乱が異方性の原因と考えられ、膜厚が 5 原子層までは表面の凹凸による散乱が支配し、6 原子層以上では凹凸と積層欠陥の両者が寄与していると推論している。

第 6 章は全体のまとめであり、将来の研究の方向が述べられている。金属多層膜、半導体超格子構造の研究が基礎、応用両面で成熟をむかえた現在、半導体表面上の金属薄膜は新しい研究対象として発展途上にある。本研究は、STM4 探針を用いた金属薄膜の電気伝導測定の手法を発展させ様々な形態の金属薄膜の電気抵抗率測定を可能にしたとともに、積層欠陥を利用することで電氣的異方性をもった薄膜が作製できることを実証したことで、この分野の研究の新しい方向を示したといえる。学位論文として相応しい水準に達しているということで審査委員全員の意見の一致をみた。

なお、本論文は、指導教員である長谷川修司教授ほか 10 名との共同研究に基づいているが、論文提出者が主体的に実験および考察を行ったもので、論文提出者の寄与が充分であると判断できる。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。