hBN の表面ラフネスが hBN/単層 WSe_2/hBN 構造の励起子ダイナミクスに与える影響

Effect of surface roughness of hBN on exciton dynamics in WSe_2 monolayer encapsulated by hBN

東京都市大学 [1], NIMS[2]
成毛航 [1], 渡邊賢司 [2], 谷口尚 [2], 星裕介 [1]
Tokyo City Univ.[1], NIMS[2]
W. Naruge[1], K. Watanabe[2], T. Taniguchi[2], Y. Hoshi[1]
E-mail:g2181258@tcu.ac.jp

遷移金属ダイカルコゲナイド (TMD)のなかでも、MX_2(M=Mo or W, X=S, Se or Te)で構成される単原子層材料は、直接遷移型半導体であることや、室温で励起子形成することが知られている。また、励起子密度の増大により励起子-励起子消滅(EEA)が支配的になり発光再結合が抑制されることが報告されている[1]。EEA の発生頻度は TMD を積層する基板に依存し、特に六方晶窒化ホウ素 (hBN)上に TMD を積層した場合、SiO_2 上に積層した場合と比較して約二桁程度、EEA の発生頻度が低くなる[2]。また、表面ラフネスの異なる様々な基板材料上に TMD を積層することで EEA の発生頻度が変化すると報告されている[3]。本研究では、異なる表面ラフネスを持つ hBN 上に単層 WSe_2 を積層することで、表面ラフネスが励起子の発光再結合確率に与える影響を調べたので報告する。

機械的剥離法によりバルク hBN と WSe_2 を剥片化し、PDMS 上に堆積する。多層 hBN を、100nm の SiO_2 膜を有する Si 基板上に転写する。$CF_4 : O_2$ ＝ 40 : 10 で反応性イオンエッチング(RIE)処理することで、hBN 表面にラフネスを形成する。この基板上に、スタンプ法を用いて hBN と単層 WSe_2 を連続的に転写することで単層 WSe_2 の hBN 封止構造(hBN/1L-WSe_2/hBN 構造)を作製した。

図 1(a)と 1(b)に RIE 処理前と処理後の hBN 表面の AFM 像を示す。RIE 処理することで平坦な hBN 表面にランダムな凹凸が発生し、RMS ラフネスが 9 nm に増大することが分かった。図 2(a)と 2(b)に、これらの hBN 上に作製した試料構造に対して励起光強度 10 μW と 1 mW で測定した PL スペクトルを示す。これらのスペクトルの PL 強度は、1 μW の励起光強度で測定した場合の PL ピーク強度で規格化されている。10 μW で測定した場合、RIE の有無による PL 強度の変化は見られない。一方、1 mW で測定した場合、RIE 処理した試料の方が未処理の試料と比較して PL 強度が減少していることが分かる。これは、RIE による表面荒れにより、1L-WSe_2 中での EEA を介した非発光再結合確率の増加を示唆している。当日は、より詳細な表面荒れと EEA の発生頻度の関係について示す。

[1] S. Mouri et al. PhysRevB (2014) [2] Y. Hoshi et al. PhysRevB (2017) [3] Y.Kajino et al. PhysRevB (2021)

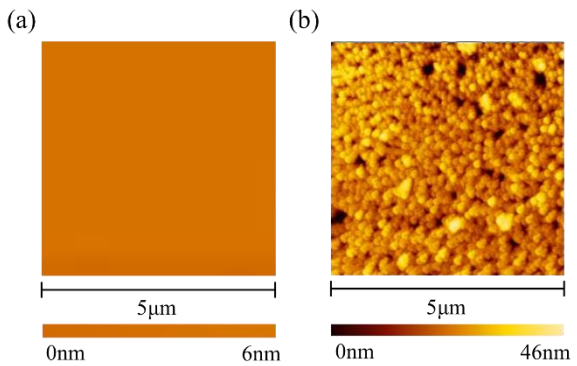

Figure 1. AFM images of hBN (a) before and (b) after RIE process.

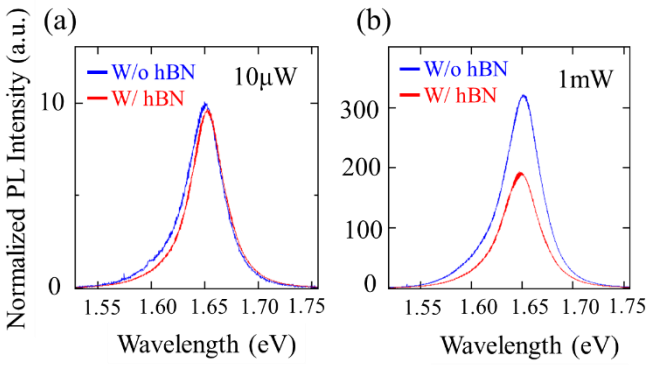

Figure 2. PL spectra of 1L-WSe_2 on hBN with and without RIE process. Excitation powers are fixed at (a) 10 μW and (b) 1 mW, respectively.