

微小領域二次元光電子分光

Two-dimensional Photoelectron Spectroscopy
from Micro Region

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



研究の概要

本研究計画では、立体光電子顕微鏡 StereoPEEM や、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広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ことを目的とする。

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. 研究開始当初の背景

環境・エネルギーなどの問題を解決する高機能物質の開発には、物質の機能を司る原子配列構造と電子の運動状態の解析が必須であり、それらが直接観測できる光電子分光が強力なツールである。最近発展した光電子顕微鏡 (PEEM) は、光電子で試料の拡大像が得られるため、微小領域の電子状態の観測はできたが、高い運動エネルギーの測定では取り込み角度範囲が $\pm 15^\circ$ 以下になってしまい、原子配列の立体写真など元素周りの原子配列の測定ができなかった。

2. 研究の目的

本研究計画では、立体光電子顕微鏡 StereoPEEM や、楕円メッシュ二次元分析器の開発を進め、光電子を用いた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ことを目的とする。

3. 研究の方法

我々はこれまでユニークな二次元表示型球面鏡分析器を用いて、世界で初めての3次元バンドマッピングや原子軌道の解析に成功したり、世界で初めての原子配列の立体写真撮影に成功する(図1)など、世界的にオンリーワンの技術として、電子状態や原子構

造の詳しい解析を行なってきた。

本研究での微小領域の電子状態と原子構造の立体的な観測には、これらの解析手法を用いることが

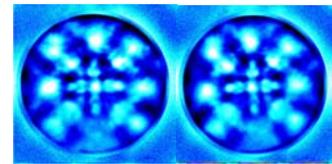
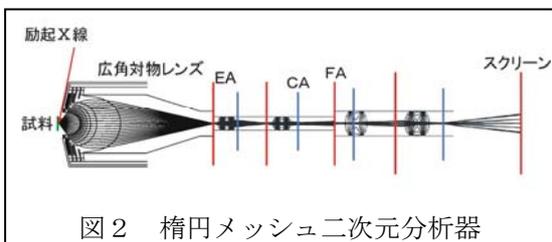


図1 原子配列立体写真

できるようにするため、 $\pm 45^\circ$ 以上の広い範囲に渡る二次元光電子分光ができる PEEM を開発する。従来の PEEM で不可能であった高い運動エネルギーでの広角度範囲に渡る測定ができるようになるため、微小領域の電子状態のみならず、原子配列の立体写真など元素周りの原子配列の測定が可能になる。



従来は、 $\pm 45^\circ$ 以上という広い範囲に放出された電子を収束しようとしても、球面収差が大きくて不可能であったが、我々は楕円メッシュを使用した「広角対物レンズ」を発明して収束を可能にした。さらにこの「広角対物レンズ」に絞りとレンズシステムを追加す

ることで新しい「楕円メッシュ二次元分析器」(図2)として使えることを見出した。本研究計画では、この楕円メッシュ二次元分析器を使用できるようにして、顕微鏡機能を使って試料の拡大像を観測し、測定したい微小領域だけからの $\pm 45^\circ$ 以上の広角度範囲に渡る二次元光電子分光を数百 eV の運動エネルギーにおいて可能にする。このようにして、電子状態のみならず、元素周りの原子配列構造を立体的に観測できる新しい光電子顕微鏡を開発する。

4. これまでの成果

● 光電子顕微鏡PEEMとしての拡大像の測定

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したものを図3に示す。ワイヤーの間隔は250ミクロンであり、25ミクロン程度の分解能の拡大像がきれいに得られている。この結果は、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楕円メッシュを用いた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いる。

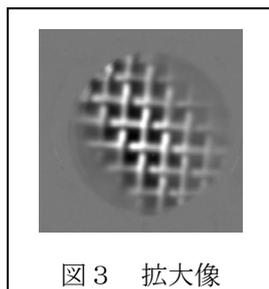


図3 拡大像

● 角度分布測定能の評価

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(図4)。 $\pm 50^\circ$ 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。

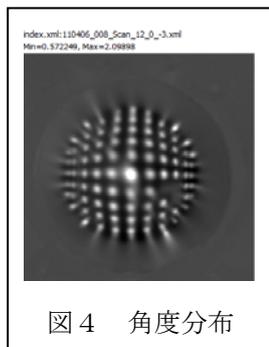


図4 角度分布

● 光電子回折パターンの測定

この装置を用いて測定したSi(001)からのSi2p光電子の光電子回折パターンを図5に示す。運動エネルギーは800 eVである。十字に交わる菊池バンドなどがきれいに見えており、 $\pm 45^\circ$ 以上に渡る

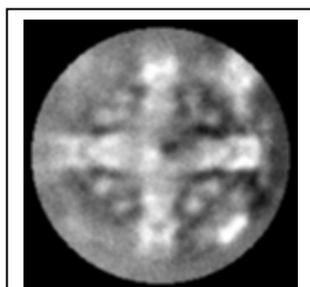


図5 Si(001)からの光電子回折パターン

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。

5. 今後の計画

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することが目標である。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

【国際会議発表】

- Hiroyuki Matsuda, et al.
Wide acceptance angle photoelectron spectrometer for stereophotograph of atomic arrangement
3'S 11 (11 March, 2011, Baqueira Beret, Spain)
- Tomohiro MATSUSHITA, et al.
Development of an electron microscope using wideacceptance angle electron lens
NSS6 (October 25-29, 2010 Kobe, JAPAN)
- László Tóth, et al.
Display-type Ellipsoidal Mesh Analyzer for Microscopic and High-resolution Two-dimensional Photoelectron Spectroscopy
ALC'09(10 Dec. 2009 Hawaii, USA)
- Hideo Nojiri, et al.
New 1π steradian display-type ellipsoidal mesh analyzer as a low-magnification PEEM
ICES-11(7 Oct. 2009, Nara Japan)

ホームページ等

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