

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007-2008
 課題番号：19760618
 研究課題名（和文） 高分解能中性子共鳴スピネコー法のためのビーム発散補正ミラーの開発
 研究課題名（英文） Development of a beam divergence correction mirror for high resolution neutron resonance spin echo
 研究代表者
 丸山 龍治（MARUYAMA RYUJI）
 独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARC センター・研究員
 研究者番号：90379008

研究成果の概要：中性子スピネコー測定におけるビーム発散によるエネルギー分解能の減少を抑えるために、1次元楕円面を近似した円筒面形状をもつ中性子スーパーミラーを試作し、MIEZE 型スピネコー実験を行った。その結果、集光スーパーミラーにより中性子共鳴スピネコー法の高エネルギー分解能化、高強度化が可能であることを示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,900,000	0	1,900,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	150,000	2,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：放射線工学・ビーム科学

1. 研究開始当初の背景

生体高分子の機能解明に繋がるダイナミクスを測定する手段として有効な中性子共鳴スピネコー法は、入射中性子の波長分解能を絞ることなく高エネルギー分解能が得られる。しかし、ビーム発散に対しては敏感であり、実際には neV 以上のエネルギー分解能を得るにはスリット系によりビームを絞って測定を行うのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、楕円の 2 焦点と楕円上の任意の点を結ぶ線分の和は常に等しいという原理を利用し、入射ビーム及び試料からの散乱ビ

ームを反射させて全ての中性子のフライトパス長を揃えるためのビーム発散補正ミラーを開発することにより、上記の共鳴スピネコー測定におけるビーム発散角に関する制限を取り除き高エネルギー分解能化と高強度化を実現することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 中性子共鳴スピネコー法の高分解能化を実現するためのビーム発散補正ミラーの設計、試作及びその集光特性測定実験を行う。

(2) 試作したビーム発散補正ミラーを用いてスピンエコー測定を行い、得られるスピンエコーシグナルからビーム発散補正ミラーにより中性子のフライトパス長が揃うことを実証する。

4. 研究成果

(1) 1次元楕円面を近似した円筒面基板上にニッケルの3倍の臨界角をもつ中性子スーパーミラーを成膜し、中性子集光実験を行った。その結果、幅 0.8 mm のスリットからの波長 0.39 nm の発散ビームに対して試作した円筒面ミラーで反射させると、0.44 m 下流において同じサイズに集光されることを示した。これは、フライトパス長のばらつき 0.0025% 以下を満たす楕円面集光が必要なスピンエコー実験に耐えうる集光性能をもつことを意味する。

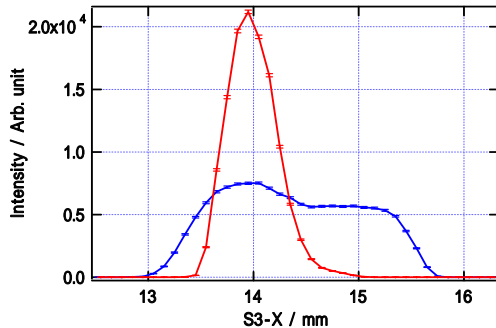


図 1：集光ミラーを用いたとき（赤）と用いないとき（青）のビームプロファイル。入射ビームと同じサイズに集光され、3 倍の強度のゲインが得られている。

(2) 試作したビーム発散補正ミラーを用いて MIEZE 型スピンエコー実験を行った。その結果、6 mrad の発散角をもつ入射ビームに対して円筒面スーパーミラーで集光する

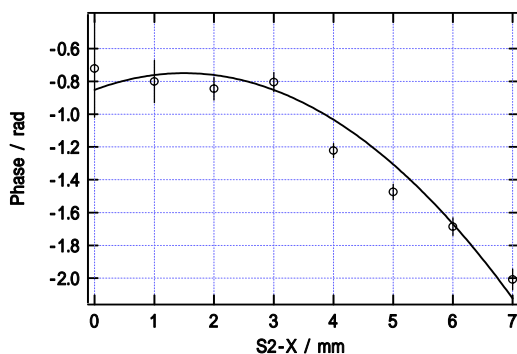


図 2：集光ミラー上の異なる場所で反射された中性子に対するスピンエコーシグナルの位相。実線は計算値。ミラー面上の異なる場所、即ち異なる発散角の中性子に対するシグナルの位相が予想どおりにシフトしている。

ことにより、発散角によるフライトパス長の差が補正されることを実証した。この結果は、集光スーパーミラーにより中性子共鳴スピンエコー法の高エネルギー分解能化、高強度化が可能であることを意味する。本研究のターゲットであるタンパク質等の巨大分子のスローダイナミクスに応用するには、集光ミラーの大面积化やスピンエコー分光器自体の高分解能化が課題である。

