

《解説》

# シリカ界面活性剤メソ構造体薄膜の合成

小川 誠

科学技術振興事業団「さきがけ研究 21」

早稲田大学教育学部

界面活性剤と無機化合物の相互作用によって形成する無機有機メソ構造体が注目を集め、反応機構の解明、マイクロ構造・形態の評価と制御、さらには応用等幅広い観点から研究されている。無機有機メソ構造体が薄膜としてえられると、粉末では期待できない展開が考えられる。ここでは最近筆者が報告したゾルゲル法を応用したシリカ界面活性剤メソ構造体の合成を紹介する。この方法は生成物のマクロな形態制御が可能であること、また操作が容易であること等の特長があり新しい合成法として興味深いものである。

## はじめに

径の揃った細孔が規則的に配列した構造を持つメソポーラスシリカの合成が報告されて以来、界面活性剤と無機化合物の相互作用によって形成する無機有機メソ構造体に対する新たな注目が集まっている。具体的には層状ケイ酸塩の1種カネマイトへの第四級アンモニウムイオンのインターカレーションの際にシリケート層の一部が縮合し、三次元化することにより形成すると考えられるFSM(Folded sheets mesoporous materials)<sup>1~5)</sup>、界面活性剤の存在下でケイ酸の重合を行い沈殿としてえられるM41SおよびHMSなどが知られている<sup>6~12)</sup>。いずれの場合も熱処理、酸処理などにより界面活性剤を取り除くことによってメソ多孔体に転換されるため、触媒、触媒担体、吸着媒体、包接化合物のホストなどとして有望であり、マイクロ孔では不可能な反応がメソ孔の利用により実現できる可能性がある。これら一群の化合物に関しては多くの発表が行われ、すでにいくつかの総説<sup>5)</sup>も発表されているのでここでは詳しいことは省略する。現在のこれらの化合物に関する関心は、詳細な骨格および細孔構造の決定、反応機構の解明、構造の制御、シリカ以外の元素の導入、形態の制御、細孔の有効利用等に向けられているように思われる。

ゼオライトには見られない特徴的な細孔構造を有効に利用するために、またその評価のためにも透明薄膜試料は有用である。多孔質薄膜は粉末試料では期待できない分野での応用の可能性があり、ゼオラ

イト膜<sup>13~16)</sup>、ピラー化粘土薄膜<sup>17)</sup>に関してその合成と性質に関する研究が活発に行われている。またメソ孔を場としたゲスト種の包接にも興味もたれているが<sup>18~20)</sup>、透明な薄膜が得られれば色素や微粒子の組織化媒体として、光機能の研究にも有用である。筆者はアルコキシシランの加水分解重縮合によってシリカゲルを得るゾルゲル法を応用し<sup>21, 22)</sup>、テトラメトキシシランを界面活性剤の存在下で加水分解重合し、得られた溶液を基板上に展開乾燥するという極めて簡単なプロセス(図1)でシリカ界面活性剤メソ構造体を配向した透明な薄膜として得るこ

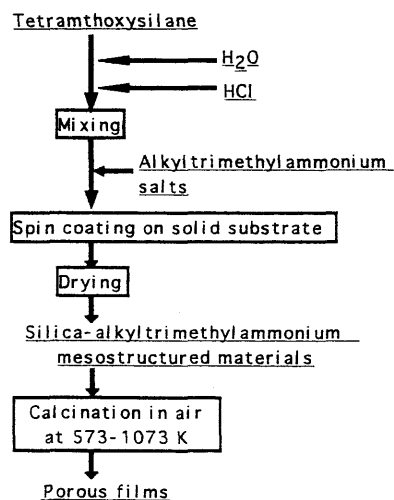


図1 シリカ界面活性剤メソ構造体薄膜の合成スキーム

とに成功した<sup>23~26)</sup>。同じころ雲母上へのシリカ界面活性剤メソ構造体薄膜の析出が報告され<sup>27, 28)</sup>、その他にも無機有機メソ構造体の形態に関する報告が見られるようになった<sup>29~36)</sup>。形態の制御は材料としての応用を考えるうえで欠かせない問題であるばかりでなく、biomineralization と関連して基礎科学的にも興味深いものである。本稿ではこのような研究の一例として、筆者のシリカ界面活性剤メソ構造体薄膜の合成に関する研究を紹介する。

