

氏 名	こく ほ けん と ちゃん KOK HO KENT CHAN
学位(専攻分野)	博 士 ( 学 術 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 5 4 3 号
学位授与の日付	平成 21 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学 位 論 文 題 目	<b>Morphology, Structure and Functionalities of Electrospun Fine Fibers</b> (電界紡糸ファイバーのモルフォロジー、構造および機能性に関する研究)
審 査 委 員	(主査)教授 鋤柄佐千子 教授 濱田泰以 教授 堀田 収 准教授 小滝雅也

## 論文内容の要旨

本研究では、高分子ナノファイバーの構造と物性／機能性の関係、および高分子ナノファイバーのさらなる極細化を可能とする手法を検討した。高分子ナノファイバーの作製には、エレクトロスピンニング法を用いた。構造と物性／機能性に関する検討においては、生分解性高分子および導電性高分子をモデル材料として用い、紡糸条件と構造の関係、および力学的特性、電気的特性との関係について検討を行った。高分子ナノファイバーのさらなる極細化においては、芯鞘型スピナレットを用いたエレクトロスピンニング法およびテンプレート法を適用した。以下に本論文の構成と得られた主な結果をまとめた。

第 1 章では、緒論として高分子ナノファイバーの研究・開発に関する現状をまとめ、本研究の目的と意義を述べた。第 2 章では、エレクトロスピンニング法およびテンプレート法に関する文献調査の結果をまとめ、本研究の位置づけを明確にした。

第 3 章では、生分解性高分子であるポリヒドロキシブチレート/バリレート (PHBV) ファイバーの構造と力学的特性について検討を行った。紡糸条件として、紡糸中の延伸力に関わるファイバーの巻き取り速度を変化させた。その結果、巻き取り速度の増加にともない、(1) 分子配向性および結晶配向性が向上すること、(2)  $\beta$  晶が発現することが明らかとなった。力学的特性評価として、PHBV ファイバー 1 本の引張試験を行った。巻き取り速度の増加にともない、すなわち、分子配向性／結晶配向性が高くなるにともない、引張弾性率および引張強度が大きく向上することが明らかになった。第 4 章では、導電性高分子であるポリ-3-ヘキシルチオフェン (P3HT) をエレクトロスピンニング法によりファイバー化し、構造と電気的特性の関係について検討を行った。エレクトロスピンニング法により作製した P3HT ファイバーの構造は、キャストフィルムと比較して、共役長は短いものの、分子鎖のパッキング密度が高く、分子配向性が高いことが明らかとなった。これにより、ナノファイバーの導電率は、キャストフィルムと比較して大きく増加することがわかった。

第 5 章では、ナノファイバーのさらなる極細化を目的として、芯鞘型スピナレットを用いたエレクトロスピンニング技術の確立を目指した。新規芯鞘型スピナレットを開発し、芯鞘ファイバー

のモルフォロジー制御には芯スピナレットと鞘スピナレットのサイズ比が重要であることを明らかにし、極細ナノファイバーを得るための手法を確立した。第6章では、第5章で確立した手法を導電性高分子に適用し、直径 120nm の導電性高分子ナノファイバーの作製に成功した。さらに、テンプレート法により、肉厚約 10nm の中空ファイバーの作製に成功した。

第7章では、本論文で得られた結果を総括し、結論とした。本研究では、延伸力を伴うエレクトロスピニング法が、ナノファイバーの分子配向性／結晶配向性を高め、力学的特性の向上に効果的であること、導電性高分子においては、分子配向性のみならず分子鎖のパッキング密度を向上させ、優れた電気的特性の発現に効果的であることを実証した。

## 論文審査の結果の要旨

エレクトロスピニング法により作製した高分子ファイバーの構造形成と機能性発現について詳細に検討したことが本論文の特長である。具体的には、紡糸中に機械的延伸力を負荷することにより、分子配向性／結晶配向性が向上すること、ポリヒドロキシブチレート/バリレート (PHBV) ファイバーにおいては $\beta$  晶が形成されること、ポリ-3-ヘキシルチオフェン (P3HT) ファイバーにおいては分子鎖のパッキング密度が向上することを明らかにした。さらに、ナノファイバー1本の引張試験および電気的特性評価を行い、引張特性および電気特性が、ナノファイバーの分子配向性／結晶配向性の向上にともない飛躍的に増加することを実証したことは高く評価できる。また、ナノファイバー1本の力学試験法、電気特性評価法を確立したことも特筆すべき点である。

高分子ナノファイバーのさらなる極細化のため芯鞘スピナレットを用いたエレクトロスピニング法およびテンプレート法が有効であることを実証した。芯鞘スピナレットを用いたエレクトロスピニング技術の確立においては、新規な芯鞘スピナレットを設計・開発し、製品化するための基礎を築いたことも評価できる。

本研究で得られた成果は、高分子材料の構造形成および機能性発現に関する研究分野において学術的に意義のある成果と考えられる。また、生分解性高分子および導電性高分子を用いた検討において得られた構造と機能性の関係に関する知見は、医療用途およびデバイス用途へのナノファイバーの応用に関する取り組みに貢献することが期待できる。

本論文の基礎となっている学術論文は、レフェリー制度の確立した雑誌に掲載、掲載予定および投稿中である。また、6 篇全てにおいて申請者が筆頭著者である。

- (1) K. H. K. Chan, S. Y. Wong, W. C. Tiju, X. Li, M. Kotaki and C. B. He. "Structure and Properties of Electrospun PHBV Fibers and PHBV/CNT Fibers", The Fiber Society 2008 Fall Meeting and Technical Conference, 99-100 (2008)
- (2) K. H. K. Chan and M. Kotaki. "Fabrication and Morphology Control of Poly(methylmethacrylate) Hollow Structures via Coaxial Electrospinning", Journal of Applied Polymer Science, 111, 1, 408-416, (2009).
- (3) K. H. K. Chan, S. Y. Wong, W. C. Tiju, X. Li, M. Kotaki and C. B. He. "Morphologies and Electrical Properties of Electrospun Poly[(R)-3-hydroxybutyrate-co-(R)-3-hydroxyvalerate]/Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNT) Fibers", Journal of Applied Polymer Science. (Accepted)
- (4) K. H. K. Chan, S. Y. Wong, X. Li, Y. Z. Zhang, P. C. Lim, C. T. Lim, M. Kotaki and C. B. He. "Effect

of Molecular Orientation on Mechanical Property of Single Electrospun Fiber of

Poly[(R)-3-hydroxybutyrate-co-(R)-3-hydroxyvalerate]”, Journal of Physical Chemistry B. (Submitted)

- (5) K. H. K. Chan, H. Umeda, T. Yamao, M. Kotaki and S. Hotta. “Unique Structural Features and Electrical Properties of Electrospun Conjugated Polymer Poly(3-hexylthiophene) (P3HT) Fibers”, Synthetic Metals. (Submitted)
- (6) K. H. K. Chan, R. Nakagawa and M. Kotaki, “Coaxially Electrospun Confined Structures as Templates and Hosts for Synthesis Processes”, Journal of Textile Engineering (Japan). (Submitted)

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに学術的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。