

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20860082

研究課題名（和文）短波長領域における光波面制御を目指したガラス材料三次元ナノ構造に関する研究

研究課題名（英文）The study of optical wave controlled glass based three-dimensional nanostructures for the short-wavelength visible region

研究代表者 佐久間 実緒（SAKUMA MIO）

仙台高等専門学校・知能エレクトロニクス工学科・助教

研究者番号：70515139

研究成果の概要（和文）：可視域短波長から紫外域における光学素子を実現するためには、100 nm スケールの微細加工と光波面制御技術の開拓が必要になる。そこで本研究では、ガラス系酸化材料の光学多層膜と細線周期構造を組み合わせた回折格子型の三次元ナノ構造を提案し、この構造におけるガラス材料の選択と設計、回折特性のシミュレーション、作製プロセスの検討を行い、さらに三次元ナノ構造の微小領域における光学特性を精度よく評価のための測定システムの構築を行った。

研究成果の概要（英文）：Optical wave control technology and 100 nm scale minute processing skill are needed to realize optical crystals for short-wavelength visible region to ultraviolet region. In this study, we proposed the three-dimensional photonic crystal with put together oxide material based optical multilayer and periodically aligned nanowires. The periodic structures were designed and optical characteristic of three-dimensional photonic crystals were investigated. In addition, the preparing process of the three-dimensional structure and the high-precision measurement system were constructed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,330,000	399,000	1,729,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物性・結晶工学

キーワード：フォトニック結晶、光物性

1. 研究開始当初の背景

回折格子を用いた合波素子などの高性能な光学素子に関する研究開発は、今まで主として光通信の波長 1.5 μm 帯域に対して行われてきた。一方、可視域短波長から紫外領域に対する光学素子は、今後様々な分野において需要が高まってくると考えられる。例えば、有機物の光反応における発光や光分解などのその場観察、医療や生体材料などの分光分析、紫外環境対策などの環境モニタリング、青紫レーザーを用いた超高密度光ディスク用ピックアップなどである。しかし、このような短波長領域においては、100 nm 程度以下のナノ構造を用いた光波面制御技術の開拓が必要になる。さらに、通常のグレーティング型回折格子ではその回折角度が小さいため分光器の光路長（サイズ）が大きく、上記の応用には不適である。また、材料であるガラス系酸化物で精度の高いフォトニッククリスタル構造を実現することは非常に重要な技術と考えられる。

2. 研究の目的

医療や生体材料の分光分析、紫外線環境対策などへの応用のため、可視域短波長から紫外域における光学素子の需要が見込まれる。このような短波長領域の光学素子を実現するためには、ガラス系酸化物材料を用いた 100 nm スケールの微細加工と光波面制御技術の開拓が必要となる。そこで、短波長領域における光波面制御を目指したガラス材料三次元ナノ構造を提案する。屈折率の異なるガラス系酸化物材料の光学多層膜（一次元ナノ構造）と、細線周期構造（二次元ナノ構造）を組み合わせることにより、三次元ナノ構造を精度よく作製していくことができる。また、この構造においては、回折角度とその波長依存性を独立に制御することが可能になり、様々な光の波長に対応して回折効率が非常に高い光学素子を実現できると見込まれる。

本研究では、ガラス系酸化物材料三次元ナノ構造の実現を目指し、三次元ナノ構造の光回折特性に関する設計とシミュレーション、材料と作製プロセスの検討、光学特性評価システムの構築を目的とする。

3. 研究の方法

(1) ガラス材料三次元ナノ構造の回折特性に関するシミュレーション計算と設計

光学多層膜の材料である SiO_2 や TiO_2 をはじめとする様々なガラス系酸化物材料による多層膜構成と膜厚、細線幅や細線間隔などのナノ構造を仮定し、得られる光学特性（透過や反射、回折角度や方向、波長依存性）を Finite Difference Time Domain (FDTD) 法により、シミュレーションを行う。

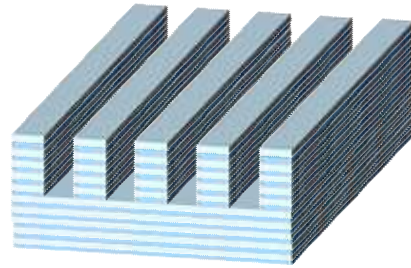


図 1. 本研究で提案するガラス材料三次元ナノ構造

(2) ガラス材料三次元ナノ構造の作製プロセスの検討

超高真空スパッタによりガラス材料光学多層膜を作製する。そして、その光学多層膜を用いて、電子線リソグラフィーとドライエッチングにより細線構造を作製する。

(3) ガラス材料三次元ナノ構造の光学特性評価のための測定システムの構築

広帯域光源として白色光を用いて、三次元ナノ構造の微小領域における回折特性などの光学特性を、迅速に評価する測定システムを構築する。

4. 研究成果

(1) ガラス材料三次元ナノ構造の回折特性に関するシミュレーション計算と設計

光学多層膜構造における透過率および反射率のシミュレーション計算を行った。図 2 に $\text{Si}_{(100)}$ 基板上的 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 多層膜と $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 多層膜の反射率を示す。膜厚はそれぞれ 100 nm、積層周期は 10 周期である。多層膜構造における透過率および反射率の波長依存性は、ガラス系材料の組み合わせ、積層膜厚、積層回数、積層周期に依存するため、これらのパラメータを変化させることで、短波長領域において高い反射率または透過率をもつ多層膜構造を実現できることが分かった。

