HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	金属基板を使用した高性能大型中性子集束スーパーミラーの開発［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	武田, 晋
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12458号
Issue Date	2016-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/63323
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Shin_Takeda_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　武田 晋

審査担当者　主　査　特任教授　古坂 道弘
副　査　教　授　大沼 正人
副　査　准教授　加美山 隆
副　査　教　授　富岡 智

学位論文題名

金属基板を使用した高性能大型中性子集束スーパーミラーの開発
(Development of high-performance neutron focusing mirrors using metallic substrates)

現在、中性子散乱の施設としては、大型・中型の研究用原子炉、大型の陽子加速器を用いた施設 (英国 ISIS) などが使われている。さらに大規模な陽子加速器施設として、アメリカの SNS、日本の J-PARC が稼働を始めている。またそれを上回る大規模なヨーロッパの ESS が建造中である。しかし、これら大型の施設だけでは中性子を用いた研究の需要をまかなうことはできず、ここ数年、小型の加速器を用いた中性子源による中性子散乱・イメージング研究に注目が集まっている。北海道大学の HUNS がその提唱者・草分けであるが、世界中で幾つかの施設が稼働中あるいは建設中計画中となっている。

そのような中で、中性子ビームの輸送をするためのガイド管や集束ガイド管などによる高分解能化、中性子利用効率の向上等のための中性子光学素子の研究開発が進んでいる。さらに最近では連続曲面の中性子集束ミラー開発が行われはじめている。

従来はガラス基板が用いられてきているが、金属基板を用いることで加工が格段に容易となり、支持機構への取り付けに対しても有利である。さらに金属基板表面にアモルファスである無電解 NiP メッキを用いることでガラスと同程度の表面粗さが実現できる。これまで二次曲面のミラーにスーパーミラー多層膜を成膜した例はなかったがそれも可能になっている。この博士論文ではそのような研究開発に関し以下の様な記述をしている。

第 1 章は序論である。

第 2 章では小型平板形状の試験片を用いて加工の手法を開発、表面粗さの計測、中性子反射率測定による評価に関して記述している。試験片の表面粗さは 0.6 nm rms を達成し、中性子反射試験によって散漫散乱強度の低減を示している。さらに NiP メッキの表面にスーパーミラー多層膜が問題なく成膜可能であることを確認している。

第 3 章では、回転楕円形状の集束ミラーの加工、表面粗さ・形状精度の計測をするための手法を開発し、小型の試験片でその確認をしたのでそれについて述べている。さらに、小さな曲率半径を持つ回転楕円面に対してスーパーミラー多層膜が設計通り成膜出来ることを確認するとともに、中性子集光実験を行い、FWHM で φ1.0 mm まで集光できることを確認している。

第 4 章では、J-PARC の水平型反射率計 BL06 において局所反射率を測定するための一次元楕円面形状ミラーについて述べている。通常のように 2 箇所のスリットで入射ビームをコリメートすると極端に狭いスリットが必要になり、ビーム強度損失が大きくなってしまうが、集束ミラーを用

いればそのような損失を避ける事ができる。全長 550 mm の大型の楕円面形状ミラーを 2 つの対称な形状のミラーセグメントに分割製作し、形状誤差は 4.6 μm P-V、基板の表面粗さは約 0.3 nm rms と非常に優れたものを完成させている。Ni の 3 倍の臨界角を持つスーパーミラー多層膜の成膜をし、中性子を用いた測定で、臨界角付近で 60〜80% の反射率を示すこと、ビームを半値幅で 0.4 mm まで集束できることを確認している。さらに実際にこれを J-PARC の試料水平型中性子反射率計に導入し、スリットを用いてビームをコリメートした場合に比べて、3.3 倍の計数率が得られることを確認している。

第 5 章では、小型集束型中性子小角散乱装置 (mfSANS) に用いるための回転楕円形状の集束ミラーについて述べている。300 mm 長さのミラーで、回転軸方向 60 度分のミラーを作製している。この 60 度を 3 分割したものと一体型のものを作製し、縦方向に分割したものでも問題ない性能が出ることを確認している。最終的な集束ミラーの表面粗さは約 0.3 nm RMS、形状誤差は 3μm P-V であった。φ1.3 mm FWHM に集束できることが確認された。

第 6 章は要約である

これを要するに、本論文は金属基板を用い、大型のスーパーミラー成膜を施した分割型中性子集束用ミラーの製作手法を確立し、それを実際の中性子散乱実験に適応することに関する研究をまとめたものである。金属基板を用い、NiP を表面にメッキしたものを超精密切削、機械研磨することで表面粗さを 0.3nmRMS 以下に押さえ、その上にスーパーミラーを製膜することに成功している。J-PARC の水平型反射率計 BL06(SOFIA) において局所反射率を効率的に測定するための一次元楕円面形状ミラーの製作をし、実際にこれを用いることで従来の装置に比較し 3.3 倍の効率で測定可能としている。さらに、小型集束型の中性子小角散乱装置に利用可能な、300mm 長さの回転楕円面を持った集束ミラーを製作することに成功している。これにより従来の同等品に比べ半分程度の φ1.3mm に集束した中性子ビームを得ている

このような高精度二次曲面の中性子光学素子はその他の多くの中性子実験装置に応用可能なものであり、重要な研究開発である。さらにこの手法を用いることで高精度の中性子反射面が作製でき、製作にかかる時間も大幅に減少している。このため、広い範囲の中性子散乱装置に関して大きなインパクトがある。よって著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。