

実空間ナノ構造観察によるマテリアル・イメージング教育

マテリアル工学科 横井裕之

1. プロジェクトの背景と目的

本学科では新時代のマテリアル工学を先駆的に実現する研究者・技術者を育成することを教育の理念としている。マテリアルの中で原子が結晶構造を組んでいることを理解することはマテリアル工学における最も重要な知識基盤となる。そこで、「結晶回折学」(2年前期)、「格子欠陥学」(2年後期)、「固体物性学」(3年前期)、「セラミックスマテリアル工学」(3年後期)などの講義において、結晶構造の概念やX線回折による構造解析の手法について学ぶというカリキュラムを組んでいる。さらに、構造解析の演習として、「マテリアル工学実験(基礎編)」(2年後期)と「マテリアル工学実験(応用編)」(3年前期)においてX線回折パターンや透過型電子顕微鏡回折像を用いて結晶回折の演習を行っている。しかしながら、これらの演習では放射線取扱上の制約や装置操作の複雑さのために、あらかじめ用意した回折像写真や電子顕微鏡写真を使って解析の仕方を演習するという形式を取らざるを得なかった。また、実空間とは逆数の関係にある逆格子空間を使って解析するので、回折像写真と結晶構造との対応が直感的には理解しづらい。そのため、マテリアルが原子からできているという知識も、いわゆる座学のレベルを越えるものではなかった。

一方で、近年の走査型プローブ顕微鏡(STMやAFM)などの発明・進歩により、実空間で原子配列画像を得る実空間イメージング法はマテリアルの構造を解明する上で欠かせない測定手法となった。最近では、装置のモジュール化により低学年の学生でも十分扱えるシステムが開発されている。本プロジェクトでは、このような計測手法を学生実験に取り入れて、大学入学後の早い段階から実際に学生自らがマテリアルの原子像を測定することにより、マテリアルに対して原子的なイメージをごく自然に実感を伴って持つことができるように導くことを目的とする。このような教育を通じて、マテリアルに対する興味がさらに深まるものと期待される。また、実空間イメージングを用いた現代的なマテリアル工学実験の素養を身につけることも目的とする。

2. プロジェクトの実施概要

本プロジェクトでは、Nanosurf社の走査型トンネル顕微鏡EasyScan2を導入して、学生実験に実空間ナノ構造観察のテーマを拡充することにより、学生自らが

機器操作してグラファイトなどの原子配列画像を得られるようにした。

導入する学生実験としては、結晶構造について基礎的な知識を学んだあとの方が実験結果の理解度が高まると期待される。そこで、2年次前期に「結晶回折学」を学んだ後の、「マテリアル工学実験(基礎編)」(2年次後期)に導入した。「マテリアル工学実験(基礎編)」は、講義で学んだ材料工学の知識をもとに、実際に材料工学実験を行うことによって知識の活用法や実験原理について学ぶことを目標にしている。2年次前期までに「結晶回折学」などにおいて結晶構造に関する基礎知識をきちんと学んだのちに、2年次後期の「マテリアル工学実験(基礎編)」において結晶の原子配列実空間像を自分で測定することにより、座学で学んだ結晶構造に対する知識を活用して実験結果を理解し、マテリアルを原子的描像で理解する力が身に付くことを期待した。

実験は、受講生49名を6班に分けて、毎回1班ずつ行った。実験試料はグラファイト(HOPG)を用いることとし、まず、グラファイトの結晶構造や原子間隔のスケールについてどの程度の知識を身につけているか、アンケートを行った。その結果を表1に示す。その結果、面内で六角格子を組んでいることは大部分の学生が知っていたが、結晶の格子サイズの「感覚」を掴んでいない学生が多いことが分かった。

実験では、STMの動作原理について簡単に解説したのちに、教員とTAがデモ実験を行って、探針とグラファイト試料の作製から原子像観察までのやり方を学生に見せた。そののちに、学生自身で探針づくりを行った(図1)。探針は、直径0.25mmのPt/Irワイヤーを

表1 事前アンケート結果

1. グラファイト(黒鉛)の構造はどれですか?			
ア.	3次元ネットワーク構造	3	1%
イ.	2次元積層構造	6	5%(正解)
ウ.	1次元バンドル構造	4	%
2. グラファイト表面の原子配置は?			
ア.	三角格子	4	%
イ.	四角格子	1	2%
ウ.	六角格子	8	4%(正解)
3. グラファイト表面の原子間隔のスケールは?			
ア.	0.1 nm	5	9%(正解)
イ.	1 nm	3	1%
ウ.	10 nm	1	0%

ニッパーで斜めに銜え込みながら引きちぎることにより作製した。金属の延性をうまく利用することにより、ナノメートルオーダーの鋭い先端を作るので、マテリアル工学科の学生には素材の性質を良く理解することがものづくりの原点となる良い実例となった。うまく探針を作製するにはニッパーの捌き方にコツが必要であるので、教員らのやり方を「見て学ぶ」良い訓練になったと思われる。