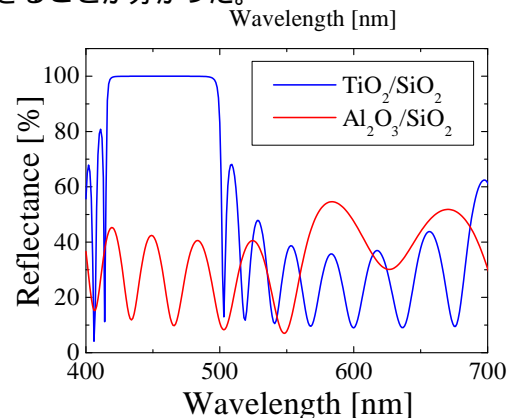


図 2. 光学多層膜の反射率の波長依存性

(2) ガラス材料三次元ナノ構造の作製プロセスの検討

超高真空スパッタにより、 SiO_2 や Al_2O_3 のガラス系材料光学多層膜の作製を試みたが、スパッタレートが遅く、設計した光学多層膜作製に多くの時間を要するため、光学多層膜の作製には、高周波イオンプレーティング法の導入を検討した。

図3にガラス材料三次元ナノ構造の作製プロセスの模式図を示す。Si 基板上などに作製した光学多層膜にレジストを塗布し、電子線リソグラフィーにより、数 100 nm スケールの細線周期構造を描画する。次にレジストを現像し、Ti などの金属薄膜を堆積させる。残ったレジストをリフトオフすると、金属薄膜のマスクが残る。これをドライエッチングし、マスクを取り除くことで、光学多層膜を細線周期構造に加工したガラス材料三次元ナノ構造が作製される。ドライエッチングにおいては、ガラス系材料を選択的にエッチングするために、アルゴンガスと酸素ガスの混合ガスを用いたドライエッチング法の導入を検討した。

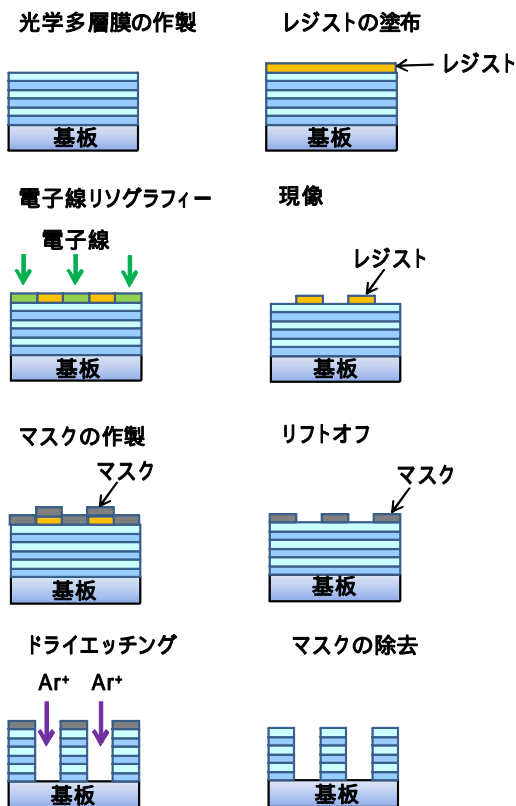


図3．三次元ナノ構造の作製プロセス

(3) ガラス材料三次元ナノ構造の光学特性評価のための測定システムの構築

図4に光学特性評価システムの模式図を示す。広帯域光源であるハロゲンランプからの白色光をレンズにより集光して試料に照射し、その回折光を光ファイバでマルチチャンネル分光器に取り込み、スペクトルとする。試料台を自動回転ステージ上に固定し、その回転角度を制御することにより、回折光の入射角や反射角に対する波長依存性を測定することができる。自動回転ステージは、グラフィカルプログラミング環境であるLabVIEWを用いて、0.05度の精度で自動制御することにより、回折特性を高精度で迅速に測定できる光学測定システムを構築した。