### 層状シリカアルキルトリメチルアンモニウム塩メソ構造体薄膜の合成

試料の調製はテトラメトキシシラン(以下TMOS)の加水分解重縮合反応によりシリカ薄膜を形成するゾル-ゲル法を応用したもので、TMOSの部分加水分解物に鋳型として界面活性剤アルキルトリメチルアンモニウム臭化物(以下 $C_n$ TAB;  $n$ はアルキル鎖の炭素鎖数)の水溶液を酸性条件下で混合し、得られた透明な溶液を平滑な基板上にスピコートするというものである。スピコーティングの条件により厚さの制御はある程度可能である。酸性条件下で反応を行っていること、透明性に注目していること、また扱いやすさなどから現在基板としては主にパイレックスガラス、石英ガラスなどを用いている。このような非常に簡単な操作により透明性に優れた薄膜が得られた。

X線回折分析を行って見たところアルキル鎖が10以上のアルキルトリメチルアンモニウム臭化物を用いてえられた薄膜のX線回折パターンには極めて鋭い回折ピークがみられ(図2にC16TABとの反応によりえられた薄膜のX線回折図を示す)、用いる界面活性剤のアルキル鎖長に応じて図2の挿入図に示すようにそのピーク位置(面間隔)が変化した。炭素差数が8以下のアルキルトリメチルアンモニウム塩を用い同様な実験条件下で得られた生成物のX線回折図には鋭いピークは見られないことから界面活性剤の集合がこの構造形成に有効に寄与していることがわかる。

熱分析、組成分析などを行うために基板上に前駆体溶液を厚めに塗布・乾燥して得られた生成物を基板から剥がし取って粉碎し、粉末試料を得た。この粉末試料のX線回折パターンには若干ブロードではあるが薄膜試料とほぼ同じ位置にピークが見られ、粉末試料も薄膜試料とほぼ同様のマイクロ構造を有していることが示された。M41SやFSMと同様、低

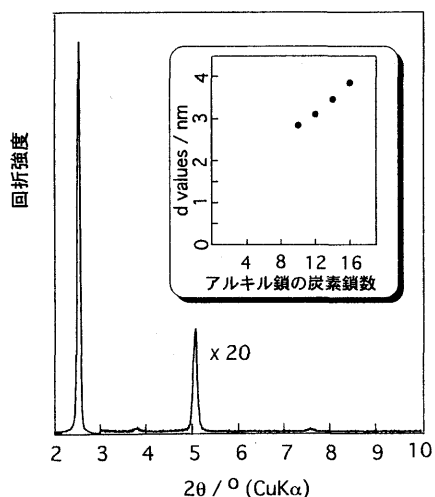


図2 シリカ-テトラデシルトリメチルアンモニウム臭化物メソ構造体薄膜のX線回折図

挿入図: 観察された $d$ 値と界面活性剤のアルキル鎖長の関係

角度のピーク以外にはピークは見られなかった。この粉末試料のIRスペクトルおよび<sup>29</sup>Si-MAS-NMRスペクトルから生成物はアルコキシシランが重縮合したシロキサンポリマーと界面活性剤の集合体とからなることが示された。FSMやMCM41と同様<sup>29</sup>Si-NMRのシグナルはブロードでありシリカ骨格は結晶性ではないことがわかる。

このようにしてえられた生成物には仕込み組成どおりに無機有機成分が含まれ、また対アニオンも定量的に含まれていた。Stuckyらが酸性条件下で合成されるシリカ界面活性剤メソ構造体(APM)について報告しているように<sup>10)</sup>,  $S+X^{-}I^{+}(S+X^{-}$ :界面活性剤塩,  $I^{+}$ :シリケートを示す)という水素結合を介した弱い相互作用で界面活性剤塩とシリカが構造を形成していると考えられる。

