

論文審査の結果の要旨

氏名 榎坪 宏展

本論文は、現状では製作が困難な $30\ \mu\text{m}$ を越える波長域での高い性能の光学バンドパスフィルターが、新たな技術を導入することにより実現できることを示した開発研究であり、このフィルターは計画中的の冷却赤外線望遠鏡 SPICA への搭載などの期待がかけられる。 $30\ \mu\text{m}$ を越える波長域では、適切な材料が存在しないことから、これより短い波長域で行われている干渉フィルター製造技術を適用することが困難である。本論文では単一材料としてのシリコン結晶材料に波長よりも小さな空隙構造を設けることにより、原材料よりも屈折率が小さな光学材料が製作できることを示し、さらに、これらを用いて多層膜構造を形成することにより、高性能な光学フィルターが実現できることを示した。こうして作られたフィルターは、高い透過率と急峻な矩形状の波長透過特性を備えて光学フィルターとしての特性は極めて優れたもので、十分な耐冷却性能や打ち上げ時の大きな重力加速度、急激な圧力変化に耐えられるなどの衛星搭載のための条件も満足する。

本論文は六章からなり、第一章はイントロダクションとして、 $30\ \mu\text{m}$ 超波長帯での天文学、さらには既存のフィルターとその製作技術の現状、求められるフィルター性能とそれを実現できるサブ波長構造をもった干渉フィルターの原理・概要についてが述べられている。第二章では、サブ波長構造を持ったシリコン構造体の有効屈折率を評価するために、構造の周期性を利用した、厳密結合波解析を用いた電磁場シミュレーションを行った。サブ波長構造をある屈折率を持った単一材料に置き換えて、標準的な薄膜設計手法を用いて三層膜フィルターの光学透過特性を計算し、これが厳密解と良く一致することを確認した。

第三章では、サブ波長構造を持った、三層膜フィルターの製造手法が示される。半導体の製造に一般的に利用される技術をベースにしたもので、フォトリソにパターンの露光、ドライエッチング、シンニングなどを繰り返し、サブ波長サイズの円柱状穴構造の多層膜を形成する。ほとんどの作業を論文提出者がインハウスにおいて行ったもので、基本となる三層膜からなるフィルターを製作した。より高い性能を得るためにはより多層の干渉膜を構成する必要があるが、三層膜の製作技術をくりかえすことで、これは実現可能である。第四章では、製造された多層膜フィルターの透過率の測定、透過特性の一様性の測定などを行い、フィルターとしての機能が実際に実現されていることが示される。電子顕微鏡によって得られた画像には、見事な円柱状のサブ波長構造が現れる。

第五章では、SPICA搭載性能を想定し、18層の干渉フィルターの設計が示される。より多層の干渉膜を用いてフィルターを製作するためには、それぞれの膜の製作精度を高める必要があるが、そのための現実的な解決策として、絶縁膜を内包したシリコンオンインシュレーターウェハを採用するなどの手法を提案した。最後の第六章は結論にあてられている。

以上のように、本論文はサブ波長構造を用いることにより、シリコンという単一材料を用いながら実質的な屈折率を制御し、多層膜干渉フィルターが実現できることを、理論的かつ実験的に実証したものである。これにより、既存技術では、実現できなかった $30\mu\text{m}$ 波長帯における、より高性能なバンドパスフィルターが製作できる見通しがたったと言える。アイデア自体は以前からあったものであるが、本論文申請者により、新たに設計手法、製作技術が確立された。いずれも実験により、実現性が高いことが実証されており、SPICAなども含めて、将来の赤外線天文学に大きく貢献する成果であると認められる。

なお本論文は和田武彦、三田信、鈴木仁研との共同研究であるが、論文提出者が主体となって、開発、研究を進めたものと認められ、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、審査委員の全員一致により合格と判定し、博士（理学）の学位を授与できると認める。