

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560867

研究課題名(和文) 周辺に高段差をもつ微小領域での機能性材料マイクロパターン形成手法の研究

研究課題名(英文) Research of micropattern fabrication using functional material on a small area surrounding of which have highly uneven structures

研究代表者

幹 浩文(MIKI, Hirofumi)

和歌山大学・システム工学部・助教

研究者番号：20403363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)： 瞬間的磁場勾配による磁気応力を用いたインクジェットの新しい吐出機構によって、強い吐出力と高い着弾精度を持つ機能性インク滴の長距離飛翔の可能性について検討した。結果、目標実現の核となる構造設計において、ノズル幅とインクチャンネル長間には最適比例関係が存在し、インク室のチャンネル末端までの絞り角度75～80°、約0.5倍ノズル幅の非磁性材料厚膜のノズル先端部配置構成が磁性流体インク滴最大吐出力発生に有効であることを明らかにし、加熱機構など全体構造最適設計の方向性を示した。また、加工プロセス技術開発を通じて性能向上に必要課題を抽出し、長距離飛翔インクジェット機構の実用化に重要な研究指針を提示した。

研究成果の概要(英文)： In this research, a novel pumping mechanism, utilizing magnetic stress that generated by instantaneous magnetic field gradient in ink, was proposed for the purpose to realize micro-patterns with functional materials on a small area surrounding of which is as high as several millimeters of uneven micro-structures. The capability of high pumping power and landing accuracy for the long flying distance of functional ink drop was evaluated. Structural design is the key for this pumping mechanism, and it was clear that there exist an optimum proportional relationship between the size of nozzle and ink channel span, and the angle to the channel entrance (75-80) in ink-tank, and arrangement of a non-magnetic thick layer in nozzle frontier (thickness: about half of the nozzle size) will be most effective to achieve the goal. Through fabrication process development including the heating mechanism derived new knowledge for the guidance of practical realization.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：溶射 コーティング 粒子積層プロセス MEMS 微細加工

## 1. 研究開始当初の背景

近年、マイクロ加工技術によるデバイスの小型化に伴い、様々の分野で半導体プロセスほど微細ではないが印刷では困難な機能性材料のミクロンオーダーのパターン形成が要求されている。但し、部品実装後の追加配線や修正、微小領域での各種保護膜、帯電防止膜、反射防止膜、磁気シールド膜や半導体用レジストパターンなど実際の応用では、周辺に高段差を持つ平坦性の悪い状況での稼働が予想される。インクジェット技術は、各種機能性インクを吐出させることによって対象への微細パターン形成が期待できるが、周辺に高段差を持つ平坦性の悪い状況には対応できない。そのため、インク滴を着弾精度良く長距離に飛翔させることのできる新しい吐出機構の実現が求められている。従来のインクジェット吐出機構には、主に熱エネルギーによって気泡を発生させ液滴を吐出させる電気熱変換型(キャノン型)と圧電素子の振動力を利用する電気機械変換型(エプソン型)とがあり、液滴飛翔距離は数mm程度である(ISBN-13: 978-4882319122)。従来技術では、数mmと近く離れた平面对象物への印刷を如何に高速、高画質に実現するか注目していた[1-3]。現状のインクジェット吐出機構では、飛翔距離を長くするため液滴の吐出力を大きくすると、液滴が空中で分解飛散し、微細パターンの印刷が困難となる。液滴が受ける気中散乱の影響を緩和するためには、高比重液滴を高速で吐出・飛翔させることが重要となる。しかし、電気-熱変換型では、通常の応用でもインク滴の吐出に300-500 / 数 $\mu$ s という急激な温度上昇が要求されるため(ISBN4-88231-859-8)、機能性インクの熱劣化が問題となる。また、電気機械変換型では駆動部品数が多く信頼性面でのデメリットがある。従来技術を用いて吐出力を向上させるためには、駆動機構の大掛かり、高工