薄膜の表面をSEM観察したところ膜状の形態が見られた。図2に示した面間隔とアルキル鎖長の関係から、得られた薄膜は界面活性剤が二分子層を形成し、厚さ1nm程度のシリカ層がこれをサンドイッチするような構造をとっている層状の組織体(図3に構造モデルを示す)であると考えられた。この場合アルキル鎖がすべてトランス状態であることを仮定して図3のような構造模式図を提案しているが、疎水部の状態についてはまだ十分理解できていない。現在後述のような疎水場へ導入した蛍光プローブの

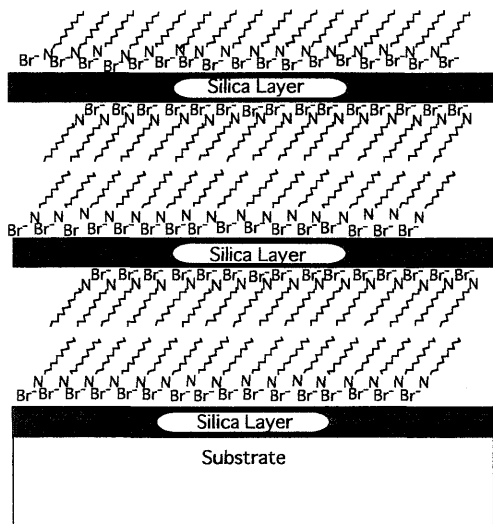


図3 層状シリカ界面活性剤複合体薄膜の構造モデル

アルキル鎖が *all-trans* であると仮定すると図のような界面活性剤の二分子層と薄いシリカ層が交互に積層した構造が推定される。

挙動などから検討を進めているところである。

コーティングの回転数を変化させ膜厚の異なる試料を作成してX線回折分析を行ったところ、薄い膜ほど鋭い回折ピークを示した。また前駆体溶液をそのままゲル化させた生成物は無定形であることなどから、溶媒の揮発に伴い界面活性剤が親水基を外側に向けた二分子膜状に会合しこの親水性の表面とシリカオリゴマーとが相互作用し図3に示すような構造が得られると考えている。このような反応機構から、出発溶液の組成が生成物の組成に直接反映されることが期待される。そこで同じ出発物質のTMOSとアルキルトリメチルアンモニウム塩を様々な組成で反応させ得られた生成物の構造を検討したところ、組成に応じたマイクロ構造の制御が可能であることが明らかになっている<sup>37)</sup>。組成の違いとそれに伴うマイクロ構造の違いは安定性など様々な性質に影響を及ぼすと考えられる。M41Sでは生成物が沈殿としてえられるので組成の制御は比較的難しい。またFSMにおいてもイオン交換反応の定量的な制御は困難である。出発溶液の組成が生成物に直接反映されるのは本系の大きな特長である。

以上紹介したようにシリカ源となるTMOSとアルキルトリメチルアンモニウム塩を混合し得られた均一な溶液を基板上に塗布乾燥するという非常に簡単なプロセスで無機化合物と有機化合物がナノメー

トルオーダーで交互に積層した構造をもつ透明な薄膜が得られることは極めて有意義なことであると考れ、以下に示すような展開を検討した。

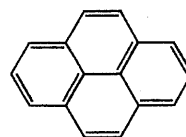
### ジアルキルジメチルアンモニウム塩とのメソ構造体

アルキルトリメチルアンモニウム塩の代わりにジアルキルジメチルアンモニウム塩を用い、TMOSとの反応によるメソ構造体の合成を試みた。このとき得られた生成物のX線回折図から面間隔をアルキル鎖長に対してプロットすると前述のアルキルトリメチルアンモニウム塩を用いた場合と同様な関係が見られた。この場合も図3に示したような界面活性剤の二分子層とシリカ層が交互に積層した構造が得られていると考えられる<sup>26)</sup>。

