

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	機能性流体ECFを用いた液滴生成器および液滴分別器の開発
Title(English)	Development of ECF-based droplet generators and sorters
著者(和文)	MaoZebing
Author(English)	ZEBING MAO
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11270号, 授与年月日:2019年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:金 俊完,吉田 和弘,大竹 尚登,柳田 保子,松村 茂樹,吉岡 勇人
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11270号, Conferred date:2019/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	MAO, Zebing		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	金 俊完	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	吉田 和弘	

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は、「Development of ECF-based droplet generators and sorters」と題し、以下の5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、液滴ベースのマイクロ流体システムは、化学、生物学、医学、食品科学などの応用分野において、コンパクト、ポータブルでありながらデッドボリュームを最小限に抑える観点で優位性があるが、そのデバイス材料の耐油性とデバイス外部に圧力源となるポンプが必要であることが課題であると指摘している。そして、本研究の目的は、耐油性を有し、かつ紫外線(UV)露光でパターンニングできるエポキシベースの厚膜フォトレジストであるSU-8を用いてデバイスを製作すること、および直流電圧を印加することでジェット流を発生できる機能性流体 ECF (electro-conjugate fluid)を用いたマイクロポンプを搭載することによる、新たな液滴ベースマイクロ流体システムの実現とその応用であると述べている。

第2章「Development of SU-8-based microfluidic devices with multi-fluidic connections」では、マイクロ流体デバイスにおいて、膨潤の問題がある従来のPDMS (polydimethylsiloxane)の代わりにSU-8をデバイス材料として用いることを提案し、SU-8の加工プロセスを開発している。まず、マイクロチップ上に形成されたSU-8開流路をカバープレートで密閉することが困難であることを指摘し、その解決案として、UV照射量を調整することで架橋SU-8(流体接続部を備えた柔軟なカバー)と非架橋SU-8(接着層)を同時に有する新たなSU-8テープを考案し、試作している。まずUV照射量と架橋SU-8の厚さの関係を定量的に明らかにし、T字形マイクロ液滴生成器の製作へ応用することでその有効性を明らかにしている。次に、犠牲層を用いない新しいSU-8構造物のリリース方法を開発し、SU-8テープと組み合わせることにより、SU-8のみからなるマイクロ流体デバイスの製作に成功している。

第3章「Droplet generators integrated with ECF micropumps」では、システムのマイクロ化を目的に、高精度・高出力のECFマイクロポンプを搭載したマイクロ液滴生成器を提案、開発している。ECFマイクロポンプによって駆動する連続相流体に別のECFマイクロポンプで駆動する分散相流体をT字形流路で合流させる構造の(1)W/O(油中水)液滴生成器、および(2)O/O(油中油)液滴生成器を提案し、第2章で開発したSU-8加工プロセスを用いてデバイスの製作に成功している。また、従来のECFでは生成された液滴が安定しないことを指摘し、DBD (dibutyl decanedioate)に3wt%の界面活性剤Span 80を添加した新たな機能性流体を合成し、連続相流体として用いることで、W/OとO/Oの両方の液滴生成器でマイクロ液滴の安定化に成功している。さらにワンチップのデバイスにおいて、印加電圧を調整するだけで液滴を生成できることを示し、それらの有効性を実証している。

第4章「ECF-based droplet sorters」では、ECF駆動のマイクロ液滴マニピュレータとして、(1)ECFジェット形、および(2)カンチレバー形の2種類の液滴分別器を提案、開発している。ECFジェット形では、T字形流路の液滴生成器の連続相流路に斜めに交差する方向にECFマイクロポンプを有するマイクロ流路を設置することで、電圧印加で発生したECFジェット流によりマイクロ液滴の軌道を変え分別に成功している。また、分別できる液滴サイズと印加電圧の関係を定量的に明らかにしている。カンチレバー形は、ECFジェットの発生圧力で変形するバルーンでカンチレバーの側面を押しその位置を操作することで流路を切り替える構造であり、MEMS技術を用いてすべての部品の製作に成功している。PDMS製のバルーンとSU-8構造体との接着が不完全ではあるものの、カンチレバーの動作を可能とする下部と上部の間隙は犠牲層と溝構造を用いて実現している。

第5章「Conclusion and outlook」では、本論文で得られた結果を総括するとともに今後の課題について述べている。

以上要するに本論文は、駆動源を搭載した液滴ベースのマイクロ流体システムを実現するため、(1)耐油性のデバイス材料としてSU-8、および(2)液圧源としてECFマイクロポンプを用いることを提案し、マイクロ液滴生成器とマイクロ液滴分別器を実現することによりその有効性を明らかにしたもので、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分に価値があるものと認められる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。  
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野) : 博士 (工学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名 : Student's Name	MAO, Zebing		指導教員 (主) : 金 俊完 Academic Supervisor(main)
			指導教員 (副) : 吉田 和弘 Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis consists of the following five chapters.

Chapter 1 introduces the droplet-based microfluidic systems, including the fundamentals and the possible applications. Based on the summary of the droplet-based microfluidic systems, two problems are indicated: (1) Materials (PDMS) swelling; and (2) Large external power sources.

Chapter 2 presents that an epoxy-based photoresist SU-8 as a material for the microfluidic devices can be substituted for the conventional silicone rubber (PDMS, polydimethylsiloxane), which has swelling problems. To solve the sealing problems of SU-8 open channels formed on the microchip, the applicant develops a novel SU-8 tape to have both the cross-linked SU-8 (a flexible cover plate with connecting parts) and the non-crosslinked SU-8 (adhesive layer) in the unified structure by using the UV dose control. Its effectiveness is clarified by applying it to the production of a T-junction droplet generator.

Chapter 3 describes the design, fabrication process, and performance of a T-junction W/O droplet generator and O/O droplet generator actuated by ECF micropumps. Two ECF micropumps are necessary for the continuous phase fluid and the dispersed one to flow. The experiments prove that the generated droplets are not stable in the conventional ECF so that new functional fluid is synthesized by adding 3 wt% of the surfactant Span 80 to DBD (dibutyl decanedioate) as a continuous phase fluid. Thanks to this new functional fluid, stable droplets are generated by simply adjusting the applied voltage in a one-chip device.

Chapter 4 presents ECF-driven droplet sorters: (1) ECF jet type and (2) Cantilever type. In the ECF jet type sorter, a microchannel with an ECF micropump is installed in a direction that intersects the continuous phase channel of the T-junction droplet generator. The cantilever type switches the flow path by pressing the cantilever with the ECF-pressurized balloon.

Chapter 5 summarizes the contribution of this thesis and researches that will be done in the future.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).