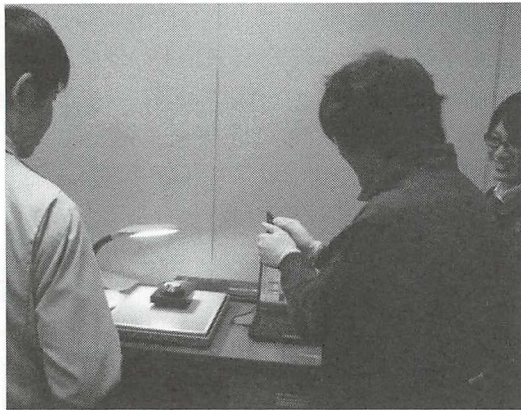


図1 STM用探針づくり。奥の除振台に乗っているのがSTMヘッド

グラファイト試料は、清浄表面を出すために観察の直前にセロハンテープでへき開して表面層をきれいに取り除いて鏡面状にした(図2)。次にSTMヘッドに探針とグラファイトをセットして、探針先端とグラファイト表面に映る鏡像の先端が接触するぎりぎりまで目視で近付けた。次に制御プログラムで探針をナノメートルオーダーまでグラファイト表面に近付けて観察を開始した。学生実験で得られたグラファイト表面の画像の一例を図3に示す。炭素原子がきれいに三角格子上に配列している様子を観察することに見事に成功した^{注1)}。本授業拡充の効果を調べるために、各班の実験後にアンケートを取った(表2)。また、感想として、

- ・原子の配列を初めて見て新鮮だった。
- ・普段見ることのできないナノ構造を観察できるの

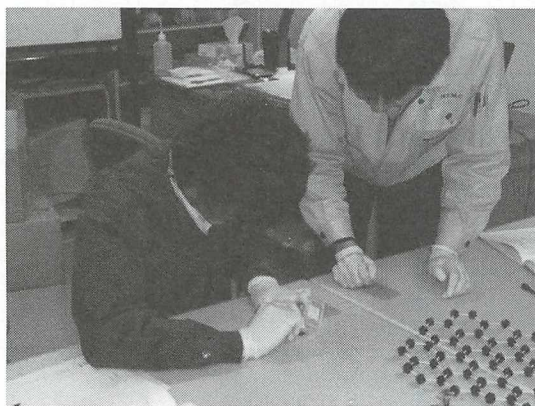


図2 グラファイトのへき開

はおもしろいと思った。

- ・ナノレベルのものをそんなに大きくない装置で観察できることがすごいと思った。
- ・画像を実際に見ることで実感しやすかった。
- ・他の物質の構造も見てみたいです。

といったコメントが寄せられた。これらの結果から座学との連携やマテリアルの理解とナノ構造観察技術への導入といった効果が明確に認められた。

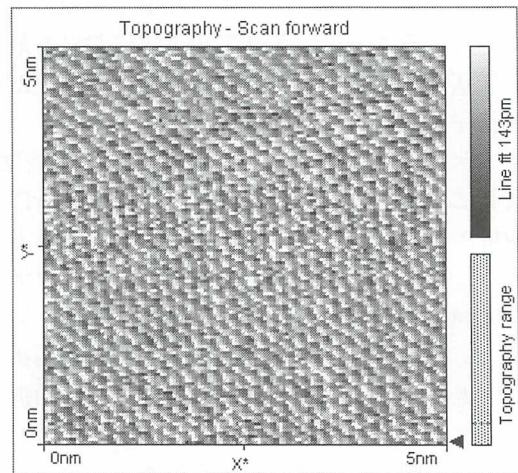


図3 グラファイト表面の原子像(白い斑点)

表2 事後アンケート結果

1. マテリアルの構造に実感が持てましたか。	はい 96%	いいえ 4%
2. 結晶構造に対する理解が深まりましたか。	深まった 71%	変わらない(よく理解している) 24%
3. マテリアルに対する興味が増えましたか。	さらに増した 47%	変わらない(以前から興味あり) 49%
4. ナノ構造観察技術への興味が増えましたか。	さらに増した 73%	変わらない(以前から興味あり) 20%

3. まとめ

マテリアルの原子像観察を2年次に学生自らの手で行うことにより、マテリアルのナノ構造と評価技術への関心と理解を高める効果が大いにあった。ただ、現状では実作業人数が限定的となっているので、今後は試料数を増やして、全員がへき開を行うなどの拡充を図っていく。

注1) グラファイトの面内構造は六角格子であるが、ABスタッキングにより6個の炭素原子のうち3個が若干浮き上がっているために三角格子状に見える。