

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月17日現在

機関番号：17401  
 研究種目：挑戦的萌芽研究  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23656266  
 研究課題名（和文）電気二重層の空間フィルタリングを利用したマイクロフローセンサー  
 研究課題名（英文）Micro flow sensor based on the impedance of the electrical double layer  
 研究代表者  
 鳥越 一平（TORIGOE IPPEI）  
 熊本大学・自然科学研究科・教授  
 研究者番号：40134663

## 研究成果の概要（和文）：

微小な流路を流れる電解液の流速を測定するマイクロセンサーについて、実験的な研究を行った。流路に接する電極のインピーダンスが、流れる電解液の流速とともに変化することを確認した。また、電場と流れが平行であるか垂直であるかによって、電極インピーダンスが異なる変化を示すという興味深い現象が確認された。

## 研究成果の概要（英文）：

We proposed an impedance based flow sensor which measures the flow velocity through a micro channel on the basis of the interactions between the flow and the electrical double layer. Several experiments were performed using an electrode chip fabricated by FIB. The results showed the following: (1) the impedance of the electrode changes in approximate proportion with the flow velocity, (2) the real and imaginary component of the impedance shows a different change, (3) the behavior of the two components depends on the direction angle between the flow and the electric field.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：電気二重層，マイクロフロー，インピーダンス

## 1. 研究開始当初の背景

実験室機能を微小なチップ上に集積した Lab-on-a-chip ないしは  $\mu$ TAS では、流体や微粒子を輸送、混合、分析、操作、分離するための多くの要素技術を統合することが必要となる。そこでのキーテクノロジーの一つが、微小な流路内を流れる液体の流速を測定するマイクロフローセンサーである。

マイクロチャネル壁面の電極インピーダンスから流速を測定するマイクロフローセンサーが実現できれば、製造工程が単純で安価である上に他の要素部品との整合性も高いので、Lab-on-a-chip の実用化に向けて大きな意味をもつ。

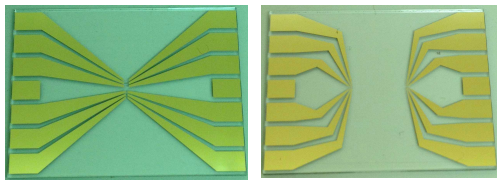
## 2. 研究の目的

流路内の液体と接する電極のインピーダンスは、流速だけでなく、温度、流体の組成や濃度などにも強く依存する。本研究は、時空間フィルタリングという新しい原理を導入することによって、対象液体の幾何学的な移動速度のみに依存し、化学的・物理的条件に影響されることのない、新しいマイクロフローセンサーを実現することが目的であった。

## 3. 研究の方法

当初の研究計画と実際に実施した研究は以下のとおりである。

(1) ガラス基板上に金属薄膜の櫛歯状電極を成形した電極基板を作製する。



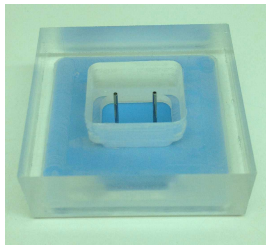
電極基板

(2) 別のガラス基板上にフォトリソグラフィでパターンニングしてマイクロ流路を製作する。

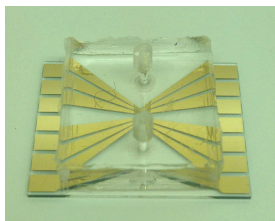
実際に製作した結果、フォトリソグラフィと電極基板の密着性が不十分であることがわかった。そこで、微細切削加工により、流路の形状をステンレスで製作し、この形状を型取りして鋳型とし、PDMS製の流路を製作する手順を開発した。



ステンレス製流路および型取り用枠組



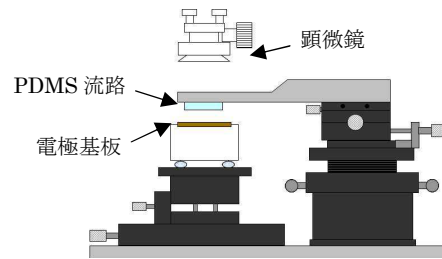
流路鋳型（青色）およびPDMS用枠組



PDMS製流路および電極基板

(3) 電極基板とマイクロ流路を顕微鏡下で貼り合わせてフローセンサーを作るためのアライメント治具を製作する。

実際に製作したアライメント治具の構成と写真を次に示す。



アライメント治具構成



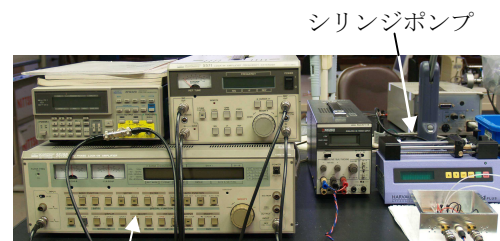
アライメント治具写真



治具全景

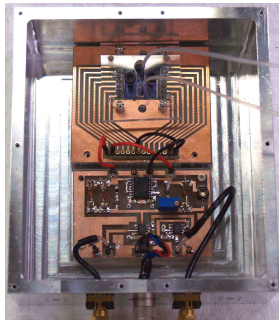
(4) シリンジポンプによってマイクロチャネル内に定流量を流し、流速測定実験を行う。

