

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	In situ assembling of glass microspheres for 3D optical micro device by UV-NIR dual-beam optical tweezer system
著者(和文)	TANGHengjie
Author(English)	Hengjie Tang
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12132号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:矢野 哲司,松下 伸広,生駒 俊之,VACHA MARTIN,松下 祥子
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12132号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	TANG HENGJIE	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	矢野 哲司	教授	松下 祥子	准教授
	審査員	松下 伸広	教授		
		生駒 俊之	教授		
バッハ マーティン		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「In situ assembling of glass microspheres for 3D optical micro device by UV-NIR dual-beam optical tweezer system (UV-NIR デュアルビーム光ピンセットシステムの開発と 3D マイクロ光デバイスのためのマイクロガラス微小球のその場構築への応用)」と題し、8 章で構成される。

第 1 章「Introduction」では、研究背景および研究目的を述べている。光情報通信の発展と情報量の加速度的な増大に対する光学素子の集積化、特に 3 次元 (3D) 化の必要性を概観している。また、光ピンセットを用いた物質のマニピュレーション、ガラス材料を中心としたマイクロ素子の特徴と機能、現状について述べている。その上で、さまざまな素子の集積化、3D 化における新たなプロセッシング技術の必要性について説明し、本研究の 3D プロセッシング技術の設計概念と意義、課題について述べている。

第 2 章「Development of the UV-NIR dual beam optical tweezers system」では、近赤外光 (NIR) レーザー光 (波長 790nm) を用いた光ピンセットの構築を行い、その光集光部でのマイクロメートルサイズガラス球状粒子に働く捕捉力の光軸と垂直方向の成分について、エタノール中の 5 μm シリカガラス球の捕捉実験により理論と実測値を比べ検証している。実測値から求めた捕捉係数 Q は 0.1279 で理論値 0.1330 ときわめてよく一致した。また、ステージ自動化により捕捉粒子を 3D 空間内で精度よく移動し、基板上の所定の位置に固定化させることに成功している。

第 3 章「UV immobilization of silica microspheres on silica substrates」では、第 2 章で構築した光ピンセットシステムに第 2 のレーザー光として紫外線レーザー (波長 325nm) を導入し、NIR レーザーで捕捉したシリカガラス粒子を固定化するシステムへ高度化している。固定化方法として、接着させる物質の表面を重縮合反応性を有するシロキサン分子 (3-methacryloxypropyltrimethoxysilane; MOPS) で覆い、光重合開始剤 (1-hydroxycyclohexyl-phenylketon; IRGACURE 184) を含む溶液中で NIR 光ピンセットで位置を定め、UV レーザーを接着したい領域だけ照射することで重縮合を開始させシロキサンの有機鎖を介して接着させるプロトコルを初めて提案し、実現している。MOPS の被覆条件、IRGACURE184 の最適濃度、UV レーザーの最適照射条件を見出し、5 μm シリカガラス球をシリカガラス基板上に精度よく固定化することに成功している。また、接着強度を理解するため、光ピンセットを利用した Micro-force spectroscopy により MOPS 有機鎖内の結合強度についても評価している。

第 4 章「Assembling of triangular pedestal structure for 3D optical router」では、開発した UV-NIR デュアルビーム光ピンセットシステムを用いて、光導波路と光共振器を効率よくカップリングさせるための 3 角形台座構造の作製を行っている。光導波路と球状光共振器は伝搬させる光の波長の 1/4 程度の空間を挟んで非接触で固定化させる必要があり、光導波路と球状光共振器のカップリング構造は 3D 光導波路の階層間をつなげる光ルーターとしてキーとなる重要な素子である。土台を作製する要素となる必要数のガラス微小球を光ピンセットシステムのステージ上に準備するサンプルホルダーを作製し、所望の寸法を有する 3 角形台座構造を作製し、その設計精度が $\pm 140\text{nm}$ 、3D ルーター空間の精度として $\pm 4\text{nm}$ であることを示し、十分な台座構造構築精度を有していることを示している。

第 5 章「Fabrication of tellurite thin film waveguides on silicate substrates」では、UV-NIR デュアルビーム光ピンセットシステムを用いて 3D 光ルーターを作製するための第 1 段階として、平面光導波路の作製を行っている。高屈折率、超低光損失であるテルライトガラスをこれらの構成要素の材料として選定し、平面光導波路の作製を行っている。テルライトガラスはシリカガラスと接着剤を用いずに室温接着できることが知られており、この接着法により作製したテルライトガラス薄膜 (厚さ 0.3~3 μm) を導波面とした基板の作製を行っている。一方、テルライトガラス表面は-OH 基が非常に少なく、シロキサン分子と反応性が低いことから、UV-O₃ 処理を導入し、テルライトガラス表面を親水性の大き

い (-OH 基の多い) ものへ改質することに成功している。これにより、表面に MOPS を結合させることができることも確認している。

第 6 章「Assembling of 3D optical router with tellurite micro resonator」では、表面改質し MOPS を結合させたテルライトガラス導波路表面に UV-NIR デュアルビーム光ピンセットシステムを用いて 3 角形台座構造を作製している。テルライトガラスは UV 光の透過性が低いことから、上下を反転させた倒立型構築法へ改良を行い、5 μ m シリカガラス球を用いた 3D 光ルーター用 3 角形台座構造の構築に成功している。

第 7 章「Optimal structure morphology of 3D optical router」では、第 6 章で作製したテルライトガラス平面導波路上に構築した 3D 光ルーター用 3 角形台座構造に球状光共振器を設置し、光共振器から平面光導波路へのカップリングについて確認している。Nd³⁺ドープテルライトガラス球状微小光共振器をレーザー局所加熱法で作製し、テルライトガラス導波路上の 3D 光ルーター用 3 角形台座構造に設置し、1040-1080nm 帯でのレーザー発振信号の球から導波路へのカップリングを確認し、ルーティング機能の実現を初めて示している。

第 8 章「Conclusions」では、本論文を総括し、今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は、3D 光学デバイスの構築に関する高精度新規構築法を設計・実現し、高性能テルライトガラスを用いたルーティング機能素子の構築を実現し、光機能について確認するとともに、広くさまざまなマイクロ光学部品を用いたデバイス構築への利用、応用方法について提示しており、学術上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士（学術）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。