

蛍光スペクトルを利用したマイクロ流路中での化学反応の リアルタイム評価技術を初めて実現 —マイクロ流路中の化学反応の定量化への展開に期待—

概要

流路幅が数 10 μm ～数 100 μm 程度のマイクロ流路中では、化学反応の領域が制限されるために、通常の化学反応より急速に化学反応が進行する。そのため、マイクロ流路を用いた化学反応システムは化学合成やバイオエンジニアリングシステムなどの幅広い用途展開が期待されてきたが、実際のマイクロ流路中での化学反応がどのように進行するかを評価する手段がなかった。

今回、国立大学法人埼玉大学（学長：山口宏樹）大学院理工学研究科 物理機能系専攻 福田武司助教らの研究グループは早稲田大学 庄子習一教授、関口 哲志准教授、Dong Hyon Yoon 研究員との共同研究で、蛍光スペクトルを利用することでマイクロ流路中の半導体量子ドットと有機色素間の化学反応をリアルタイムで評価する手法を初めて確立した。本成果は、2014年7月15日に Sensors and Actuators B: Chemical から公開された。

1 研究の背景

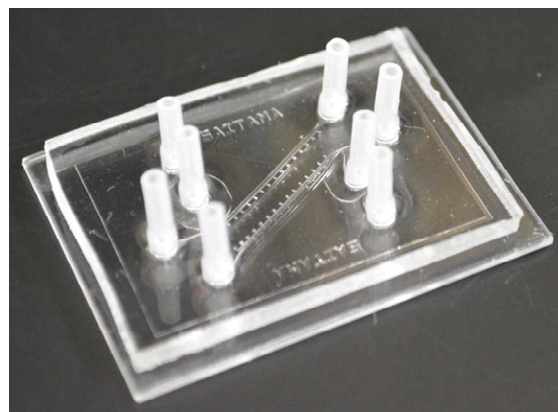
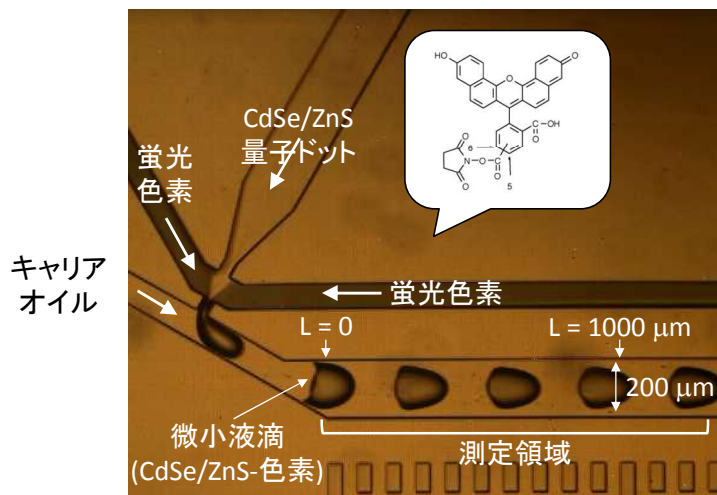
マイクロ流路は半導体プロセスを用いて作製する数 10 μm ～数 100 μm 程度の流路を有するデバイスである。このマイクロ流路を用いた化学反応システムは、通常バルクサイズの化学反応と比べて、大幅な反応時間の短縮、温度や濃度の優れた均一性に起因する安定した化学反応が可能、並列プロセスによる大規模化が容易などの利点がある。そのため、化学反応やバイオなどの様々な用途展開を目指した研究開発が進められている。マイクロ流路中での化学反応の制御・定量化が重要であるという問題意識があったが、これまでの研究ではこれらの定量化が困難であった。

今回、当研究グループでは今まで実現できなかったマイクロ流路中での化学反応を定量化するために蛍光スペクトルを用いた手法に着目した。また、対象物質として化学反応後は蛍光共鳴エネルギー移動を起こす半導体量子ドットを蛍光色素の組み合わせを用いた。半導体量子ドットは高い蛍光量子収率や発光波長の制御性などの利点からバイオイメージングへの応用が期待されている。我々は、この半導体量子ドットと蛍光色素を組み合わせた蛍光型 pH センサーの研究を進めており、本研究ではこの材料系でマイクロ流路中の化学反応の定量化を試みた。

2 研究内容と成果

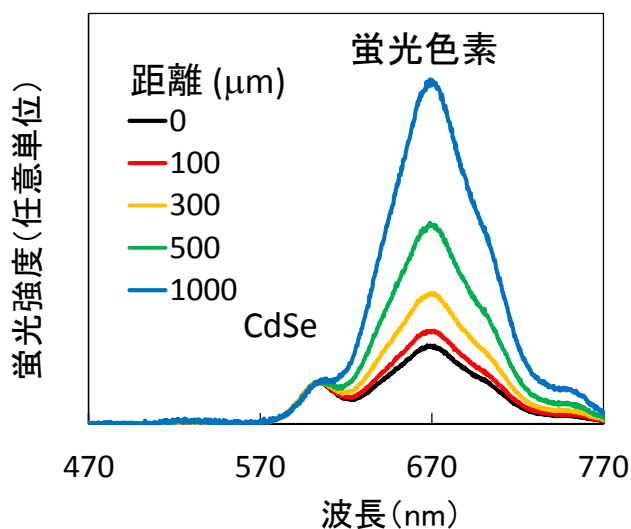
CdSe/ZnS 量子ドットと蛍光色素(次ページの挿入図に分子構造を示す)は、両者が化学反応を起こすことで、CdSe/ZnS 量子ドットから蛍光色素へエネルギー移動を起こす。そのため、CdSe/ZnS 量子ドットの周囲に結合する蛍光色素の量が増えてくると、CdSe/ZnS 量子ドットからの蛍光強度が減少し、蛍光色素からの蛍光強度が増加する。そのため、両者の蛍光強度比率を評価することで、この化学反応を評価できる。