図5に凸レンズを用いて入射光を集光した場合における回折スペクトルの入射光角度依存性を示す。測定用試料には分光器用の反射型回折格子（格子間隔 $6.7 \mu\text{m}$ ）を用いた。横軸は波長、縦軸は入射角度、紙面方向は回折スペクトル強度を示す。凸レンズによる集光では、入射光に入射角度分布が生じるため、反射スペクトルの半値幅に広がり観測されることが分かった。そこで、集光レンズに発散光を平行光とするアクロマティックレンズによる集光を試みた。図6にアクロマティックレンズによる集光における回折スペクトルの入射光角度依存性を示す。スペクトルの半値幅の広がりが低減され、半値幅の狭いスペクトルが観測できた。

図7にSi基板上に電子線リソグラフィーとリフトオフにより作製した試料面積が 1 mm^2 のTi細線周期構造（細線間隔 $1.2 \mu\text{m}$ ）の回折スペクトルを示す。微小な領域においても光学特性評価が実現できる測定システムを実現した。

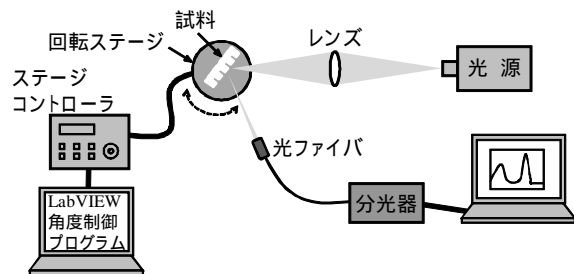


図4．測定システムの模式図

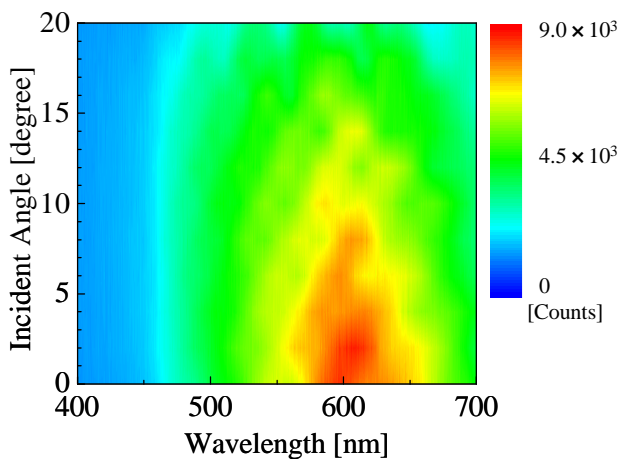


図5．回折スペクトルの入射光角度依存性
(凸レンズ)

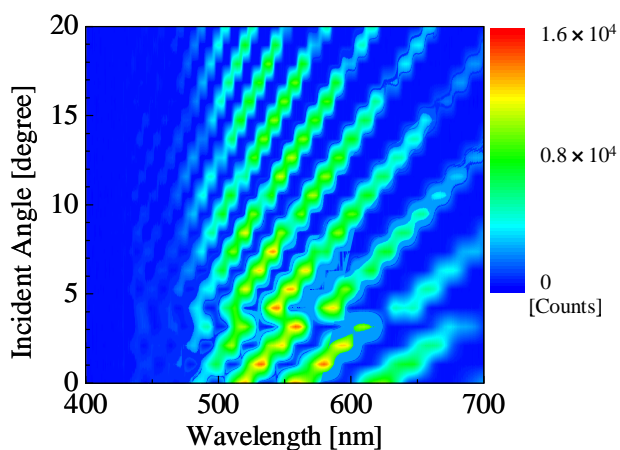


図6．回折スペクトルの入射光角度依存性
(アクロマティックレンズ)

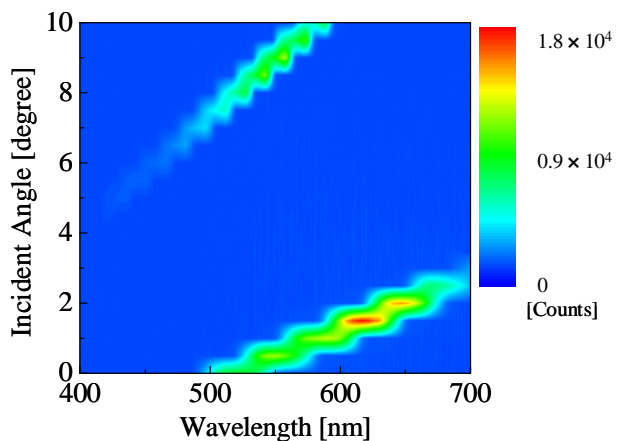


図7．細線周期構造における回折スペクトルの入射光角度依存性

5．主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計0件)

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等 開設なし

6．研究組織

(1)研究代表者

佐久間 実緒 (SAKUMA MIO)

仙台高等専門学校・知能エレクトロニクス

工学科・助教

研究者番号：70515139

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし