

(様式第9 別紙2：公開版)

養成技術者の研究・研修成果等

1. 養成技術者氏名：楊 振 (Zhen YANG)
2. 養成カリキュラム名：微細加工を利用したバイオ化学・医療福祉用マイクロデバイスの開発

3. 養成カリキュラムの達成状況

カリキュラムの通り達成した。

4. 成果

平成13年四月着任以来、文献調査、試作設計を行い、試作を実行した。重点は micro mixing Chamber の最適化である。Mixing の時間を短縮し、高速 mixing のために Dead Volume 縮小と Input Power の協調を重点に検討した。着任以前に開発した Active Micromixer の高性能化を狙っている。現時点の Active Micromixer は多様な流体と流速に対応しているが、2秒のMixing時間を要することはバイオテクノロジーへの対応、特に蛋白質工学へ応用にはまだ効率が悪い。たんぱく質の1次と2次構造では現在の遺伝工学はかなり制御ができるようになった。しかし1次と2次構造ができて生物活性化には対応しない。活性化するには3次元空間構造が必要である。Sub-millisecondの速さで、その時間内でのpH制御が生物活性化の効率が大きく左右している。このため、高速 Micromixer の応用が期待されている。100mmのWafer上で、4種類5ChipsのPatternを設計した。その4種類のMixing効率とInput Powerの関係を調べ、Mixing Chamberの設計要素を引き出した。東京大学の共同開放設備を使い、Photolithographyのマスクを3枚作成した。一回目の試作ではGlass WaferにCr/Auを真空蒸着して、Photolithographyの方法を用いて、Patternを転写した。それをマスクとしてフッ酸と硝酸の混合液で12 μm の深さの流路Channelを形成し、陽極接合でSilicon WaferもBondingして密閉流路を作成した。更に両面Mask Alignerを用いてSilicon Wafer側にDiaphragmのPatternがGlass Wafer側の流路Channelの位置を合わせて作った。Buffered フッ酸を使って酸化膜をPatterningの部分だけ除去し、他の部分の酸化膜1.8 μm をmaskとしてKOH溶液中に13時間Etchingして、80 μm のSilicon Diaphragmを製作した。Lift Offの手法でSilicon側に電極を形成し圧電素子を実装して、Deviceの評価を行った。

2年目に入って、マイクロ流体デバイスのシステム化を進めた。主に取り込んだ課題は流路及びフローチャンパー内における気泡の問題である。マイクロ構造では、マクロ世界で無視できる表面張力がデバイスの特性を大きく左右する。安定して再現性良く動作するために脱気デバイスを開発し、動作確認に成功した。この脱気デバイスはマイクロマシンの技術

で作ったもので、並列構造作製が非常に容易である。人工透析装置への応用も考えられる。人工透析装置小型化の難点の一つは透析液脱気用の真空ポンプである。この研究は携帯式人工透析装置の可能性を示した。マイクロ脱気デバイスはガラスとシリコンを微細加工し、陽極接合の技術を用いて、チャンバーを密閉した。さらに極めて細いイベント・チャンネルをフッ素系溶剤で撥水処理し、作製した。シリコンの裏に圧電素子を貼り付けた後、配線し、テストを行った。顕微鏡下で直接脱気 Process を確認でき、さらに定量的に脱気効率をマイクロ酸素電極を用いて測定した。その結果標準モードで1 / 3以上の溶存酸素を取除き、人工透析装置の仕様を大きく上まわり、駆動電圧が下がれば、脱気の効率はさらに上げられることを示した。この成果を知的財産権として所得し、研究論文も発表した。