### 色素の可溶化

このメソ構造体薄膜に関する研究の一つの方向としてその透明性を利用した光機能材料への展開が期待できる。そこで界面活性剤が形成する疎水場への色素の導入を試みた<sup>24)</sup>。界面活性剤が溶液中で形成するミセル等の集合体またLB法等を利用して基板の上に固定化したものは生体膜のモデル物質などとしてまたその応用の可能性からも広く研究されている<sup>38)</sup>。本研究でえられたシリカ界面活性剤メソ構造体はシリカ超薄膜によって固定された界面活性剤の集合体としてとらえることができる。

まずピレン(スキーム参照)の可溶化を試みた。ピ



Molecular structure of pyrene

レンの蛍光スペクトルは媒体の極性、粘性などに関する情報を与えるため、様々な界面での蛍光挙動が検討されている。本系ではピレンをヘキサデシルトリメチルアンモニウム臭化物水溶液に可溶化し、これをTMOSと反応させスピコーティングにより薄膜を得た。この生成物は層状構造(X線回折図を図4に示す)と透明性を維持しており、ピレン分子がマイクロ構造を乱すことなく複合物中に取り込まれることが示された。可溶化するピレンの量を界面活性剤に対して1/10および1/5モルとしてえられた試料の蛍光スペクトル(図5)においてはピレンのエ

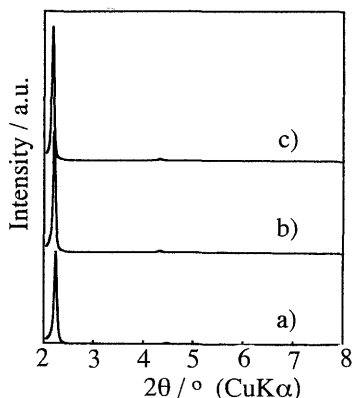


図4 ピレンをドーブしたシリカ-C16TABメソ構造体薄膜のX線回折図

(a)ピレンを含まない薄膜, (b, c)界面活性剤に対するピレンのモル比1/10 (b)および1/5 (c)。

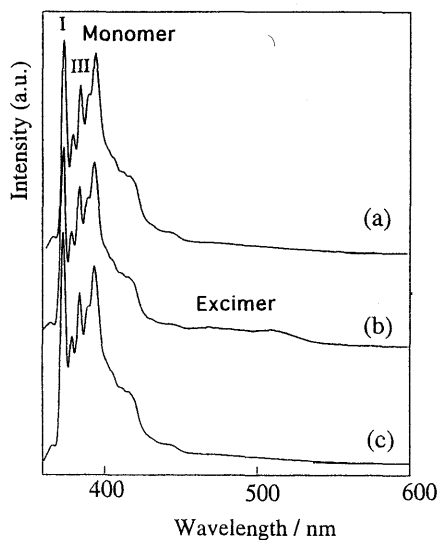


図5 ピレンをドーブしたシリカ-C16TABメソ構造体薄膜の発光スペクトル(励起波長340 nm)

(a, b)界面活性剤に対するピレンのモル比1/10 (a)および1/5 (b), (c) C16TAB水溶液に可溶化したピレンの発光スペクトル。

キシマー(450 nm付近のブロードな発光)による蛍光はモノマー蛍光(350 nm 付近の振動構造をもつ発光)に対して弱く、ピレンが界面活性剤部分に可溶化され、その拡散が著しく抑制されていることを示している。

生体膜のゲル液晶転移はよく知られた現象であるが、最近スメクタイト層間にインターカレートした

陽イオン性界面活性剤が同じように相転移をおこすことも報告されている<sup>89)</sup>。シリカ層によって固定化された界面活性剤の相転移についても興味深い問題であり、現在蛍光スペクトルの温度依存性などを検討しているところである。

