

|         |                           |      |        |
|---------|---------------------------|------|--------|
| 氏名(本籍)  | ほしのてつや (東京都)<br>星野鉄哉(東京都) |      |        |
| 学位の種類   | 博士(工学)                    |      |        |
| 学位記番号   | 博甲第4583号                  |      |        |
| 学位授与年月日 | 平成20年3月25日                |      |        |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当              |      |        |
| 審査研究科   | 数理物質科学研究科                 |      |        |
| 学位論文題目  | 共鳴領域を利用した波長無依存の回折格子の設計    |      |        |
| 主査      | 筑波大学客員教授                  | 工学博士 | 谷田貝 豊彦 |
| 副査      | 筑波大学教授                    | 理学博士 | 青木 貞雄  |
| 副査      | 筑波大学教授                    | 工学博士 | 伊藤 雅英  |
| 副査      | 筑波大学講師                    | 理学博士 | 野田 英行  |

## 論文の内容の要旨

回折格子は、分光の目的以外に、反射防止板や光拡散板などに利用されている。このような目的の回折格子は、格子周期が波長以下の構造で実現されていた。本論文では、それよりの周期の長い構造についての研究である。ここでは、回折格子の格子周期が波長から、波長の数十倍の領域を共鳴領域とよぶ。共鳴領域の回折格子は、集光、光拡散など多くの機能を有しているが、光学素子としての基礎となる反射率および回折角に関する設計指針は十分検討されてきていなかった。ここでは、無反射や偏光選択などの新たな機能を持った光学素子を開拓することを目的として、共鳴領域における回折格子の設計法を研究した。産業上重要な可視白色光に着目して検討を行った結果、全反射率および回折角について波長依存性を低減する手法を見出した。また、無反射や偏光選択の光学素子ができることを計算と実験で示した。

本論文で開発した無反射構造の具体的な用途としては、液晶ディスプレイのパネル前面の反射防止が挙げられる。このような用途では、外光の反射を抑えるだけでなく、映像の色が分光されて虹が見えないこと、映像の光が適度に拡散されることなど、いくつかの光学特性に条件が課せられる。虹は、波長によって回折角度が異なるときに、白色光が7色に分かれるために生じるものである。そこで、本論文では、空気層から回折格子に光が入射する場合を case A、回折格子から空気層に光が出射する場合を case B として、それぞれの場合について、光学特性の波長依存性を検討した。光学特性については、すべての方向に反射された光量の指標として全反射率を、どの方向に反射されたかの指標として最も高い回折効率の回折角度を用いた。

本論文では三角形の回折格子で周期/波長を10以上にすることで、波長依存性を小さくできることが示されているが、この方法では通用しない例外的な場合についても、波長依存性を検討した。このために、厳密結合波理論(RCWA)法や精度が高い非標準時間領域差分法(NS-FDTD)法で、物理光学の適用可能な大きい周期の回折格子を計算し、共鳴領域の回折格子の計算結果と比較した。共鳴領域の三角形溝構造の回折格子についてRCWA法を用いて全反射率を計算した結果、アスペクト比が1で、TEモードでは、反射率0.2%以下の無反射構造が実現できることがわかった。しかし、この回折格子では波長変化に対して、全反射や回折角の変動が生じた。

そこで更に、NS-FDTD法でこの反射率変動について電場解析を行った結果、電場の強い領域と回折格子

表面と裏面の位置関係で波長による全反射率の周期的変化を説明できることがわかった。この結果に基づいて、波長による回折角や透過率変動が小さい三角形溝構造の回折格子を設計する手法として、電場の強い領域サイズ以上の大きさで周期や深さを変調する場合の設計指針が得られた。また、無反射構造を実際に作製、評価して、計算結果の確認を行った。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、設計手法が確立されていなかった共鳴領域の回折格子の無反射構造をはじめとする光学素子設計手法に関するもので、厳密な回折計算手法を用いて、全反射率を計算した結果、アスペクト比が1で、TEモードでは、反射率0.2%以下の無反射構造が実現できることを示した。さらに、この方法の欠点であった、色分散による影響を、除去するため、反射率変動について電場解析を行った結果、電場の強い領域と回折格子表面と裏面の位置関係で波長による全反射率の周期的変化を説明できることがわかった。この知見をもとに、共鳴領域において波長分散や透過率変動の少ない格子構造の決定のための設計手法を確立した。

このように本論文述べられた技術は、周期が波長程度から数十倍程度の共鳴領域において、回折光学素子設計のために、波長分散や反射率、透過率などの基本特性を決定するための基本手段を提供するもので、回折光学素子の設計・評価に新しい実用的な設計指針を与えるものである。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。