

「高度情報処理・通信の実現に向けたナノファクトリーとプロセス観測」  
平成 14 年度採択研究代表者

大門 寛

(奈良先端科学技術大学院大学 教授)

「ナノ構造解析のための立体原子顕微鏡の開発」

## 1. 研究実施の概要

本研究の目的は、ナノ構造体の原子配列構造を直接解析するための新しい「立体原子顕微鏡」を開発することである。そのために、立体原子顕微鏡の測定例を増やし、この技術を確認する [検証実験]、「立体原子顕微鏡」に使用する分析器を改良し、多くの人にとって使いやすいものにする [小型分析器の設計・製作]、ナノ構造や微小領域の拡大像を測定できるようにし、その一部からの「立体原子顕微鏡像」を測定できるようにする [顕微鏡機能の開発] という 3 つの研究を進めている。[検証実験]では、データ解析の手法が確立でき、[小型分析器の設計・製作]では、小型で使いやすいものを開発できた。小型分析器の評価は、立命館の大門研究グループが行った。[顕微鏡機能の開発]では、初段レンズの試作とテストが完了し、全体の製作を行っている。この [顕微鏡機能の開発]が完成するには 10 年程度の時間が必要であるため、本研究期間においては基礎的な部分の開発とテストに留まる。

## 2. 研究実施内容

### [検証実験]

装置の透過率を高めるため、分析器の阻止グリッドの改良を行ったことによって、きれいなデータが短時間で測定できるようになった。

測定例として Cu の (001) 面からの Cu2p 光電子による一連の立体写真を示す。光電子の運動エネルギーは 600eV である。中心付近の強いピークを含めた正方形が、fcc 構造の最近接の 4 つの原子を示しており、一番近くに見えるものである。

図 1 の立体写真は、上下に 5 度ずつ回転しながら測定したものである。立体視しながら

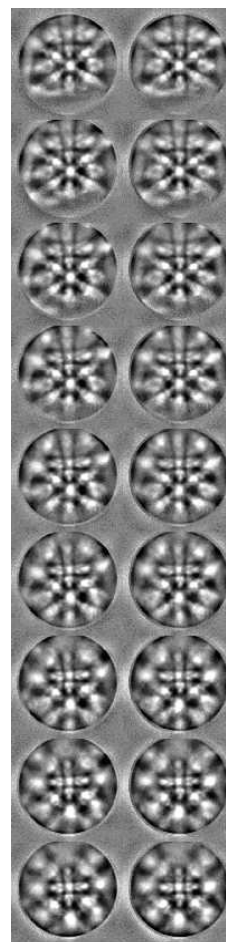


図 1 5 度ずつ角度を変えたときの Cu(001) 面の立体写真

上下に目を動かしていくと、fcc構造の原子配列が徐々に回転していく様子が立体的に観測できる。この測定においては、1枚の写真を得るのに15秒であった。シグナルの強いものでは1秒以下で測定ができており、短時間で測定できるようにするという目標は達成された。この成果は、ゆっくりした変化であれば実時間で立体構造が測定できるようになったことを示しており、意義のあるものである。

### 小型分析器の製作

従来のものからの改良点は、①エネルギー分解能や角度分解能を決めているアパチャーの大きさを、真空外から回転導入端子により0から10mmの範囲で変えられるようにし、②アパチャーの位置調整を真空内に設置した真空モーターにより、コンピュータでできるようにし、③フィラメントの交換が簡単な電子銃を製作して設置したことである。現在は、組み立てが終わり、立命館大学SRセンターのBL7に設置して性能評価を行っている。この部分は、立命館グループのまとめを参照いただきたい。

### 顕微鏡機能の開発

#### ① 「立体原子顕微鏡」の設計と製作

設計した立体原子顕微鏡の構成図を図2に示す。試料に面するところに、回転楕円体に近い形状のメッシュを用いた広角対物レンズを置き、±50°の広い範囲の電子を一点に収束し、レンズシステムとエネルギーフィルターを通してスクリーンに像を映す。このレンズシステムは、各レンズの電位のかけ方を変えることで、通常の顕微鏡像と、原子配列の立体写真の像をとりわけることができる。この方法によって、個々のナノ粒子の構造と電子状態の解析が可能になる。現在、全ての部品の製作が終わり、組み立てている。

#### ② 「広角対物レンズ」の製作とテスト

この顕微鏡においては、初段の広角対物レンズを如何に正確に製作できるかが鍵となる。広角対物レンズだけを製作してテストを行った。分解能の評価のために、試料にメッシュを用いて測定した像を図3に示す。試料

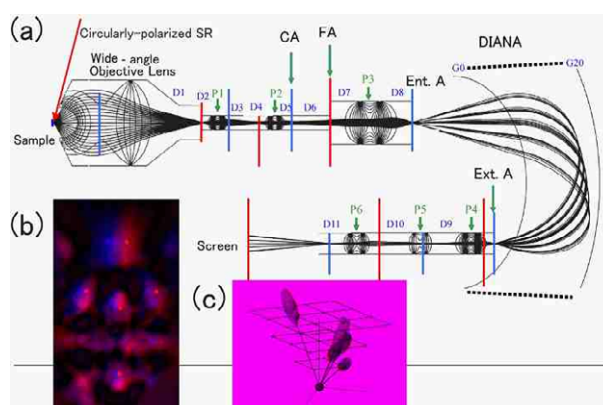


図2 立体原子顕微鏡



図3 メッシュの拡大像

のメッシュの網線の間隔は 65 ミクロンであり、その間隔が 5 倍に拡大されて 0.3mm 程度の間隔に見えている。画像の解析から、分解能は 30 ミクロン程度以下が得られていることがわかった。分解能や像の質は、メッシュの改良により今後改善される予定である。

