T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	エレクトロスピニング法により作製したナノファイバ膜の機能設計に関する研究
Title(English)	A Study on the Functional Design of Electrospun Nanofiber Membranes
著者(和文)	植松育生
Author(English)	Ikuo Uematsu
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10449号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:松本 英俊,鞠谷 雄士,扇澤 敏明,塩谷 正俊,淺井 茂雄
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10449号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

平成 28 年度学位論文

エレクトロスピニング法により作製したナノファイバ膜の機能設計に関する研究

A Study on the Functional Design of Electrospun Nanofiber Membranes

東京工業大学大学院理工学研究科
有機・高分子物質専攻
植松 育生
指導教員：松本 英俊

要約

本論文は「エレクトロスピニング法により作製したナノファイバ膜の機能設計に関する研究」と題し、以下の 6 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、エレクトロスピニング法により作製されたナノファイバ膜の研究動向を概観し、ナノファイバ膜の機能設計には、エレクトロスピニングにおける繊維形成現象の定量的な理解に基づく設計指針の確立が重要であることを指摘している。

第 2 章「ナノファイバ膜の光学式バイオセンサへの応用」では、光導波路を利用したバイオセンサにおいてナノファイバ膜の有用性を検証している。エレクトロスピニング法を用いて作製した、生理活性を維持した酵素を含むナノファイバからなる多孔性センシング膜では、同組成の非多孔性膜と比べて検出感度が 40%向上することを見出し、分析液の浸透性の向上が検出感度の向上と検出時間の短縮に大きく影響することを明らかにしている。

第 3 章「ナノファイバ膜における液体浸透現象の解析」では、ナノファイバ膜の液体浸透性に関係する膜構造因子を明らかにするために、有機溶媒（メチルエチルカーボネート）に対して濡れ性の良いポリフッ化ビニリデン（PVDF）とポリアミドイミドの 2 種類の高分子から作製したナノファイバ膜における液体浸透速度を接触角の時間変化から評価し、ナノファイバ膜の三次元構造モデルに対して拡張した Kozeny-Carman の式に基づく計算結果との比較を行うことで、膜の空孔率 ε および平均繊維径 δ_0 に加えて、繊維径分布、特に繊維径の細いファイバの存在が膜全体の浸透速度に大きな影響を及ぼすことを明らかにしている。さらに、空孔率 ε、平均繊維径 δ_0、繊維径のばらつき（標準偏差） σ の 3 つの膜構造因子が浸透速度に与える影響について多変量解析から関係式を導いている。この関係式から、既存研究では液体浸透性が悪いとされてきた平均繊維径が 100 nm 以下のナノファイバ膜においても、繊維径分布を狭くすることで浸透速度の向上が可能であることを明らかにしている。

第 4 章「ナノファイバ形成過程の解析」では、3 章の結果を踏まえて、ナノファイバ膜の液体浸透性向上の基本となる繊維径の高精度制御を目的として、ハイスピードカメラを用いたエレクトロスピニングにおける繊維形成過程の直接撮像を行い、画像解析および理論解析によって飛翔中の電気流体（紡糸線）における飛翔速度、電荷密度および直径の定量化を試みている。ここでは特に紡糸線の bending instability 部分に注目し、飛翔速度の実測値、有限要素法を用い

た静電場解析から求めた飛翔中の電気流体にはたらく電場強度、基板上に堆積した繊維径の実測値を用いて、電気流体の運動方程式を解くことで基板近傍における電気流体の帯電量 Q を求め、さらに帯電量 Q 一定の条件下で電気流体の運動方程式を解くことで、飛翔中の直径を求めている。この解析法を用いて、引加電圧の大きさと紡糸液の電気伝導度を変化させた場合の紡糸線の解析を行い、これらのプロセス因子が飛翔中の電気流体の速度、電荷密度および直径に与える影響をはじめて定量的に明らかにしている。

第 5 章「繊維径のばらつきを抑えたナノファイバ膜の作製とバッテリーセパレータへの応用」では、先ず、4 章で検討した紡糸線解析法を用いて電気流体の電荷密度を調べ、エレクトロスピニングにおいて不安定性の要因となる紡糸過程における電荷密度の変化量を低減することによって、繊維径分布が狭く液体浸透性に優れた PVDF ナノファイバ膜を作製できることを見出している。さらに、この膜を電極上に直接形成することによって電極一体型セパレータを作製し、空孔率の増大（90%以上）と厚さ 10 μm 以下の薄膜化を同時に達成することによって、リチウムイオン二次電池のレート特性の向上が可能であることを明らかにしている。

第 6 章「総括と展望」では、研究成果を総括し、今後の展望について述べている。これを要するに本論文は、液体浸透性に優れたナノファイバ膜の設計には繊維径の高精度制御が重要であることを明らかにし、エレクトロスピニング法における繊維形成現象の詳細な解析から電気流体パラメータを求めることによって、繊維径の高精度制御に基づくナノファイバ膜の設計が可能であることを示している。

Abstract

In this dissertation, “A Study on the Functional Design of Electrospun Nanofiber Membranes” was summarized into the following six chapters.

In Chapter 1, the general introduction regarding the background of the present study was described.

In Chapter 2, highly sensitive and high-throughput optical waveguide biosensors were fabricated by using the sensing membranes containing dye and polymer-enzyme complex. The electrospun nanofiber sensing membranes gave 40% higher sensitivity than nonporous sensing membranes. This indicates that the liquid permeability through nanofiber membranes is a crucial factor for highly sensitive and high-throughput optical waveguide biosensors.

In Chapter 3, the structural influences of nanofiber membranes on the liquid impregnation behavior were investigated based on the theoretical analysis of liquid impregnation kinetics to porous media. It was found that the liquid impregnation velocity into nanofiber membranes is influenced not only by the porosity and average fiber diameter but also by the fiber diameter distribution.

In Chapter 4, the electrified-jet flying phenomenon from the spinneret to the target collector was investigated by high-speed camera observation and electromagnetic and kinetic analyses. By using this approach, the parameters of electrified jet such as flying velocity, charge density, and size (i.e., diameter) of electrified jet were evaluated. Effects of process parameters of electrospinning on fiber formation behavior were quantitatively discussed for the first time.

In Chapter 5, the nanofiber membranes with narrow fiber diameter distribution were fabricated by opitimizing the charge density of electrified jet during electrospinning. Thin nanofiber membranes with narrow fiber diameter distribution directly deposited on electrodes improved the rate performance of lithium-ion battery.

Finally, the present study on functional design of electrospun nanofiber membrane was concluded in Chapter 6.