ネルギー消耗やデバイスの信頼性・耐久性面での問題を避けられない。

## 【参考文献】

- 1) “最新インクジェット技術”, ISBN978-4-86104-182-2 (2008)
- 2) “最新インクジェット技術ノウハウ集”, ISBN4-86104-062-0 (2005)
- 3) “各種インクジェット技術と弱点および対策”, ISBN978-4-901677-94-3(2008)

## 2. 研究の目的:

マイクロパターン形成可能な従来のインクジェット技術では、気中散乱の影響で着弾精度が保障できる液滴の飛翔距離が2~3mmと限界があるため、周辺に高段差を持つ微小領域での微細パターン形成には対応できない。本研究では、瞬間的磁場勾配による磁気応力を用いたインクジェットの新しい吐出機構を提案し、優れた吐出力と着弾精度を持つ機能性インク滴の長距離飛翔によって本研究目的の実現を目指す。本研究は、周辺に数ミリ程度の高段差を持つ微小領域に機能性材料のマイクロパターンを実現することである。その実現手法として、小型で長距離飛翔可能な新しいインクジェット機構を研究する。

## 3. 研究の方法

上記の研究背景およびこれまでの研究成果を踏まえ、我々は、小型で長距離飛翔可能なインクジェット機構の実現において強い吐出力を発生させるためには、磁気回路と構造設計が支配的に重要であると考えた。また、磁性インクの粘性抵抗など磁極配置・磁場分布環境においての微小流路中での磁性流体のふるまいを解明することが必要である。機構の小型化は、磁気駆動に必要なコイルの代わりに永久磁石を用いることで実現可能である。本機構では、インクに磁性流体

を用いることによって、液滴が自由空間でキュリー温度以下に戻り磁気凝集するので破裂現象が解除できる。また、インク比重も高くできるので気中散乱を受け難くインクの長距離飛翔に有利になると思われる。さらに、ノズル先端の磁性流体自体が急峻な磁場勾配によってポンプ機能を達成できるため、従来方式のような可動部素子が必要なく単純構造で小型・信頼性・耐久性面での期待も高い。そのほか、磁性インク(Ferrite or FeNiCr ナノ粒子)をキュリー温度以上の 50~120 程度に加熱することによって、液滴吐出駆動の機能を十分達成できるものと考えられ、省エネルギーや機能性インクの熱劣化の緩和にも役立つと期待できる。図 1 に提案の熱磁気駆動の基本原理を示す。

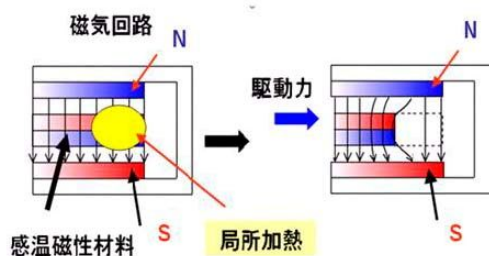


図1 熱磁気駆動基本原理

図 1 のように、磁石の N-S 極から構成された磁気回路において、一様な磁場内にある感温磁性材料の磁化を局部加熱によって局所的に瞬間消失させると(図 1 -a)、磁場内には急峻な磁気勾配が生じそれに伴って駆動力が発生できる(図 1 -b)。

図 2 のように、提案の具体的インクジェット吐出機構においては、ノズル先端部周辺に永久磁石を、内面にはマイクロ加熱機構を設ける。インク滴初速度は、磁性流体をノズルの先端局部でキュリー温度以上に加熱するとき発生する均一磁界中の不均一磁性材料の分布から磁束が磁性流体にマクスウェル応力を及ぼすことでインク滴の吐出

