

プリントドエレクトロニクス用途のベンドタイプ 新インクジェットヘッド開発

Development of Novel Bend-mode Piezo Inkjet Print Head Utilizing MEMS Technology for Printed Electronics Applications

西 泰 男* 坂 井 繁 一* 東 野 楠**
Yasuo NISHI Shigekazu SAKAI Kusunoki HIGASHINO
町 田 裕 一* 吉 田 康 二 郎*
Yuichi MACHIDA Koujirou YOSHIDA

要旨

近年、「プリントドエレクトロニクス技術」が注目されている。これは大面積デバイスを印刷技術により製造する技術である。低電力、省資源が特徴であり、フィルム状に形成したフレキシブルデバイスへの応用が検討されている。インクジェットは特にプリントドエレクトロニクスに適した技術である。

我々はプリントドエレクトロニクスに応用することを目的にMEMS技術を応用した微小液滴1plを高精度に安定吐出可能な新規IJプリントヘッドを開発した。

今回開発したヘッドは、ノズルプレート、中間プレート、振動板の三つの部分から構成される。振動板にはバルクPZTを用いたユニモルフ振動板を採用。微小液滴量を高速で吐出するために、少ない変位量を早く動かせる振動板が必要となり、ノズル、圧力室、インレットの形状を設計し、ヘッドの固有振動周期の最適化した。

又、 piezoアクチュエーター駆動は、チャンネル毎に電圧を微調整できるDPN駆動方式を採用する事で、128ノズルから吐出される液滴量のバラツキを最小化する事が可能である。

Abstract

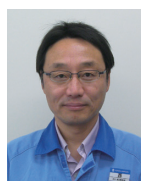
Printed electronics (PE) technology has received a great deal of attention recently. PE technology has been aimed at using printing technology in the manufacturing of large area devices. PE technology features low energy consumption and substantial resource savings, and it has been studied for application to flexible devices. Among printing technologies, inkjet technology is especially suitable for printed electronics.

We developed a new bend-mode inkjet printing head using MEMS technology for PE applications. The new head can eject small volume (1 pl) droplets precisely and stably with high frequency and small angle deviation.

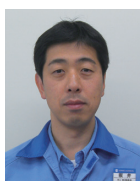
The newly developed print head consists of three layers: a nozzle plate, an intermediate plate, and an actuator. For the actuator, a unimorph structure with bulk PZT ceramics was adopted. To eject small volume droplets at high speed, we investigated the effects of the shape of the nozzle-hole, the structure of the pressure chamber, and the shape of the ink inlet. By optimizing these shapes and structure, we achieved an actuator which is able to drive a small amount of displacement at high frequency.

Further, by adopting a drive-per-nozzle (DPN) driving method which can independently control the driving voltage for each actuator, the piezo actuator driving can minimize droplet volume fluctuation.

執筆者



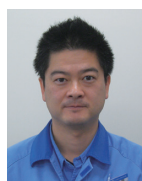
西 泰男



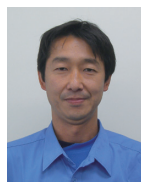
坂井繁一



東野 楠



町田裕一



吉田康二郎

* コニカミノルタIJ(株) 開発統括部 第2開発部
** コニカミノルタテクノロジーセンター(株)
開発推進センター シミュレーション技術室

1 はじめに

近年、「プリントドエレクトロニクス技術」が注目されている。これはディスプレイ、センサー、電池などの大面積デバイスを印刷技術により製造する技術である。低電力、省資源が特徴であり、フィルム状に形成したフレキシブルデバイスへの応用が検討されている。

インクジェットは特にプリントドエレクトロニクスに適した技術である。我々はプリントドエレクトロニクスに応用することを目的にインクジェットヘッドの開発を行い、小液滴かつ高精度に射出可能な新規IJプリントヘッドを開発した。

今回開発したヘッドは、ノズルプレート、中間プレート、振動板の三つの部分から構成される。振動板にはPZTを用いたユニモルフ振動板を採用。微小液滴量を高速で射出するために、少ない変位量を早く動かせる振動板が必要となり、ノズル、圧力室、インレットの形状を設計し、ヘッドの固有振動周期の最適化をした。

又、 piezoアクチュエーター駆動は、チャンネル毎に電圧を微調整できる DPN 駆動方式を採用する事で、128 ノズルから射出される液滴量のばらつきを最小化する事が、可能である。

微小液滴を高精度に基板に配列するために、曲がりなく安定に射出できる高精度Siノズルプレートを開発した。インク滴射出角度は、メニスカス形成～インク滴形成プロセスの安定化が、重要となり、ノズル穴形状及びノズル周辺の撥インク特性に、大きく影響される。我々はMEMS技術を応用することで、高精度Siノズルプレート加工プロセスを開発した。

これらの技術を組み合わせ、有機半導体やOLEDの機能性材料で、求められる1～3mPa・sの低粘度液体であっても安定に射出できるようにインク流路の構造を最適化した。液滴形成過程において、分裂及びサテライトの発生は無く、1液滴の状態で、きれいに飛翔している事を確認できた。さらに、射出角度のばらつきも1°以下に制御することが可能となった。

2 MEMSヘッドの構造

2.1 製品仕様

Table 1 に、KM128SNG-MB-DPNヘッドの仕様を示す。又、Fig. 1 にKM128SNG-MB-DPNヘッドの外観写真を示す。

Table 1 Specification of KM128SNG-MB-DPN.

