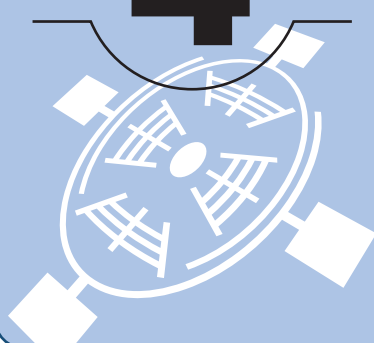


第4章



身近なMEMS デバイスの動作原理 を理解する

篠田正紀，須藤雄之，
Robert.J.Monteverde，編集部，水野皓司

MEMS (micro electro mechanical systems) デバイスは、大きく、「機械・電子MEMS」、「光MEMS」、「RF (高周波) MEMS」に分類できる。この章ではこれらの中から、すでに市場で広く応用されている、あるいは応用されつつあるMEMSデバイスについて、その動作原理やアプリケーションをまとめた。機械・電子MEMSとしてインクジェット・プリンタ・ヘッド、加速度センサ、ジャイロ・センサを、光MEMSとしてGLV (Grating Light Valve)、DMD (Digital Micromirror Device) を、RF MEMSとしてRF MEMSスイッチを取り上げた。(編集部)

インクジェット・プリンタ・ヘッド

篠田正紀



インクジェット・プリンタ・ヘッドは、実用化されているMEMS技術の中でも、もっとも成功したケースの一つだと言われています。実際、すでにインクジェット・プリンタは一般家庭にも広く普及しており、よく知られています。いずれの機種も、微小なインク滴を紙面に向かって吐出し、紙面上に高密度な点(ドット)を並べることで、文字や絵、写真などを表現します。インクジェット・プリンタで印刷したものを高倍率で観察すると、細かい点々を見ることができます。

● ピエゾとバブル、二つのインクジェット方式

インク吐出の駆動源で分類すると、大半の機種は、次の二つに大別できます。

- ピエゾ(圧電素子)の変形を使うもの
- バブル(泡)の膨張を使うもの

ピエゾは、電圧を加えると変形する材料です。この変形を利用してインク流路の一部を押し縮め、吐出口(ノズル)からインクを飛び出させます。電圧を切れば元の形に戻り、再び次のインク滴を吐出できます(図1)。ピエゾの形状が大きく、小型化が困難でしたが、現在は構造や製法などをくふうすることで実用

