

課題番号 : F-14-NM-0089  
利用形態 : 技術代行  
利用課題名 (日本語) : 原子間力顕微鏡による中性子ミラーの表面ラフネスの測定  
Program Title (English) : Measurement of surface roughness on neutron mirrors with AFM  
利用者名 (日本語) : 関 義親  
Username (English) : Y. Seki  
所属名 (日本語) : 理化学研究所 光量子工学研究領域 中性子ビーム技術開発チーム  
Affiliation (English) : Neutron Beam Technology Team, RIKEN Center for Advanced Photonics

## 1. 概要 (Summary)

素粒子物理学の標準理論を超える物理を探索する実験のひとつに中性子電気双極子モーメントの測定がある。

J-PARC では高密度超冷中性子を利用する高統計測定が計画されている。この実験では、物質表面のラフネスを人工的に制御することが重要になってくる。

現実の中性子光学素子の物質表面には nm から sub-nm オーダーの不規則な起伏が存在するために、理想的な平面による鏡面反射方向だけでなくあらゆる方向への散漫散乱(非鏡面反射)が生じる。とくに、波長 100 nm オーダーの超冷中性子ではこの非鏡面反射の寄与が顕著である。統計精度向上のためには、できるだけなめらかなミラー導管で効率よく中性子を輸送することが求められる。一方、測定容器中では中性子を偏りなく一様に分布させて系統誤差を抑えるために、適度な表面ラフネスが必要である。

そのため、われわれは中性子ミラーの表面ラフネスと非鏡面反射率の大きさの相関を調べている。本課題では、原子間力顕微鏡を用いて、いくつかのミラーのラフネス構造を測定した。

## 2. 実験 (Experimental)

### 【利用した主な装置】

- 原子間力顕微鏡 (SII ナノテクノロジー L-trace II)

### 【実験方法】

表面の研磨工程が異なる 4 種類のシリコンウエハに、膜厚約 100 nm の単層ニッケル・カーボン中性子ミラーをスパッタ製膜した。原子間力顕微鏡を用いて、各ミラーの表面形状をそれぞれ 5 点ずつ測定し、表面ラフネスを評価した。観察視野は  $1\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$ ,  $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$ ,  $90\ \mu\text{m} \times 90\ \mu\text{m}$  (それぞれ 512ピクセル×512ピクセル)で行った。また、中性子非鏡面反射については、J-PARC 物

質・生命科学実験施設 BL16 の中性子反射率計 SOFIA を用いて測定されている。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

測定された表面ラフネスの平均値を Fig. 1 にまとめる。視野  $1\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$  では、どのサンプルも同程度のラフネスであったが、視野の拡大とともに増加し、 $90\ \mu\text{m} \times 90\ \mu\text{m}$  ではサンプルごとの差異が明瞭に現れた。このラフネス値の大小関係は、研磨工程の精度および非鏡面反射成分の程度から期待されるものであった。以上から、物質表面の加工精度を制御することによって、非鏡面反射成分の増減が可能であることが示された。

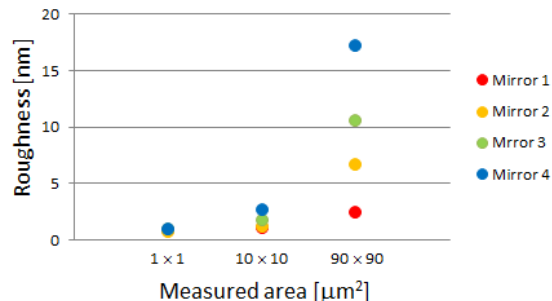


Figure 1: Surface roughness of neutron mirrors measured with AFM.

## 4. その他・特記事項 (Others)

原子間力顕微鏡を用いた測定は、NIMS 微細加工プラットフォームの渡辺英一郎博士に技術代行していただいた。ここに感謝申し上げる。

## 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし。

## 6. 関連特許 (Patent)

なし。