(3) 本研究における中性子集光ミラーの開発過程において中性子スーパーミラーの高性能化に関する研究開発を進めた結果、ニッケルの 3、4、6 倍の臨界角をもつスーパーミラーで臨界角における反射率がそれぞれ 90、80、40% という世界最高級の高反射率を実現した。さらに、スーパーミラーを集光素子へ

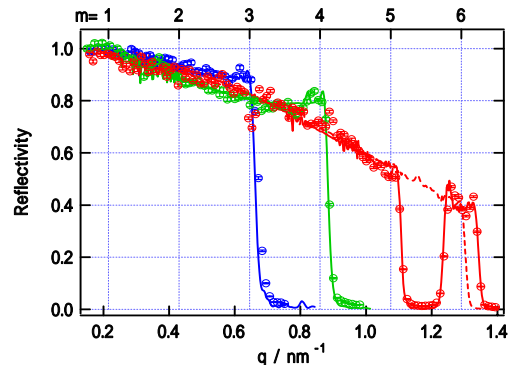


図 3：中性子スーパーミラーの反射率。ニッケルの臨界角の 3 (青) 4 (緑) 6 倍 (赤) のスーパーミラーで、臨界角における反射率はそれぞれ 90、80、60% である。

応用する際にはミラーからの散漫散乱を抑えることが重要であるが、多層膜界面粗さの界面間の相関を制御することにより、スーパ

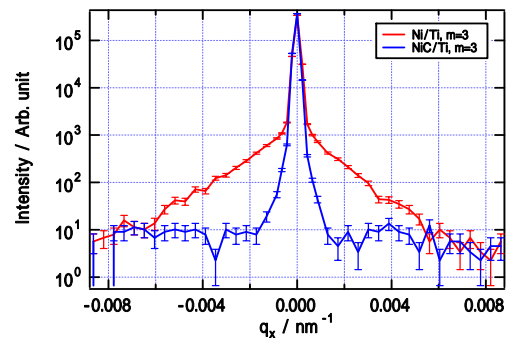


図 4：ニッケルに炭素を混入させることにより、スーパーミラーからの散漫散乱強度が既存のもの（赤）に対して 1 桁以上減少（青）させることができた。また、これが多層膜界面粗さの相関長の差により生じることを実証した。

ーミラーからの散漫散乱強度を著しく減少させることができることを実証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

R. Maruama, D. Yamazaki, T. Ebisawa, M. Hino, and K. Soyama, Supermirror coatings for the new spallation source J-PARC, Proc. of ICANS XVIII, p197-200, 2008, 査読なし

R. Maruyama, D. Yamazaki, T. Ebisawa, and K. Soyama, Development of high-reflectivity neutron supermirrors using an ion beam sputtering technique, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 600, 68-70, 2009, 査読あり

R. Maruyama, D. Yamazaki, T. Ebisawa, and K. Soyama, Effect of interfacial roughness correlation on diffuse scattering intensity in a neutron supermirror, J. Appl. Phys. 105, 083527(1-8), 2009, 査読あり

R. Maruyama, M. Hino, H. Hayashida, M. Kitaguchi, N. Achiwa, D. Yamazaki, T. Ebisawa, and K. Soyama, A beam divergence correction mirror for neutron resonance spin echo, Physica B, in print, 査読あり

[学会発表](計4件)

R. Maruyama, D. Yamazaki, T. Ebisawa, and K. Soyama, Development of high reflectivity neutron supermirror with ion beam sputtering technique, International symposium on pulsed neutron and muon sciences, Mito, Japan, Mar. 2008.

R. Maruyama, M. Hino, H. Hayashida, M. Kitaguchi, N. Achiwa, D. Yamazaki, T. Ebisawa, and K. Soyama, A beam divergence correction mirror for neutron resonance spin echo, International workshop on polarized neutrons in condensed matter investigations, Tokai,

Japan, Sep. 2008.

丸山龍治、日野正裕、林田洋寿、北口雅暁、阿知波紀郎、山崎大、海老澤徹、曾山和彦、高分解能中性子共鳴スピンエコー法のためのビーム発散補正ミラーの開発、日本原子力学会 2008 年秋の大会、高知工科大、2008 年 9 月

丸山龍治、山崎大、海老澤徹、曾山和彦、中性子スーパーミラーからの散漫散乱メカニズムの解明、日本物理学会第 64 回年次大会、立教大、2009 年 3 月

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

丸山 龍治 (MARUYAMA RYUJI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・

J-PARC センター・研究員

研究者番号: 90379008

(2)研究分担者

(3)連携研究者

(4)研究協力者

曾山 和彦 (SOYAMA KAZUHIKO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・

J-PARC センター・研究主幹

研究者番号: 90343412

山崎 大 (YAMAZAKI DAI)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・
J-PARC センター・研究副主幹
研究者番号：80391259