

平成23年 6月10日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19340065

研究課題名（和文） 精密冷中性子干渉光学技術の開発

研究課題名（英文） Development of high-precision cold-neutron-interferometry

研究代表者

舟橋 春彦 (FUNAHASHI HARUHIKO)

京都大学・高等教育研究開発推進機構・教授

研究者番号：00283581

研究成果の概要（和文）：

研究炉 JRR3 の単色冷中性子ビームライン MINE 2 において、多層膜冷中性子干渉計で初めて、2 経路のビームの全くオーバーラップのない干渉光学系を実現することに成功した。用いた中性子波長は 0.88nm、干渉縞のコントラストは 67% に達した。

本研究の成果により、一方の経路のみに挿入物を機能させる測定や、経路で囲まれる面積に対する幾何学的効果の測定など、冷中性子干渉実験による基礎物理学研究の可能性が拓かれた。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a new multilayer cold-neutron interferometer using a pair of beam splitting etalons(BSEs) with an air gap of 189 mm in spacing. This is the first multilayer neutron interferometer that separates two paths from each other completely without an overlap. Clear interference fringes with a contrast of 67% have been observed using a monochromatic cold-neutron beam with a wavelength of 0.88 nm at JRR-3.

The present accomplishment can advance further development of large-dimensional interferometers for long-wavelength neutrons, and open the way for new field of fundamental physics with slow neutrons.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2008年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010年度(繰越)	(2,900,000)	0	(2,900,000)
年度			
総計	12,500,000	3,750,000	16,250,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：粒子測定技術, 中性子, 基礎物理

1. 研究開始当初の背景

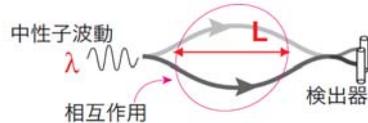
これまでシリコン単結晶を用いた中性子干渉計は、スピノルの 4π 回転対称性の検証や中性子波動に対する重力の影響の検証の他、物質の中性子屈折率の精密測定など基礎物理・物性物理に目覚しい成果を上げてきたが、干渉計の大きさと適用波長に関して限界があった。より長波長の中性子(冷中性子)に適用できる大型の干渉計の開発・応用によって微弱な相互作用検出の高感度化を図る多層膜冷中性子干渉計の開発と応用は世界に類のない日本発の独創的な研究である。

世界的研究拠点となる大強度陽子加速器計画 J-PARC 新パルス中性子源に、冷中性子干渉実験に最適な低発散ビームラインを建設している。これまでの定常炉での成果を踏まえ、パルス源を活かした成果が期待されている。

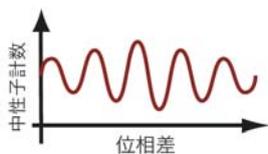
2. 研究の目的

大型多層膜冷中性子干渉計開発によって微弱な相互作用の検出感度に優れた新しい実験手法を確立し、基礎科学に超低エネルギー物理の新しい分野を拓くことである。

近年の原子線分子線の干渉計の進展に目を見張るものがあり、今後さらに物質波干渉光学の新概念・新技術の到来を期待したい。しかし、これまでのところ種々の様式で原子線分子線の干渉現象が計測されているが、分波された2経路の開き角を大きく取るとは難しく、干渉計を構成したときその2経路が囲む面積を大きく取ることが出来ない。原子線干渉計の基礎物理実験への応用の制限となるこの点を、同じく電荷を持たない有限質量の物質波である中性子線の干渉光学では克服出来る。また、原子線の多彩な自由度



$$\Delta\phi = 2\pi \frac{m\lambda L}{h^2} \Delta E$$



λ: 中性子波長
L: 相互作用する長さ
ΔE: 2経路のエネルギー差

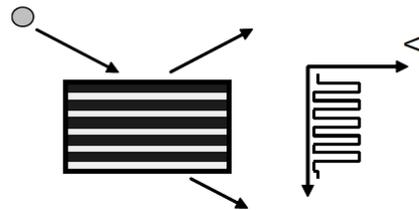
に比べ中性子はスピンのアップ・ダウンの別しか持たないが、物体に対して遥かに透過力に優れる。これらの原子線分子線と異なる特徴を活かして中性子線の物質波干渉光学を基礎物理実験に応用したい。

3. 研究の方法

干渉実験では、分離した一方または双方の分波を、装置または試料と相互作用させ、それぞれの分波に働く相互作用の違いを、重ね合わせた干渉縞のコントラストや縞のシフトから読み解く。相互作用の違いはそれぞれの分波の位相の進み具合に違いを与え、それが微小なものであっても、その位相はそれぞれの経路にわたってマクロな距離で積算され、重ね合わせにおいて互いの積算結果を参照し合い“差”として検出することになり、高い感度を得ることができる。

