

## カルコゲナイド系二次元層状物質薄膜の形成と素子応用

## Preparation and device application of two-dimensional layered chalcogenide thin films

埼玉大院理工 ○上野 啓司

Saitama Univ. ○Keiji Ueno

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

【はじめに】グラフェンの示す興味深い物性に関する研究が進展する一方で、グラファイトと同様な積層構造を持つ数多くの層状物質も注目を集めている。特にそれらの単層化された薄片が示す新奇な物性探索と、素子応用に関する研究が活発に行われている。本講演ではカルコゲナイド系層状物質について、その種類、単層膜/薄膜試料作製手法、最近の研究動向および講演者の研究成果について述べる。

【カルコゲナイド系層状物質の種類】主なものを以下に挙げる。多くの物質は絶縁体/半導体であるが、5族遷移金属ダイカルコゲナイドには超伝導体も存在する(2H-NbS<sub>2</sub>, 2H-NbSe<sub>2</sub>等)。またBiカルコゲナイドはトポロジカル絶縁体として近年注目を集めている。

- 遷移金属ダイカルコゲナイド (MCh<sub>2</sub>: 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, InSe 等), 14 族カルコゲナイド (GeS, SnS<sub>2</sub>, SnSe<sub>2</sub> 等)
- Bi カルコゲナイド (Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)

【カルコゲナイド系層状物質単層試料の作製】粘着テープ剥離法により、グラフェン以外にも様々な層状物質の単層薄片を形成できることが、Geim, Novoselov らの初期論文において既に示されている<sup>1)</sup>。また溶液中での単結晶試料の単層剥離については、Li を層間挿入した MX<sub>2</sub> を水と反応させ、発生する水素によって単層剥離を行う方法が、1986 年に既に報告されている<sup>2)</sup>。この他、極性有機溶媒中での超音波照射による直接単層剥離/可溶化が、多くの層状物質に対して試みられている<sup>3)</sup>。

一方、1984 年に小間らが提唱した「ファンデルワールス・エピタキシー (VDWE) 法」<sup>4,5)</sup>により、様々な層状物質単層膜のヘテロエピタキシャル成長が試みられてきている。Fig. 1 に、MoS<sub>2</sub> 劈開面上にヘテロエピタキシャル成長した GaSe 単層膜の AFM 像を示す。界面第 1 層目から自身の結晶構造と格子定数を持つ GaSe 薄膜が成長することが確認されている<sup>6)</sup>。その他、金属 Mo や Mo 化合物蒸着膜の硫化による MoS<sub>2</sub> 単層膜形成についても報告が相次いでいる<sup>7)</sup>。

【カルコゲナイド系層状物質を用いた FET】ヨウ素添加化学蒸気輸送法により育成した WSe<sub>2</sub> 単結晶を、粘着テープ剥離により薄片化して熱酸化 SiO<sub>2</sub>/Si ゲート基板上に転写し、その上にソース/ドレイン電極として金ペーストを塗布して形成した FET の出力特性(室温)を Fig. 2a に示す。この FET では n 型動作が確認されているが、ハロゲンを添加せずに育成した WSe<sub>2</sub> 単結晶を用いて同様に作製した FET では、Fig. 2(b) に示すような p 型動作が確認されている。このことから、不純物が動作特性に与える影響が大きいと考えられる。不純物が不明な天然 MoS<sub>2</sub> 単結晶を試料に用いる場合には十分な注意が必要である。

## 【参考文献】

- (1) K. S. Novoselov et al., *Proc. Natl. Acad. Sci.* **102** (2005) 10451. (2) P. Joensen et al., *Mater. Res. Bull.* **21** (1986) 457.  
 (3) J. N. Coleman et al., *Science* **331** (2011) 568. (4) A. Koma et al., *Microelectronic Engineering* **2** (1984) 129.  
 (5) Web サイト <http://van-der-waals-epitaxy.info> にて VDWE 法に関する情報を発信中。  
 (6) K. Ueno et al., *Appl. Surf. Sci.* **113-114** (1997) 38. (7) Y. Zhan et al., *Small* **8** (2012) 966 など。

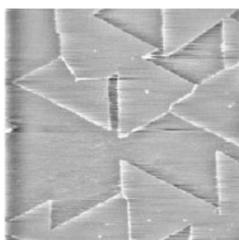


Fig. 1 AFM image of monolayer GaSe domains grown on a cleaved surface of MoS<sub>2</sub> (2 μm × 2 μm).

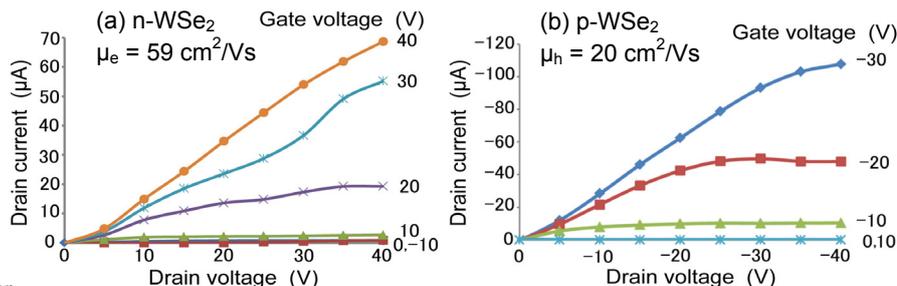


Fig. 2 Output characteristics of thin film FETs prepared from (a) n-type WSe<sub>2</sub> crystal grown with I<sub>2</sub> and (b) p-type WSe<sub>2</sub> crystal grown without halogen.