Jetting method	On-demand piezoelectric
Number of nozzles	128 (in one row)
Droplet size	1.0 pl
Fluid viscosity range	1~5 mPa・s
Nozzle spacing	300 μm
Print width	38.1 mm
Dimension	67 mmW*40 mmD*70.02 mmH
Maximum frequency	15 kHz
Driving method	DPN (Drive per nozzle)
Maximum voltage	40 V

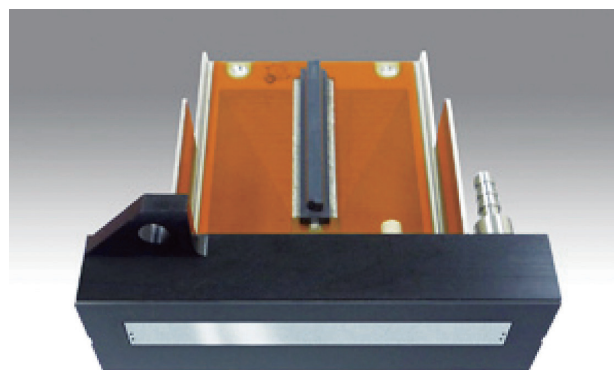


Fig. 1 Picture of KM128SNG-MB-DPN.

2.2 ヘッド構造

Fig. 2 に、MEMSヘッドチップの1ノズル当たりの断面図を示す。ヘッドの総厚は、約500μmであり、ノズルプレート、中間プレート、振動板の3枚のプレートから構成されている。

ノズルプレート及び振動板は、Si基板を使い、CMPで所望の厚みに研磨後、DRIEプロセスを使って高精度に加工した。又、中間プレートは、ガラス基板にブラストプロセスを使って加工した。これら3枚のプレートを高精度に接合後、バルクPZTをSi振動板に転写し、駆動配線を接続する事で、MEMSヘッドチップを組立てた。

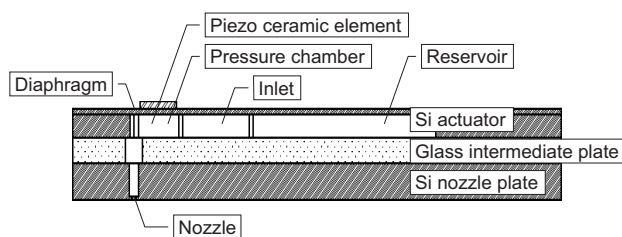


Fig. 2 Cross section of an individual MEMS head.

Fig. 3 にMEMSヘッドチップへのインク経路構造を示す。インクは供給側インクコネクタ (Supply port) より導入され、フィルタを配置した流路を通過し、MEMSヘッドチップへ供給される。

インクは、共通インク室 (Reservoir) から、インレットを通じて個別の圧力室 (Pressure chamber) ~ノズルまで充填される。圧力室上部に厚さ約50μmのPZTで形成された振動板を配置し、厚み方向に電圧を印加することで、PZTが収縮変位し、振動板を介した個別圧力室内の体積変位で、圧力を発生し、ノズルからインクを射出する。

又、MEMSヘッドチップ内のエアは、排出側流路のインクポート (Discharge port 2) より排出される。更に供給側流路にはエア抜き用ポート (Discharge port 1) を併設し、フィルター上流でのエア排出を容易にしている。更に、流路系部品は耐薬品性に優れた材料、接着剤を用いた構造になっており、工業用途で求められる多様な溶剤への対応が可能である。

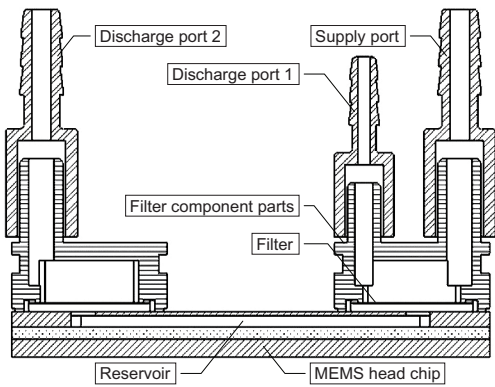


Fig. 3 Cross section of ink supply.