電極インピーダンスはロックインアンプを用いて計測した。



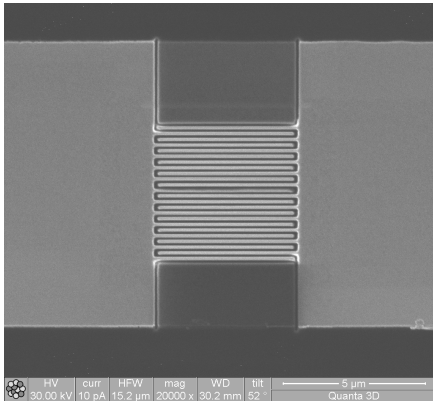
ロックインアンプ

流速測定実験セットアップ



流量測定実験（センサー部）

(5) より小さい流量レンジ向けのセンサーを，FIB 装置を利用して製作し，流速測定実験を行う．なお，当初はCr-Au-Ti の電極とする計画であったが，耐蝕性の観点から，Ti 単層の基板に変更した．



FIB で作製した電極部の例

(6) PLL を利用したインピーダンス自動測定回路の開発を行う計画であったが，インピーダンス変化の絶対量が微小過ぎるため，PLL 回路は製作しなかった．

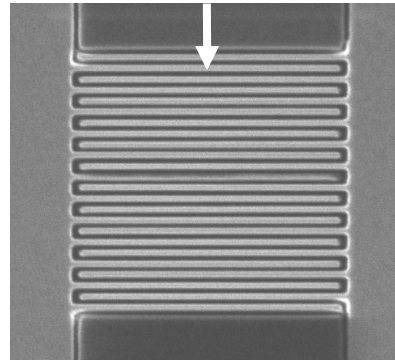
#### 4. 研究成果

以下のような結果が得られた．

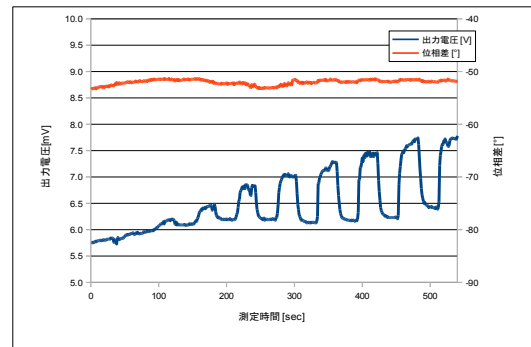
(1) リソグラフィーでパターンニングした電極のインピーダンスが，流路を流れる電解液の流速とともに変化することを確認した．しかしながら，インピーダンスの変化分は微小で，種々の外乱のために変動し不安定である．これは，流れと相互作用する電気二重層拡散層の厚さが，電極パターン幅 ( $10\ \mu\text{m}$ ) と比較して遙かに薄いことが原因と推測される．

(2) FIB によりパターン線幅 100nm の電極チップを製作し，同様に流速とインピーダンスの関係を測定した．インピーダンスの変化分を見るために，流速を次第に大きくしながら流れをオンオフして，インピーダンスの時間変化を記録した．以下に結果を示す．

流れ方向

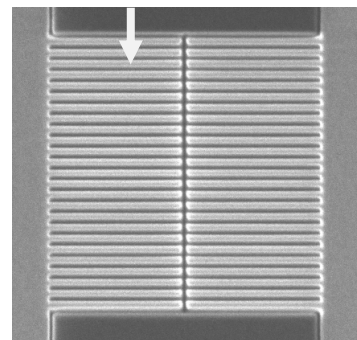


電極パターン 1（電極幅 100nm）

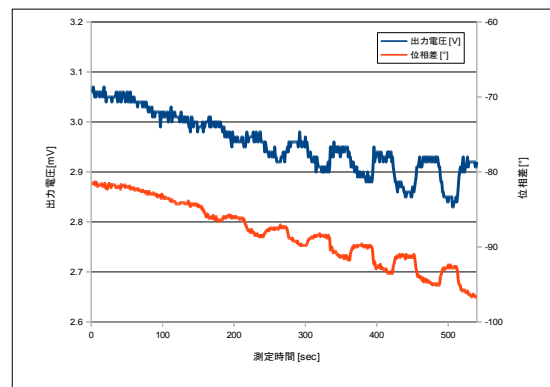


インピーダンス変化 1（赤線は位相）

流れ方向



電極パターン 2



インピーダンス変化 2

電極インピーダンスの変化分は、流速に対してほぼ線形であったが、インピーダンスの絶対値は、流速が一定でもドリフトする傾向を示している。このことは、外乱の影響を除いて流速を測定するには、空間フィルタリングが有効であることを示唆している。

インピーダンスの変化分は、これらの電極チップでも微小な大きさである。これは、当学で保有するFIB装置で加工できる領域が小さく、電気二重層と流れの相互作用が生じる領域が、電極全体の面積に比べて小さいためと推測される。今後、より大きな領域に電極パターンを作製する機会をとらえて、実験を継続することを計画している。

なお、インピーダンス変化1では、流速が変化しても位相はほとんど変化せず、絶対値のみが変化している。これに対して、インピーダンス変化2では、流速によって、絶対値とともに位相も変化している。すなわち、電場と流れが平行であるか垂直であるかに依存して、電極インピーダンスの実部と虚部が異なる振る舞いを示すことがわかった。この現象は、これまで報告のない興味深い現象である。

## 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)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鳥越 一平 (TORIGOE IPPEI)

熊本大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：40134663