D 2 0 6

液液光導波路マイクロ流体デバイスの流動の可視化

石川 泰隆(工学院大学), 鈴木 篤[○](工学院大学), 杉井 康彦(工学院大学)

Visualization of micro flow in liquid/liquid optical waveguides micro fluidic device

Yasutaka ISHIKAWA, Atsushi SUZUKI and Yasuhiko SUGII

ABSTRACT

A liquid/liquid optical waveguides micro fluidic device, which comprised a liquid stream with a high index of refraction and a stream with low index, was developed in order to analyze phenomena at the interface of two liquid streams high sensitivity. The concentration distributions of molecule were measured using micro laser induced fluorescence (LIF) technique. The liquid/liquid optical waveguides micro fluidic device, made from polydimethylsiloxane (PDMS) fabricated using usual soft lithographic, consisted of one microchannel for core flow with 50 μm in width and two microchannels for cladding flow with 100 μm in width merge to one microchannel with 200 μm in width. The depth of all microchannels was 52 μm . A fluorescent dye which varied the concentration was introduced into the micro fluidic device to obtain a calibration curve of the relationship between fluorescence intensity and concentration.

Keywords: Liquid/liquid optical waveguides, Micro fluidic device, Micro LIF

1. 緒言

液液界面における物質の状態や界面吸着の高感度分析が重要であり、これまで種々の分析法が開発されている。屈折率の異なる複数の溶液の界面における全反射現象による生じるエバネッセント光を用いて界面のみを照明し、界面近傍のみを観察することが可能であり、この原理を用いた液液光導波路分光法が提案されている。これまでに、内径 1.1mm と内径 0.5mm の 2 重円管において、水・食塩水を用いた光導波路が提案されている¹⁾。また、高感度化と高効率を目指して、液液光導波路マイクロ流体デバイスが開発されているが²⁾、さらなる高効率化のために、混合・拡散現象の把握が望まれている。

本研究では、マイクロスケールの濃度分布を計測するマイクロ LIF (Laser Induced Fluorescence) 法を開発し、液液光導波路マイクロ流体デバイス内の流れ場に適用し、混合・拡散を調べた。

2. 実験方法

マイクロ加工法を用いて、液液光導波路マイクロ流体デバイスを作成した。液液光導波路は、屈折率の異なる溶液を流し、コアと呼ばれる内側の流れにレーザ光を導入して、外側の流れであるクラッドとの界面での光の全反射現象(コアの屈折率>クラッドの屈折率)によって、

レーザ光をコアに閉じ込めたものである。ガラス基板にレジスト剤を塗布し、フィルムマスクに描かれた流路形状をレジスト剤に転写後、現像して型を作成した。型の上に PDMS (polydimethylsiloxane) を流し込み、オーブンで焼き固めて、引き剥がした。O₂ プラズマで表面処理し親水性にし、厚さ 0.17mm のカバーガラスに貼り付けチューブを取り付けた。Fig. 1 に作成した液液光導波路マイクロ流体デバイスの形状を示す。コア流路の幅、クラッドの幅はそれぞれ 50, 100 μm であり、合流後の流路の幅は 200 μm 、流路のすべての深さは 52 μm である。

Fig. 1 Design of liquid/liquid optical waveguides micro fluidic device

液液光導波路マイクロ流体デバイス内の濃度分布を求めるために、マイクロLIF法を用いた。LIF法は染料の蛍光強度と濃度とに相関があることを利用した濃度分布計測法である。Fig. 2 にマイクロLIFシステムを示す。40倍の油浸対物レンズ($NA = 1.0$)と 1024×1280 pixel, 12bitの高感度CCDカメラを取り付けた倒立顕微鏡により光学的に流路を拡大し、水銀ランプと蛍光フィルタセットによる同軸落射照明によって、マイクロデバイス内の蛍光強度を撮影した。コアとして純水に蛍光染料であるローダミンB ($100\mu\text{M}$) を混ぜた溶液、クラッドとして純水をそれぞれ用いた。容量 $250\mu\text{L}$ のマイクロシリンジを取り付けたシリンジポンプを用いて、コア、クラッドにそれぞれ $1.0\mu\text{L}/\text{min}$ の流量で流した。合流後の平均速度は $4.74\text{mm}/\text{s}$ 、ローダミンBの拡散係数は $4.27 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ であり、合流後のレイノルズ数は 0.94 、ペクレ数は 2220 となる。なお、あらかじめ $20 \sim 100\mu\text{M}$ と濃度を変化させたローダミンB水溶液を流路に流し、蛍光強度と濃度との関係を調べ、検量線を求めた。

Fig. 2 Micro LIF system

3. 実験結果

Fig. 3 にマイクロ LIF システムを用いて得られたマイクロ流体デバイス内の合流後の蛍光画像を示す。撮影領域は $358 \times 287\mu\text{m}$ である。コアのみに蛍光染料を混ぜているため、中央に白く明るいコアが確認できる。左から右に向かって流れている。照明光の強度が、図の中心付近が強く、端に行くにつれて弱くなっているため、図の端では蛍光強度が下がっている。コアとクラッドの界面は流れにほぼ平行になっており、流れが安定した層流になっている。

Fig. 4 に Fig. 3 の蛍光強度から求めた濃度分布を示す。マイクロ流体デバイス内のコア流路とクラッド流路の合流部から出口方向への距離 $x = 30, 180, 330\mu\text{m}$ における断面の濃度分布をそれぞれ図示した。いずれの断面でも流路中央付近で濃度が最大となり、流路壁面に近づくにつれて減少している。 $x = 30\mu\text{m}$ での濃度の最大値は $98.7\mu\text{M}$ であり、 $x = 330\mu\text{m}$ では $90.5\mu\text{M}$ となっており、拡散が進んでいる。コア流路幅は $50\mu\text{m}$ であるが、計測されるコア幅は約 $30\mu\text{m}$ 程度と狭くなっている。これは、コアがクラッドにより押されているためと考えられる。

つまり、コアとクラッドの流量を制御することにより、コアの流れを制御することが可能であることを示している。

Fig. 3 Fluorescent image of core flow

Fig. 4 Concentration profiles in three cross sections of core flow.

4. 結言

マイクロ加工法を用いて幅 $200\mu\text{m}$ 、深さ $52\mu\text{m}$ の PDMS 製液液光導波路マイクロ流体デバイス作成した。マイクロスケールの濃度分布を計測するマイクロLIF法を開発し、コアの混合・拡散の様子を調べた。

参考文献

- 1) H. Takeguchi, et al.: Characteristics of a Liquid/Liquid Optical Waveguide Using Sheath Flow and Its Application to Detect Molecules at a Liquid/Liquid Interface, Analytical Sciences, Vol.21, (2005) pp.1269-1274.
- 2) D. B. Wolfe, et al.: Dynamic control of liquid-core/liquid-cladding optical waveguides, PNAS, Vol.101, No.34 (2004) pp.12434-12438.