3 MEMSヘッド主要技術の紹介

開発したMEMSヘッドは、1～3mPaの低粘度のインクであっても、微小な1plの液滴を128全ノズルより安定に射出し、高精度に着弾させるためにさまざまな技術を取り入れている。

次に、取組んだ主要技術について述べる。

3.1 流路設計

小さな液滴を飛翔させるためには、振動板を小さい変位量で、早く動かす必要がある。すなわち、ヘッドの固有振動周期を短くする事が重要になる。そのためには、振動板の面積は出来るだけ小さく設計することが望ましい。

我々は、同じ面積であれば、駆動効率的に有利な円形の振動板形状を選択し、既存ヘッドの実験結果を基に、PSPICE等価回路解析、ANSYS構造解析を使って、1plの流路設計を行った。

流路設計には、ノズル、圧力室、ダイヤフラム、PZT、インレット及び共通流路の形状が、重要な因子となる。例えば、ノズル形状の検討を述べると形状によって、液滴射出プロセスにおけるメニスカスの挙動が異なる。液滴射出が安定している場合、Fig. 4のa)に示す様にサテライトを形成することはない。

一方、液滴射出が不安定な場合、Fig. 4のb)のようにサテライト液滴が発生してしまう。この様な解析で、諸特性を考慮し、ノズル形状を最適設計した。

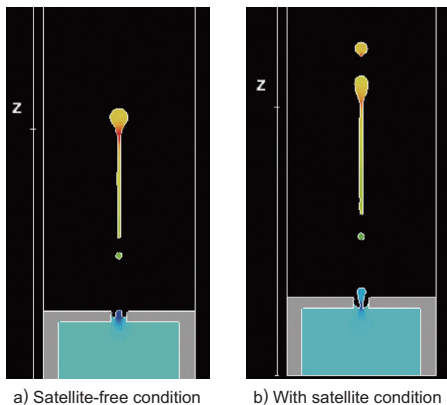


Fig. 4 Jetting condition.

3.2 構造クロストーク解析

様々な打ち方をして、全ノズルから安定に射出するためには、ヘッドの構造クロストーク制御が重要となる。我々はANSYS構造解析を使って、ヘッドの構造クロストーク解析を実施し、最適設計した。ノズルプレート、中間プレート、振動板で、構成されたヘッドチップの構造クロストーク解析モデルをFig. 5に示す。

本モデルを使い、振動板ダイヤフラム、中間プレート及びノズルプレートの厚みを設計範囲内で、変化させ、全駆動時と1/8駆動時の構造クロストークによる各圧力室の体積変化率 (Modulus of volume change) を計算し、各厚みと体積変化の関係を解析した。構造クロストーク設計は、各圧力室の体積変化を小さく抑える事が重要となる。

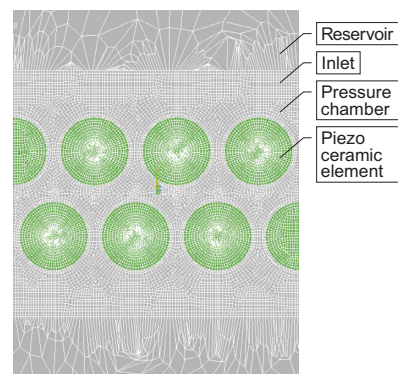


Fig. 5 Structure cross talk simulation model.

構造クロストークの解析結果をTable 2に示す。

振動板のダイヤフラム厚さは薄く、中間プレート及びノズルプレートの厚みは厚い方が、構造クロストークを抑制できる事がわかる。我々は、諸性能を考慮し、設計に反映した。

Table 2 Structure cross talk simulation.

Dimension	A	B	C	D	E
Diaphragm thickness (μm)	15	15	15	30	30
Intermediate plate thickness (μm)	200	150	150	150	200
Nozzle plate thickness (μm)	310	310	206	206	310
Modulus of volume change (%)	0.4	0.6	0.7	1.9	1.6

3.3 高精度ノズルプレート

1plの微小液滴を全チャンネル、液滴量のばらつきを最小にして曲がりなく射出するためには、ノズルプレートの高精度化が必要となる。

ノズル形状の高精度化は、Si基板を採用する事でノズル長をサブミクロンオーダー制御でき、更に半導体プロセスを使ったドライエッチングにより、サブミクロンオーダーでノズル形状を加工できる。

又、射出曲がりばらつきを最小化するためには、撥水膜の高精度加工が重要となる。撥水膜の加工精度と射出曲がりへの影響を実験したグラフをFig. 6に示す。

本グラフは、実際に射出で曲がりのあるノズル内の撥水膜の侵入をAES（オージェ電子分光法）にてフッ素量を測定し、射出曲がりとの相関を分析した。ノズル内面の撥水膜侵入を最小限にする事で、曲がりのない射出が可能になる事がわかった。

