

原子膜でつくる未来材料

Future Material Technology Using 2D Nanosheets

長田研究室：長田 実・小林 亮・山本瑛祐

Osada Laboratory; Minoru Osada, Makoto Kobayashi, Eisuke Yamamoto

原子数個の厚みを有する原子膜物質（ナノシート）は、従来のバルク材料・薄膜とは異なる機能の発現し、エレクトロニクス、環境・エネルギー分野での応用が期待されています。我々の研究室では、無機ナノシートを対象に、様々な組成・構造を有するナノシートを精密合成、高次集積し、ナノ構造特有の機能性を活用した次世代エレクトロニクス材料・デバイスの開発と、資源・エネルギー・環境問題の解決に寄与する新しい材料技術の創製を目指した研究を推進しています。

ナノシートの精密合成

層状化合物の単層剥離により独創的なナノシートを合成することで、従来のバルク材料では実現できない電氣的、磁氣的機能の開発を進めています。また、物質創製の新しい試みとしてボトムアップ合成技術に注目し、ナノシートの厚み、組成、構造を精密に制御して合成する技術を開発しました。以上の研究を通し、ナノシートのテラメイド合成を実現し、新しい機能性ナノシートのライブラリーの開発を進めています。

層状化合物 → 液相剥離 → コロイド化 → **層1枚 = ナノシート**

液相剥離
 $Ti_{1-x}O_2$ 半導体性, 高誘電性
 $Ti_{1-x}Co_xO_2$ 強磁性
 $Ti_{1-x-y}Co_xFe_yO_2$ 強磁性, ハーフメタル

気相合成
 $Ca_2Nb_2O_{10}$ 高誘電性, 高温誘電体
 $Ca_2Na_2Nb_5O_{16}$ 強誘電性
 Ti_2NbO_7 高誘電性
 $CS_2/W_{12}O_{4-d}$ 電子伝導性
 TaO_3 イオン伝導性
 $Co_{0.33}Al_{0.67}(OH)_2$ 磁性・レドックス

鑄型合成 (ナノシート)
 $BaTiO_3$
 SiO_2
 Pt
 CoO
 $m-SiO_2$ Ultra low-k ($\epsilon_r \approx 1.7$)
 MoS_2

鑄型合成 (界面活性体結晶)
 ナノ空間を反応場 → ナノシート

ナノシートの精密集積

無機ナノシートでは、室温・溶液プロセスを用いることで、ナノレベルで組成・構造を精密に制御したナノ構造体や積層ナノ薄膜の構築が可能となります。我々の研究室では、組成、構造、機能の異なるナノシートの積層集積により多層膜や超格子を構築し、ナノシートのボトムアップ集積でしか達成しえない特異な構造、機能を有する高機能ナノ構造体の開発を進めています。

液相集積技術
 LB法
 スピコート法
 単一液滴集積法

精密集積
 単層膜 → 積層集積 (A) → 多層膜
 単層膜 → 面内ヘテロ → ヘテロ膜 → 超格子集積 (A) → 超格子

微密膜形成 (20 μm)
 超格子集積 (5 nm)

面内ヘテロ ($Ti_{0.5}O_{1.52}$, $Ca_2Nb_2O_{10}$)
 超格子 ($Ti_{0.5}O_{1.52}/Ca_2Nb_2O_{10}$)

ナノ機能材料・デバイス

ナノシートは薄さ故に、レゴブロックのように積み重ねるだけで材料間の相互作用を自在に制御でき、新しい機能をデザインすることが可能です。我々の研究室では、ナノシートの2次元電子状態や極薄分子膜という特徴を利用し、精密集積により構造と電子状態を精密に制御した多層膜や超格子を作製することで、新しい電子材料、エネルギー材料の開発を進めています。

精密集積

原子膜デバイス (CNO/MoS₂, 10 μm)

誘電体キャパシタ

人工強誘電体

蓄電キャパシタ

LIB・全固体電池

電極触媒

日射遮蔽膜

発光デバイス

プラズモンセンサー

ナノシートのコーティング応用

我々の研究室では、マイクロピペットを使ってコロイド水溶液を基板に1滴滴下後、吸引するという簡便な操作により、ナノシートが稠密に配列し、約1分という短時間で高品質単層膜が作製可能となる新技術「単一液滴集積法」を開発しました。本技術は、簡便な操作でナノシート膜の高速・大面積製膜を実現できるため、ナノシートの工業的製膜、機能性コーティングへの応用を進めています。

素材
 無機ナノシート
 Ti_2O_3 , $Ca_2Nb_2O_{10}$, RuO_2 , GO

プロセス
 単一液滴集積法
 滴下量でサイズ調整
 ナノシートコロイド水溶液 (コーティング用インク)
 原子膜スマートラボ (職人技・経験知を排除した製造)

デバイス・応用
 機能性ナノ薄膜
 酸化チタン薄膜 (膜厚: 10 nm)
 酸化チタン薄膜 (膜厚: 100 nm)
 絶縁膜/PET ($Ca_2Nb_2O_{10}$)
 伝導膜/PET (RuO_2)
 フォトリソミック膜 ($Ca_2W_{11}O_{38}$)
 セラミックスコーティング技術 (低温でセラミックス膜を製造)

大面積化 (4 inch φ)

積層化 (Absorbance vs Wavelength (nm))

自動製膜ロボット

懸濁液1滴垂らすと1分で高品質ナノシートを製造
 名人が手法、100層まで積層