多孔体への転換

また組成(テトラメトキシシランと界面活性剤の混合比など)等合成条件を変化させることによりいわゆる棒状ミセルをシリカ層が取り囲んだヘキサゴナル相の構造が得られた<sup>25)</sup>。TMOSの部分加水分解物にアルキルトリメチルアンモニウム塩の固体を直接加え、攪拌すると粘性のある均質な液体が得られる。これを基板上にコーティングして薄膜試料を得た。TMOSとC16TACの混合比が4:1(モル比)の時得られた生成物のX線回折図を図6に層状相のそれと併せて示した。

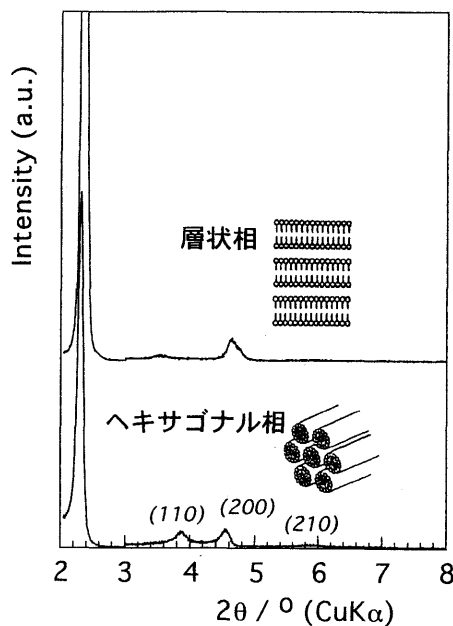


図6 シリカ-ヘキサデシルトリメチルアンモニウム塩化物メソ構造体薄膜のX線回折図

層状相と異なり、ヘキサゴナル相はシリカ層が棒状ミセルを取り囲んでいるので、MCM41やFSMと同様熱処理などによって界面活性剤を取り除いた後も形成した構造を維持できることが期待される。そこで基板から剥がし取って粉碎した試料を空气中で加熱し界面活性剤を除去することを試みた。セチ

ルトリメチルアンモニウム塩化物と TMOS の比が 4:1 で合成した試料では焼成前に 3.7 nm であった面間隔が 550°C での焼成により 2.9 nm と変化したもののその構造を維持することがわかった。FSM や MCM で報告されているように熱処理条件によっても面間隔は異なる。550°C で熱処理後の生成物の BET 表面積は約 1000 m<sup>2</sup>/g であり、FSM や MCM とほぼ同様の値である。Horvath-Kawazoe 法で求めた細孔径分布から 1.5 nm 付近に細孔の極大を持つことがわかった。セチルトリメチルアンモニウム塩を用いて合成した FSM や MCM41 と比べると面間隔は狭く、細孔系も小さい。しかし図 7 に示すように TEM 観察からは蜂の巣状の細孔構造が確認されており、また前述のように X 線回折で鋭いピークが見られることから FSM や MCM41 と同様に規則的な構造が維持されていることが確認できる。室温で合成していることから、熱処理前の複合体ではメトキシ基の残存やシラノール基の存在が予想され、加熱による面間隔の大きな変化はこれらの重縮合の進行が一因であると考えている。アルキル鎖長によっても面間隔は制御できるので、熱処理温度、組成も含めた実験条件の設定によって様々な細孔系の多孔体が合成できる可能性が示されている。

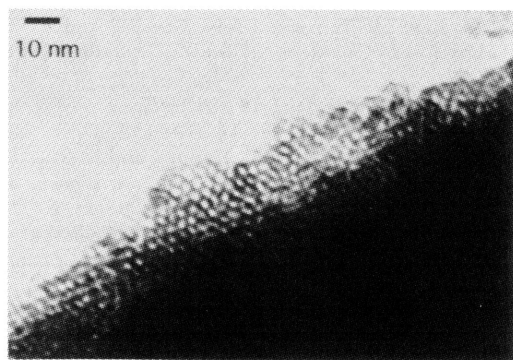


図7 シリカーヘキサデシルトリメチルアンモニウム塩化物メソ構造体焼成物の TEM 像

ここで述べた多孔体についてはスピニングによって調製した薄膜を基板から剥がしとった粉末についての結果であるが、乾燥条件の制御によっては前駆体溶液を容器に展開することによってガラス状の生成物を得ることも可能である。このようにして得られた生成物においても構造の秩序性と高い比表面積が認められた<sup>40)</sup>。この方法では、出発物質

