

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23550012

研究課題名(和文) 磁場によるナノチューブの三次元配向制御と表面との相乗効果による磁場効果の増強機構

研究課題名(英文) Enhancement mechanism by synergetic effects between an interface and a magnetic field which controls 3-D orientation of nanotubes

研究代表者

勝木 明夫 (KATSUKI, Akio)

信州大学・全学教育機構・准教授

研究者番号：70283223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：ナノチューブは磁化率異方性を持つため、磁場による配向が可能である。また、通常の重力条件では基板無しで薄膜を作成することは困難であるが、磁場下では微小重力条件ができるため、基板無しで薄膜を作成することができる。本研究では、連携研究者との協力で磁場下で微小重力と磁場配向との相乗効果を利用して種々のナノチューブを任意の角度に配向させた薄膜の作成した。柔軟な繊維状高分子であるDNAについても薄膜の作成を行った。基板なしでも薄膜を作成することができた。また複屈折スペクトル測定装置を開発し、DNA薄膜の測定を行ったところ、DNAは磁場に対して垂直に配向していることがわかった。

研究成果の概要(英文)：The control of orientation of carbon nanotubes, using a magnetic field is an important technique. Magnetically simulated microgravity can achieve non-vessel conditions and magnetic orientation. We prepared polyvinyl alcohol (PVA) films with multiwall carbon nanotubes (MWCNTs), and we investigated the MWCNT orientation in the simulated microgravity condition. The XRD pattern results and AFM observations showed that the nanotubes were oriented parallel to the surface of the film at the zero field. In contrast, they were oriented perpendicularly in the magnetic field. Moreover, we developed a control technique of the angle between the nanotube and the magnetic field. Flexible fibers like DNA are many useful functions, but their magnetic orientation was difficult because of the flexibility itself. Through many trial experiments, we prepared a DNA film without a plate, and the results of birefringence spectra showed the DNA chains were perpendicular to the magnetic field.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・物理化学

キーワード：磁気配向 微小重力 ナノチューブ

1. 研究開始当初の背景

近年、磁気科学ではヘリウムフリーの超伝導磁石の登場により比較的容易に強磁場が得られるようになったため、強磁場環境における新しい磁場効果が報告され、注目を集めている。強磁場を用いた磁場効果(化学反応制御、物性制御等)の研究は、現在、日本、欧米の複数の研究グループで主に行なわれているが、申請者らによって熱エネルギーと比較して小さな磁気エネルギーでも、非平衡状態や微小重力状態との相乗効果、特に表面、界面のような境界面で磁場効果が顕著に現れることがわかった。申請者らによって初めて見出された結果を以下に列挙する。

・強磁場と非平衡状態との相乗効果

a. 有機結晶の磁場配向

磁場による反磁性種有機結晶の磁場配向の初めての報告。

b. 金属樹の配向と形状変化

反磁性種金属結晶の形状異方性による配向の初めての報告。

・強磁場と微小重力状態との相乗効果

c. 大面積の安定液膜の形成

磁場による微小重力下で通常重力条件下では安定に存在できない大きさの純水の液膜を初めて作成。

・強磁場と界面との相乗効果

d. 結晶成長界面における新規な磁気力

反磁性結晶の磁場によるモルフォロジー変化を界面で顕著に作用する新規な磁気力で説明。

これらの結果から、バルクと比べて表面の影響が大きいナノマテリアルではより顕著な磁場効果が期待される。これまで熱エネルギーによるゆらぎのために、困難とされていたナノマテリアルも磁場による制御が可能であることが示された。

2. 研究の目的

これまでの研究成果をもとに、本研究ではナノチューブ、DNA 等に代表されるナノマテリアルと表面・界面との相互作用を用いた新機能性材料の創成、反応への展開を目指し、すべての材料が磁場制御できるようにする。研究期間内には以下のことを明らかにする。