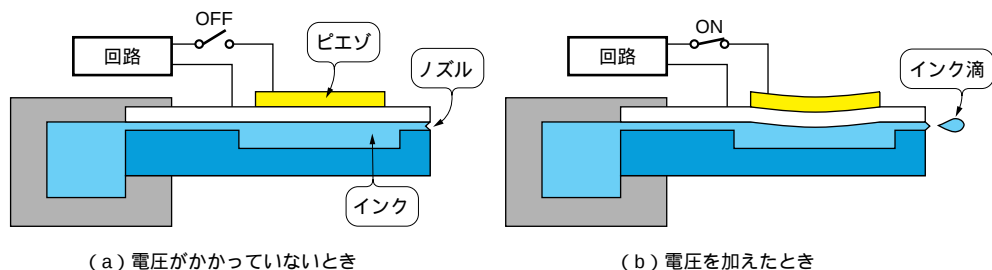


図1 ピエゾ方式の原理

電圧を加えると、(b)のようにピエゾが変形してインク流路の一部を押し縮め、ノズルからインクを飛び出させる。電圧を切れば、(a)のように元の形に戻る。

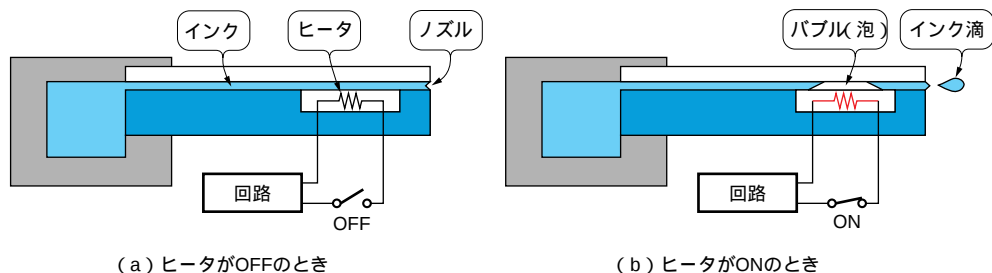


図2 バブル方式の原理

流路の一部に埋め込んだヒータを加熱すると、(b)のようにインク内に泡が発生し、泡の膨張する力でノズルからインクが飛び出す。加熱をやめれば、(a)のように泡はすぐに消滅する。

化しています。流路そのものをピエゾで構成し、高集積化した方式も利用されています。

一方、バブル式はインク流路の一部にヒータを埋め込んでいます。このヒータでインクを加熱、気化させることで、インク内に泡を発生させ、泡の膨張する力でノズルからインクを飛ばします。加熱をやめれば泡はすぐに消滅し、再び次のインク滴を吐出できます(図2)。加熱によるインクの焦げ付きが問題となっていました。保護層などによって解決しています。

いずれの方式も、微小なインク滴を正確に、かつ、高速に飛ばすことが共通の課題です。

● ジェット機からピンポン球を当てるほどの精度

一般的なインクジェット・プリンタでは、1滴のインクの体積は数pL(ピコ・リットル)程度であり、ドットの間隔は数十 μm というオーダーです。例えば、5pLという直径約0.02mm程度の球の体積です。また、20 μm のドット間隔は、1mm四方の面積に2,500個の点が並ぶ密度ということになります。

ノズルから紙面までは、通常1mm～2mm程度の距離があるので、この小さなインク滴を正確に紙にねらって飛ばさなければなりません。しかも、通常はノズルが移動しながらインク滴を吐出するので、さらに難しい制御が必要です。例えば、ノズルが秒速50cmで移動しながら20 μm 間隔でドットを並べるには、毎秒25,000発のインク滴を吐出しなければなりません。このとき、インク滴の初速度としては秒速5m以上

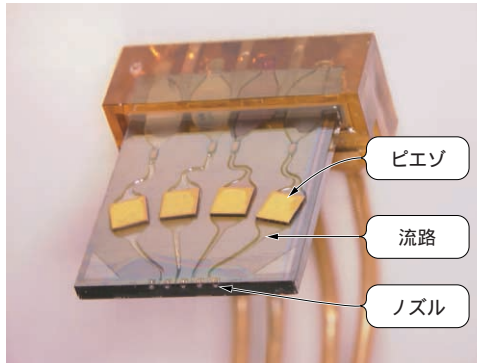


写真1 インクジェット・ヘッドの製品例

写真は工業用の記録計に使われるインクジェット・プリンタ・ヘッドである。原理的には一般のインクジェット・プリンタと変わらない。

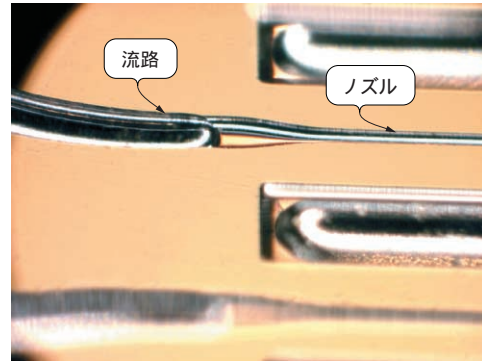


写真2 流路拡大

Siにプラズマ・エッチングで溝を彫り込み、その上からガラスを接合して、インクの流路となるトンネルを形成している。

が必要となります。

このインク滴を2,000倍に拡大すると、ピンポン球(直径4cm弱)くらいの大きさになります。この倍率でそれぞれの数値を拡大すると、インクジェットの動作は地上4mの高さを時速3,600kmで飛ぶジェット機から、地面の上に4cmの間隔でピンポン球を当てていく、という計算になります。7色のインクを使ったカラー・プリンタなら、7機のジェット機が7色のピンポン球を同じ場所に当てる技術が必要です。

