A207 重力を利用した誘電泳動力の測定方法

Measurement of Dielectrophoretic Force by employing Gravitational Force

○今里 浩子 (九工大院)

山川 烈 (九工大院)

Hiroko IMASATO, Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology
 Takeshi YAMAKAWA, Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

Key Words : Dielectrophoresis, Nonuniform electric field, Null method, Gravitational force

1. はじめに

誘電泳動とは、不均一電場内におかれた物質が電場とそれにより誘導される双極子モーメントの相互作用により駆動される現象である。この現象を利用して、現在、生体試料の分離・同定をはじめ、さまざまな分野で研究が進められている^(1,2)。特定の物質に生じたこの駆動力、すなわち、誘電泳動力を測定することは、極めて重要であるが、その具体的数値を求めることは容易ではない。一般に設計された電極によって生ずる誘電泳動力を解析的に求めることは不可能に近いので、有限要素法を用いて、計算によって求められる。しかしこれは、実際の誘電泳動力を測定していることにならない。

本研究では、どのような形状の電極の場合であっても適用できる、重力を利用した誘電泳動力の直接的測定方法を提案する。実際にマイクロ加工技術を利用してデバイスを試作し、その中でポリスチレンビーズに生じる負の誘電泳動力の測定を実施した。

2. 測定原理

比誘電率 ϵ_m の溶液中における比誘電率 ϵ_p の粒子(半径 r の球体)が不均一な電界から受ける誘電泳動力は、下記のようにあらわすことができる⁽³⁾。

$$F_{DEP} = 2\pi\epsilon_0\epsilon_m r^3 \frac{\epsilon_p - \epsilon_m}{\epsilon_p + 2\epsilon_m} \nabla E_{rms}^2 \quad (1)$$

この誘電泳動力を測定するために‘零位法’を用いる。すなわち、重力を利用して、(1)式に等しい逆向きの力を作る。そのためには、Fig. 1に示すように水平面と θ の角をなす斜面に沿って上向きに負の誘電泳動力が発生するように、斜面にデバイスをセットする必要がある。デバイス中の水に分散した粒子の斜面に沿った下向きの重力は、

$$F_G(\theta) = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_p - \rho_m) g \sin \theta \quad (2)$$

となる。 $F_{DEP} = F_G(\theta)$ となるように θ を調整すれば、(2)式より F_{DEP} が計算によって求まる。また、 F_{DEP} と $F_G(\theta)$ が互いに打ち消しあう方向でない場合は、Fig. 1の ϕ 方向に回転させることによって、打ち消しあうように $F_G(\theta)$ の方向を調整することができる。

3. 実験

3.1 実験試料

誘電体粒子としてポリスチレンビーズ($9.9\mu\text{m}^\phi$, 比重1.06, 誘電率2.4~2.65, Duke Scientific Co., Ltd.)を使用し、蒸留水中に浮遊させた。

3.2 デバイス作製

スライドガラス表面に厚さ約 $1\mu\text{m}$ のアルミニウム薄膜をスパッタで形成し、フォトリソグラフィにて電極を作製した。さらに、電極の表面全体を厚さ約 $1\mu\text{m}$ の感光性ポリイミド(フォトニース, 東京応化工業)で被覆した。約 $100\mu\text{m}$ のシリコンゴム膜をスペーサとして円形のチャンバーを形成し、実験試料を注入し、カバーガラスで覆った。(Fig. 2 参照)

3.3 実験装置

誘電泳動実験を顕微鏡下で行うためにデバイスを顕微鏡にセットし、 θ および ϕ を独立に調整できるような可変式傾斜台を試作し、これに顕微鏡を固定した。(Fig. 3)

3.4 実験方法および結果

ファンクションジェネレータからデバイスに供給する正弦波信号の電圧振幅および周波数ならびに角度 θ を変え、ステップ応答および静特性を測定した。

①ステップ応答

電圧ステップ応答を計測した。各入力信号をステップ状に変化させ、ポリスチレンビーズの移動量を記録した。ポリスチレンビーズの静止が物理吸着や摩擦によるものでないことを確認したうえで、その定常状態を確定した。ステップ電圧は、8Vpp から 20Vpp に、また 20Vpp から 8Vpp に切り替えて行った。その場合の結果を Fig. 4 に示す。この図から時定数はそれぞれ 1 分および 5 分で、およそ 15 分で定常状態に達することがわかる。

②静特性

電圧および角度を変化させた場合のポリスチレンビーズの移動量を定常状態になるのを待って測定した。その結果をそれぞれ、Fig. 5 および Fig. 6 に示す。電圧が高くなるにつれて、負の誘電泳動力が増大し、重力に抗してポリスチレンビーズが上方に移動していることがわかる。また、斜面の角度の増大に伴い、重力成分が増加し、上方への誘電泳動力が抑えられ、ポリスチレンビーズは下方へ移動する。ここで 10° は 0.05pN を、 60° は 0.259pN を意味する。

4. 結論

マイクロ加工技術により誘電泳動用のデバイスを作製し、さらに、重力の方向が調整可能である可変式傾斜台を作製した。これらを使用することにより、負の誘電泳動力によるポリスチレンビーズの移動のステップ応答および静特性を測定した。この試作装置により、 0.03pN から 0.259pN 程度の誘電泳動力の測定が可能である。

Fig. 1 誘電泳動力をポリスチレンビーズの重力を用いて測定する装置の説明図

Fig. 2 誘電泳動実験用デバイス

Fig. 3 実験装置外観

Fig. 4 ポリスチレンビーズの位置のステップ電圧に対する応答

Fig. 5 ポリスチレンビーズの位置の印加電圧依存性

Fig. 6 ポリスチレンビーズの位置の角度依存

<参考文献>

- (1) Li H and Bashir R. Dielectrophoretic separation and manipulation of live and heat-treated cells of *Listeria* on microfabricated devices with interdigitated electrodes. *Sensors and Actuators* 2002; B 86:215-221.
- (2) Gascoyne P, Satayavivad J, Ruchirawat M. Microfluidic approaches to malaria detection. *Acta Tropica* 2004; 89:357-369
- (3) Pohl H A. *Dielectrophoresis*. Cambridge University Press. Cambridge. 1978.