

「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、[検証実験]、[小型分析器の設計・製作]、[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]は立体原子顕微鏡の即定例を増やし、この技術を確立するものである。[小型分析器の設計・製作]は、「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ものである。[顕微鏡機能の開発]は、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ものである。ただし、3番目の[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]

種々の単結晶や薄膜の立体原子配列構造がどのようなときにどのように再現できるかを前年度までに引き続き検証した。エネルギーや元素を変えて、普遍性と、最適なエネルギー値を調べた。図1にグラファイトからの立体写真の実測例を、図2にそこで見られた立体配置をコンピュータグラフィックで示す。図に示すように、距離が実際よりも長かったり短かったりするところもあるが、方向は正しく、明瞭な立体写真を撮ることができた。炭素は内殻として1s軌道しかなく、光電子の角運動量が小さいため視差角が小さくなり、これまで観測が困難と思われていたが、それにもかかわ

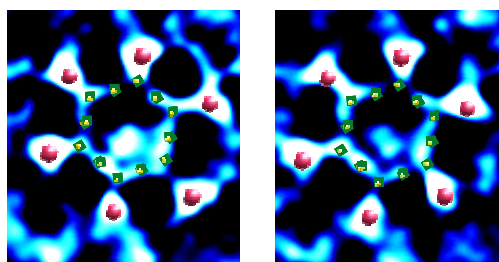


図1 グラファイトの立体原子写真

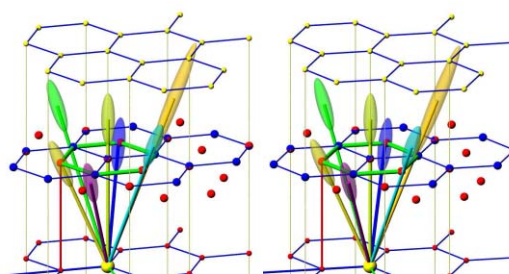


図2 図1で見えるグラファイト原子の立体配列

らず明瞭に観察された。また、原子が軽い分だけピークが鋭くなり、複雑な構造でも解析が可能になることが明らかになった。s軌道からの光電子でも立体写真が撮れたことは、測定対象となる原子が何でも良いということを意味しており、測定対象に制限がなくなり、全ての物質にこの手法が適用できることになったという点で意味深いものである。また、複雑な構造でも解析が可能になったので、将来、蛋白質などの大きな分子の立体構造を見るときに、見える原子の数が増え、解析が簡単になったことを意味していて、これも意味深いことであった。

本年度も、引き続き種々の物質について測定を進めるとともに、球面波と多重散乱の影響を考慮した計算も行い、普遍性や最適なパラメータについて考察を進める。また、実験面では、SPring-8のBL25の装置の不具合を修理する。

[小型分析器の設計・製作]

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を作成し、各種応用分野で利用できる本格的な装置へと展開することを目的としている。従来のものは分析器本体の大きさが60cm、分析真空槽の大きさが1m以上と大きくて、分析器の位置調整や試料の受け渡しが非常に大変であり、多くの人が使えない装置にはなっていない。小型で使いやすく高性能のものを作成している。前年度までに、作成方法を多数検討して構想をまとめ、具体的な設計に入り、半分程度の製作が完了した(図3)。本年度は、一番重要な外球の製作を行い、分析器として完成させる。

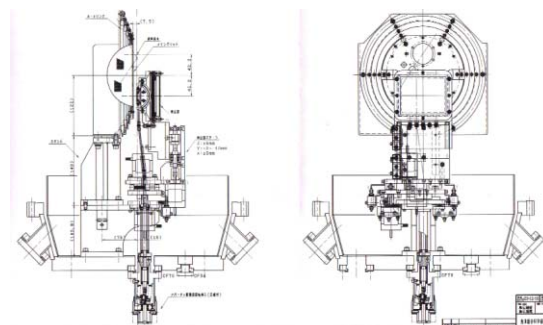


図3 図1で見えるグラファイト原子

[顕微鏡機能の開発]

この顕微鏡は原子構造は見えるが、倍率が10億倍程度に固定されている。ナノ構造の解析などの応用分野に適用するためには、低い倍率で像も見えるような機能を付加し、見たいところを選べるようにする必要がある。この機能の開発により、微小領域や微小結晶の解析などができるようになり、ナノ構造の解析や基礎物性の解析に適用しやすくなる。レンズシステム(特許申請中)を試料と分析器の間に挿入する。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。

前年度までに、試料のそばの対物レンズ、およびその後ろのレンズのシミュレーションを進め、取り込んだ後の像形成の計算を推進した。従来のレンズは、取り込み角は数度が限界であったが、新しい方法を採用して、 $\pm 60^\circ$ という非常に大きな取り込み角でも、1ミクロンに収束できるレンズの設計に成功した。本年度は、全体の顕微鏡システムとし

での設計を進めるとともに、対物レンズの試作を行い、それを用いて拡大像の測定を行うことを目標とする。また、レンズシステムの設計と発注を行う。

3. 研究実施体制

大門 研究グループ

- ① 研究分担グループ長：大門 寛（奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科、教授）
- ② 研究項目：ナノ構造解析のための立体原子顕微鏡の開発

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

- “Development of High-Energy-Resolution Display-Type Photoelectron Spectrometer in the UPS Region”, T. Nohno, F. Matsui, Y. Hamada, H. Matsumoto, S. Terada, K. Hattori, H. Daimon, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **42** 4752-4755 (2003).
- “Application of atomic stereo microscope to surface science”, T. Nakatani, T. Matsushita, S. Okamoto, K. Fukumoto, A. Kobayashi, A. Nakamoto, T. Nohno, K. Hattori, K. Enomoto, Y. Miyatake, M. Kotsugi, Y. Saitoh, S. Suga, H. Daimon, *Progress in Surf. Sci.* 71, 217-239 (2003)

(2) 特許出願

H15年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：0件）