実際には、小さいインク滴を飛ばすときは、ゆっくり移動する、あるいは、ドットの位置ずれをカバーするためにドットの並べかたをくふうして目立たないように画像処理するなど、いろいろな方策があります。いずれにせよ、正確なインク滴の飛翔が必要なのはまちがいません。

インクの吐出ノズルは、直径が数 μm ～数十 μm の穴です。この部分が精密にできていないと、インク滴の体積や初速度がバラつく、飛び出す方向が曲がってしまうなどの現象が発生し、きれいな文字や絵になりません。 μm オーダの寸法ばらつき、変形、異物などの付着も不良の原因となります。しかし、MEMS技術によって製作技術が大きく進歩し、ノズルの精密な加工が可能になりました。

● インク吐出以外の用途が広がりつつある

実際の製品の一例を写真1に、また流路を拡大したものを写真2に示します。写真1は工業用の記録計に使われるインクジェット・プリンタ・ヘッドですが、原理的には同じです。この例では、Si(シリコン)にプラズマ・エッチングで溝を彫り込み、その上からガラスを接合して、インクの流路となるトンネルを形成し、さらにガラスの上にピエゾを接着して駆動源としています。

上記のノズル加工のようなMEMS技術以外に、インクジェット・プリンタ・ヘッドでは材料技術や接合接着などの組み立て技術、さらにインク、流体制御、駆動回路、画像処理など、広い範囲の総合的な技術に基づいて製品が成り立っています。

最近では、インクジェット技術は、家庭やオフィスにおける紙への印刷以外にも用途が拡大しています。従来の印刷では、版を作ってから、そこにインクを流して印刷という手順でした。インクジェットであれ

ば、版を作らずにデータから直接印刷することが可能です。これを生かして、大判のポスタやダンボールなどの包装、屋外の広告、布地にプリント柄を印刷する捺染^{なっせん}などがすでに実用化され、多品種少量生産への対応、納期短縮、工程改善などにも貢献しています。

さらに、インク以外の吐出にも適用され、プリント基板の回路パターンやシルク印刷、表示パネルなどの構造材料塗布、微量の薬液を吐出するディスペンサ(試薬などを注射器のような器具を使って一定量ずついくつかの容器に分配したり、一定領域に点状に塗布する装置)など、インクジェット技術は、ますますその応用の範囲を広げつつあります。

しのだ・まさき

富士電機システムズ(株)東京工場

加速度センサ

須藤雄之



加速度センサは、今日、一般に出回っているMEMS技術を用いた製品の代表格と言えます(表1)。

従来の加速度センサとしては、機械式のバネや振り子を内蔵した圧電型、電磁式サーボ型、ひずみゲージ型などが開発されていました。また、光ファイバ加速度センサ(二つの光ファイバの間のひずみに差が出て、光路間で違いが現れることを干渉計で測定する加速度センサ)なども考案されています。これらの加速度センサは、ときとして装置が複雑になったり、コストがかさむなどの理由によって、一般用途には向きませんでした。近年では、半導体加速度センサ、いわゆるMEMS加速度センサが現れ、サイズも小さくなり、かつ使いかたも簡単になってきました。

現在、実用化されている半導体加速度センサは、ピエゾ抵抗式、静電容量式、熱分布検知式などに分けることができます。ピエゾ抵抗式加速度センサは、センサ・チップの中央に設けたおもりを四方からピエ

表1 MEMS加速度センサが使われる製品の例

自動車のエアバッグ、ゲーム・パッドなど、すでに多くの製品に搭載されている。表には実際に加速度センサが使われている、あるいは今後使われるであろうと予想されるアプリケーション例を示す。