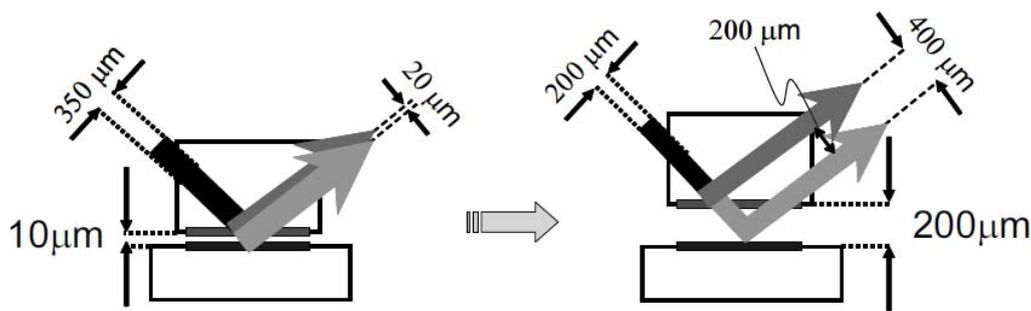
中性子の deBroglie 波としての特徴はその波長が長くなるほど顕著になるので、より長波長の冷中性子に適用できる干渉計の開発が重要になってくる。シリコン単結晶干渉計は、その結晶格子による中性子回折を利用しているため、適用できる中性子波長が必然的に格子定数の2倍の約 6\AA 以下に制限され、専ら波長 2\AA 前後の熱中性子にしか用いられない。また、干渉計の大きさが育成可能な単結晶の大きさによって制限されていると云う問題もある。

平面基板上に2種の金属を交互に積層した多層膜中性子ミラーは、面の法線方向に深



さの異なる矩形井戸の光学ポテンシャルが交互に並んだ長周期1次元結晶として機能し、長波長中性子(冷中性子)を取り扱うのに最も適した中性子光学素子である。また、複層厚・蒸着物質の組合せ・蒸着層数の選択により Bragg 角や反射率そして Bragg ピークの中としての分解能について任意に設計し製作することができる。

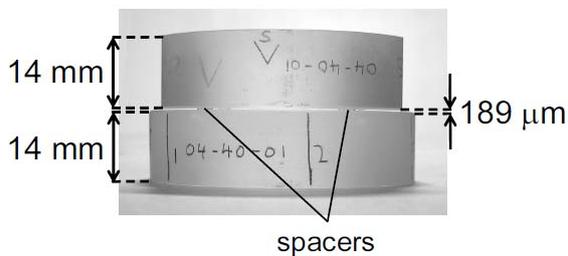
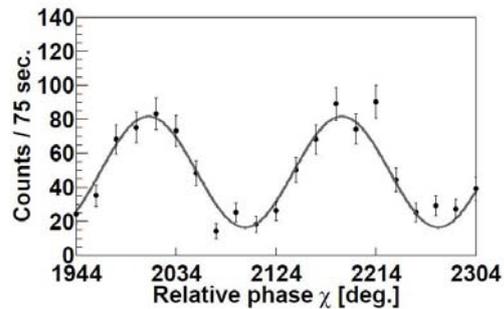
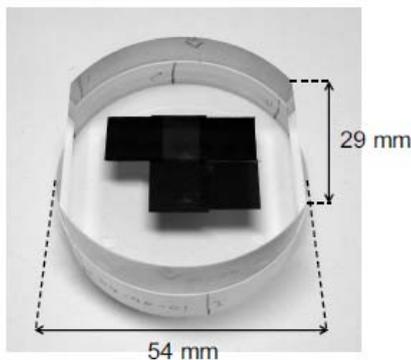
多層膜ミラーを用いた中性子干渉計の開発の意義は、適用波長の長波長化と、光学素子配置の自由度による干渉計の大型化にある。干渉計の光路長 L と中性子波長 λ に比例して、微弱な相互作用 ΔE で生じる位相差 Δφ の高感度計測の限界向上を図る。



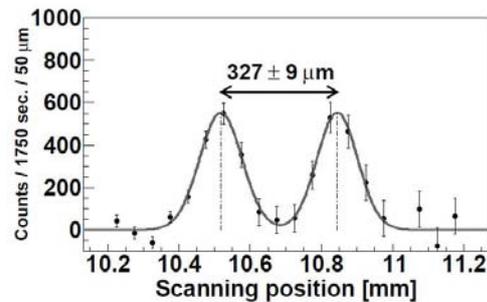
これまで、斜入射する冷中性子ビームを反射・分波させる金属多層膜の基板に、レーザー光学で用いられるエタロン基板を利用することで、ジャマン型多層膜冷中性子干渉計の実証に成功している。本研究では、この経路間隔を格段に向上させ、基礎物理実験への応用範囲を拡大する。

