

XPS時間依存測定による二次元MoS₂/SiO₂/Si構造のトラップ評価

Carrier Traps of 2D MoS₂/SiO₂/Si Studied by XPS Time-dependent Measurement

東大院工¹, JAXA宇宙研², 東工大・工学院³

°松沢 理宏^{1,2}, 五十嵐 智³, 松浦 賢太郎³, 小林 大輔², 若林 整³, 廣瀬 和之^{1,2}

Univ. Tokyo¹, ISAS/JAXA², Tokyo Tech.³,

°Masahiro Matsuzawa^{1,2}, Satoshi Igarashi³, Kentaro Matsuura³, Daisuke Kobayashi²,

Hitoshi Wakabayashi³, Kazuyuki Hirose^{1,2}

E-mail: Matsuzawa.Masahiro@ac.jaxa.jp, hirose@isas.jaxa.jp

【背景と目的】

MOSFETはスケールリング則によって、トランジスタにおけるチャネルの厚さが薄くなるにつれ移動度が低下するため、高い移動度を有するMoS₂二次元材料が期待されている。しかしながら、成膜法として広く用いられている剥離法とCVD法では、どちらも残留不純物密度が高い。松浦らはRFマグネトロンスパッタリング法を用いることで、不純物密度を $1.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ まで低減した高純度MoS₂薄膜の成膜および、ノーマリーオフ動作に初めて成功した^[1]。ただし、理論予測と較べてMOSFETで実測したキャリア移動度が低いことが課題である。本研究では膜中や界面のトラップの評価が可能なXPS時間依存測定法^[2]を用いてキャリア移動度が低い原因の究明を検討した。

【実験方法】

XPS装置(ESCALAB220i_XL)を用い、単色化したAl-K α 線(1486.6 eV)を照射し続け、Si2p, O1s, Mo3d, S2pピークの束縛エネルギー E_b を44時間にわたり測定した。試料としてSiO₂(400nm)/n型Si(100)と、MoS₂(3nm)/SiO₂(400nm)/n型Si(100)を用いた。MoS₂膜はRFマグネトロンスパッタリング法で成膜した。スパッタリング後、硫黄欠損を補填するため、40分間700°Cで硫化処理を施した。

【実験結果と考察】

Fig. 1にSi2p, O1s, Mo3d, S2pピークの E_b のX線照射時間依存性を示す。X線照射時間とともに E_b は増加したが、これは試料中の正孔トラップにX線で励起された正孔が捕獲されることによるものである。^[2] また、そのシフト量はX線照射44時間後でSi2pとO1sピークは0.85eV, Mo3dとS2pピークは0.52 eVと異なった。この現象の考察のために、Fig. 2にX線照射前とX線照射44時間後のバンド図を示す。ここで E_{f1} はX線照射前のフェルミ準位、 E_{f2} はX線照射44時間後のフェルミ準位、CNLはMoS₂の電荷中性点を表す。X線照射前後のMoS₂/SiO₂界面のバンドオフセット ΔE_v を以下の式を用いて求めた。^{[3][4]}

$$\Delta E_v = 229.6 - (E_{b(\text{Mo3d})}^{\text{MoS}_2} - E_{b(\text{Si2p})}^{\text{SiO}_2}) - 98.6 \dots (1)$$

X線照射前のバンドオフセット ΔE_{v1} とX線照射44時間後のバンドオフセット ΔE_{v2} はそれぞれ3.8eV, 4.1eVとなり、増加したことがわかった(文献値^[5]は4.19 eV)。この増加は、MoS₂/SiO₂界面のSiO₂側に正の電荷^[2]、MoS₂側に負の電荷^[6]がそれぞれトラップされて、界面ダイポールが変化したためと考えられる。このように界面ダイポールが変化したと仮定した時、推定されるX線照射時間44時間時の界面電荷密度は $10^{12} \sim 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ となった。この大量のトラップの存在がキャリア移動度の低い要因の一つとなっていることが示唆される。

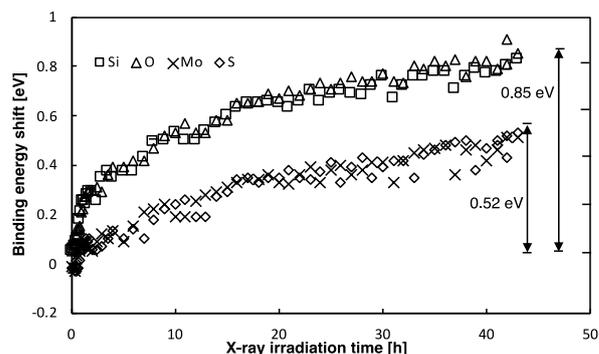


Fig. 1 Measured binding energies of Si2p, O1s, Mo3d, and S2p in MoS₂/SiO₂/Si stacked films depending on X-ray irradiation time.

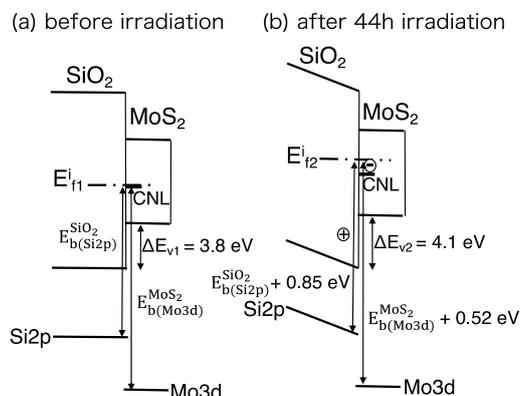


Fig. 2 Energy band diagrams of MoS₂/SiO₂ (a) before irradiation (b) after 44h irradiation.

- [1] K. Matsuura, *et al.*, S1-3, JSAP/IEEE IWJT 219.
- [2] K. Hirose, *et al.*, *J. Prog. Surf. Sci.*, **82** (2007) 3-54.
- [3] S. Toyoda, *et al.*, *J. Appl. Phys.* **120**, 085306 (2016).
- [4] C.P. Chen *et al.*, *J. Appl. Surf. Sci.* **420** (2017) 523-524.
- [5] Jungang Tao, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **104**, 232110 (2014).
- [6] Zhang, *et al.*, *IEEE*, **61**, (2014) 2862-2867.