

氏名(本籍)	よしむらかづき	吉村和記	(奈良県)
学位の種類	工	学	博 士
学位記番号	博	甲	第 374 号
学位授与年月日	昭	和	61年 3月 25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当		
審査研究科	工学研究科		
学位論文題目	低速電子エネルギー損失分光における新しい手法の開発とその応用		
主査	筑波大学教授	工学博士	川 辺 光 央
副査	筑波大学助教授	工学博士	井 口 家 成
副査	筑波大学助教授	工学博士	小 間 篤
副査	筑波大学助教授	工学博士	滝 田 宏 樹

## 論 文 の 要 旨

低速電子エネルギー損失分光は、試料に数10eVないし1000eV程度の電子を照射し、電子遷移、プラズモン励起等を惹起してそのエネルギーの一部を失って戻ってくる電子のエネルギー分布を測定することにより、励起スペクトルを測定するものである。入射電子エネルギーが数10eVの場合には、分析深さは0.3nm以下になるので、固体表面の第1層の電子構造を調べる有力な手段として、広く使われるようになってきた。本研究は、低速電子エネルギー損失分光に、以下に述べるような種々の新しい手法を導入し、固体表面のみでなく、表面下にある界面やバルクの電子構造に関する知見を得られるようにし、また定量性を上げるなど、その能力を大幅に向上させることを目的としている。

第1章は序論であり、本研究の位置付け並びに本論文の構成について述べられている。

第2章では、エネルギー損失分光スペクトルに関する理論と、分析深さを決定する最も大きな要因となる固体中の電子の平均自由行程に関する従来知見について、述べられている。

第3章では、測定装置並びに解析方法について述べられている。著者は、パーソナルコンピュータ制御の電子分光装置を開発し、これを用いて、パルスカウント法によって高感度で測定したスペクトルを積算し、測定後に数値微分により、2階微分スペクトルを得る方法を編み出した。これにより、従来のロックイン検波法に比べ、測定感度を約1000倍上げられることを明らかにしている。

第4章では、低速電子エネルギー損失分光による非破壊深さ方向解析について述べている。本研

究では、入射電子エネルギーを変えることにより分析深さを変えて、エネルギー損失分光スペクトルを測定し、固体表面から固体内部への電子状態の深さ方向変化を非破壊的に調べる実験手法を確立したが、この手法の活用により、シリコン清浄表面上のダングリングボンド及びバックボンドによる真性表面準位の局在性に関する直接的知見を得、また層状物質である $2\text{H-MoS}_2$ の清浄な劈開面上には、真性表面準位が存在しないことを明らかにしている。更に、 $\text{Si/SiO}_2$ 界面並びにファンデアワールス・エピタキシー法により作成した超薄膜ヘテロ構造界面の急峻性に関する明確な知見を得ている。

第5章では、入射電子の単色化により、エネルギー損失分光の高分解能化を図り、 $2\text{H-MoSe}_2$ の励起スペクトルを測定した結果について述べている。ここで述べられている、単層膜に近い試料に関する励起子スペクトルは、本研究で初めて測定されたものである。

第6章では、低速電子エネルギー損失分光スペクトルから、Kramers-Kronig変換により複素誘電率 $\epsilon$ を求める方法について述べている。この方法の確立により、低速電子エネルギー損失分光スペクトルの定量解析の道が拓かれた。

第7章では、内殻電子励起エネルギー損失分光スペクトルから、伝導帯の状態密度に関する知見を得る方法について述べ、 $2\text{H-MoS}_2$ の伝導帯構造に関する詳しい知見を明らかにしている。

第8章では、エネルギー掃引に合わせて、パーソナルコンピュータ制御によりエネルギー分析器を試料の回りで回転し、エネルギー損失過程に寄与する波数ベクトルの向きを常に一定の方向に保つ、新しい測定手法を考案し、これを用いて、 $2\text{H-MoS}_2$ 劈開面の角度分解エネルギー損失分光スペクトルを測定した結果について述べている。得られたスペクトルをKramers-Kronig変換することにより、 $2\text{H-MoS}_2$ 表面の異方性複素誘電率を初めて求め、それが高電子線透過の実験から求められたバルクのそれに極めて良く一致する事を明らかにしている。この事は、 $2\text{H-MoS}_2$ の電子帯構造が表面の第一層からバルクのそれとほぼ同一になっていることを表しており、層状物質の特徴をよく示している。

第9章では、本研究の成果をまとめている。

以上のように、本研究では、低速電子エネルギー損失分光の測定手法、スペクトルの解析手法に多くの新しい試みを取り入れ、得られる知見の質及び量を飛躍的に増大させて、その応用分野を広げること成功している。また、開発した手法を駆使し、種々の物質表面並びに界面の電子構造に関し、他の手法では得られない多くの知見を得ている。

## 審 査 の 要 旨

低速電子エネルギー損失分光法は、固体表面及びバルクの電子構造を解明するのに、大変有望視される実験手法であるが、開発されてから未だ日が浅く、持てる特徴を十分生かし切った測定がなされているとは言い難い。パーソナルコンピュータ制御の測定装置を新たに開発し、パルスカウン

ト法による高感度化，単色電子線源の使用による高分解能化，角度分解化等，多くの改良を行い，また，非破壊深さ方向解析手法並びにスペクトルのKramers-Kronig変換による定量化手法を確立して，低速電子エネルギー損失分光法の能力を飛躍的に高めた点に，本論文の大きな意義がある。

また，開発した手法を駆使して，シリコン， $2\text{H-MoS}_2$ 等の表面電子構造やSi/SiO<sub>2</sub>界面並びに超薄膜ヘテロ界面の電子構造を解明し，原子層レベルの厚みのMoSe<sub>2</sub>超薄膜中の励起子の振舞いを明らかにし， $2\text{H-MoS}_2$ の伝導帯構造を決定した点も，高く評価できる。

よって，著者は工学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。