T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ECFマイクロポンプのMEMS製作における最適化とこのマイクロポンプのソフトロボットへの応用
Title(English)	Study on the Optimization of MEMS Fabrication for ECF (Electro-conjugate Fluid) Micropumps and Its Application to Soft Robots
著者(和文)	HANDONG
Author(English)	Dong Han
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10880号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:金 俊完,吉田 和弘,初澤 毅,進士 忠彦,只野 耕太郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10880号, Conferred date:2018/3/26, 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

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 系 機械 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 (工学) Doctor of
学生氏名： Student's Name	HAN, Dong	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，「Study on the Optimization of MEMS Fabrication for ECF (Electro-conjugate Fluid) Micropumps and Its Application to Soft Robots」と題し，以下の５章から構成されている．

第１章「Introduction」では，狭小空間で走行する，または，多様な微小物体を把持するミニサイズロボットの実現において，柔軟な素材で構成された流体駆動のソフトロボットは，複雑な制御系が不要，損傷を与えない物体の把持が可能という観点で優位性があるが，コンプレッサやポンプなどのパワー源のロボットへの搭載が課題であると指摘している．そこで，本研究の目的が，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）とこの ECF ジェット用の電極対を微細化・集積化できる MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）加工技術を融合することによる小形，フレキシブル，高出力パワー密度のマイクロ液圧源の実現とミニサイズソフトロボットへの応用であると述べている．

第２章「Investigation of design dominant parameters for TPSEs' integration」では， ECF ジェットの発生と電極対の微細化・集積化が両立できる TPSE（Triangular Prism & Slit Electrode Pair）を用いたモジュラー設計法を提案している．製作した ECF マイクロポンプの吐出圧力・流量を実験的に求め，a）直列に配置する TPSE 数，b）並列に配置する TPSE 数，c）並列化における TPSE 間のピッチ，d）並列化における分離壁の幅，e）並列化における分離壁の有無などがポンプ出力に与える影響を明確化し，異なる吐出圧力・流量をもつ ECF マイクロポンプの設計指針を明らかにしている．

第３章「Novel fabrication technology to increase power density of ECF micropump」では，ECF マイクロポンプの高出力パワー密度化を実現するために，TPSE の高アスペクト比化できる新たな UV-LIGA プロセスを提案している．優れた UV 透過性を有する超厚膜フォトレジスト SU-8 およびフィルムレジスト SUEX を用いた手法を提案・開発し，高アスペクト比のマイクロ鋳型の形成に成功している．これらは従来のウェットエッチングでは選択的除去が困難であると指摘し，高アスペクト比のレジスト鋳型を選択的に効率よく除去する方法として，CO2 レーザを用いた主プロセスと O2 / CF4 プラズマエッチングによる後処理プロセスを融合した新たな方法を提案している．この除去方法を用いることで従来の KMPR レジスト鋳型より２倍のアスペクト比を有する高さ 0.97 mm の TPSE の製作に成功し，これを用いる ECF マイクロポンプはより高パワー密度が達成できることを立証している．

第４章「Robotic fingers embedding ECF micropumps」では，ECF マイクロポンプを剛なフレームに組み込み，蛇腹構造の柔らかい関節を加圧することで変位するロボットフィンガと，新たに提案するフレキシブル ECF マイクロポンプを搭載し，圧力源を含む全体が柔軟なソフトアクチュエータを提案・開発している．硬質材料と軟質材料を同時に 3D プリントすることで組み立ての手間と ECF の液漏れを最小限にできる長さ 83 mm のミニフィンガを実現し，搭載したマイクロ液圧源による駆動特性を明らかにしている．また，ガラス基板の代わりにポリイミドフィルム上に集積化した TPSE フィルムと柔軟なシリコーンゴム（PDMS）の流路を組み合わせたフレキシブルマイクロポンプを実現し，曲がりによる性能の低下がないことを実験的に確認している．開発したフレキシブル ECF マイクロポンプは PDMS によって製作された柔らかい蛇腹形アクチュエータと一体化され，駆動実験によりその特性を明らかにしている．

第５章「Conclusions and future work」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．（１７７２文字）

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 系 機械 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	HAN, Dong	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（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

This doctoral thesis is specifically concerned with study on ECF (electro-conjugate fluid) micropumps with TPSEs (triangular prism & slit electrode pairs) in the following aspects: 1) its design guidance, 2) its optimization of MEMS fabrication, and 3) its application to soft robots.

To this end, this thesis ascertains the dominant design parameters of TPSEs affecting the output performance of ECF micropumps, proposes fascinating fabrication methods to achieve higher-aspect-ratio TPSEs (electrode height: about 1000 μm) for higher output power density, and develops miniaturized robotic fingers embedding ECF micropumps.

In chapter 2, the TPSE modular concept in 2D integration (in series or parallel) is proposed and five important design parameters are identified by investigating the output performance of 13 different ECF micropumps: 1) different serialized numbers of TPSEs, 2) different paralleled numbers of TPSEs, 3) different distances between paralleled TPSEs, 4) different widths of isolated walls, and 5) with and without isolated walls.

In chapter 3, the intriguing MEMS fabrication to combine the lithographic micromolding with electroforming is proposed and developed to achieve higher-aspect-ratio TPSEs. The proposed MEMS fabrication are classified into two main approaches: (1) new micromolding techniques: a) self-aligned multilayer micromolding by back UV exposure and b) utilization of different ultrathick photoresists (SU-8 resist and SUEX dry-film resist); and (2) novel hybrid molds-removing method to utilize CO_2 laser engraving followed by O_2/CF_4 plasma. The experimental results of ECF micropumps based on this fabrication validate that higher-aspect-ratio TPSEs with excellent geometric profiles leads to higher output power density.

In chapter 4, as the potential applications, the hybrid (a combination of rigid and soft material) 3D-printed finger embedding ECF micropumps and the totally-soft microfinger embedding flexible ECF micropumps on the polyimide (PI) substrate are respectively developed.

In chapter 5, the results obtained in this paper are summarized, this thesis is concluded, and future works are specified. This doctoral work must make an important contribution to the ECF micropumps research.

（英文３１７語）

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).