

直接成長により作製したリンドープ MoS₂ 薄膜による FET 動作特性

Operation characteristics of MoS₂:P thin film FET prepared by direct sulfurization

○(M) 百瀬 友博¹, 中村 篤志¹ (静大院工¹)

Tomohiro Momose, Atsushi Nakamura (Grad. School of Eng., Shizuoka Univ.¹)

E-mail: nakamura.atsushi@shizuoka.ac.jp

1. はじめに

これまでにグラフェンをはじめとした二次元層状物質が次世代の半導体材料として注目され、その中で二硫化モリブデン(MoS₂)は電界効果トランジスタ(FET)^[1]や光検出器^[2], バイオセンサー^[3]等の多様なデバイスに應用され, 検証されている. デバイス作製における MoS₂ 薄膜は, 多くが転写によるものであり, 基板直接に合成した MoS₂ 薄膜を用いた報告例が少ない. また FET における, 電極-MoS₂ 薄膜との間でショットキー接触になりやすい^[4]. そこで本研究では, ショットキー障壁を低減するため hole ドーパントにリン(P)をドーピングした MoS₂:P 薄膜を, 直接成長により作製し, FET としての動作特性を検証した.

2. 実験方法

抵抗加熱蒸着で SiO₂(95nm)/Si 基板上に, シェードマスクによるパターン形成 Mo 膜と大面積 Mo 膜をそれぞれ作製し, それらを CVD 法で, side-by-side に設置して Ar 雰囲気下(200sccm), 成長圧力 100Torr, 成長温度 850 °C, S 供給量 28.9 μmol/min, P 供給量 0.124-172 μmol/min, 成長時間 60 分で直接成長した. 薄膜評価では, 表面モフォロジー観察に FE-SEM, AFM, 成長前後の膜厚計測に AFM, 構造解析にラマン分光法(532nm), ドーピングレベルの評価に Van der Pauw 法による Hall 計測, FET 特性評価にパラメータアナライザ, 光特性の評価に PL 計測(532nm), 反射率計測を用いた.

3. 結果と考察

Fig.1 に Hall 計測と FET 計測に用いたサンプルの断面模式図を示している. Fig.1 a) に示す Hall サンプルでオーミック接触となり, Fig.1 b) に示す FET サンプルでショットキー接触となった. これは FET サンプルでは, Fig.1 b) に赤線で示すように電極-MoS₂ 膜のエッジ部分におけるダングリングボンドにより, ショットキー障壁高さが大きくなったことが原因であると考えられる^[5].

Fig.2 に成長時 P 供給量の変化に対する Hall 計測結果を示している. Fig.2 a) より P 供給量の増加に伴い, キャリア濃度は増加している. そのため P が hole ドーパントとして有効に働いていると考えられる. また Fig.2 b) で Hall 移動度が減少するのはキャリア濃度が増加するためであり, キャリア濃度は最大で $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を示し, 40 μmol/min 以上ではサチュレーションしている.

Fig.3 には, 作製した FET による I_{ds} - V_{gs} 特性を示し, そして Table.1 に I_{ds} - V_{gs} 特性から算出した電界効果移動度 μ_{fet} , ON/OFF 比を示している. μ_{fet} は MoS₂:P 膜の方が大きく, P ドープにより hole が多数発生したと考えられる. ON/OFF 比が MoS₂ と MoS₂:P で小さいのは膜厚方向の硫化が不十分で原料 Mo の残留が原因に考えられる.

FET サンプルでは MoS₂ と MoS₂:P 膜の両方でショットキー接触となった. そこでショットキー障壁高さを算出すると, Table.1 に示すように MoS₂ 膜で 0.613 V, MoS₂:P 膜で 0.591 V となり, アクセプタになる P をドーピングしたことにより障壁高さが低減されたことを確かめられた.

Table.1 Characteristics of MoS₂ and MoS₂:P FETs.

	μ_{fet} (cm ² /V·s)	ON/OFF (-)	Schottky barrier height (V)
MoS ₂	1.39	5.6	0.613
MoS ₂ :P	69.5	1.7	0.591

4. 参考文献 [1] J.Kang et al., Appl. Phys. 104, 093106(2014). [2] X.Wang et al., Adv. Mater. 27, 6575, (2015). [3] G.Yoo et al., Nano Res. 10(3), 767, (2017). [4] N.Kaushik et al., APL Lett. 105, 113505, (2014). [5] Ryo Nouchi., Appl. Phys. 120, 064503(2016).

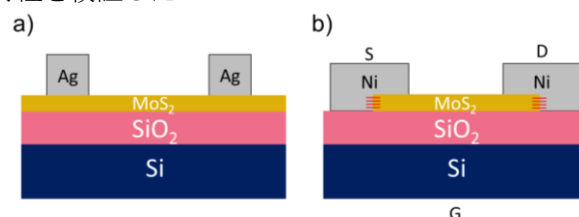


Fig.1 Schematic cross-sectional illustrations of a) Hall sample, b) FET sample, respectively. The red line shows dangling bonds.

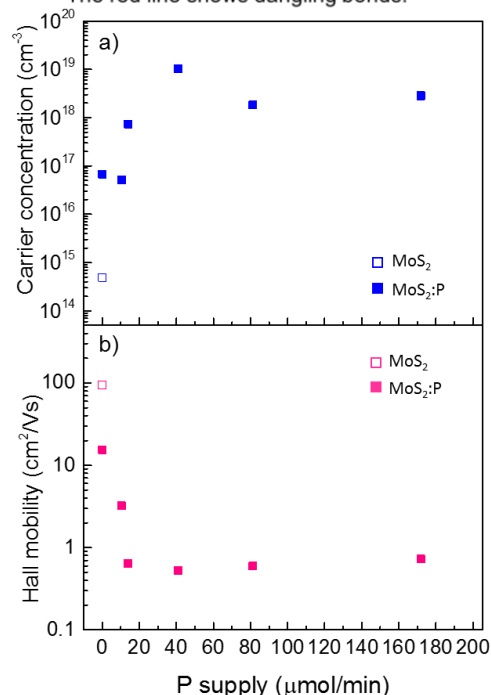


Fig.2 Hall measurement data. a) Carrier concentration, b) Hall mobility.

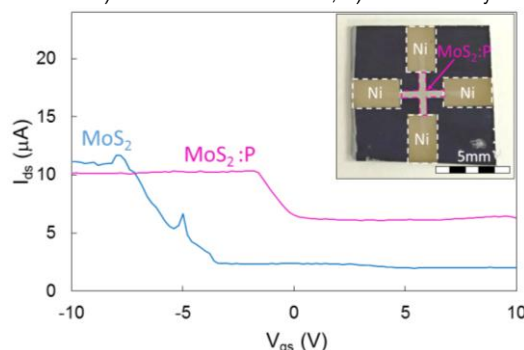


Fig.3 I_{ds} - V_{gs} plot of MoS₂ and MoS₂:P FETs. Inset is photograph of FET sample.