

京都大学教育研究振興財団助成事業
成果報告書

平成 23年 6月20日

財団法人京都大学教育研究振興財団

会長 辻 井 昭 雄 様

所属部局・研究科 工学研究科

職名・学年 博士課程2年

氏名 松岡 智代

事業区分	平成22年度・長期派遣助成		
研究課題名	空間位相変調レーザービームを用いた光トラッピングのための材料設計		
受入機関	デンマーク工科大学 フォトニクス研究科 (現地指導教官: Prof. Jesper Gluckstad)		
渡航期間	平成22年 5月 7日 ~ 平成23年 5月 22日		
成果の概要	タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有()		
会計報告	交付を受けた助成金額	2,550,000円	
	使用した助成金額	2,550,000円	
	返納すべき助成金額	0円	
	助成金の使途内訳 (使用旅費の内容)	現地滞在費	2,200,000円
		学会参加費(航空運賃&宿泊費)	200,000円
		渡航費	100,000円
ビザ・旅券交付手数料		50,000円	

成果の概要/松岡 智代

【背景】

光トラッピングは、集光したレーザー光により微小物体をその焦点位置の近傍に捕捉する技術である。1970年代にAshkin らにより研究報告がなされて以来、これまで様々なトラッピング技術が開発されてきている。中でも空間位相変調素子 (SLM) を用いた多点照射によるトラッピングは、これまでの一点トラッピングと比べてはるかに自由度が高く、生物実験や医療への応用が期待されている。この度の長期派遣先である、Gluckstad教授率いるデンマーク工科大学のグループも、独自の多点照射技術を用いてこの光トラッピングに取り組んでいる。この多点照射技術はGeneralized Phase Contrast (GPC) と呼ばれ、そのビーム形成の自由度・ホログラム計算時の負荷の少なさなどから、特にリアルタイムトラッピングに適していると言われている。Gluckstad教授らは既にポリスチレンマイクロビーズを用いて自由度の高いトラッピングを実現しているが、生物実験等で用いるためには、トラップされる構造体自身が、生物環境の変化を光信号や熱信号に変換するトランスデューサとして機能することが求められている。申請者がこれまで取り組んできたゾルゲル膜は、この機能化を効率的に実現することができる。また、GPCによる多点照射は、トラッピングのみならず、ポリマーの2光子重合やシリコン基板のフェムト秒レーザー一括加工にも応用することが可能であるため、この技術を習得することは今後の技術革新に大変有用である。以上の理由により、デンマーク工科大学のGluckstad教授らのグループを、この度の長期派遣先として選ばせていただいた。具体的には以下の3点を、この共同研究を通しての達成目標として掲げた。

1. 実際にマイクロ構造体のトラッピングを行うことにより、GPCシステムに習熟する
2. ゾルゲル膜を用いてトラッピングする構造体を機能化する
3. 機能化した構造体を用いてデモンストレーションを行う

【成果】

ゾルゲル膜は、無機金属アルコキッドを加水分解重合させて得られる無機ポリマーであり、その多孔性を活かして、センシング材料・ナノ材料のホストとして用いることが可能である。有機ポリマーよりも合成手法が簡便であり、なおかつ透明性・化学的安定性にも優れているため、機能化を担う材料として適している。本研究においては、Tetramethoxysilane(TMOS)をモノマーとして用い、センシング材料としてカルシウム指示薬を加え、重合を行った。Figure 1に作製したゾルゲル膜のスペクトルを示す。指示薬は膜内に分散しており、応答速度は膜内におけるカルシウムイオンの拡散速度によって決まるため、比較的遅いが、反応はカルシウムイオン濃度に対して可逆的であり、また再現性も良いことがわかった。

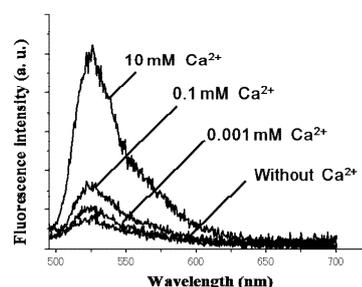


Figure 1. カルシウム指示薬で修飾されたゾルゲル膜の蛍光発光スペクトル(励起光：490nm)

続いて本研究で用いたGPCトラッピングシステムの模式図をFigure 2に示す。通常の空間位相変調とは異なり、GPCは4f光学系の第二レンズ後焦点面に像を形成する。これをビームスプリッターでs偏光とp偏光に分け、counterpropagating型のトラッピングシステムを実現している。また、トラッピングに用いている1064 nm 赤外レーザーに加え、532 nm のグリーンレーザーを同時に照射し、これらと直交する側視用光学系を組み込むことで、蛍光観察を行った。