以上のように、開発は順調に進んでいる。本年度末には低い倍率で像を見て、見たいところからの光電子角度分布のデータを出す予定である。

### 3. 研究実施体制

#### (1)「検証実験、顕微鏡機能の開発」グループ

##### ①研究者名

大門 寛(奈良先端科学技術大学院大学 教授)

##### ②研究項目

###### ・ 検証実験

種々の物質について測定を進め、立体原子顕微鏡という技術を確認するための条件の検討をまとめる。実験は、SPring-8 の BL25 で行う。

###### ・ 顕微鏡機能の開発

広角対物レンズにレンズシステムを組み合わせて全体の顕微鏡システムとしたものの立ち上げを行い、顕微鏡としての性能をテストする。また、メッシュレンズの精密製作を推進する。

#### (2)「小型分析器の評価」グループ

##### ①研究者名

大門 寛 (立命館大学 COE 推進機構 特別招聘教授)

##### ②研究項目

###### ・ 小型分析器の評価

完成した小型分析器を用いて、データの取得による性能テストを行い、信頼性が高く、分解能もよく、使いやすい小型の新しい分析器の完成を確認する。

### 4. 研究成果の発表等

#### (1) 論文発表(原著論文)

- Structural analysis of oxygen segregated Nb(110) surface by photoelectron diffraction  
F. Matsui, M. Fujikado, H. Daimon,  
Czech. J. Phys. 56, (1), 61-68, January (2006).
- Atomic stereophotograph of intercalation compound  $\text{Fe}_{1/3}\text{NbS}_2$ ,  
F. Z. Guo, T. Matsushita, K. Kobayashi, F. Matsui, Y. Kato, H. Daimon, M. Koyano,  
Y. Yamamura, T. Tsuji, Y. Saitoh,  
Journal of applied physics, 99, 024907, January (2006).

- Structure analysis of thin iron silicide film from phi-scan RHEED Patterson function", O. Romanyuk, K. Kataoka, F. Matsui, K. Hattori, H. Daimon, Czech. J. Phys. 56, (3), 267-276, March (2006).
- Approach for simultaneous measurement of two-dimensional angular distribution of charged particles. II. Deceleration and focusing of wide-angle beams using a curved mesh lens", H. Matsuda, H. Daimon, Phys. Rev. E 74, 036501, September (2006)
- Atomic Structure Analysis of Ultra Thin Fe Silicide Films by Stereo Atomscope, K.Kataoka, F.Matsui, Y.Kato, F.Z.Guo, T.Matsushita, K.Hattori, H.Daimon, Surface Review and Letters, April (2006).
- Adsorption and Reaction of Nitric Oxide on Si(111)-Au Surfaces, T. Nishimura, K. Hattori, K. Kataoka, Y. Shimamoto, H. Daimon, Surf. Rev. Lett. 13, 191-196, April & June (2006).
- Chemisorption of L-cysteine on Au(111)/Si(111) and Si(111) sqrt3-sqrt3 - Au Surfaces, M. Honda, F. Matsui, H. Daimon, Surf. Rev. Lett, 13, 197-200, April (2006).
- Iron silicides grown by solid phase epitaxy on a Si(111) surface: Schematic phase diagram, K. Kataoka, K. Hattori, Y. Miyatake, H. Daimon Phys. Rev. B 74, 155406, October (2006).
- Photoelectron angular distribution of 2H-NbSe<sub>2</sub> Studied by Display-Type Spherical Mirror Analyzer and Circularly Polarized Light, F.Z.Guo, T.Matsushita, F.Matui, Y.Kato, H. Daimon, Surface and Interface Analysis, 38, (12-13), 1604-1606, December (2006).
- Stereophotographs of diamond and graphite, Y.Kato, F.Matsui, T.Shimizu, T.Matsushita, F.Z.Guo, T.Tsuno, H.Daimon, Science and Technology of Advanced Materials (STAM), 7, S45-S48, August (2006).
- Two-dimensional angle-resolved photoelectron spectroscopy using display analyzer ---Atomic orbital analysis and characterization of valence band, H. Daimon, F. Matsui, Progress in Surface Science, 81, (8-9), 367-386, September (2006).
- Construction of Two-dimensional Photoelectron Spectroscopy Beamline at Rits SR Center for Investigation of Surface Electronic Structure, Y. Hamada, F. Matsui, Y. Nozawa, K. Nakanishi, M. Nampei, K. Ogawa, S. Shigenai, N. Takahashi, H. Daimon, H.Namba, AIP Conf. Proc., 879 (2006) 547
- New Display-type analyzer for Fermi surface mapping and atomic orbital analysis at Ritsumeikan SR Center, N. Takahashi, F. Matsui, H. Matsuda, S. Shigenai, Y. Hiramata, Y. Hamada, K. Nakanishi, . Namba, H. Daimon, AIP Conf. Proc., 879 (2006) 1180

## (2) 特許出願

平成 18年度特許出願:2 件(CREST 研究期間累積件数:3 件)