撥水膜形成は、フッ素系の単分子撥水剤を塗布処理後、ノズル内面の余分な撥水膜のみを除去するプロセスを検討した。射出面側の撥水膜を保護テープで保護し、裏面より、リアクティブイオンエッチング (RIE) で除去した。

約10 μm のノズル内部に、均一にエッチングガスが入る様に、酸素流量、反応圧力及びRF出力の最適化を図り、ノズル内部の撥水膜残渣がほぼゼロになる条件を見出した。

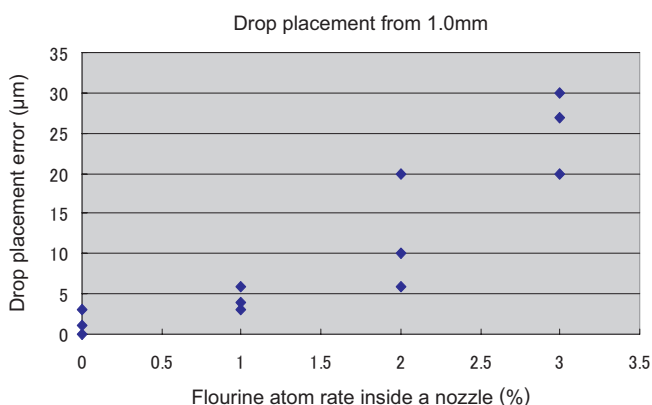


Fig. 6 Drop placement error vs non wet layer processing accuracy.

4 射出評価

最適設計されたヘッドの射出特性について、以下に紹介する。

4.1 インク飛翔状態

低粘度溶剤インク：クロロベンゼン (0.95mPa.s, 33.8mN/m) を、矩形波、15kHzで駆動した時のインク滴射出状態をストロボ撮影した連続写真を Fig. 7 に示す。1plの微小液滴が、サテライトを発生する事なく飛翔できている事がわかる。

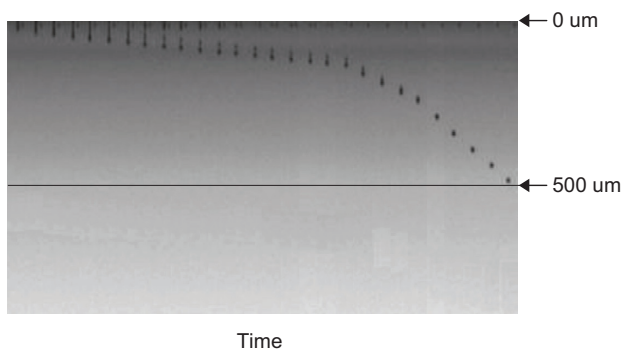


Fig. 7 Transition of filament shape at satellite free.

4.2 インク滴飛翔角度

Fig. 8 に、溶剤アナログインク (3mPa.s, 28.6mN/m) を 15kHz, 全射出時に測定したインク滴の角度ばらつきを示す。

128ノズルより1plの微小液滴が、1°以下のばらつきで飛翔している事がわかる。

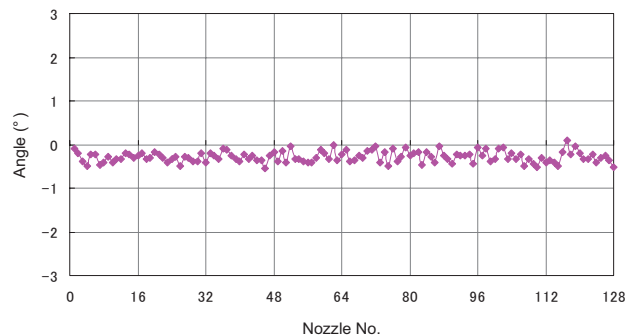


Fig. 8 Trajectory angle deviation.

5 まとめ

我々は流路設計技術、高精度Siノズルプレート技術及び高精度MEMSチップ組立技術を確立し、プリントドエレクトロニクスに応用が可能な高精度1pl MEMSヘッドの開発に成功した。この新ヘッドは有機半導体やOLEDの機能性材料で求められる1~3mPa.sの低粘度液体であっても、全ノズルより微小液滴をサテライトの発生することなく、かつ高精度に射出することができる。

本ヘッドをプリンタブルエレクトロニクスで、高画質電子ペーパー、スマートフォン用途における有機半導体、OLDプロセス、半導体COC再配線プロセス、ナノインプリントと併用による次世代半導体プロセス、更にはバイオプリンティングの実現が期待できる。

今後は、高精細IJに期待されるニーズの多ノズル高密度化及び更なる小液滴化に、必要な要素技術開発を着実に進めていき、製品化に繋げていきたい。

●出典

本稿は日本画像学会“Imaging Conference JAPAN 2012”論文集の予稿を加筆修正して転載したものである。本稿の著作権は日本画像学会が有する。