がそのまま生成物に転換されるので理想的には 100% の収率が期待できる。このような簡単な操作でメソ構造体を得られることは材料としての応用を考えるうえで極めて有利な点であると考えている。

また薄膜のまま熱処理すれば多孔体薄膜に転換できる。この場合熱処理時に基板から剥離しないように膜厚 1 μm 以下にして実験を行っている。粉末試料の場合と同様に熱処理温度の上昇に伴い面間隔は減少するが、鋭い回折ピークは残存し、規則的な構造は維持していると考えられる。熱処理後の薄膜も透明であり、当初の目的は達成された。細孔は図 8 に示すように基板に平行に配列していると考えている。この薄膜を陽イオン性色素溶液に浸漬することにより色素が吸着した薄膜が得られた。現在メソ孔内の色素の挙動を検討している。

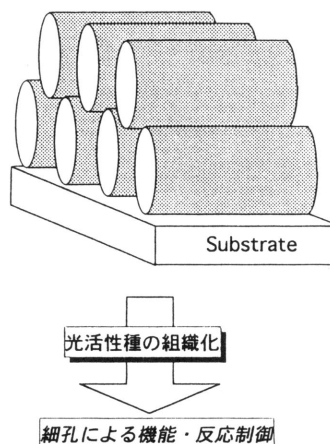


図8 メソ多孔体薄膜の構造イメージ

### シリカ界面活性剤メソ構造体の形態について

Ozin らは雲母を MCM 合成の出発溶液に浸し、基板表面上に MCM 薄膜を析出させている<sup>27)</sup>。この場合シリンダー状の細孔が基板と平行に配向していることが TEM 観察の結果から示されている。Aksay らは雲母以外にグラファイトやシリカ基板へのシリカ界面活性剤メソ構造体の析出についても検討し、基板によって表面の形態が異なることを示した<sup>30)</sup>。これらはいずれも筆者の研究でえられた薄膜の表面形態とは大きく異なっている。このような形態の違いは少なくとも形成機構が異なることを示唆しているが、どのような因子によって形態が制御されているのかは明かではない。今後の検討課題である。

また応用展開が期待できる物質もいくつか報告されている。ゾルゲル法によるシリカゲルの合成にお

いてアルキルトリメチルアンモニウム塩を共存させることにより秩序構造をもったゲルが得られ、熱処理により多孔質物質に転換できることが報告された<sup>41, 42)</sup>。生成物は高い比表面積を有しており、細孔径もマイクロ孔領域ではあるが用いる界面活性剤のアルキル鎖長に応じて変化している。またクロマトグラフィーへの展開が期待できる球状メソ構造体の合成<sup>36)</sup>についても報告されている。

#### まとめと今後の展開

既に報告されているM41SやFSMの合成と比べてここで紹介した方法は反応が極めて容易であること、透明な薄膜試料が得られること、組成の制御が容易であることなどの特長がある。その形成機構は溶媒の揮発にともなって界面活性剤が集合体を形成しシリカと相互作用しメソ構造体を形成するものと考えられ、FSMやM41Sの形成機構とは異なっている。またこの方法はシリカゲルの合成に用いられるゾルゲル法と同様、薄膜以外にもファイバー等多様なマクロな形態制御の可能性を有していると考えられる。材料としてこのシリカ界面活性剤メソ構造体薄膜を利用するために、十分な強度と面積を持った自己保持性の薄膜を合成することが当面の課題である。また細孔のサイズの制御は既にある程度可能となっているが、その配向、さらには $\mu\text{m}$ オーダーの形態の制御に関しては十分に理解できていない。Biomimeticに見られるような精緻な patterning が実験室での合成で可能になるためには今後より詳細な検討が必要であろう。このような目的に向けて現在は、構造評価、色素の組織化、シリカ以外の無機骨格によるメソ構造体の合成、形態制御などを併せて研究を進めている。MCM41を中心としてメソ構造体に関する研究は益々盛んに行われているようで、多くの報告を目にする。メソポーラスシリカに限っても実験条件の違いによりその特性や構造は異なっているようである。薄膜試料を用いた研究が構造や表面の性質に関する情報をもたらし、また新しい応用展開を開拓することを期待したい。

