

氏 名 和瀬田 幸一

学位（専攻分野） 博士(工学)

学位記番号 総研大乙第86号

学位授与の日付 平成13年3月23日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学位論文題目 Production of broad band AR coatings with total
reoptimization of layer thicknesses

論文審査委員 主 査 教授 家 正則
教授 唐牛 宏
助教授 野口 卓
助教授 齊藤 芳男
助教授 大橋 正健 (東京大学)

論文内容の要旨

The present thesis describes experimental studies of fabrication of high performance broad band anti-reflection (AR) coatings with Ion Beam Sputtering (IBS) deposition technique.

The fabrication of complex optical multilayer coatings can be often difficult because the layer thicknesses and optical constants of the individual layers depart from the desired values for various reasons. And the tolerances on the layer thicknesses and refractive indices in broad band AR coatings are often very strict. Small deviations may completely ruin the performance of the system. Therefore, there is a real need for a method that would compensate for such discrepancies.

To fill this need, reoptimization techniques must be considered, in which errors of all layers are determined after the first complete deposition, and run the second deposition with reoptimized design. The error determination process is a kind of problem to find the minimum of a function, and it is very complex because of the great number of local minima.

In this thesis, a reoptimization method to determine and refine deposition errors of multilayers is described. And the results of numerical simulations on the effectiveness of various reoptimization strategies are presented. It is emphasized that adding some kinds of restrictions is effective to avoid the local minima problem.

To demonstrate the performance of the method, several kinds of broad band AR coatings were fabricated. The theoretical and measured spectral reflectance curves of these multilayers closely agree with one another over broad spectral regions.

And types and causes of fluctuations of multilayer during deposition are discussed.

In Chapter 1, a historical background and the purpose of the present study is outlined,

In Chapter 2, examples of broad band AR coating design and its dependence on the number of layers, film materials, and deposition errors are presented. And the need for reoptimization is emphasized.

In Chapter 3, deposition error determination techniques to improve the actual performance of broad band AR coating using Simulated Annealing are described. It is shown that the simulated annealing method is effective in the field through numerical simulations.

In Chapter 4, the results of experiments of the performance improvement mentioned in previous chapters are described. And it is shown that the designed and measured spectral reflectance curves of these multilayers closely

agree with one another over broad spectral regions as the result of the improvement.

In Chapter 5, several aspects of the deposition error with IBS are discussed, It is emphasized that accurate measurement is necessary for further performance improvement.

In Chapter 6, main conclusions obtained throughout the present study are summarized, and remaining problems to be solved in future are described.

論文の審査結果の要旨

本論文は、優れた低反射率性能を持つ広帯域反射防止膜を「イオンビームスパッタ法」によって実現するための開発研究、及びそのために必要な解析手法について、申請者が行った実験的研究の成果をまとめたものである。

一般に、残留反射率の低い広帯域反射防止膜の成膜法としては蒸着法が広く用いられている。一方、イオンビームスパッタ法には、高い機械的強度を持つ膜や低損失の膜が基板加熱無しで製作可能等の極めて重要な利点があるにもかかわらず、フッ化物の成膜が難しいために、低反射率性能で蒸着法と同等程度の膜を得ることが困難であった。

申請者は、この困難を解決するため、イオンビームスパッタ法が高い再現性を持つ点と、高精度の膜厚制御が可能な点に着目し、多層膜の各層の膜厚を蒸着法より格段に高精度に成膜することによって、フッ化物の蒸着法に匹敵する低反射率性能をもつ広帯域反射防止膜を製作するための手法を独自に開発し、実際にイオンビームスパッタ装置によって製作出来ることを実証した。研究開始当時の目標値（波長帯域および残留反射率の設計値）と学位論文完成時点で示された実現値を具体的に比較し、この研究目的が達成されたことを確認した。

申請者は、まずイオンビームスパッタ装置の立ち上げ作業から着手し、様々な成膜プロセスの実行と測定を粘り強く繰り返すことにより、基本的な装置の特性を把握した。

最終的には、23層の反射防止膜の薄膜設計デザインを摂動させて、実装された膜の反射特性の測定結果を正確に再現する膜厚分布の解を精度よく求めることに成功した。ここではSimulated Annealing Algorithmという解析手法をスーパーコンピュータ上で実行している。これは、実装膜の波長毎反射率と、各層の膜厚を摂動させた設計膜の波長毎反射率の差を、局所的な極小値の留まることなく真の最小値まで導くのに極めて有効な手法であることが立証された。この手法により、反射特性の改善のために膜厚修正をどのように行えば良いかの指針を明確に得ることができるようになり、イオンビームスパッタリング法による高性能の反射防止膜を実現する手順が確立された。

このような成膜・測定・解析という一連のプロセスを、見通しよく進行させてきた能力を審査委員一同が一致して高く評価した。

申請者の研究成果は、すばる望遠鏡の観測装置や可視赤外線域の検出器などの性能を大きく向上させる可能性を追求した実験開発研究であり、ユニークな貢献であることが確認された。今後はさらに狭帯域フィルターや高反射ミラー等にも研究対象を広げてゆくことが期待されている。

以上の判断に基づき、本審査委員会は、全員一致により、本論文は博士（工学）の学位を受けるにふさわしいものであると判定した。