

p^+ -WSe₂/MoS₂ ヘテロ構造におけるキャリア移動の PL による評価

Charge transfer properties of a p^+ -WSe₂/MoS₂ heterostructure measured by photoluminescence

東大¹, 埼玉大², 物材機構³, 〇中村圭吾¹, 何俊陽¹, 上野啓司², 谷口尚³, 渡邊健司³, 長汐晃輔¹

UTokyo¹, Saitama U.², NIMS³, 〇K. Nakamura¹, J. He¹, K. Ueno², T. Taniguchi³, K. Watanabe³, & K. Nagashio¹

E-mail: nakamura@ncd.t.u-tokyo.ac.jp

【緒言】 低電圧駆動が可能な FET として, 2D トンネル FET(TFET)が期待されている. TFET において急峻な subthreshold swing を達成するためには, p^+/n ヘテロ構造が必須である. 我々はオゾン酸化により p^+ 型にした WSe₂ を h -BN と複層化することで安定化させ, p^+ -WSe₂/ n -WSe₂ 構造で負性微分抵抗 (NDR)現象を観測している[1]. p^+/n ヘテロ接合では n 型から p^+ 型へ電子が移動していると推測されるが, 電気測定では間接的な評価に留まる. 一方, 微小領域での PL 計測による WSe₂/MoS₂ 単層ヘテロ接合の層間励起子発光等に基づいた電荷移動の議論は既に多くの報告がある[2]. 本研究では p^+ -WSe₂/ n -MoS₂ 構造における MoS₂ の PL 測定により, MoS₂ 中の電子移動挙動を評価することを試みた.

【実験方法】 機械的剥離法により得た多層 WSe₂(~70 nm)のオゾン酸化により形成した WO_x/ p^+ -WSe₂ を PDMS による 2 回転写により WO_x 側を h -BN(~260 nm)上に転写することで大気安定性に優れた p^+ -WSe₂ を形成した. 位置合わせ装置により Fig. 1 のような p^+ -WSe₂/MoS₂ および WSe₂/MoS₂ ヘテロ構造を形成した. 積層に用いた多層 MoS₂ の厚さは TFET に適した数層~多層の領域の 5 nm 程度を選択した. 励起波長 488 nm の Ar レーザー(0.1 mW)による PL 測定は, 計測エネルギー領域に応じて InGaAs 及び Si-CCD により行った. 今回の実験では, 電極は形成しておらず floating の状態で計測した.

【結果及び考察】 Fig. 1 のヘテロ領域における WSe₂/MoS₂ 層間での発光は既報の単層積層と異なり多層では観察されなかった. 多層 MoS₂ 単独及び, WSe₂, p^+ -WSe₂ とそれぞれ積層した多層 MoS₂(Fig. 1 に測定場所を示す)の PL 測定結果を Fig. 2 に示す. 多層 MoS₂ は 1.8 eV 程度に直接遷移の発光と 1.4 eV 程度に間接遷移の発光を示す[3]. 多層 MoS₂ 単独と WSe₂ と積層した MoS₂ では間接遷移の発光が弱い のに対して, p^+ -WSe₂ と積層した MoS₂ は間接遷移で強く発光している. ラマンにおいては A_{1g} と E_{2g} ピーク位置に変化は観察されなかったことから, 歪による MoS₂ のバンド構造の変化とは考えにくい. これは, MoS₂ の発光に寄与する伝導帯の底は直接遷移よりも間接遷移の方が低エネルギーであるため, 間接遷移の伝導帯から電子が p^+ -WSe₂ に移動したために, 直接遷移の発光がクエンチしたものと考えられる.

この電荷移動領域を把握するため, p^+ -WSe₂ と積層した MoS₂ の直接遷移(I_{direct})と間接遷移(I_{indirect})の発光の強度のラインプロファイルを Fig. 3 に示す. h -BN 上の MoS₂ では p^+ -WSe₂ からの距離によらず同程度の間接遷移の発光が観測された. 20 μm 以上の距離で均一に電子が移動していることは考えにくいものの, 同様な挙動は p^+ -WSe₂/WSe₂ ヘテロにおいても観察されており, TFET の輸送特性を議論する際に有益な情報である.

【参考文献】[1] 何俊陽ら, 本学術講演会. [2] H. Fang, *et al.*, PNAS, 2014, **111**, 6198. [3] K. F. Mak, *et al.*, PRL, 2010, **105**, 136805. 【謝辞】 本研究は科研費及び JSPS 「研究拠点形成事業 (A.先端拠点形成型)」により助成を受け行われた.

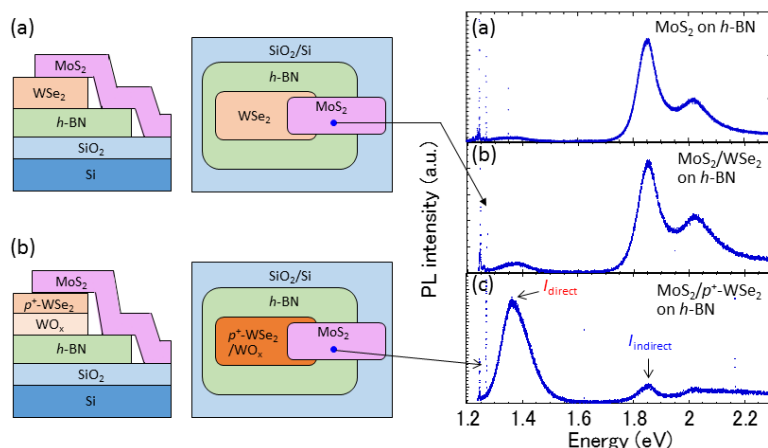


Fig. 1 (a) MoS₂/WSe₂ ヘテロ構造及び (b) MoS₂/ p^+ -WSe₂ ヘテロ構造の模式図.

Fig. 2 (a) MoS₂, (b) WSe₂ と接した MoS₂, 及び (c) p^+ -WSe₂ と接した MoS₂ の PL.

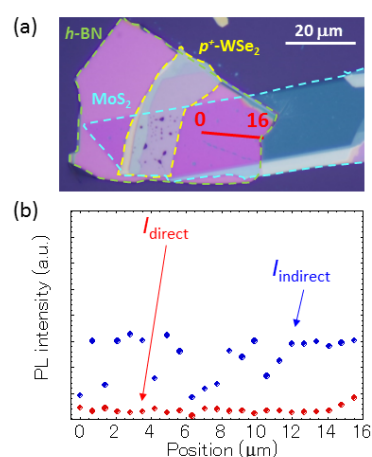


Fig. 3 (a) 試料光顕写真. (b) I_{indirect} , I_{direct} のラインプロファイル.