また、現在の微細加工技術は高い生産性を達成している一方で、マイクロ流体デバイスの実装技術は進歩が遅れており、試作及び評価の効率化の妨げとなっている。マイクロ流体デバイスと外界を接続する汎用的なインターフェイスが実現すれば、個々のデバイスにおける実装のための設計や組立工程を簡略化できるため、特にコンセプトの実証段階にあるマイクロ流体デバイスの開発は大幅に加速すると期待される。このような汎用インターフェイスでは、小型化よりもむしろ取り扱いの容易さ、柔軟性及び再利用性が重視されるべきである。デバイスに対する入出力としては、流体の他に電気や光を考慮する必要がある。また、ワイヤボンディングされた接点などの脆弱部を保護できる構造も重要である。これらの要求を満足すべく開発したマイクロ流体デバイス用ソケット型実装ボードの開発も行った。ソケットの流体の入出力には dual inline 構造を採用した。各列はピッチ 2.5mm, 10本のチャンネルアレイとなっており、合計 20 個のチャンネルが使用できる。デバイスとの接続部分には、化学的安定性と弾性に優れるシリコン製チューブを採用した。各チューブの内径は 0.5mm, 外径は 1mm である。シリコンチューブの先端はソケットのガイド部の縁から 0.5mm の長さまで突出しており、デバイスとの密着性を高める構造となっている。デバイスを装着した状態で水によるリーク試験を行ったところ、圧力 0.2MPa の条件下でリークがないことが確認できた。ソケットに装着した状態で、デバイス表面の空間は開放されており、目視や顕微鏡による観察及び光学的手法による評価が容易に行えるように配慮されている。電気的な入出力には、リードレス・チップキャリアソケット構造を採用した。電極のピッチは 1.27mm である。チップ裏面の電極パッドは、フォトリソグラフィーにより作成する。シリコンやガラス基板を用いた MEMS デバイスでは、こうした電極を作成することは容易である。ソケット底面には 42 本の端子が配置されており、チップ裏面の電極パッドと対応する。各接点の最大電流は 1A, 接触抵抗は 20mW 以下となっている。この成果は研究論文にまとめ発表した。

平成 15 年はマイクロ流速センサーを開発した。微細流路内の速度測定の方法はいくつか提案されているが、トレーサ粒子を混入させるものは、微小流体の精密な供給や他の物質の混入が問題となる場合には使えない。渦の振動などをみるものは、測定の下限が渦の発生により決められてしまうという問題があった。熱を加え、下流において検地する方法では、マイクロリアクタのような化学反応流体の場合には適さない。そこで、液体クロマトグラフィやマイクロリアクタの用途にあった流速センサとして、液体中に液体の流速に応じて変形する受動板を設け、その変位をマイケルソン・レーザ干渉計で測定することによるものを試作し、その有効性を示した。測定の原理を図 1 に示す。上部出入口から入った液体は流路の途中にある受動板を流速に応じて押し下げる。この押し下げられた変位量をレーザ変位計で測定する。データは PC に送られ、保存および流量への変換が行われる。この図では上部から液体が入る場合を示しているが、逆に流れる場合も測定が可能で、双方向性を備えている。試作した構造を図 2 に示す。3つの構造からなっており、受動部および下部はシリコンのエッチングプロセスにより加工した。上部はレーザで受動板の変位を測定するためにガラスで製作した。受動板の大きさは、今回の場合 150 μ m \times 150 μ m \times 1.75 μ m である。

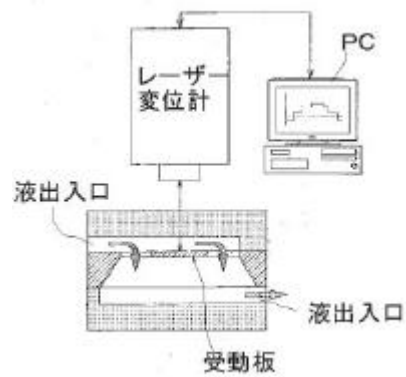


Fig 1. The principle of the micro flow sensor. It uses micro laser interferometer to detect the fluidic momentum transfer.

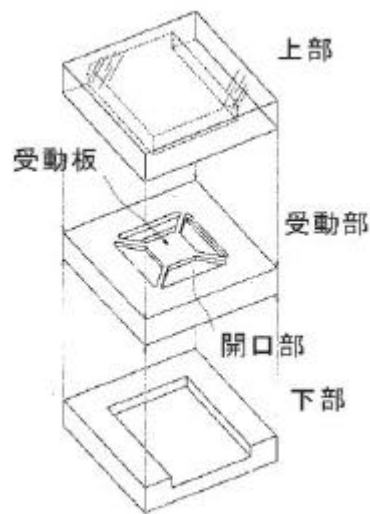


Fig 2. The structure of the micro flow sensor. SOI is used to fabricate the sensing plate.

作成したプロトタイプによる計測の状況を図3に示す。センサーチップは流体実装ソケットにより外部配管に接続されている。計測した一例を図4に示す。マイクロリットル毎分の流量範囲内ではサブマイクロオーダーの変位が高い再現性で検出されている。また、この範囲での応答は、ほぼ線形であることがわかった。

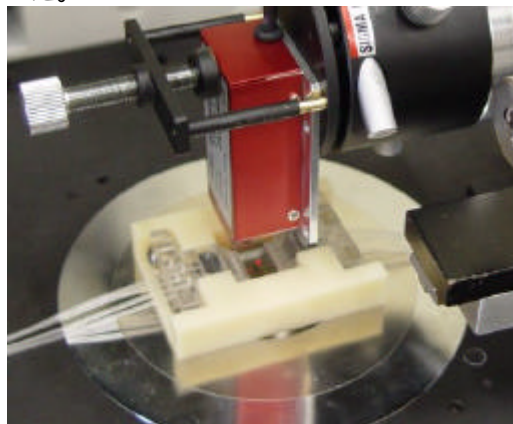


Fig. 3 The photo of the experimental setup.

