

氏名	りい 李 奕
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第765号
学位授与の日付	平成27年9月24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	Morphology, Structure and Properties of Electrospun Polymer and Composite Nanofibers (電界紡糸高分子・複合ナノファイバーのモルフォロジー、構造および物性に関する研究)
審査委員	(主査)教授 鋤柄佐千子 教授 中 建介 准教授 佐々木園 カネカ・アメリカス・ホールディング カネカ US マテリアル・リサーチ・センター センター長 小滝雅也

論文内容の要旨

本研究の目的は、エレクトロスピング過程における高分子の挙動が、ナノファイバーのモルフォロジーおよび構造に及ぼす影響を明らかにするとともに、ナノファイバーの力学的特性とモルフォロジーおよびその構造の関係を明らかにすることである。エレクトロスピング過程の高分子の挙動は、スピナレット形状、溶液特性、機械的延伸条件およびナノ粒子添加により変化させた。

第1章では、緒論としてエレクトロスピング法およびナノファイバーに関する研究動向を述べ、本研究の学術的な位置づけを明確にし、目的と意義を述べた。

第2章では、ナノファイバーの構造形成に及ぼす溶液の導電率、機械的延伸およびスピナレット形状の影響について検討を行った。その結果、エレクトロスピング溶液の導電率の増加により、分子間距離が減少するとともに、 β 晶含有率が増加した。すなわち、より緻密な微細構造が形成されることが示された。一方、溶液導電率が低い系において、機械的延伸の向上およびスピナレット形状は緻密な微細構造形成に寄与するものの、それらの影響は導電率の影響と比較して小さいことがわかった。

第3章では、ポーラス・ナノファイバーのモルフォロジーに及ぼす分子量、機械的延伸およびスピナレット形状の影響について検討を行った。分子量の増加および機械的延伸の低下は、ポーラス構造形成に寄与することが示された。これらの傾向は、エレクトロスピング過程の高分子の運動性低下の影響として理解された。また、この機械的延伸の影響は、スピナレット形状の変化、すなわち高分子ジェットの形成挙動の変化により、不明瞭になることが示された。

第4章では、ポーラス・ナノファイバーのモルフォロジー、内部構造および力学的特性の関係について検討を行った。ポーラス・ナノファイバーの引張特性は、内部構造の緻密化により向上することが示されたとともに、ポーラス構造の影響が大きいことが明らかとなった。ナノファイバー表面のポーラス構造はそのサイズにより欠陥として働くものの、ポーラス構造の緻密化によりナノファイバーの延性が可能であることを示した。

第5章では、ナノファイバーの内部構造に及ぼすナノ粒子の影響を、機械的延伸の影響とともに

に検討した。ナノ粒子としてポリシルセスキオキサン(POSS)を用いた。ナノ粒子の添加により、分子配向性および結晶配向性の増加、結晶サイズおよび分子間距離の減少がみられた。その効果は、機械的延伸の増大により、さらに顕著になることが示された。

第6章では、ナノ粒子充填ナノファイバーにおいて、内部構造形成に及ぼすナノ粒子と高分子の相溶性の影響について検討した。ナノ粒子として官能基の異なる POSS を用いた。その結果、ナノ粒子と高分子の相溶性は、ナノファイバーの内部構造に影響を与え、相溶性の向上は内部構造の規則性、特に分子配向性の増加に寄与することが明らかとなった。

第7章では本研究で得られた成果のまとめを行い、エレクトロスピンニング法により得られるナノファイバーのモルフォロジー形成、構造形成および物性発現について総括した。本研究で得られた成果は、ナノファイバーの用途拡大につながる基礎的な知見構築に寄与するのみならず、高分子の構造形成に関する知見構築にも貢献するものと考えられる。

論文審査の結果の要旨

エレクトロスピンニング法により作製したナノファイバーのモルフォロジー形成、構造形成および物性発現に関して、ポーラス・ナノファイバーおよびナノ粒子充填ナノファイバーにおいて系統的に検討を行ったことが本論文の特長である。ポーラス・ナノファイバーにおいては、ポーラス構造の発生機構をもとに、モルフォロジー制御の手法を具体的に示すとともに、モルフォロジーおよび内部構造と、ナノファイバー1本の力学的特性との関係を明らかにした。ナノ粒子充填ナノファイバーにおいては、ナノ粒子添加が内部構造に影響を及ぼすこと、さらにはナノ粒子と高分子の相溶性の向上がより規則的な内部構造形成に寄与することを実証した。

本研究で得られた成果は、高分子系ナノファイバーのモルフォロジー制御、高次構造形成および物性発現に関わる知見構築において学術的に意義が高いと考えられる。さらに、ナノファイバーの高機能化の手法を具体的に示したことは高く評価できる。本研究において得られた成果の適用範囲は、ナノファイバーの用途開発に限定されるものではなく、あらゆる形態の高分子材料における構造形成および物性発現の理解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されたものである。2篇全てにおいて申請者が筆頭著者である。

(1) Yi Li, Masaya Kotaki. Influence of Additive on Structure of PVDF Nanofibers Electrospun via New Spinneret Design, *Journal of Applied Polymer Science*, 130, 1752-1758, 2013.

(2) Yi Li, Chwee Teck Lim, Masaya Kotaki. Study on structural and mechanical properties of porous PLA nanofibers electrospun by channel-based electrospinning system, *Polymer*, 56, 572-580, 2015.

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。