(1) 磁場によってカーボンナノチューブを三次元的に任意の角度に磁場配向させる方法の確立

(2) ナノマテリアル同士の相互作用によって現れる新機能性材料の創成および評価

(3) やわらかい高分子 DNA の磁場配向の挑戦

3. 研究の方法

本研究は強磁場と微小重力状態および非平衡状態との相乗効果による磁場効果の増強機構を明らかにし、カーボンナノチューブ

に代表されるナノマテリアルに適用し、新機能性を持つ材料の作成、およびそれらを用いた反応に展開するものである。

本研究では、研究代表者(勝木)所有の無冷媒超伝導磁石と連携研究者(藤原)所有の超伝導磁石を用いた。研究は勝木(研究代表者)および藤原(連携研究者)の計2名で行った。

本研究は以下のテーマに基づいて進めた。

(1) 磁場による“微小重力空間内”および磁場配向を用いてナノチューブの配向を三次元的に制御するシステムの構築

磁場による“微小重力空間内”で、ナノチューブを三次元的に任意の角度に磁気配向させる方法を確立し、配向度を向上のために試料の作成条件を検討するために、磁場内での“その場”観測を行う。

(2) 三次元的に配向制御されたナノマテリアル膜の新機能性の評価および機構の解明

アキララなカーボンナノチューブを配向させるとキラリティによる旋光性(円偏光二色性)が生ずる。その機構の解明のために、種々の配向角度が異なるナノチューブ配向膜を作成し、比較検討する。

(3) DNA 分子の磁場配向の基板表面依存性の評価および機構の解明

表面・界面と磁場効果との相乗効果によりやわらかい高分子 DNA を磁場配向させる。そのための配向条件および配向の機構を調べる。

以上の3点である。

4. 研究成果

(1) 磁場による“微小重力空間内”を用いたナノチューブの三次元磁場配向システムの構築

ナノチューブは磁化率異方性を持つため、磁場による配向が可能である。また、通常重力条件下では基板無しで薄膜を作成することは困難であるが、磁場下では微小重力条件ができるため、基板無しで薄膜を作成することができる。本研究では、連携研究者との協力で磁場下で微小重力と磁場配向との相乗効果を利用して磁場下で種々のナノチューブを任意の角度に配向させた薄膜の作成を試みた。その結果、磁場による微小重力条件下でナノチューブが配向していることがわかり、さらに基板無しでカーボンナノチューブをドーピングした薄膜を作成することにも成功した。任意の方向にカーボンナノチューブが配向した薄膜は予備実験の段階であるが、概ね良好な結果が得られた。AFM と XRD による観測から、基板に対して、任意の角度に配向していることが確認された。

(2) ナノマテリアル配向による新機能性材料の創成およびその評価

アキラルなカーボンナノチューブを配向させるとキラリティによる旋光性(円偏光二色性)が生ずる可能性がある。その機構の解明のために、種々の配向角度が異なるナノチューブ配向膜を作成し、比較検討することを試みた。試料の膜厚やナノチューブの分布の不均一性のため、完全な機構の解明には至らなかったが、キラリティによる旋光性があることは認められた。ひきつづき検討が必要な課題である。

(3) 表面と磁場との相乗効果によるやわらかい高分子 DNA の磁場配向

表面・界面と磁場効果との相乗効果によりやわらかい高分子 DNA を磁場配向させることを試みた。予想されたとおり、主鎖のやわらかさのために配向は困難さが伴ったが、試料条件、基板の表面状態を最適にすることにより配向させることに成功した。また、基板フリーでも、配向した DNA 薄膜の作成にも成功した。DNA の主鎖は磁場方向と垂直方向に配向していることがわかった。

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 3 件)

Y. Tanimoto, C. Udagawa, A. Katsuki, S. Maki, S. Morimoto, Weak Magnetic Field Effects on Silver Dendrite Formation, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2013**, 86(12), 1447-1449, 査読有。

Y. Tanimoto, C. Udagawa, R. Nishiori, S. Morimoto, A. Katsuki, Y. Fujiwara, R. Nakagaki, Effect of Strong Vertical Magnetic Field on a Salt-Water Oscillator, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **2012**, 81, 094805-094805-4, 査読有。