#### 謝 辞

本研究の一部は筆者が博士研究員として理化学研究所勤務中に行われたものであり、理化学研究所国際フロンティア研究システムナノ有機フォトニクス材料研究チームの雀部博之主任研究員に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) T. Yanagisawa, T. Shimizu, K. Kuroda, and C. Kato, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **63**, 988 (1990).
- 2) S. Inagaki, Y. Fukushima, and K. Kuroda, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 680 (1993).
- 3) S. Inagaki, Y. Fukushima, and K. Kuroda, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **69**, 1449 (1996).
- 4) 福嶋喜章, 稲垣伸二, 黒田一幸, 日本化学会誌, 327 (1995).
- 5) 黒田一幸, ゼオライト, **12**, 48 (1995); 稲垣伸二, 福嶋喜章, 黒田一幸, 触媒, **37**, 636 (1995).
- 6) C. T. Kresge, M. E. Leonowicz, W. J. Roth, J. C. Vartuli, and J. S. Beck, *Nature*, **359**, 710 (1992).
- 7) J. S. Beck, J. C. Vartuli, W. J. Roth, M. E. Leonowicz, C. T. Kresge, K. D. Schmitt, C. T.-W. Chu, D. H. Olson, E. W. Sheppard, S. B. McCullen, J. B. Higgins, and J. L. Sclenker, *J. Am. Chem. Soc.*, **114**, 10834 (1992).
- 8) A. Monnier, F. Schth, Q. Huo, D. Kumar, D. Margolese, R. S. Maxwell, G. D. Stucky, M. Krishnamurty, P. Petroff, A. Firouzi, M. Janicke, and B. F. Chmelka, *Science*, **261**, 1299 (1993).
- 9) Q. Huo, et al., *Nature*, **368**, 317 (1994).
- 10) Q. Huo, D. Margolese, P. Feng, T. Gier, P. Siegr, R. Leon, P. Petroff, F. Schth, and G. D. Stucky, *Chem. Mater.*, **6**, 1176 (1994).
- 11) P. T. Tanev, M. Chibwe, and T. J. Pinnavaia, *Nature*, **368**, 321 (1994).
- 12) P. T. Tanev and T. J. Pinnavaia, *Science*, **267**, 865 (1995).
- 13) S. Feng, and T. Bein, *Nature*, **368**, 834–836 (1994).
- 14) Y. Yan, M. Tsapatis, G. R. Gavalas, and M. E. Davis, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1995**, 227.
- 15) 松方正彦, ゼオライト, **14**, 3 (1997).
- 16) 水上富士夫, ゼオライト, **14**, 19 (1997).
- 17) M. Ogawa, M. Takahashi, C. Kato, and K. Kuroda, *J. Mater. Chem.*, **4**, 519 (1994); M. Ogawa, M. Takahashi, and K. Kuroda, *Chem. Mater.*, **6**, 715 (1994); M. Ogawa, T. Handa, M. Takahashi, K. Kuroda, C. Kato, and T. Tani, *J. Phys. Chem.*, **96**, 8116 (1992); Y. Yang and T. Bein, *Chem. Mater.*, **5**, 905 (1993).
- 18) A. Corma, V. Fornas, H. Garcia, M. A. Miranda, and M. Sabater, *J. Am. Chem. Soc.*, **116**, 9767 (1994).
- 19) C.-G. Wu and T. Bein, *Science*, **264**, 1757 (1994); *ibid.*, **266**, 1013 (1994); *Chem. Mater.*, **6**, 1109 (1994).
- 20) C. Huber, K. Moller, and T. Bein, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1994**, 2619.
- 21) C. J. Brinker and G. S. Sherer, *Sol-Gel Science The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, Academic Press, 1990.
- 22) *Sol-Gel Optics: Processing and Application*, Klein, L. C. ed., Kluwer, Boston: 1993.
- 23) M. Ogawa, *J. Am. Chem. Soc.*, **116**, 7941 (1994).
- 24) M. Ogawa, *Langmuir*, **11**, 4639 (1995).
- 25) M. Ogawa, *Chem. Commun.*, 1149 (1996).
- 26) M. Ogawa, *Langmuir*, **13**, 1853 (1997).

- 27) H. Yang, A. Kuperman, N. Coombs, S. Mamiche-Afara, and G. A. Ozin, *Nature*, **379**, 703 (1996)
- 28) H. Yang, N. Coombs, I. Sokolov, and G. A. Ozin, *Nature*, **381**, 589 (1996).
- 29) P. T. Tanev and T. J. Pinnavaia, *Science*, **271**, 1267 (1996).
- 30) I. A. Aksay, M. Trau, S. Manne, I. Honma, N. Yao, L. Zhou, P. Fenter, P. M. Eisenberger, and S. M. Gruner, *Science*, **273**, 892 (1996).
- 31) L. P. Lin and C.-Y. Mou, *Science*, **273**, 765 (1996).
- 32) S. Schacht, Q. Huo, I. G. Voigt-Martin, G. D. Stucky, and F. Schth, *Science*, **273**, 768 (1996).
- 33) S. Baral and P. Schoen, *Chem. Mater.*, **5**, 145 (1993).
- 34) S. Oliver, A. Kuperman, N. Coombs, A. Lough, and G. A. Ozin, *Nature*, **378**, 47 (1995).
- 35) D. Walsh and S. Mann, *Nature*, **377**, 320 (1995).
- 36) Q. Huo, J. Feng, F. Schuth, and G. D. Stucky, *Chem. Mater.*, **9**, 14 (1997).
- 37) M. Ogawa, T. Igarashi, and K. Kuroda, submitted for publication.
- 38) (a) A. Ulman, *An Introduction to Ultrathin Organic Films from Langmuir Blodgett to Self-Assembly*; Academic Press Inc.: San Diego, 1991. (b) J. H. Clint, *Surfactant Aggregation*, Blackie: Glasgow, 1992.
- 39) T. Seki and K. Ichimura, *Macromolecules*, **23**, 31 (1990); M. F. Ahmadi and J. F. Rusling, *Langmuir*, **11**, 94 (1995).
- 40) M. Ogawa and N. Yamamoto, submitted for publication.
- 41) A. Ayrál, C. Balzer, T. Dabadie, C. Guizard, and A. Julbe, *Catal. Today*, **25**, 219 (1995).
- 42) T. Dabadie, A. Ayrál, C. Guizard, L. Cot, and P. Lacan, *J. Mater. Chem.*, **6**, 1789 (1996).

### Preparation of Transparent Thin Films of Silica-Surfactant Mesoporous Materials

Makoto OGAWA

PRESTO, JST and Institute of Earth Science, Waseda University,

Nishi-waseda 1-6-1, Shinjuku-ku, Tokyo 169-50, Japan.

e-mail: makoto@mn.waseda.ac.jp

The preparation of mesoporous materials from a cooperative organization of inorganic species and surfactants is a current topic mainly because of the possible use of the mesoporous materials derived from the mesoporous composites in molecular sieves, catalyses, and host-guest chemistry. If the periodic silica-surfactant nanocomposites can be obtained as films, the composite films might be applied to sensors, optical and electronic materials, etc. to which powder samples do not have an access. In this article, the studies on the novel and simple synthetic route to transparent thin films of the periodic silica-surfactant nanocomposite films by simply depositing homogeneous precursor solution containing surfactant and alkoxysilane are summarized.

Key words: Silica, Surfactant, Mesoporous materials, Film, Mesoporous films.