

遷移金属ダイカルコゲナイドの基礎物性と薄膜形成手法

Basic properties and thin film preparation methods of transition metal dichalcogenides

埼玉大院理工 上野啓司

Saitama University Keiji Ueno

E-mail: kei@chem.saitama-u.ac.jp

2004 年にマンチェスター大学のノボゼロフ, ガイムらによって, グラファイトからグラフェンが初めて絶縁性基板上に形成され, グラフェンの持つ特異な物性に関する研究が目覚ましく進展した。さらに, グラファイトと同様な積層構造を持つ多くの層状物質も近年注目を集めている。層状物質はその 2 次元的異方構造に起因する特徴的な物性に興味を持たれ, 古くから多くの研究が行われてきているが, 最近ではそれらの 1 単位層, あるいは数単位層が積層した薄膜, いわゆる原子層 (原子薄膜) が示す物性にも興味を持たれている。また基礎物性研究に加えて, 層状物質原子層を電界効果トランジスタ (FET) や光センサ等の材料に用いることも試みられている。

層状物質のうち, グラフェンは室温でも非常に高いキャリア移動度が報告されており, 高速素子材料として期待されている。しかしグラフェンはバンドギャップを持たないため, FET では大きなオフ電流が生じてしまい, 低消費電力な論理デバイスを実現することが難しい。そのため, 元々バンドギャップを持っている層状物質半導体に目が向けられ, 素子応用の可能性が追求されている。表 1 に主な層状物質の一覧を示す。これらの中で, 大型の単結晶鉱物が産出する MoS_2 に代表される, 遷移金属ダイカルコゲナイド (MCh_2) の研究が特に活発化している。

MCh_2 の中で, 6 族 Mo , W を中心金属とする S , Se , Te 化合物の単結晶は, バンドギャップ 1~1.2eV 程度の半導体性を示す。これらの化合物をチャネル層とする FET の形成が試みられており, 室温で数十 cm^2/Vs に達する移動度を示す FET, CMOS 論理回路の作製, フレキシブル素子の開発等が報告されている。本講演では, まず MCh_2 の結晶構造と物性について解説し, 続いてバルク単結晶の形成手法と単層~数層の単結晶薄膜作製手法を示す。最後に, MCh_2 を用いた FET の形成と評価に関する我々の研究成果を紹介する。

表 1 さまざまな層状物質

単体層状物質とグラフェン類似化合物	C (グラファイト), P, As, Sb, Bi, 六方晶 BN
遷移金属ダイカルコゲナイド	MCh_2 : M = Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W 等, Ch = S, Se, Te
13 族カルコゲナイド	GaS, GaSe, GaTe, InSe
14 族カルコゲナイド	GeS, SnS ₂ , SnSe ₂ , PbO 等
Bi カルコゲナイド (トポロジカル絶縁体)	Bi_2Se_3 , Bi_2Te_3
層状高温超伝導化合物	$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_x$, $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ 等
層状酸化物ナノシート	TiO ₂ 系・ペロブスカイト系ナノシート, MoO ₃ 等
有機無機層状ペロブスカイト	$(\text{RNH}_3)_2\text{MX}_4$: M = Pb, Sn, Ge 等, X = Cl, Br, I
層状ケイ酸塩, 粘土	雲母, 滑石, カオリン等
水酸化 2 価金属	$\text{M}(\text{OH})_2$: M = Mg, Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd 等
ハロゲン化金属	MgBr_2 , CdCl_2 , CdI_2 , Ag_2F , AsI_3 , AlCl_3 等