

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 木須孝幸

本論文は5章からなり、第1章は序論、第2章は光電子分光、第3章は光電子分光装置の建設、第4章は $2\text{H-NbSe}_2$ の角度分解光電子分光、第5章はまとめについて述べられている。

本研究は、光電子分光法を用いて低次元物質の電子状態の解明を行うことを目的としている。低次元物質ではその低次元性から様々な興味深い物性を示す。例えば、従来の超伝導体に比べ、非常に高い転移温度を持つ高温超伝導体群、また超伝導の一つの起源とも言える電子格子相互作用によって金属絶縁体転移を伴う電荷密度波(CDW)を起こす物質群など様々な相転移、現象が発生する。このような物質群の中で、特に超伝導と電荷密度波の関連については殆ど研究はなされて来なかった。そこで本研究では低次元物質における超伝導と CDW の関連を電子状態の立場から明らかにすることを目的とし、そのための手法として高分解能光電子分光を用いることとした。

本研究の遂行にあたって、実験を行う光電子分光装置の作成から行った。本研究において光電子分光装置を二台建設した。一台目の建設にあたっては、当時の光電子分光装置のエネルギー分解能と冷却能力の限界(10meV と 20K)を上回ることを目的として建設を行った。光源には自然幅の小さな(1.1meV)He 放電管を用い、光電子分析器にGAMMADATA-SCIENZA社製 SES2002を導入した。冷却装置として、He 連続流型クライオスタットを用い、更に熱遮蔽版を設置するなど、光電子分光では従来全く行われなかった低温の対策を行った。更に電源の調整などエネルギー分解能に影響を与えるであろう事項について詳細な改善・改良を重ねることで光電子分光装置としては最高分解能のエネルギー分解能 1.4meV、最低到達温度 4K を達成した。これによって光電子では不可能だと思われていた高温超伝導体以外の超伝導電子状態の直接観測に成功し、光電子分光がエネルギースケールの小さな電子構造にも有効であることを示した。二台目は更なる高分解能・低温化を目指して建設を行い、励起光源として個体光電子分光装置としてはじめてレーザー(Nd:YVO<sub>4</sub>の6次光、6.994eV)を用いた。これにより高分解能化、そのエネルギーによるバルク敏感性、偏光依存性等を得ることが出来るようになった。また低温も前回に比べ新しい機構の追加や改良を行った。完成した装置の性能はエネルギー分解能 360 $\mu\text{eV}$ 、到達最低温度 2.7K となり、大幅な装置性能の向上に成功した。またこの性能とレーザー光源の特徴により、これまで指摘されてきた光電子分光法の欠点の殆どを解決している。

低次元物質の中で超伝導と CDW が共存する系として一台目の装置性能で測定が可能な

ものとして遷移金属ダイカルコゲナイド  $2H\text{-NbSe}_2$  ( $T_c=7.2\text{K}$ ,  $T_{\text{CDW}}\sim 35\text{K}$ ) を選び測定を行った。まず、この物質のフェルミ面形状を知るためにフェルミ面のマッピングを行い、初めて全てのフェルミ面の分離に成功しその形状を明らかにした。次に CDW はフェルミ面同士のネスティングによって引き起こされるが、本研究で得たフェルミ面では以前報告されていた部位同士のネスティングでは中性子散乱から得られたベクトルと一致しないことが明らかになった。そのためフェルミ面マッピングの温度変化測定を行い、フェルミ面のどの部位で CDW が発生しているかを調べた。その結果、CDW 転移点以下で  $\Gamma\text{K}$  対称線上と Nb4d エレクトロンのフェルミ面が交差する部位において強度の減少が確認された。このような点状の部位において CDW が発生していることはこれまで予想されていなかったことである。更にこれらの部位がネスティングベクトルとどう関連しているかを調べると、K 点を中心とする Nb4d エレクトロンのフェルミ面に存在するこれらの部位が中性子散乱から得られたネスティングベクトルと一致した。また  $\Gamma$  点を中心とする Nb4d エレクトロンのフェルミ面の部位は先のベクトルの和によるものであることが明らかとなった。この結果からこの物質における CDW はフェルミ面の  $z$  方向の分散の小ささと電子格子相互作用の  $k$  依存性が重要であることが明らかになった。ついでフェルミ面上の全ての点で超伝導ギャップサイズの測定を行った。その結果、超伝導ギャップにフェルミシートのキャラクター依存性と  $\Gamma\text{K}$  方向で大きくなる異方性があることを明らかにした。この方向は CDW が発生している方向でもあり、電子格子相互作用がこの方向で大きくなっていることも明らかになった。CDW が起こっている部位における超伝導転移前の光電子スペクトルにおいて CDW は完全なギャップとして開いておらず、擬ギャップ構造となっており、フェルミエッジも存在している。更に、超伝導転移温度以下では、残った電子状態が超伝導転移をすることが明らかになった。これらの結果により、超伝導と CDW が同じ  $k$  で共存し、これらの現象が独立のものであることが明らかとなった。

以上の結果から、本論文の内容は、博士(工学)の学位を授与できると認める。