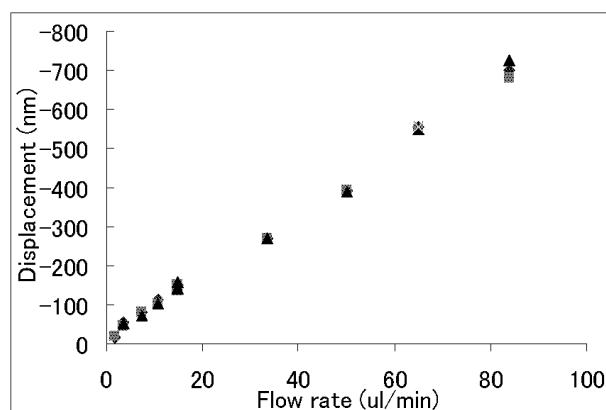


Fig. 4 The calibration curve of flow rates to the output of the sensor.

5 . 成果の対外的発表等

(1) 論文発表 (論文掲載済、または査読済を対象。)

1. Yang Z, Matsumoto S, Goto H, Matsumoto M and Maeda R (2001) Ultrasonic micromixer for microfluidic systems. Sensors & Actuators. A93: p266-272
2. Yang Z, Matsumoto S and Maeda R (2002) A prototype of ultrasonic micro-degassing device for portable dialysis system, Sensors and Actuators A95: p274-280
3. Yang Z and Maeda R (2002) A world-to-chip socket for microfluidic prototype development. Electrophoresis. 23(20) p3474-3478
4. Yang Z and Maeda R (2002) Packaging for microfluidic devices and systems. J. Jpn Institute Electronics Packaging, 5(2) p116-121
5. Yang Z and Maeda R (2003) A socket with built-in valves for the interconnection of microfluidic chip to macro constituents. J. Chromatography A, Vol. 1013, p29-34
6. Ichiki M, Zhang L, Yang Z, Ikehara T and Maeda R (2003) Lead zirconate titanate film formation technology with spray coating method. Jpn J Appl Phys, Vol. 42, p5927-5930

(2) 口頭発表 (発表済を対象。)

1. Yang Z and Maeda R (2001) Ultrasonic micro degassing device. MEMS'2001, 471-474
2. Yang Z, Matsumoto S and Maeda R (2001) Fabrication and performance of ultrasonic micro-degassing device. uTAS' 2001, p191-192
3. Mihalcea C, Khumpuang S, Kuwahara M, Yang Z, Maeda R, Tominaga J and Atoda N (2001) Ultra-fast anisotropic silicon etching with resulting mirror surfaces in ammonia solutions. Transducers'01, Munich, Germany, June 10-14th, p608-611
4. Yang Z and Maeda R (2002) A low-cost infrared alignment system for MEMS research. Proc. of Pacific rim workshop on transducers and micro/nano technologies, Xiamen, China, Jul. 22-24th, p219-222
5. Yang Z and Maeda R (2002) The experiences in the development of active microvalve using PZT generated standing wave. Proc. of MSE Workshop, Tsukuba, Japan, Feb. 20-22th, p139-143
6. Yang Z and Maeda R (2002) A world-to-chip socket for microfluidic prototype development.

SPIE Nano- and Microtechnology: Materials, Processes, Packaging, and Systems. Melbourne, Australia, Dec. 16-18th, p98-104

7. Yang Z and Maeda R (2003) World-to-chip Sockets with Built-in Valves for Testing Microfluidic Devices. HPCE 2003, San Diego, USA, Jan 17-22th.
8. 楊振、ソマワ、前田龍太郎(2001) マイクロ脱気デバイス。マグネティックス/マイクロマシン・センサシステム合同研究会
9. 楊振、松本壮平、前田龍太郎(2002) マイクロ実装ボードを利用した流体ミキサーの試作。精密工学会春季大会 P 5 6 9
10. 楊振(2003) 超音波を利用した世界初のマイクロ・ミキサーの開発。AIST Today ,2003 (2) P13 .
11. 楊振、前田龍太郎(2003) バルブ付きマイクロ流体部品試験用ソケット。エレクトロニクス実装学術講演大会 P 3 0 5

(3) 特許等の出願件数

2件