

論文審査結果の要旨

氏名 吉本真也

これまでに固体表面構造に依存したマクロな電気伝導が、表面に金属電極を接触させた4端子法で測定されてきた。今後、ミクロな領域での表面電子状態に依存した電気伝導と表面に固定されたナノ構造体の電気伝導を測定し、その物性を調べるために、探針間隔が $1\ \mu\text{m}$ 以下である4端子測定が望まれている。本論文に述べられている研究では、金属被覆カーボンナノチューブを探針とする走査トンネル顕微鏡 (STM) 技術を利用して金属電極間の距離を数十 nm まで狭くすることにより、微小領域の電気伝導測定を可能とする装置を開発し、さらに、金属シリサイドナノワイヤーおよび金属吸着シリコン表面の電気伝導を調べた。これまでに開発されてきた STM 技術を利用した電気伝導測定装置では、極細探針、STM 駆動回路および制御プログラムの開発が不十分であったために、このような探針間隔が $1\ \mu\text{m}$ 以下である4端子測定は実現していなかった。

本論文は7章からなる。第1章はイントロダクションで、装置開発と計測の現状および本研究の目的が述べられている。第2章では、電気伝導測定の基礎事項がまとめられている。第3章は、開発した独立駆動4探針 STM 装置とその制御および測定部の改良が詳細に述べられている。これにより、超高真空中で再現性のある4端子電気伝導測定が可能となった。続く第4—6章に本研究の重要な成果が記述されている。第4章では、探針間隔を数十 nm 程度にするために開発した金属被覆カーボンナノチューブ探針の開発過程と結果が述べられている。本研究では、測定に最適で丈夫な金属被覆カーボンナノチューブ探針の作成方法と固定方法を確立したことが重要な成果のひとつである。これを用いることにより、超高真空中で作成した試料に対して探針間隔 $3\text{--}5\text{ nm}$ での測定が探針を交換することなく日常的に行えるようになり、次章以下に述べるナノワイヤーや表面微小領域の定量的電気伝導測定を可能とした。第5章では、シリコン(111)表面に形成されたコバルトナノワイヤーについて述べられている。本装置を用いることにより、数 Ω 程度の抵抗値をもつコバルトナノワイヤーの抵抗が正しく計測できるようになった。第6章では、 $\text{Si}(111)-\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{Ag}$ 表面および $\text{Si}(111)-4\times 1\text{In}$ 表面について、各々電気伝導測定の結果が議論されている。シリコン基板がn型の場合に探針間隔を変化させて抵抗を測定した結果、探針間隔を狭めることにより電気伝導の起源がバルク伝導から空間電荷層や表面テ

ラスでの伝導へと変化することを明らかにした。一方、p型基板を用いた場合には、探針間隔を数十 nm にしても、バルク伝導が観察された。さらに、電子照射に依存した電気伝導度の減少という興味深い現象もみいだした。これは、電子照射にともなう表面での吸着が原因である可能性が高く、探針間隔を狭めることによって始めて観察されたものである。最後の第7章では、本研究で得た結論がまとめられている。

審査委員会は、これらの研究において装置開発および超高真空中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。本開発で、金属被覆カーボンナノチューブ探針作成技術を確認したことの意義は大きい。また、本装置を用いて、電気伝導の起源を定量的に議論できる計測結果が得られるようになったことの意義も大きい。これらの研究を基礎として、今後、サブミクロン領域のナノ構造や表面超構造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3-6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実験方法を確立して実験を行い、その結果を解析して研究を遂行したものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。本論文は、審査員全員が十分納得できる研究成果であり、論文提出者の表面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り、博士（理学）の学位を授与できるものと認める。