

13-4 中性子集光装置を高度化し中性子強度を 50 倍に高める —J-PARCで超高精度中性子楕円集光ミラーの性能を実証—

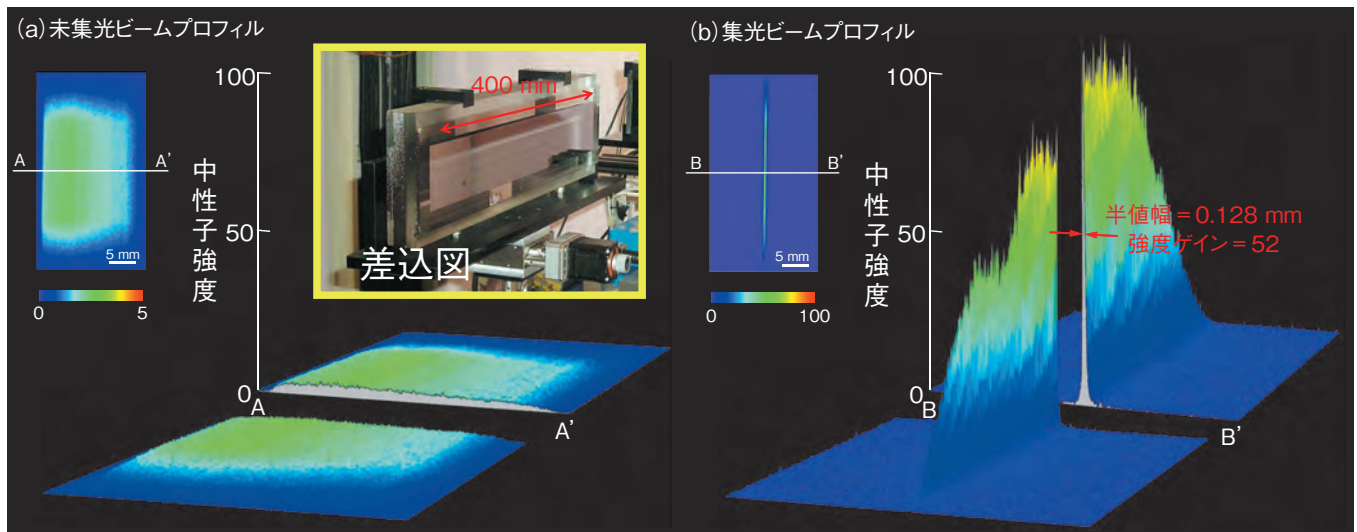


図 13-7 大面積一次元楕円スーパーミラーによる中性子集光像 (a) 未集光の場合 (b) 集光させた場合

イメージングプレートで計測した結果、集光半値幅は 0.128 mm、未集光と比べて 52 倍の強度が得られています。また、本実験に用いた大面積一次元楕円型スーパーミラー（長さ 400 mm の合成石英ガラス基板に NiC/Ti スーパーミラー ($m=4$) を蒸着）の写真を差込図に示します。

磁性体やタンパク質などの構造研究に用いる低速中性子は顕著な波の性質を持つため、中性子ミラーを使って集光すれば、その強度を増加させて実験時間を短縮したり、新しい測定法によって科学現象を探ることが可能となります。このため、J-PARC や諸外国の中性子実験施設では、新しい機能を持った高性能中性子集光ミラーの開発を精力的に進めています。

私たちはこれまでに世界最高性能の中性子多層膜スーパーミラーを開発した実績がありますが、このたび、超高精度の非球面表面創成技術を有する大阪大学と協力し、一次元楕円形状を持つ高性能中性子集光用スーパーミラーの開発に成功しました。

この開発では、私たちが開発した NiC/Ti 多層膜スーパーミラー（膜層数 1200 層）を採用しています。当該ミラーは、非等厚の多層膜によるブラッグ反射で通常のニッケルミラー（熱中性子を入射角 0.2 度で反射できる）より反射性能が 4 倍高く、また、薄膜の結晶粒を小さくすることで原子オーダーの多層膜界面粗さを実現し、良質の集光スポットを形成できます。

楕円筒形状基板の精密加工には、大阪大学が開発した

ローカルウェットエッチング法を用いました。これは、フッ化水素酸を石英基板に噴射し、その滞在時間を制御することで加工量をサブミクロンで制御するもので、加工ダメージの少ない新しい手法です。本加工では、長さ 400 mm の石英ガラス基板に形状誤差 0.43 μm 、表面粗さ 0.2 nm rms の超高精度表面形状の構築に成功しました。

私たちはこの集光ミラーを用いて、J-PARC の中性子源特性試験装置 (NOBORU) で、波長 0.2 ~ 1.0 nm の中性子を用いた中性子集光実験を行いました。スリットで横幅 0.1 mm に絞られたあと発散していくビームを集光ミラーで反射させた結果、スリットから 2 m 先の焦点で横幅 0.128 mm (半値幅) に集光させ、集光しない場合に比べて 52 倍の強度を達成できました (図 13-7)。また、集光位置周辺のバックグランド・レベルは、集光ピーク強度の 3 桁以下に低減されました。

この集光ミラーを応用すれば、微小な試料体積からのシグナルを増加させ、物質のナノ構造などを高効率で観測できるようになります。例えば、表面科学の分野では、自己組織化した高分子膜や次世代磁気記録薄膜などの面内構造の解析に役立つことが期待されます。

●参考文献

Nagano, M., Yamazaki, D. et al., One-Dimensional Neutron Focusing with Large Beam Divergence by 400mm-Long Elliptical Supermirror, Journal of Physics: Conference Series, vol.340, 2012, p.012034-1-012034-6.