市場 測定対象	自動車	民生機器	軍用/産業用機器
加速度と速度	●エアバッグ・センサ ●ナビゲーション・システム ●安全走行システム ●スピード・メータ	●パソコンのディスク保護 ●歩数計 ●スポーツ・トレーナ	●無人飛行 ●パワー・ドリル制御 ●プリンタ・ヘッド・ポジション
位置と傾き	●ナビゲーション・システム ●カー・アラーム	●ゲーム・コントローラ ●ロボット ●ハンドヘルド機器 ●液晶プロジェクタ ●ノート・パソコン盗難防止 ●健康器具 ●パソコン用入力デバイス ●HMD(ヘッド・マウント・ディスプレイ)	●計測機器 ●誘導装置 ●トラクタ・ハブ積算距離計 ●傾斜計 ●レーダ制御
衝撃と振動	—	●白物家電 ●血圧モニタ ●CD/DVD装置	●地震計 ●健康モニタ機器 ●エレベータ監視システム ●産業用機械の動作監視

ゾ抵抗素子で支えるという構造をとっています。加速度を受けたとき、中央のおもりの変動によって発生する四つのピエゾ抵抗の変動をブリッジ回路を用いて検出します。熱分布検知式加速度センサは、チップ内の発熱部分(ヒータ)によって温めた内部の気体の動きを、温度センサで検知するという方式を採用しています。静電容量式加速度センサは、二つのビーム(梁^{はり})をそれぞれコンデンサの電極板と見立てて、ビーム間の距離の変動を静電容量値として検知する方法です。

ここでは、筆者ら(米国 Analog Devices 社)が開発した静電容量式加速度センサを例に挙げて具体的な動作原理などを説明します。

● 表面マイクロマシーニング技術でセンサを製造

筆者らは、MEMS加速度センサの製造に表面マイクロマシーニング(surface micromachining)技術を採用しています。表面マイクロマシーニングは読んで字のごとく、Si(シリコン)基板の表面上にセンサ・ビームや電極などを作り上げていく技術です。このとき使われるのは、不純物の拡散、酸化膜の成長、エッチング、蒸着など、半導体チップの製造に普通に用いられる手法です。

実際にSiの基板から始まり、最終的なセンサのビームが形成されるまでの工程(断面図)を図3に示しま

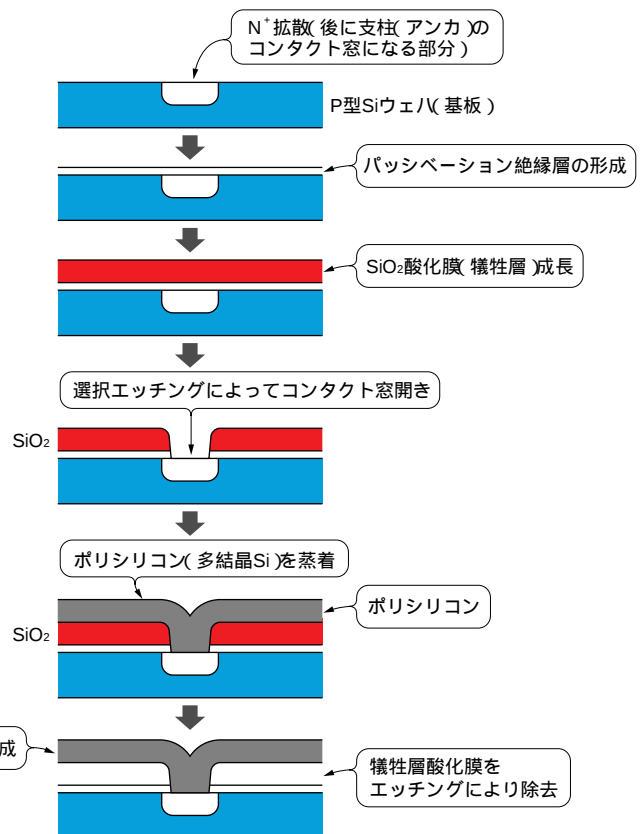


図3
表面マイクロマシーニング技術によるプロセス

ここでは、BiMOSという半導体製造プロセス技術を採用している。普通のLSIの製造工程と同じ不純物の拡散、酸化膜の成長、エッチング、蒸着などによって、センサのビームを作る。