

超強磁場プロセスで実現されたメソチャネルの垂直配向

—強磁場が作用する反磁性物質への磁場効果—

平成19年11月5日

独立行政法人物質・材料研究機構

概要

1. 独立行政法人物質・材料研究機構（理事長：岸 輝雄）国際ナノアーキテクトニクス研究拠点（拠点長：青野 正和）の山内 悠輔 若手独立研究員は、ナノセラミックスセンター（センター長：目 義雄）微粒子プロセスグループの目 義雄 グループリーダー（併任）・廣田 憲之 研究員、早稲田大学理工学術院の黒田 一幸 教授らと共に、強磁場共用ステーション（ステーション長：木戸 義勇）のハイブリッドマグネットが発生する 30 テスラ級の超強磁場を利用することにより、メソ（ナノ）チャネルを基板に対して垂直に配向させることに成功した。
2. これまで界面活性剤とシリカ源を含む前駆溶液を基板上にコーティングすることにより、様々なメソ（ナノ）構造有する透明薄膜が得られてきた。このような薄膜を分子デバイス等に利用するためには、マクロスコピックなレベルでメソポーラス構造が制御されていることが望ましい。特に、メソチャネルが基板に対し垂直に配向した『垂直配向性メソポーラス薄膜』は、超高密度記録媒体としての展開をはじめ高活性触媒・高感度センサーなどへの応用という観点からも、メソポーラス物質¹⁾の研究の更なるブレイクスルーをもたらすと考えられ、その実現が期待されてきた。
3. 本研究の強磁場プロセスは、メソ細孔の鋳型となる界面活性剤分子²⁾（弱磁性体）の非常に小さい磁化率を利用する。弱磁性体の磁化率は強磁性体に比べ、非常に小さく通常配向は起こらない。しかし、磁場効果は磁場の大きさの2乗に比例するため、強磁場下では弱磁性体であっても強磁性体のように振る舞うことが可能となる。そこで今回、界面活性剤分子の自己集合の過程で強磁場を印加し、超分子鋳型をあらかじめ、基板と垂直に配向させ、その周り無機種（シリカ）の重合を行った。その結果、完全ではないものの比較的小さな界面活性剤分子を用いても、垂直に配向させることに初めて成功した。
4. メソポーラスシリカ薄膜のメソチャネルの配向を制御することは重要な課題であり、メソチャネルが垂直方向へ配向することで、超高密度記録媒体としての展開をはじめ、触媒・高感度センサーなど種々の応用につながることを期待できる。
5. 本研究成果は、国際学術誌『Chemistry - An Asian Journal』の12月号に掲載され、表紙を飾る予定である。

研究の背景

メソ構造体のマクロな形態制御は材料としての展開を考える上で極めて重要なことである。現在まで、粒子・薄膜・ファイバー・モノリスなど様々な形態が報告されてきている。特に、メソポーラス薄膜は高い透明性を有しており、光学的な応用をはじめホスト材料としての応用が期待される。スピコーティング³⁾による層状シリカ界面活性剤メソ構造体が初めて報告され、これをきっかけにメソポーラス材料の薄膜化が活発に研究されるようになった。界面活性剤とシリカ源を含む前駆溶液を基板上にコーティングすることにより、様々なメソ構造有する透明薄膜が得られる。

更に、メソポーラス薄膜を分子デバイス等に利用するためには、ナノメートルスケールのメソポーラス構造がマクロスコピックなレベルで制御されていることが望ましい。特に、メソチャンネルが基板に対し垂直に配向した『垂直配向性メソポーラス薄膜』は、超高密度記録媒体としての展開をはじめ高活性触媒・高感度センサーなどへの応用という観点からも、メソポーラス研究の更なるブレイクスルーをもたらすと考えられ、その実現が期待されている。

研究成果の内容

メソ細孔の鋳型となる界面活性剤分子は反磁性物質の一つであることから、その自己集合の過程で形成するリオトロピック液晶も、強磁場下において磁氣的応答を示すと考えられる。界面活性剤は、負の異方性磁化率を持っていることから、磁場方向とは垂直方向に配向する。すなわち、このような界面活性剤の集合形態によるリオトロピック液晶⁴⁾は、磁場方向とは平行方向に配列することが考えられる。

メソポーラスシリカ薄膜の合成法として溶媒揮発法が良く知られている。これは界面活性剤・シリカ種・エタノール等の揮発性有機溶媒・水からなる前駆溶液を利用しており、溶媒の揮発に伴い前駆溶液が濃縮されていく過程で、リオトロピック液晶形態が形成されメソ構造を生成する。本研究では、シリカネットワークが形成されるメソ構造生成段階において、基板に対して垂直に磁場を印加することにより、垂直配向性メソポーラスシリカ薄膜の合成を目指した。ハイブリッドマグネット（物質・材料研究機構 強磁場共用ステーション）を用いて、30 テスラ級の超強磁場を印加した。一般的に、反磁性物質の磁場効果は、磁場の大きさの 2 乗に比例することが知られており、より高い垂直配向性の薄膜の実現が期待できる。その結果、汎用の超伝導マグネット（12 テスラ）を用いた場合ではまったく配向しなかった小さい分子でも、世界に先駆けて垂直に配向させることに初めて成功した。