次ページの図(下記論文より引用・一部修正)に、化学反応評価に用いたマイクロ流路の顕微鏡像(左側)と実際のマイクロ流路を含んだデバイスの写真(右)を示す。ここで、使用したマイクロ流路の幅は 200 μm とした。最初に水分散させた CdSe/ZnS 量子ドットと蛍光色素を混合させてから、キャリアオイルと合流させる。その結果、キャリアオイルの流れの中に CdSe/ZnS 量子ドットと蛍光色素を含んだ水の液滴が形成され、一定方向に流れていく。ここで、合流してからの液滴が流れていくことで、液滴中の化学反応が進行していくことから、測定領域に流れている液滴の蛍光スペクトルを測定することで、化学反応を定量化できる仕組みである。ここで、蛍光スペクトルの測定には一般的には蛍光顕微鏡を用いた。

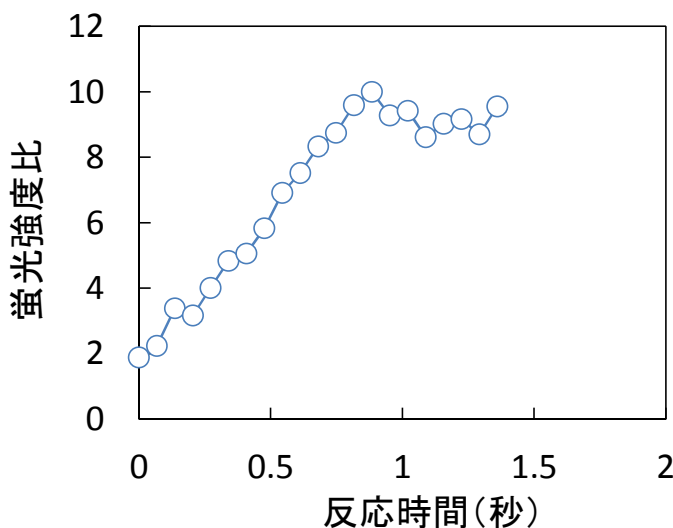


マイクロ流路中での液滴の蛍光スペクトルの測定結果の一例を下図(a) (下記論文より引用・一部修正)に示す。ここで、605 nmと670 nmのピークがCdSe/ZnS量子ドットと蛍光色素からの蛍光をそれぞれ示している。また、距離はCdSe/ZnS量子ドットと蛍光色素が混合してから、測定位置までの距離(反応時間に対応)である。

距離(反応時間)が長くなるに従って、蛍光色素からの相対的な蛍光強度が高くなる。これは、CdSe/ZnS量子ドットの周囲に蛍光色素が結合したことで、両者間の蛍光共鳴エネルギー移動しやすくなったことを示唆している。ここで、反応効率を定量化するパラメータとして、蛍光強度比(670nmの蛍光強度/605nmの蛍光強度)を導入した。この蛍光強度比を反応時間との関係を下図(b) (下記論文より引用・一部修正)に示す。反応時間が長くなるに従って、蛍光強度比が線形に増加しており、この結果は化学反応が徐々に進行していることを示している。この材料系では1秒程度で反応が完了しており、同じ材料系でバルクスケールでは30分程度反応が完了するまでの時間がかかることから、飛躍的に反応時間が短くなることを明らかにした。



(a)



(b)

3 今後の期待

今回の研究成果により、マイクロ流路中の化学反応を定量化することが可能になったので、数10 μm 程度の微小反応場中の化学反応の定量化に関する研究が進むことが期待される。それに伴い、反応場の大きさや原料比率などを変化させたときの反応効率の差などの実験結果を解釈するための新しい理論的解釈が生まれることも期待される。また、化学反応を効率的に進めるためのマイクロ流路条件の最適化にもつながり、マイクロ流路を用いた化学反応システムの構築にも貢献できる。

以上のことから、本成果はマイクロ流路を用いた化学反応場の制御などにも波及的効果を生み、微細反応場中の化学反応の定量化という基礎化学だけでなく、マイクロ流路を用いた化学合成システムの構築などのエンジニアリングの分野にも重要なものである。

4 原論文情報

参考文献

T. Fukuda, N. Funaki, T. Kurabayasahi, M. Suzuki, D. Yoon, A. Nakahara, T. Sekiguchi, S. Shoji, "Real-Time Monitoring of Chemical Reaction in Microdroplet Using Fluorescence Spectroscopy", Sensors and Actuators B, vol.203, pp.536-542 (2014).

5 用語解説

半導体量子ドット: 粒子径を数 nm にすることで量子サイズ効果によって、発光波長を制御できる。

蛍光共鳴エネルギー移動: 近接した半導体量子ドットと色素の間で励起エネルギーが電子の共鳴で直接移動する現象

蛍光スペクトル: 紫外光や青色光などの励起波長を照射することで得られる発光スペクトル

※ 問い合わせ先

埼玉大学 工学部 機能材料工学科

担当教員 福田 武司

TEL 048-858-3526

e-mail fukuda@fms.saitama-u.ac.jp

〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 2 5 5 埼玉大学

本件発信元：総務部総務課広報担当（岡田・伊藤）

TEL :048-858-3932・3927 FAX:048-858-9057 e-mail:koho@gr.saitama-u.ac.jp