

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 姚 有 为

論 文 題 目 Theoretical analysis, design and fabrication
of supermirrors for hard X-ray telescopes

(硬 X 線望遠鏡に用いるスーパーミラーの理論的解析
および設計とその製作)

論文審査担当者

主査 名古屋大学大学院理学研究科 教授 理学博士 國枝秀世

委員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士(理学) 金田英宏

委員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士(理学) 清水裕彦

委員 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 博士(理学) 竹内努

委員 愛媛大学大学院理工学研究科 教授 理学博士 栗木久光

論文審査の結果の要旨

硬 X 線望遠鏡において、10-80keV 領域の硬 X 線反射率を高めるためには、例えば Pt と炭素を層厚 nm 程度、積層数 100 ペア程度の多層膜反射鏡を用いる。特に層厚を徐々に変化させ、広い帯域で高い反射率をもたらすスーパーミラーが名古屋大学を中心に開発されて来た。申請者は、その性能向上のため、多層構造内の X 線の伝搬を理論的に理解し、目的とする改良型多層膜の設計と試作に成功した。

申請者は研究の最初のステップとして、これまでの多層膜内の X 線伝搬の理論的な理解を深め、InFOC μ S 気球実験や ASTRO-H 衛星搭載用望遠鏡に用いられたブロック型スーパーミラーの設計を理論的に裏付けた。すなわち、これまで経験的に用いられて来た、設計指針を理論的に裏付けたものである。また、興味ある波長域以外の反射率 (Side lobe) を削減する手法も確立した。

硬 X 線望遠鏡には、これまで経験に基づいてスーパーミラーを設計し、注目するエネルギー帯域における積分反射率を最大にするものを用いて来た。その設計では、1 枚ずつの反射率には 50%近い振幅でエネルギーに対し振動する構造が見られるが、200 枚に及ぶ反射鏡を用いるため、お互いに打ち消し合い、望遠鏡全体では比較的小さくなるとしてこれを用いて来た。しかし、感度の高い観測ではその構造が見え始める可能性が指摘され、1 枚ごとの反射率において、構造のないスーパーミラーが求められる。そこで申請者は、スーパーミラーの理論的理解に基づいて、硬 X 線望遠鏡に用いられて来たスーパーミラーの反射率がエネルギーに対し細かく振動する構造 (リップル) を除去する設計を行った。その結果、通常的手段で設計したスーパーミラーの周期構造を起点に、1 層ずつ厚みを変化させ、リップルを無くす手法を確立した。同時に、個々の層厚が設計値とずれた場合の影響を調べ、目標を達成する為の層厚の精度が 0.02 nm であることを導いた。このスーパーミラーを用いれば、望遠鏡全体でも凹凸 2%以下の滑らかな感度が得られることを示した。

次にこの設計に基づくスーパーミラーを試作し、その反射率の角度依存性 (@8.0 keV) とエネルギー依存性 (@0.28°) を測定した。その反射プロファイルに含まれるリップルは、目標とした 2%以下であることが確認された。これは、今回用いた Pt/C スーパーミラー成膜システムの層厚精度が十分であることも示している。更に申請者は、同じ設計手法を応用して、測定された反射率プロファイルから逆にその反射率を生む多層膜構造の再構成に成功した。

申請者の成果は、次世代の硬 X 線望遠鏡に限らず、実験室の X 線光学系にも有効であり、今後の X 線光学への応用に新しい道を開いた。この内容の内、理論論文が既に出版され、実験論文は現在審査中である。

以上の理由により、申請者は博士 (理学) を授与される十分な資格があるものと認められる。