

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 29日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23740320

研究課題名（和文）トラックエッチング膜とナノビーズによるラチェット膜および交流駆動電気浸透流ポンプ

研究課題名（英文）AC-driven electro-osmotic pump and ratchet membrane by nanobeads and track-etched membrane

研究代表者

奥村 泰志（OKUMURA YASUSHI）

九州大学・先導物質化学研究所・准教授

研究者番号：50448073

研究成果の概要（和文）：

口径が 400nm のポリカーボネート製トラックエッチド膜の両側にマグネトロンスパッタで金をコートし、両側の金に直流電圧を印加すると、水中で理論限界に肉薄する優れた電気浸透流ポンプとして機能することを見出した。また、この膜に交流電圧を印加すると、逆止弁など機械的な整流機構を用いなくとも、誘起された交流の水流が膜の非対称性から整流され、交流電圧駆動で直流送液特性の電気浸透流ポンプとして機能することを見出した。トラックエッチド膜表面のゼータ電位は裏と表で異なっており、これが整流特性を生み出す非対称性と考えられる。また、トラックエッチド膜の片面に超高分子量の高分子スペーサーを用いてビーズを修飾したラチェット膜を作成した。今後、水の電気分解や pH 変化を伴わない、革新的なディスポーザブルな電気浸透流ポンプとして応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：

We found that track etched membrane made of poly carbonate with pores of 400 nm coated with gold using magnetron sputtering become excellent electrophoresis pump under applying DC voltage. If an alternating voltage is imposed to the track etched membrane coated with gold in water, alternating flow of water was rectified and the membrane acted as alternating voltage driven DC electro osmotic pump. It is considered that difference of zeta potentials on the both side of the membrane generated rectification property. Furthermore, we prepared ratchet membrane by fixing nanobeads on one side using ultrahigh molecular weight polymer spacers. These results are expected to be applied to disposable electro-osmotic pump that does not cause pH changes and the generation of gases by electrolysis of water.

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	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：生物物理・化学物理

科研費の分科・細目：物理学・生物物理・化学物理

キーワード：トラックエッチング膜、電気浸透流ポンプ、交流駆動

1. 研究開始当初の背景

近年、マイクロ流体デバイスであるマイクロポンプの需要が高まっており、その用途はマイクロリアクター、携帯型医療

機器など様々である。一般的なものに機械式マイクロポンプがあるが、このポンプは精密部品で構成されるため、低コスト

ト化と小型化に限界がある。こうした背景から、近年では機械式ポンプに代わるマイクロポンプとして電気浸透流ポンプが注目を集めている。このポンプは、水などの流体に浸した多孔質材料内部の固-液界面に生じた電気二重層に平行な直流電流を印加することで細孔内の流体が移動する電気浸透流を駆動力とするため、可動部品を一切必要としない。しかし、このポンプは送液時に溶媒の電気分解により溶液の pH 変化を伴い、水素や酸素などガスが発生するという問題点がある。

2. 研究の目的

本研究では電気分解が生じない交流電流を多孔質材料に印加した際に生じる溶液の往復運動を一方向に整流することで、電気分解の生じない交流駆動の電気浸透流ポンプの開発を目的とする。

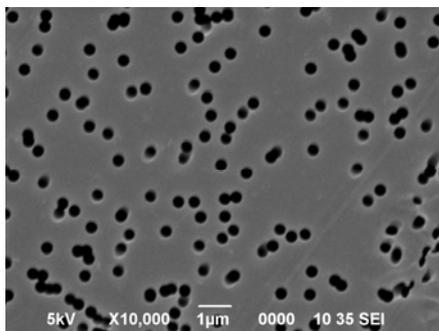


図1 孔径400nmのトラックエッチド膜の走査型電子顕微鏡像

3. 研究の方法

細孔が円形で孔径が均一な多孔質高分子膜であるトラックエッチド膜 (TE 膜、図1) の片面のみに高分子量の高分子をスパーサーとしてナノビーズを修飾して逆止弁とする整流機構の実現を試みた (図2)。また、ナノビーズを修飾しないトラックエッチド膜自体の整流機構についても検討した。