干渉計に遜色の無いものである。

用いた中性子波長は 0.88nm 、ビームスプリッティングエタロンの面間隔は 189μm クロンである。



2経路の分離したプロファイルが明瞭に確認できている。分離間隔は、多層膜基板の中性子屈折率を考慮した幾何光学により矛盾無く理解できる。



4. 研究成果

干渉計開発は、研究炉 JRR-3 における MINE 2 ビームラインにおいて進められた。環境要因等のこれまでの知見を踏まえ、MINE2 ビームラインの熱・磁場・振動などの外部環境の擾乱が干渉計に与える影響を検証し、干渉縞のコントラスト損失に大きく寄与している機械振動を抑えるべく除振台設置等のビームライン・光学ベンチの改造を実施し、これによって、干渉シグナルを得ることが出来た。

分離した2経路の干渉シグナルであることの有意性に疑うところは無いが、現在ではまだ制御し得ない環境要因に伴う位相のドリフトを、較正測定を繰り返しながら補正する解析が必要である。より高統計の測定を蓄積し原理実証をはっきり示すことが今後の課題である。

多層膜冷中性子干渉計で初めて、全くビームのオーバーラップのない干渉光学系が実現したことは、本研究の重要な成果である。

本研究の成果により、一方の経路のみに挿入物を機能させる測定や、経路で囲まれる面積に対する幾何学的効果の測定など、冷中性子干渉実験による基礎物理学研究の可能性が拓かれた。

達成した干渉シグナルのコントラストは、最適条件下では67%にもなり、従来の中性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

① Yoshichika SEKI, Haruhiko FUNAHASHI, Masaaki KITAGUCHI, Masahiro HINO, Yoshie OTAKE, Kaoru TAKETANI, and Hirohiko M. SHIMIZU, “Multilayer Neutron Interferometer with Complete Path Separation”, J. Phys. Soc. Jpn. 79, 124201 (5pp.), 2010. 査読有

② Kenji Mishima, ..., Haruhiko Funahashi *et al.*, (21名中15番目) “Design of neutron beamline for fundamental physics at J-PARC BL05” Nucl Instr. and Meth., A600(2009)342-345. 査読有

〔学会発表〕(計10件)

① 宇田純郎 “2経路を完全分離した多層膜冷中性子干渉計の開発” 日本中性子科学会, 東北大多元物質科学研, 2010年12月10日

② Kitaguchi, Masaaki, “Cold neutron interferometry” American Physical Society, 3rd Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan, October 13-17, 2009

③ 関 義親 “大型多層膜中性子干渉計による基礎物理 --2経路の完全分離--” 第2回 C1-3 連携重点課題研究会, 2009年7月15日

④ 北口雅暁 “冷中性子干渉計開発の現状と基礎物理” 連携重点課題研究会「中性子光学が拓く基礎物理、小角散乱の世界」東大物性研中性子科学研究施設, 2009年1月6日

⑤ 関 義親 “極冷中性子干渉計の開発” 日本物理学会 2008年秋季大会 山形大学 小白川キャンパス, 2008年9月23日

⑥ T. Seki, H. Funahashi, M. Hino, M. Kitaguchi, Y. Otake, K. Taketani, and H. M. Shimizu, “A new type of very-cold neutron interferometry” International Workshop on Particle Physics with Slow Neutrons. Institut Laue Langevin, Grenoble, France, 29 – 31 May 2008

⑦ M. Kitaguchi, “Neutron Interferometer at J-PARC”, The 4th International Workshop on Nuclear and Particle Physics at J-PARC, Mito, Ibaraki, Japan, March.05 to 07, 2008.

⑧ 関 義親 “基礎物理のための冷中性子干渉光学系の開発” 京都大学原子炉実験所専門研究会「中性子制御デバイスとその応用」大阪府熊取町, 平成20年1月17日

⑨ 北口雅暁 “J-PARC での中性子干渉実験” 京都大学原子炉実験所専門研究会 「中性子制御デバイスとその応用」大阪府熊取町, 平成20年1月17日

⑩ Y. Seki, H. Funahashi, M. Hino, M. Kitaguchi, Y. Otake, K. Taketani, and H. M. Shimizu, “Development of cold-neutron interferometer adapted to white neutron beams for precision measurements.” The International Nuclear Physics Conference, Tokyo, Japan, from 3 to 8 of June, 2007.

〔その他〕

ホームページ等

<http://kisobutsuri.k.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

舟橋 春彦 (FUNAHASHI HARUHIKO)
京都大学・高等教育研究開発推進機構・教授
研究者番号 : 00283581