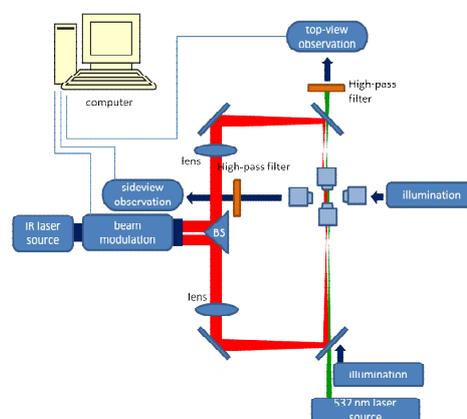


Figure 2. GPC トラッピング光学系の模式図

Figure 3にガラスチップ先端にカルシウム指示薬を含むゾルゲル膜を塗布したものをセル中に取り付けて色素応答を見た際の結果を示す。周辺環境のカルシウムイオン濃度の増加に伴い、蛍光強度が増加することがはっきりと見て取れる。

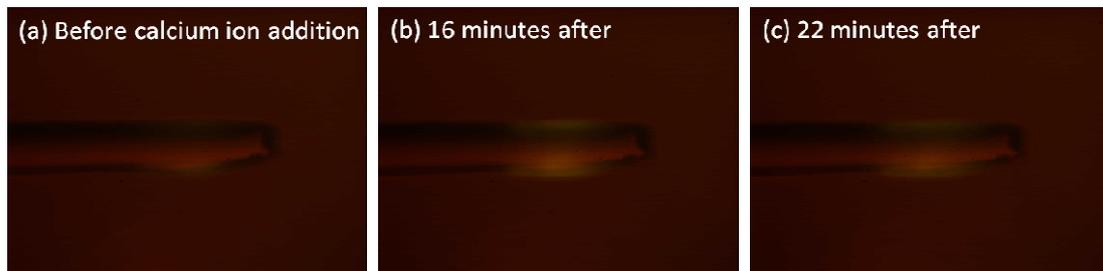


Figure 3. ガラス針先端にコーティングしたゾルゲル膜の蛍光応答の様子。それぞれ(a) カルシウムイオン添加前, (b) 添加後 16 分経過後, (c) 添加後 22 分経過後の様子

続いて2光子重合を用いて作製したポリマーマイクロ構造体の先端部のみにローダミン6Gを含むゾルゲル膜を塗布したものをトラッピングしている際の蛍光観察結果を示す。6自由度トラッピングの実現のため、ポリマー構造体は4つの球体ハンドルを持つようにデザインし、この部分をトラップすることにより、移動・回転・チルティングといった自由な運動が可能となった。蛍光強度確保のため、本実験ではローダミン6Gを含むゾルゲル膜を用いて実験を行ったが、今後は上記カルシウム指示薬を用いて、実際の生物環境のカルシウム濃度変化を測定することを予定している。また、当手法を用いれば、カルシウム指示薬のみならず、pHや酸素濃度に応答する種々の指示薬や金属ナノ粒子、また将来的には抗体やDNAといった分子までを修飾することが可能になる。このような構造の作製手法を確立し、GPCトラッピングシステムで実際にデモンストレーションを行うことで、生物・医療分野の今後の技術発展に貢献できると考えている。

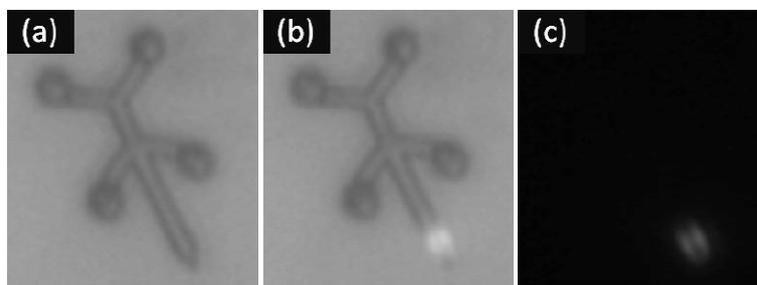


Figure 4. 先端のみゾルゲル膜で修飾した2光子重合構造体の蛍光応答の様子。それぞれ(a) 励起光なし, (b) 励起光あり, (c) 励起光あり・白色照明なしで行った蛍光観察像

以上の成果は2011年1月27日に行われたPhotonics west 2011, 同年2月1日に行われたStanford university workshopで一部成果報告を行っており、後者においてはポスター賞を受賞している。

【学会発表】

1. Functionalized 2PP structures for the BioPhotonics Workstation
Tomoyo Matsuoka; Masayuki Nishi; Masaaki Sakakura; Kiyotaka Miura; Kazuyuki Hirao; Darwin Palima; Sandeep Tauro; Andrew Bañas; Jesper Glückstad, Proc. SPIE 7950, 79500Q (2011)
2. Functionalizing 2PP-fabricated microtools for optical manipulation on the BioPhotonics Workstation
Tomoyo Matsuoka; Masayuki Nishi; Masaaki Sakakura; Kiyotaka Miura; Kazuyuki Hirao; Darwin Palima; Sandeep Tauro; Andrew Bañas; Jesper Glückstad, Workshop on Photonic Technologies for Access and Bio-Photonics at Stanford university(1 Feb 2011)