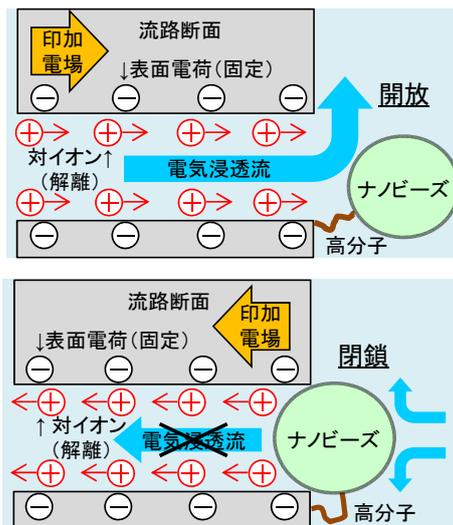
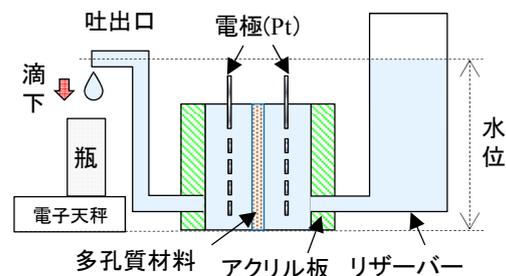


図2 交流駆動電気浸透流とナノビーズの弁による整流作用



$$Q = -A\Psi f \frac{\epsilon\zeta V_{\text{eff}}}{\mu L} \dots (1)$$

Q: 流量 (ml/min)	A: 溶液との接触面積 (m ²)
Ψ: 空孔率 (-)	f: 流路の有効率 (-)
ζ: ゼータ電位 (V)	μ: 溶液の粘度 (Pa·s)
ε: 溶液の誘電率 (CV ⁻¹ m ⁻¹)	L: 膜厚 (m)
V _{eff} : 材料に印加された電圧 (V)	

図3 ポンプ評価装置の概略図 (上) と電気浸透流の流量の理論式 (下)

図3 上に作製した電気浸透流評価装置の概略図を示す。吐出口とリザーバーの水位の差を無くし、背圧による逆流が無い条件での電気浸透流を測定し、送液量は電子天秤で計量した。電圧印加は、TE膜の両側に配置したPt電極を用いる方法と、TE膜の両面にマグネトロンスパッタにより金コートし、導電ゴム製のOリングで挟んで導通を確保し、TE膜に直接電

場を印加する方法を比較した。TE 膜へのビーズ修飾では、まず膜の片面にカルボキシル基を有するアルカンチオールを金チオール反応で修飾し、両末端がアミノ基の分子量 80 万（長さ約 6 μm ）のポリエチレングリコールのスペーサーを縮合させた後、カルボキシル基を有するビーズを縮合で修飾した。

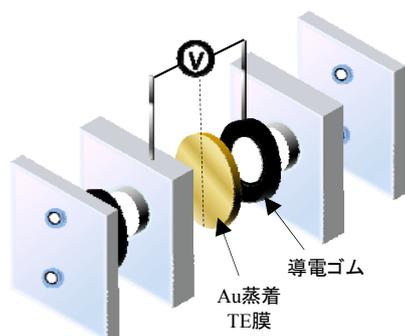


図4 導電ゴムによる電場印加

4. 研究成果

電気浸透流の流量の直流印加電圧依存性を図5に示す。Pt電極と導電ゴムリングを用いたいずれの場合でも流量は電圧にほぼ比例した¹⁾。Pt電極を用いた場合、理論値より大幅に流量が少ないが、これは印加電圧のうち実際にTE膜に印加される電圧が低いためと考えられる。一方、TE膜に直接電圧を印加する導電ゴムリングを用いた場合、実測値が図3下の理論式(1)に近い値を示した。

導電ゴムリングを用いて交流電流を印加したところ、TE膜の何らかの非対称性によって溶液の一方向への流れが発現し、交流駆動の電気浸透流ポンプとして機能することを見出した(図6)。特に周波数 25 Hz の正弦波では、Pt電極で直流電流を印加した場合よりも高い直流送液特性を示した。