機能を発揮する。

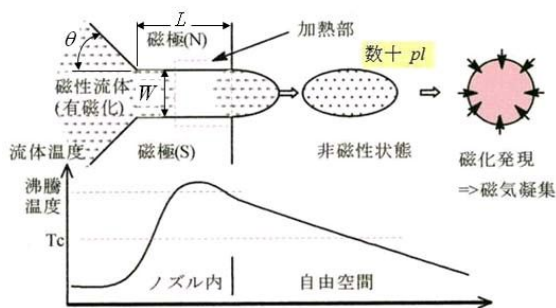


図2 熱磁気駆動インクジェット作動模式

#### 4. 研究成果

本研究は、周辺に数ミリ程度の高段差を持つ微小領域に機能性材料のマイクロパターンを実現することを最終目標にし、その実現手法として、小型で長距離飛翔可能な新しいインクジェット機構の研究を遂行した。具体的には、瞬間的磁場勾配による磁気応力を用いたインクジェットの新しい吐出機構によって、より大きな吐出力と高い着弾精度を持つ機能性インク滴の長距離飛翔の可能性について検証を行った。全体の構造設計において、ノズルの幅とインク流路のチャンネル長さの間には、吐出力に対して最適比例関係が存在することが明らかになり、また、インク室のチャンネル末端までの絞り傾斜角度はインクジェット吐出力に大きく影響し、ノズル先端部には非磁性材料を配置した構成がノズル開口部近傍で急峻な磁場勾配を得るために有効であった。絞り角度は 75~80°が適切で、非磁性材料の膜厚はノズル幅の約 0.5 倍の時が最も有効であった。加熱機構においては、天上カバー裏面のマイクロヒータ配置のみ状態ではヘッド部流路チャンネル内インクの温度分布がヒータ近傍と流路チャンネル底面とで大きな温度差が生じ、インクが場所によってはキュリー温度を大きく上回るところとキュリー温度以下に留まってしまうという問題点が生じるが、ヘッド部

流路チャンネルの上下面にマイクロヒータを均一アレイ分布の構成が、流路チャンネル断面中心部のインク温度がキュリー温度以上を確保しながらもヒータ近傍のインク温度が過剰に上昇しなく、より充満したポリウム形状を持ったインク領域が瞬時キュリー温度以上になることがわかった。また、マイクロヒータから発生した熱の蓄積により、磁性インク滴がキュリー温度以上の状態で長く続くことで瞬時磁場勾配への悪影響が発生し、インクポンプ駆動力の劣化や吐出インク滴のサテライト現象を伴ってしまう。階段式パルス印加による駆動方式が課題解決に有効であった。磁気回路と最適構造設計指針をもとに、加工プロセス技術の開発を行い性能向上に必要な課題の抽出ができた。本研究を通じて得られた知見とノウハウは長距離飛翔インクジェットの実現において重要な意味を持つものであり、今後はこれまでの成果をもとに提案機構の早期実用化・産業化を目指す。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

1. Hirofumi Miki, S. Murai, R. Tsuji, K. Kikuchi, S. Tsuchitani, "A novel pumping device for the functional inkjet system", The 7<sup>th</sup> Asia-pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies APCOT 2014, 2014, Jun. 29~2014. Jul. 2, EXCO, Daegu, Korea.
2. Hirofumi Miki (Han); Murai Shinya; Kunitomo Kikuchi; Shigeki Tsuchitani; Yasuhiro Kosimoto, "Novel Inkjet Mechanism Using Pulsed Thermal magnetic Driving", pp. HU10, the International Magnetics Conference, InterMag2012, May 7th to May 11th, 2012, Vancouver, Canada.
3. Hirofumi Miki (Han), K. Kikuchi and S. Tsuchitani, "Thermal Magnetic Inkjet Mechanism for the Application of Micro Pattern Fabricatin on the Highly

Unlevel Micro area", p2-9, 23rd 2012 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, IEEE Robotics and Automation Society, Nov. 4 (Sun) - Nov. 7 (Wed), 2012, Nagoya, Japan.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

幹 浩文 (MIKI, Hirofumi)  
和歌山大学・システム工学部・助教  
研究者番号: 20403363

##### (2) 研究分担者

土谷 茂樹 (TSUCHITANI, Shigeki)  
和歌山大学・システム工学部・教授  
研究者番号: 30283956

##### (3) 研究分担者

菊地 邦友 (KIKUCHI, Kunitomo)  
和歌山大学・システム工学部・助教  
研究者番号: 20588058