

自己評価報告書

平成23年4月21日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2008～2012

課題番号：20224007

研究課題名（和文） 微小領域二次元光電子分光

研究課題名（英文） Two-dimensional Photoelectron Spectroscopy from Micro Region

研究代表者

大門 寛 (DAIMON HIROSHI)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・教授

研究者番号：20126121

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性 I

キーワード：表面・界面、光電子分光

1. 研究計画の概要

本研究計画では、新しく発明して JST-CREST で5年間開発してきた立体光電子顕微鏡 StereoPEEM や、その過程で新しく発明された楕円メッシュ二次元分析器を完成して、顕微鏡機能を使って試料の拡大像を観測し、微小領域だけからの二次元光電子分光を行ない、微小領域の電子状態と原子構造を立体的に観測することを目的とする。

単一微小領域だけからの二次元光電子分光を行ない、微小物質特有の低次元・量子機能の電子状態と原子構造からの解明をめざす。

2. 研究の進捗状況

「楕円メッシュ」については、百マイクロンの分解能のテストデータの取得には十分使用できる精度（精度も百マイクロン）のメッシュが製作出来ている。

「楕円メッシュ二次元分析器 (Display-type Ellipsoidal Mesh Analyzer: DELMA)」は構造が簡単であり、市販のエネルギー分析器と組み合わせることにより、高いエネルギー分解能の実験ができるため、テストデータは DELMA で出すこととし、StereoPEEM についてはテストデータの取得は行わないこととした。DELMA の分析真空槽を作製してテストデータの取得を目指した。

分析真空槽は磁気シールドのために μ 金属で製作した。試料を精度よく動かすための5軸モーター制御マニピュレータを製作した。DELMA は、広角対物レンズ WAAEL と、その後ろに続くレンズシステム、及びその後ろにあるスクリーンから成っている。レンズシ

ステムには、回折面や像面のところにコントラストアパチャーCA や制限視野アパチャーFA が挿入できるようにした。スクリーンに映った像は、45度ミラーで反射して、上部のカメラで撮影できるようにした。10度おきに穴のあいた角度分布測定ジグを製作して角度分布パターンのテストを行った。

このスクリーンの位置は、その後ろにあるエネルギー分析器にとっての試料位置になっており、スクリーンをはずすことにより、スクリーンの位置の電子のエネルギー分析を、高エネルギー分解能で行うことができるようにした。

「エネルギー分析器」として、VG シエンタ社製の R4000 を採用した。±6° の取りこみ角または5mm程度の範囲からの光電子のエネルギーと角度分布（または位置分布）を2次元的に測定することができる。

現在は、次項から示すように種々のテストデータが得られている状況である。

3. 現在までの達成度

本研究課題の当初研究目的の達成度についての自己点検による評価は、
②おおむね順調に進展している。
である。その理由を以下に示す。

(1) 光電子顕微鏡PEEMとしての拡大像の測定に成功

レンズシステムによってメッシュ（#100）の拡大像をスクリーンに映すことに成功した。ワイヤーの間隔は250マイクロンであり、25マイクロン程度の分解能の拡大像がきれいに得られている。分解能の向上はこれからであるが、「楕円メッシュ」を用いたシステムで顕微鏡機能が実現できたと

いう結果は、これまでの電子顕微鏡や光電子顕微鏡とは原理の異なる新しいタイプの電子顕微鏡が実現できたことを意味しており、重要な成果である。

(2) エネルギー分解能の向上

TaS₂試料に708eVの放射光を照射して、Ta4fの光電子スペクトルを測定し、エネルギー分解能の評価を行った。実験は大型放射光施設SPring-8の東京大学物質科学アウトステーションビームラインBL07LSUで行った。エネルギー分析器R4000のスリットを広げてとったため、まだ最高の性能のものではないが、Ta4f5/2とTa4f7/2がきれいに分離されて観測されており、0.2%のエネルギー分解能が確認された。この分解能は、光のエネルギー幅とスリット幅を狭めることによってさらに向上することが見込まれる。二次元光電子分光のできる分析器としては、従来の「二次元表示型球面鏡分析器」の分解能を既に凌いでおり、エネルギー分解能の高い新しいタイプの二次元分析器が実現されたことを意味している、光電子分光の分野における重要な進歩である。

(3) 角度分布測定能の確認

数百 eV の運動エネルギーの光電子について角度分布測定能を評価するために、10° おきに穴を開けたジグから放出された電子のパターンをスクリーンで観察した。±50° の角度分布をスクリーンにきれいに映すことに成功した。このパターンを5mmの範囲に収束させることに成功し、後段の半球型エネルギー分析器で±50° の角度分布を一度に測定することができるようになった。±50° の角度分布が半球型エネルギー分析器で一度に測定できるのは、これまでの世界最高の性能の±30° を大きく凌駕する成果である。

(4) 光電子回折パターンの測定

この装置を用いてSi(001)からのSi2p光電子の光電子回折パターンを測定した。運動エネルギーは800eVで行った。十字に交わる菊池バンドなどがきれいに見えており、±45° 以上に渡る光電子回折パターンの測定に成功した。

試料は単結晶であり、微小領域からの測定はこれからであるが、高い運動エネルギーで二次元光電子分光ができ、光電子回折パターンの撮れる新しい光電子顕微鏡を開発するという当初の目的はほぼ達成できる見通しが立ったと言える。

4. 今後の研究の推進方策

上述のように、装置としての基本性能は

ほぼ確認されている。今後は、

(1) 微小領域だけからの広い角度範囲にわたる二次元光電子分光を行ない、微小領域の電子状態と原子構造を立体的に観測するという研究目的を達成するとともに、

(2) 楕円メッシュの改良やエネルギー分解能の向上によって、顕微鏡像の空間分解能を向上すること、および

(3) 電源やマニピュレータ、およびコンピュータソフトを整備して、きれいなデータを短時間で測定できるようにしていく予定である。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 25 件)

(1) L. Toth, H. Matsuda, T. Shimizu, F. Matsui, and H. Daimon
New Simple Photoemission Electron Microscope with an Energy Filter
J. Vac. Soc. Jpn. 51, 135 (2008) (査読有) .

[学会発表] (計 165 件)

(1) Hiroyuki Matsuda, Laszlo Toth, Kentaro Goto, Fumihiko Matsui, Tomohiro Matsushita², Mie Hashimoto, Chikako Sakai, Hideo Nojiri, and Hiroshi Daimon
Wide acceptance angle photoelectron spectrometer for stereophotograph of atomic arrangement
3S ' 11 (11 March, 2011, Spain)

(2) L. Tóth, H. Matsuda, K. Goto, H. Nojiri, M. Hashimoto, F. Matsui and H. Daimon
Display-type Ellipsoidal Mesh Analyzer for Microscopic and High-resolution Two-dimensional Photoelectron Spectroscopy
ALC' 09(10 Dec. 2009 Hawaii, USA)

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

(1) 名称：非球面メッシュによる球面収差補正レンズ

代表発明者：大門 寛

権利者：奈良先端科学技術大学院大学

種類：アメリカ米国出願特許権

出願番号：11/631296

成立年月日：October 2, 2009

国内外の別：国外

[その他]

ホームページアドレス

<http://mswebs.naist.jp/LABs/daimon/index-j.html>