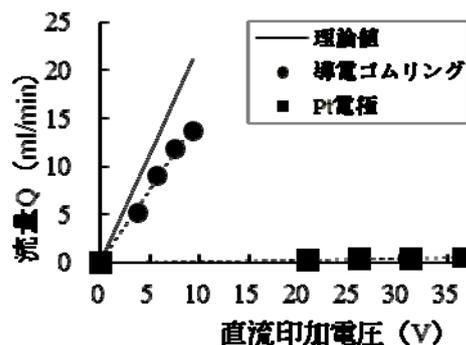


図5 各電場印加方法の送液特性

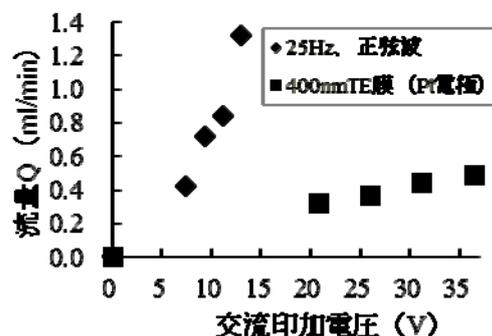


図6 交流駆動時の送液特性◆とPt電極法による直流流量■の比較

この交流駆動電気浸透流ポンプの動作機構解明のため、TE膜の非対称性について検討した。孔径など形状などに非対称性は見出されなかったが、膜表面のゼータ電位を測定した結果、裏と表で約 3 mV の差を示すことを見出した。また、金コートしたTE膜に水圧を印加したところ、裏面からの流量が表面からの流量に比べて約 20%高いことを確認した。この表と裏のゼータ電位差および溶液の透過流量の差が交流電場による一方向送液の発生に関係してると考えられる。

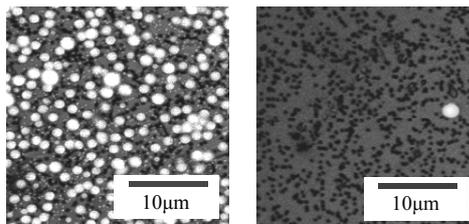


図7 蛍光ビーズを高密度に修飾したTE膜(左)とビーズ溶液に14時間浸漬した金

コート膜（右）の共焦点顕微鏡像

また、片面を金コートした TE 膜をエタノール溶液中で 10 mM アルカンチオールと 24 時間反応させた膜を 2 wt% 高分子スパーサー溶液と 60 時間反応させた後、2.5 wt% ビーズ水溶液と 14 時間反応させたところ、ビーズを高密度で修飾することに成功した（図 7 左）。金コートした TE 膜をビーズ溶液中で 14 時間放置した試料ではビーズは確認できなかったため、修飾されたビーズは化学結合によるものと考えられる（図 7 右）。ビーズ修飾後の TE 膜の断面像（図 8）においても高密度に修飾されたビーズと流路断面を確認できた。

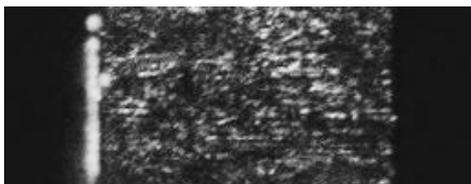


図 8 片面に蛍光ビーズを修飾した TE 膜の共焦点顕微鏡による断面像

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）

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 5 件）

高分子多孔質膜による電気浸透流の研究、谷口学，奥村泰志，樋口博紀，菊池裕嗣、第 49 回化学関連支部合同九州大会，北九州，2012. 6. 30.

多孔質高分子膜を用いた交流駆動電気浸透流ポンプの開発，谷口学，奥村泰志，樋口博紀，菊池裕嗣 第 61 回高分子討論会，名古屋，2012. 9. 19.

マイクロビーズ修飾多孔質高分子膜を用いた電気浸透流ポンプの開発，谷口学，奥村泰志，樋口博紀，菊池裕嗣 第 2 回ソフトマター研究会，福岡，2012. 9. 25.

Development of Electroosmotic Pump Using

Porous Polymer Membranes Modified with Microbeads Manabu Taniguchi, Yasushi Okumura, Hiroki Higuchi, Hirotsugu Kikuchi, The 9th SPSJ International Polymer Conference, Kobe, Japan, 2012. 12. 13.

マイクロビーズで修飾した多孔質高分子膜による電気浸透流ポンプ，谷口学，奥村泰志，樋口博紀，菊池裕嗣 第 21 回ポリマー材料フォーラム，北九州，2012. 11. 1.

6. 研究組織

(1) 研究代表者 ()

研究者番号：

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：