波及効果と今後の展開

我々が提案している強磁場プロセスは、反磁性物質に対して有効であり、基本的にはすべての界面活性剤に有効である。また、特殊な基板の利用や基板への修飾が必要なく、簡便なプロセスであると考えている。今後、我々の強磁場プロセスは注目され、ゾルゲル反応や界面活性剤の磁化率の制御を行い、様々なサイズのメソチャンネルが完全に垂直に配向させることが可能となると思われる。

メソポーラスシリカ薄膜のメソチャンネルの配向を制御することは重要な課題であり、特にメソチャンネルが垂直方向へ配向することで、超高密度記録媒体としての展開をはじめ、触媒・高感度センサーなど種々の応用につながることを期待できる。今後も、垂直配向性

メソポーラス薄膜は注目すべき課題であり、様々な合成法が開拓され、その実践的な応用も進むと考えられる。

問い合わせ先：

〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1
独立行政法人物質・材料研究機構
広報室 TEL:029-859-2026

研究内容に関すること：

独立行政法人物質・材料研究機構
国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
若手独立研究員 山内 悠輔
TEL：029-860-4635
FAX：029-860-4721
E-mail：YAMAUCHI.Yusuke@nims.go.jp

【用語解説】

1) メソポーラス物質

均一で規則的な細孔（メソ孔）を持つ物質のことである。例えば、メソポーラスシリカの粉末は触媒や吸着材料として、薄膜は光学デバイスやガスセンサー、分離膜などとして、新しい応用が期待された研究が行われている。IUPAC では触媒分野において、直径 2 nm 以下の細孔をマイクロ孔、直径 2~50 nm の細孔をメソ孔、直径 50 nm 以上の細孔をマクロ孔と定義している。

2) 界面活性剤

水に対する相互作用の相反する 2 つの部分併せて 1 つの分子。両親媒性分子。

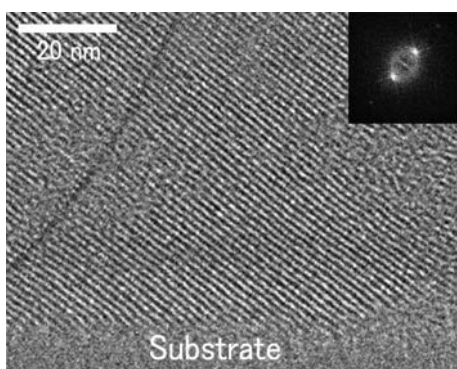
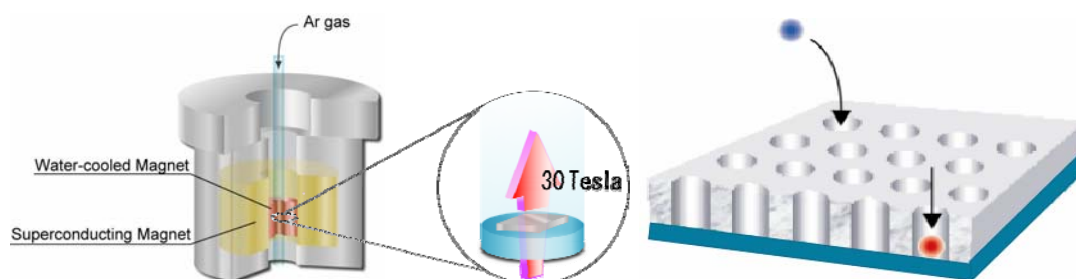
3) スピンコーティング

回転する円盤の上に液体を数滴たらし、回転による向心力で液体が薄くフィルム状に広がることを利用する製法。

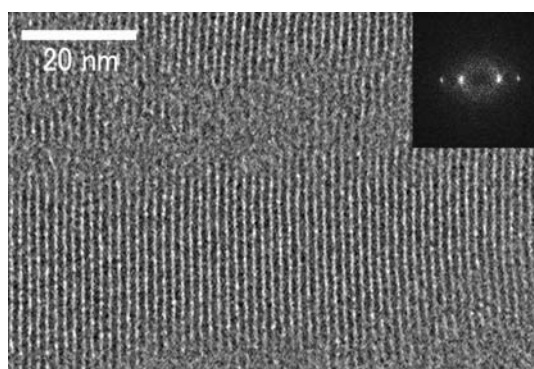
4) リオトロピック液晶

液晶状態とは、結晶のようにその分子配列に一定の規則性を保ちながら、液体のように流動性を兼ね揃えた状態をいう。界面活性剤のような両親媒性分子と水などの溶媒との共存系において、濃度を変えるのみで液晶状態が現れたり、様々な相の変化も起こったりする。これをリオトロピック液晶と呼ぶ。

強磁場プロセスを利用したメソチャネルの垂直配向



基板近傍の断面TEM像



薄膜内部の断面TEM像

Y. Yamauchi *et al.*, *Chem. Asian. J.*, Advanced View (2007).