

層数制御した MoSe_2 超薄膜のエピタキシャル成長Epitaxial growth of ultrathin MoSe_2 films on GaAs (111)B substrates

NTT物性基礎研, °小野満恒二、Ryan Neufeld、熊倉一英、山本秀樹

NTT BRL, °Koji Onomitsu, Ryan Neufeld, Kazuhide Kumakura, Hideki Yamamoto

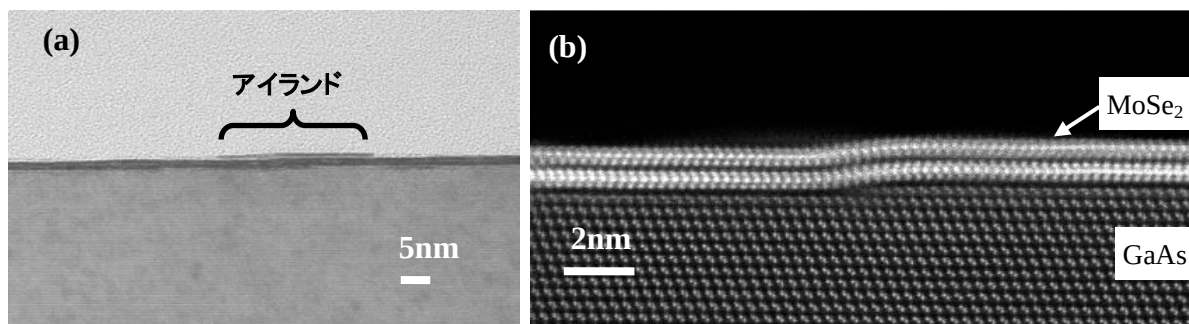
E-mail: onomitsu.koji@lab.ntt.co.jp

遷移金属ダイカルコゲナイド(TX_2)は、グラファイトに代表される層状物質の一つで、弱いvan der Waals力で層間が結合している。TとXの組み合わせによって絶縁体、半導体、金属とさまざまな性質を示す物質が存在する[1]中で、我々は半導体として振る舞う MoSe_2 に注目して研究を進めている[2]。層状物質は、格子不整合が大きな物質同士でもヘテロエピタキシャル成長できる(van der Waals epitaxy[3])が、成長した層状物質薄膜のマクロな平坦性には、基板の表面モフォロジーが影響すると考えられる。そこで、今回、GaAs(111)B基板上に、原子層ステップが確認できる平坦なGaAsバッファ層を成長し、その上にウエハースケールで層数制御した MoSe_2 成長を試みた。

GaAs(111)B面上にGa+Asを1秒供給した後、Asのみを1秒供給するというサイクルで、GaAsをMEE成長し、原子層レベルで平坦な面を得た。この時、表面が $\sqrt{19} \times \sqrt{19}$ 構造となることをRHEEDパターンで確認した。その後、GaAs表面をSe終端によって不活性化させ、 MoSe_2 薄膜の成長を行った。ここで、電子衝撃発光分光法(EIES)を用いた蒸発レート制御システムにより[4]、電子銃によって加熱したMoの蒸発レートを高精度に制御した。 MoSe_2 成長を開始すると、RHEEDパターンは、成長前のSe終端GaAsの 1×1 ストリークに、 MoSe_2 の面内の格子定数を反映したより間隔の広い 1×1 ストリークパターンが重なったものとなった。また、 MoSe_2 の $[11-20]$ 方向とGaAsの $[10-1]$ 方向、 MoSe_2 の $[10-10]$ 方向とGaAsの $[11-2]$ 方向がそれぞれ平行となり、面内に回転することなくエピタキシャル成長していることも確認された。最終的に MoSe_2 が表面を完全に覆うとGaAsのパターンは消滅する。成長開始からこの時点までの時間より、成長レートは1ML/20minと見積もられた。得られた薄膜のAFM像から、 MoSe_2 薄膜のモフォロジーはGaAs(111)B面の原子層ステップを反映しており、GaAs表面と同等な平坦性が得られていることがわかった(RMS=0.261nm)。また、局所的に高さ6.5~7Åアイランドも観察された。[1-10]方向に沿って試料をカットし、断面TEM像を観察したところ(図(a))、この局所的なアイランドは3層目の MoSe_2 の成長初期2次元核であることが確認できた。さらにSTEMにより観察すると、図(b)のように3つの原子が1組となる層が2層存在しており、GaAsのステップを乗り越えている様子が観察できる。上記のようなAFM像は2インチウエハ内で均一に観察された。MBE成長では MoSe_2 の層数を成長時間で制御できることも考慮すると、今回の結果は、ウエハースケールで層数制御された MoSe_2 の成長が実現し、従来の半導体微細加工技術を層状物質に適用できる準備が整ったことを意味する。

謝辞: TEM像及びSTEM像は、NTT-AT水野氏の協力によって撮影された。

[1] J. Wilson, A. Yoffe, Adv. Phys. 18, 193 (1969). [2] 小野満他、第61回応用物理学会春季学術講演会 18a-E2-2. [3] A. Koma, J. Cryst. Growth 201/202, 236 (1999). [4] H. Yamamoto et al., J. Cryst. Growth 378, 184 (2013).



図(a)断面TEM像。アイランドが観察できる。(b)ステップ付近の断面STEM像。