R. Nishikiori, S. Morimoto, Y. Fujiwara, A. Katsuki, R. Morgunov, Y. Tanimoto, Magnetic Field Effect on Chemical Wave Propagation from the Belousov-Zhabotinsky Reaction, *J. Phys. Chem. A*, **2011**, 115, 5492-4597, 査読有。

[学会発表](計 11 件)

大西冬馬, 勝木明夫, 藤原昌夫, 藤原好恒, 磁気配向を用いた異方性ポリマーの作製, 第8回日本磁気科学学会年会, 2013年11月20日~22日, 東北大学片平キャンパス

大西冬馬, 勝木明夫, 藤原昌夫, 藤原好恒, 磁気配向を用いた異方性ポリマーの作製, 2013年日本化学会中国四国支部大会, 2013年11月16日~17日, 広島大学東広島キャンパス。

中川真衣, 勝木明夫, 藤原好恒, 磁場・微小重力環境が銀ナノ粒子生成に及ぼす効果, 日本化学会第93春季年会, 2013年03月22日~2013年03月25日, 立命館大学びわこ・くさつ

キャンパス

中川真衣, 勝木明夫, 藤原好恒, 強磁場・微小重力環境が銀ナノ粒子生成に及ぼす効果, 第7回日本磁気科学学会年会, 2012年11月20日~2012年11月22日, 京都大学益川ホール。

諏訪雅頼, 塚原聡, 渡會仁, 竹内晴留香, 藤原昌夫, 藤原好恒, 勝木明夫, ミュラー行列ポラリメトリーによるカーボンナノチューブ配向膜の光学異方性測定, 第7回日本磁気科学学会年会, 2012年11月20日~2012年11月22日, 京都大学益川ホール。

大西冬馬, 勝木明夫, 藤原昌夫, 藤原好恒, フェナントレン-テトラシアノベンセンCT錯体結晶の低磁場磁気配向, 第7回日本磁気科学学会年会, 2012年11月20日~2012年11月22日, 京都大学益川ホール。

A. Katsuki, K. Fujimura, M. Fujiwara, Y. Fujiwara, Preparation of oriented DNA films in magnetic microgravity condition, IACIS2012, 2012年05月13日~2012年05月18日, 仙台国際センター

勝木明夫, 藤村恵子, 藤原昌夫, 藤原好恒, 強磁場下において作製したDNA薄膜の複屈折特性の解析の試み, 第30回 固体・表面化学討論会, 2011年 11月21日-22日, 信州大学。

Y. Fujiwara, M. Nakagawa, A. Katsuki, Temperature Dependence of Distribution of Ag Nano Particles Prepared in Hydrocarbonaceous Micellar Solution, Nanocarbon 2011, Nov. 16-17, 2011, ホテルメトロポリタン長野。

勝木明夫, 藤村恵子, 藤原昌夫, 藤原好恒, 磁気微小重力空間において作製したDNA薄膜の複屈折特性の解析, 第42回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2011年 11月5日, 6日, 信州大学。

藤村恵子, 勝木明夫, 藤原昌夫, 藤原好恒, 磁気微小重力空間において作製したDNA磁気配向薄膜の複屈折特性, 第6回日本磁気科学学会年次大会, 2011年 9月 26日-28日, 東京大学。

[その他]

勝木明夫, 濱崎 亜富, 第64回コロイドおよび界面化学討論会シンポジウム「外場と粒子の相互作用は、コロイド・界面科学でどこまで理解できるのか?」主催者, 2013年 9月 20日, 名古屋工業大学。

勝木明夫, CST 事業(最新の科学情報を学ぶ特別授業)「強磁場の科学」講師, 2013年 3月 9日, 信州大学教育学部。

勝木 明夫，土曜市民教養教室講師，「光と色の世界にふれよう」2013年4月～7月，信州大学全学教育機構。

6. 研究組織

(1)研究代表者

勝木 明夫 (KATSUKI, Akio)
信州大学・全学教育機構・准教授
研究者番号：70283223

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

藤原 好恒 (FUJIWARA, Yoshihisa)
広島大学・理学研究科・准教授
研究者番号：00209131