

論文審査の結果の要旨

氏名 松井 朋裕

本論文は、物性研究における超低温、高磁場等の多重極限環境下での走査プローブの重要性に着目し、多重極限環境下で原子分解能をもって動作する走査トンネル顕微鏡 (STM) の設計・開発、それをグラファイトに適用し磁場中の電子状態を明らかにしたものである。

本論文は7章からなり、第1章は、近年の物性物理学及びそのナノテクノロジー応用における多重極限環境下で動作するSTM装置開発の重要性が述べられている。

第2章は超低温STMの設計と製作で、STMの概念から始まり、超低温、高磁場下でのSTM装置、測定システムの基本構造、続いてそのような環境下で原子分解能を安定して得るための設計が詳細に述べられている。STM装置を用いた実験の成否を決定するのは探針の先鋭度であり、それを実現するための方法を記述したのが第3章である。これらの結果、55ミリケルビンの超低温、6テスラの高磁場下で十分な空間分解能を持って動作するSTM装置の開発に成功した。

第4章は、開発したSTM装置を用いた物性研究の対象となったグラファイトについて、これまでの研究から得られている知見、そしてSTM測定の目的が述べられている。

第5章は、グラファイト表面の磁場中電子状態に関するSTM測定結果と、その結果に対する解析と考察である。伝導性を持ったグラファイト中の電子及び正孔の運動は磁場下で量子化され、ランダウ準位を形成する。本研究は磁場下での電子の運動の量子化をSTM観測した世界で3番目の実験例となっている。同時に、本研究で開発したSTM装置が超低温、高磁場下で十分な動作をしているという証明にもなっている。

ランダウ準位の間隔は磁場の強さとともに増大するが、本研究は、そのような振舞を示す多数のランダウ準位をトンネルスペクトル(STS)で観測している。グラファイトに特有であり、よく知られているグラファイトの大きな反磁性の原因となっているのは、磁場が変化しても、フェルミ準位からの位置が殆ど変化しないランダウ準位の存在である。その存在は理論的に予測されていたものであるが、本研究はその存在をはじめてSTMプローブで示したものである。更に、これらのランダウ準位が試料の表面状態によりどのような変化を受けるかを田上-塚田の理論計算と対比させる事で明らかにしている。

第6章は、グラファイト表面の不純物観測である。不純物は結晶の周期性を乱すものとして電子状態に影響を与えると同時に、STM装置の真の空間分解能のテストにもなる。磁場下では電子のサイクロトロン運動と不純物のつくるポテンシャルとの相互作用により、不純物近傍に多様な電子状態密度の変調構造をつくると予想されている。本研究は、未だ予備的段階ながら、グラファイト表面の不純物像の観測に成功している。この結果は、立

ち上げた STM 装置が十分な原子スケールの分解能をもち、超低温、高磁場下で動作していることを証明している。

第 7 章は、超低温 STM 装置を用いて行ったもう 1 つの実験例として、グラファイト表面に吸着したクリプトン (Kr)、キセノン (Xe) 希ガス原子がつくる 2 次元固体の原子像観測について述べたものである。Kr の場合は基盤のグラファイトとの不整合 2 次元固体、Xe の場合は整合固体の形成の観測に成功している。本装置が物性研究に広範な適用性をもっていることを示している。

最後の第 8 章は、本研究の結論と今後の展望であり、本研究で設計・製作された超低温、高磁場 STM 装置が十分な動作を示し、様々な物性研究に適用可能な事が述べられている。

なお、本論文の第 2 章、第 3 章は福山寛、神原浩、宍戸大哲、上田到、宮武優との共同研究、第 5 章は福山寛、神原浩、田上勝規、塚田捷との共同研究であるが、論文提出者が主体となって装置開発、実験、解析を行ったもので論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。