

## 論文内容の要旨

博士論文題目

高エネルギー分解能二次元光電子分光器の開発

氏 名 濃野友人

### (論文内容の要旨)

固体内部やその表面における電気伝導、相転移など様々な物性の発現には、原子結合を担う価電子、特にフェルミ面付近の電子が重要な役割を持っている。これらのバンド構造を明らかにすることは、物性のメカニズムを理解する上で非常に重要である。そのため、フェルミ面を二次元的に測定すること（フェルミ面マッピング）が必要であり、微小角の検出器を二次元的に動かして精力的に測定が行われている。しかしながらこの方法では数日の時間がかかり、表面など不安定な物質では十分な測定が事実上不可能であった。

そこで広い立体角を歪みなく一度に測定可能な二次元表示型光電子分光器が開発され研究に用いられてきた。任意に設定したエネルギーを持つ光電子の二次元放出角度分布が短時間に測定可能であるので、従来の光電子分光器では困難であったフェルミ面マッピング、三次元バンドマッピング、三次元フェルミ面マッピング、直線偏光を用いての原子軌道解析、円偏光を用いての角運動量測定、原子位置の3D測定などが行える。

しかし、従来の二次元分析器のエネルギー分解能( $\Delta E/E_p$ )は1%程度とあまり高くなく、より高いエネルギー分解能が必要とされている。そこで、従来の二次元分光器を改良し低エネルギー領域で測定が可能な小型の高エネルギー分解能分析器(直径300mm)を開発した。

この二次元光電子分光器は大きく分けて次の三つの原理によって動作している。(1)電子の軌道の収束-非収束条件、(2)外球によるローパスフィルタ(LPF)、(3)グリッドによるハイパスフィルタ(HPF)。(3)のHPFは任意に一樣に小さく設定できるので、高エネルギー分解能化に対する問題はないが、LPFの設定値をそのまま小さくすると角度における一樣性が損なわれてしまい実用にならない。すなわち、従来の分析器(直径300mm)ではLPFは26枚の球面金属電極で構成されていたため、電極間の半径変化が大きく、LPFのカットオフエネルギーの角度分布に0.05%程度の凹凸が生じてしまい、エネルギー分解能を高くできなかった。そこで、新たに、電子の軌道計算を行い、カットオフエネルギーに凹凸がなく、エネルギー分解能を高くできるLPFの形状を求めた。

セラミックを電子軌道計算から求めた形状に加工して、1.9mm 間隔に158本の溝を表面に垂直に掘り、Sn電極を埋め込んだ。更に、電位を滑らかに繋ぐため、その表面にグラファイトを塗布した。こうすることによって、LPFの形状を理想的にすることができ、LPF

のカットオフエネルギーの凹凸は 0.005%以下と非常に小さくなった。そのため、HPF の値を小さくすることにより、高いエネルギー分解能が一様に得られるようになった。

分析器作成後、評価のための実験を行った。電子線による弾性散乱スペクトルのピークの半値全幅から測定エネルギー300eV における装置のエネルギー分解能( $\Delta E/E_p$ )を求めると、従来の 6 倍以上高い 0.16%となった。また、HeI(21.2eV)を励起光にして Au/Si(111)のフェルミ端を測定し、UPS における装置のエネルギー分解能を求めると 73meV になった。電子線を用いた場合と比べると、エネルギー分解能は低い、これは主に光源のスポット径(約 2mm)が電子線のスポット径(約 1mm)より大きいことが原因である。そのため、放射光を用いて光源のスポット径を小さくすれば、エネルギー分解能は電子線の場合と同程度になると考えられる。

以上の結果から、低エネルギー領域で高いエネルギー分解能を持つ小型の二次元表示型分析器の開発に成功したことが結論される。

## (論文審査結果の要旨)

濃野氏は「高エネルギー分解能二次元光電子分光器の開発」という題目で、従来の二次元光電子分光器と比較して数倍のエネルギー分解能を持つ高エネルギー分解能二次元光電子分光器を開発し、その目標が十分に達成されている。以下に論文審査過程の詳細を述べる。

設計と作成：分割球電極を用いた従来方式を改良し、新しい自由曲面外球を用いた高エネルギー分解能分析器を開発するため、新たな軌道計算を用いた設計を行っており、これにより、エネルギー分解能 0.1 % 以上を持つ理想的な外球形状を求めている。その結果を用いて分析器の設計を行い、電極や表面導電皮膜などの作成方を考案し、その理想的な形状を持った分析器を実際に作り上げ、高エネルギー分解能を実現している。また、これらの設計開発段階において、他の光電子分光器との比較を行い、その構造や特徴などに関して十分な知識を有しており、その知識を踏まえた上でこの分析器の開発を行っている。更に、同型の従来型分析器における残留磁場や電極の放電などの問題点を再検討し、その対策を十分に施してある。

分析器評価：電子線を用いた低速電子回折像、エネルギー損失スペクトルや He 光源を用いた二次元光電子像とエネルギースペクトル分析など多方面から、装置の角度測定能力やエネルギー分解能の評価を行っている。その結果から今回開発した分析器が従来型分析器の 6 倍である 0.16 % のエネルギー分解能を持ち、角度も歪みなく測定可能であることを報告している。また、単結晶グラフアイトのバンド測定や Si (001) 表面におけるアセチレン吸着構造の解析など、実際の応用に関する事例が成果として上げられている。これらのことから、高エネルギー分解かつ二次元で表面電子状態の測定が可能な分析器の開発に成功したと結論づけられる。

質疑応答においては、超伝導体における超伝導ギャップの測定、装置に対する磁場の影響、性能評価手法などに関する質問に的確に答えた。

本研究で開発された装置を応用すると、これまで研究されてきた物質の電子状態について、原子軌道の対称性まで分けた議論が初めて可能になり、電子状態の理解が格段に促進されることは確実である。また、超伝導、電荷密度波など、新規な物性のメカニズムの理解も促進される。このように本研究の結果は、物性物理学に対する寄与が非常に大きいものである。

よって、審査員一同は、本論文が博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた。