

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 岩下 靖孝

本論文はセッケン2分子膜系の秩序構造の形成およびその制御について、実験的に研究した成果について述べている。特に2分子膜系の秩序構造であるラメラ相における構造欠陥の光操作、空間拘束下におけるラメラ相の構造形成という2つのテーマについて研究を行い、秩序構造の特徴的な現象について明らかにした。

第1章では研究の背景および目的について述べている。ソフトマテリアルとは高分子溶液やゲル、液晶、コロイドなどの柔らかい物質群の総称である。その特徴は構造の階層性があり、通常の固体等よりはるかに大きいメソスケールの単位構造が弱い相互作用によりマクロな秩序構造を形成している。そのため外場などによりこのマクロな秩序構造までもが大きく変化し、多様な非線形応答を示す。つまり「階層的秩序の物理」こそがソフトマテリアルの本質であるが、系の内部自由度の高さに起因する複雑さのためその全容は未解明のままである。そこで本研究は、セッケン膜系の構造形成に焦点を当て、「空間拘束下での秩序構造の形成過程」及び「ラメラ相の欠陥の性質」を解明することを目的としている。

第2章において本研究で用いたセッケン2分子膜系、中でも $C_{12}E_5/H_2O$ 系について説明している。この系の顕著な特徴は単位構造の大きさにあり、nmから $\mu m$ オーダーにわたる。更に秩序相(ラメラ相)が室温付近にあることなど秩序構造の物理を研究する上でさまざまな利点を持つ。

第3章ではレーザー・トラッピング法による単独線欠陥の光操作と物性測定について述べている。液晶などの個々の構造欠陥は小さくそのエネルギーも弱いため、基本的な欠陥単独について実験を行った例はほとんどない。そこで $C_{12}E_5/H_2O$ 系の単位構造が非常に大きいことを利用し、レーザー・トラッピング法を用いた単独線欠陥の任意光操作・物性測定を行った。その結果その挙動からこれがトポロジー欠陥であることが判明した。また線欠陥の張力、即ち単位長あたりのエネルギーの測定に成功し、それを基に詳細な膜構造のモデルを作ることができた。他にも線欠陥の精密な形成・操作による六方格子状、らせん状などの任意パターン形成、癒着現象の発見およびそのエネルギーの測定・解析、2分子膜の2次元流動性の測定などに成功している。このような基本的な構造欠陥の自由な操作、直接物性測定は本研究で初めて実現されたものである。

第4章では空間拘束下におけるラメラ相の構造形成について述べている。産業界・自然界を問わず空間的に限られた領域における秩序形成は本質的な重要性を持っているが、従来は単に平衡論を用いて議論することが多く、ソフトマテリアルの多くに見られる一次転移、即ち核生成などに由来する非平衡性およびその空間拘束との関係についてはほとんど明らかにされていない。そこで空間拘束スケールが連続的に変化するクサビセルを用い、スポンジ相からのラメラ秩序の形成と空間拘束の関係について調べた。3・20wt%の

C<sub>12</sub>E<sub>5</sub>/H<sub>2</sub>O について -1 °C/min でラメラを形成したところ、厚さ 100 μ m 以下程度では系全体がホメオトロピックに配向した結果であるストライプ・パターンが現れた。この構造は 3-9wt% では弾性エネルギー最小の構造と一致したが (Nallet *et al.*, *Europhys.Lett.*, (1987))、15、20wt% では一致しなかった。この結果はラメラの形成過程における非平衡性が構造形成に影響していることを強く示唆している。一方厚さが 100 μ m 以上では 3% ではランダム配向、9% ではオニオン相、15% ではストライプなど濃度によって異なる構造が現れた。これらの構造の形成過程を厚さ・濃度を変え詳細に観察したところ、核生成されたラメラが壁面に濡れ層を作りつつ成長する場合は系全体がホメオトロピック配向し、そうでなければラメラドメインのランダム配向状態やオニオン相等の非ホメオトロピック構造になることが分かった。またラメラの配向秩序の冷却速度依存性、非ホメオトロピック構造とエピタキシーの関係などについても明らかにし、空間拘束下の秩序構造形成においてそのキネティクスが果たしている大きな役割を解明することができた。

上記の研究成果は 2 分子膜系のみならずソフトマテリアルの空間拘束下での秩序化の物理的機構を理解する上で重要であるばかりか、ナノ秩序構造形成とその制御による多様な物性の発現の基礎として、応用面においても有用な知見を与えている。

以上本研究で得られた成果は、物理工学上非常に重要なものである。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。