

F117

マイクロ液滴コライダーの開発と液滴間混合への応用

(東大工、シャープ(株)) ○ (学) 高橋 克佳*・(東大工) 馬渡 和真・火原 彰秀・(正) 北森 武彦

1. はじめに

マイクロフルイディクスは、マイクロ空間の特徴を活かした微量/迅速分析が可能なることから注目を集めている。中でも、デッドボリュームの無い極微量のサンプルを扱えることから液滴形式に関する研究が進められている。しかし、従来の液滴形式では、油中水滴を扱うため液滴の加速が困難であり、液滴を用いて可能なことは輸送/合一などの機能に限定された。

そこで、液滴をマイクロ流路内気相中で高い速度に加速し、他方の液滴と衝突させることにより、流体制御/分析操作を実現するマイクロ液滴コライダーを新規に着想した。

本研究では、マイクロ液滴コライダーを実現するためのマイクロチップ設計/作製および基本性能評価を行い、新規流体制御の一例として、従来の液滴形式では困難であった体積比の大きく異なる液滴間の混合への応用を行なった。

2. マイクロ液滴コライダーのチップ設計

マイクロ液滴コライダーを実現するためには、液滴を高い速度に加速するための液滴加速部と、液滴間の効率的な衝突を行う液滴衝突部がマイクロチップ上に必要である。設計したチップ構造を図1に示す。マイクロチップ材料としてはガラスを用い、流路表面を疎水修飾(水との接触角 117°)した。液滴加速部/衝突部には、それぞれラプラスバルブ/サイドチャンネルという浅い部位を設け、気液間に生じるラプラス圧を利用して液滴の生成/加速、液滴間の衝突を可能とした。300kPaの圧縮空気を用いて生成したnLオーダーの液滴を液滴加速部より加速したところ、液滴速度は1

m/sに達した。これは従来の液滴形式の10,000倍速い速度である。液滴衝突部内で一方の液滴を保持しておき、他方の加速液滴を衝突させたところ、衝突は1ms以内に完了した。これにより加速液滴の運動エネルギーを衝突により他方の液滴に効率的に伝播可能である。

3. 液滴間混合への応用

マイクロ液滴コライダーによる新規流体制御の一例として、滴定等の分析化学において基本かつ重要である体積比の大きく異なる液滴間の混合を試みた。これは従来の液滴形式では未達成の流体制御である。純水液滴(2.5 nL)を生成しチャンバーに輸送した後、液滴加速部から、蛍光色素溶液(0.25 nl)を80 kPaで加速しチャンバー内の液滴と衝突させたところ迅速に混合が完了した。印加圧力を変え(20/80 kPa)、また、衝突させる液滴の順番を変えて実験を行い、蛍光分布の標準偏差の経時変化(図2)より混合に必要な時間を見積もったところ、小液滴衝突で4.8秒(20 kPa)、2.3秒(80 kPa)となり、大液滴衝突で1.8秒

(20 kPa)、0.5秒(80 kPa)となった。大液滴衝突の方が、また高い圧力を用いた方が、混合が迅速に行なわれることから、液滴の衝突エネルギーが混合を促進していると考えられる。マイクロ空間内は層流条件のため、混合は分子の拡散に頼らざるを得ず非常に時間のかかる工程である。蛍光色素の水中での拡散係数

($3.67 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)および本実験系での必要拡散距離から、拡散による混合時間を計算したところ3,000秒となった。よって、マイクロ液滴コライダーを用いた混合は拡散混合に比して6,000倍迅速である。

3.67 x 10⁻¹⁰ m²s⁻¹ および本実験系での必要拡散距離から、拡散による混合時間を計算したところ3,000秒となった。よって、マイクロ液滴コライダーを用いた混合は拡散混合に比して6,000倍迅速である。

4. まとめ

マイクロ液滴コライダーをチップ上で新規に開発した。また、体積比の大きく異なる液滴間の混合を達成し、新規流体制御が可能であることを示した。

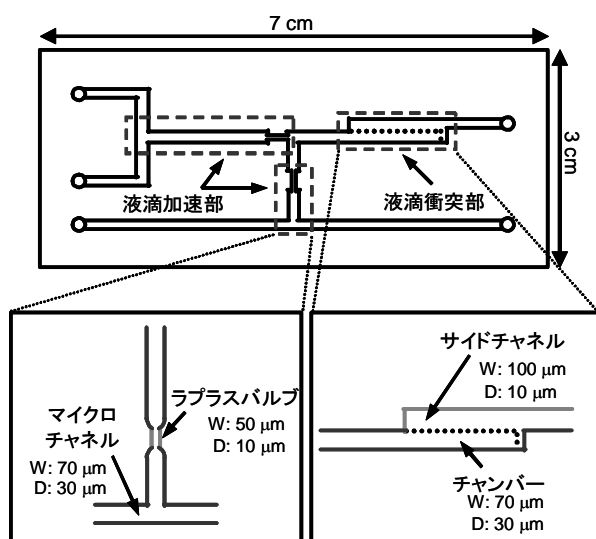


図1 マイクロ液滴コライダーチップ

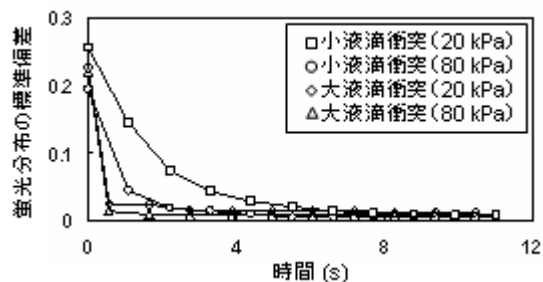


図2 蛍光分布の標準偏差の経時変化

* k_takahashi@icl.t.u-tokyo.ac.jp