MoS2:P薄膜の直接成長と物性評価

Direct growth and characterization of MoS₂:P film

○(M)百瀬 友博¹, 中村 篤志¹(静大院工¹)

^oTomohiro Momose, Atsushi Nakamura (Grad. School of Eng., Shizuoka Univ.¹) E-mail: nakamura.atsushi@shizuoka.ac.jp

1. はじめに

二硫化モリブデン(MoS2)はグラフェン同様の二次元層状構造を有した半導体物質であり, 直接遷移型のバン ドギャップ構造,高移動度を持つためエレクトロニクス,フォトニクス分野において新規材料として注目され, これまでに電界効果トランジスタ¹¹¹や光検出器^[2]等のデバイス作製が試みられている.またデバイス性能の向 上にはドーピングによるキャリア濃度やヘテロ構造によるバンド構造の制御が必須になる.現在アクセプタと してドーパントにニオブ^[3]が用いられ検討されている.そこで本研究では真空蒸着により堆積させた Mo 膜と 硫黄(S)粉末,ドーパントにリン(P)粉末を用いて MoS2:P 薄膜の CVD 法による直接成長を試み,リン元素が MoS₂薄膜の電子・光物性に与える変化を評価した.

2. 実験方法

SiO₂(95nm)/Si 基板上に抵抗加熱蒸着器により Mo 膜を堆積させた. Ar 雰囲気下(200sccm)で 100Torr, Mo 膜 基板を 850℃, S&P 混合粉末を 160℃ で加熱し 60 分間成長させた. 混合粉末は S:P の質量比(%)を全量 1.0g と し S:P = 100:0,75:25, 50:50, 25:75 で変化させた. 薄膜の評価は表面モフォロジー観察に FE-SEM, AFM, 原料 Mo 膜と MoS₂ 膜厚計測に AFM,構造解析にラマン分光法(532nm),光学特性解析には SiO₂(95nm)/Si 基板を参 照基板に反射率計測を用いた.またドーピングレベルは Van der Pauw 法によるホール計測を用いて調べた.

3. 結果と考察

Fig.1 に MoS₂と MoS₂:P 膜のラマンスペクトルを示す. MoS₂薄膜の代 表的なラマンピーク^[4]である E¹2g(~385cm⁻¹)モード, A_{1g}(~403cm⁻¹)モード が MoS_2 と MoS_2 :P の両方で現れた. ラマンシフト差 $\Delta(E^{1}_{2g}-A_{1g})$ について はS:P=100:0,75:25,50:50,25:75のそれぞれで23.3,23.8,23.5,23.5cm⁻¹ であり大きな変化は見られない. この原因は S²⁻と P³⁻のイオン半径が 28pm のわずかな差によるものにあると考えられ、Pをドーピングしても MoS2の結晶構造への影響は小さく、SがPにより置換されやすいと考え られる.

Table.1 にはホール計測による MoS₂, MoS₂:P 膜の電子輸送特性を示し ている. P をドーピングすることにより抵抗率が小さくなり, キャリア 濃度が6.01×10¹⁵から6.79×10¹⁶(cm⁻³)に増加していることが確認できる. よって S&P 混合粉末を用いた成長方法により MoS2:P 薄膜の直接成長が 可能になった.またキャリア濃度の増加からp型半導体としての性質が 強くなることが分かった. この結果は P(5 族)が S(6 族)と置き換わりア クセプタとしてはたらくためであると考えられる. また Fig.2 には相対 反射率の変化率を示している. ドーピングにより反射強度が強まり, 直 接遷移に起因する A ピークがブルーシフトすることが分かる. そこで Table.1 には反射率スペクトルから求めたバンドギャップも示している が、ドーピングするとAピークで 0.01eV 小さくなった.これは正孔濃 度が増加したことが原因「5にあると考えられる.さらに表面粗さはS:P= 100:0, 25:75 それぞれで RMS = 1.81, 1.34nm であり, MoS₂:P 薄膜はより 平坦な膜となった. MoS2 膜^[6]に換算して RMS 1.34nm は 2 層分である.

 A_{1g} E^{1}_{2g} S : P (%) unit) 100:0 arb. 75:25 50:50 25:75 380 390 400 410 420 430 440 360 370 Raman Shift (cm⁻¹) Fig.1 Raman spectra of undoped/doped MoS₂ Energy (eV) 2.48 3.10 1.77 1.55 $\widehat{}$



当日はPのドーピングによる MoS2 薄膜の電子,光物性の変化につい てより詳しく報告する予定である.

Fig.2 Fractional change of reflectance ∆R/R with different S&P mixed-ratio. Inset is SEM images of S:P= (a)100:0, (b)25:75, respectively.

Table.1 Electron transport properties							
		Resistivity		Mobility	Hole density	Optical band gap (eV)	
	S:P (%)	R _{sh} (Mohm∕sq)	R (ohm−cm)	(cm²/V•S)	(cm ⁻³)	A peak	B peak
MoS ₂	100:0	4.81	22.2	46.9	6.01x10 ¹⁵	1.86	2.01
MoS ₂ :P	25:75	1.91	5.93	15.5	6.79x10 ¹⁶	1.85	2.01

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] M.R.Laskar et al., Appl. Phys. 104, 092104 (2014). [4] M.Brien, et al., Sci Rep. 6, 19476, (2016). [5] S. Mouri et al., Nano. Lett. 13, 5944, (2013). [6] Yongjie Zhan et al., small. 8, 966, (2012).