

走査型非線形誘電率顕微鏡による機械剥離 WSe₂/SiO₂ と 架橋型 WSe₂ のキャリア分布の観察

Carrier distribution imaging of mechanically exfoliated WSe₂/SiO₂ and suspended WSe₂ using scanning nonlinear dielectric microscopy

東北大通研¹, 東北大院工² ○高野 幸喜¹, 山末 耕平¹, 加藤 俊顕², 金子 俊郎², 長 康雄¹
Tohoku Univ.^{1,2}, ○Koki Takano¹, Kohei Yamasue¹, Toshiaki Kato², Toshiro Kaneko², Yasuo Cho¹
Email: koki3424@riec.tohoku.ac.jp

層状半導体は原子オーダーの薄さで半導体の性質を示すことから、新規な半導体材料として注目されている。WSe₂は層状半導体の一種であり、非ドープの場合、両極性動作することが知られている。また、その特性を応用した FET などが試作されている[1]。層状半導体は厚さが原子オーダーと非常に薄いため、基板などとの界面の固定電荷や不純物散乱などでその電気特性が影響を受けやすい。これらの影響を抑制するため、基板から層状半導体を浮かせた架橋型構造にすることが有効であると期待される。そこで本研究では、スコッチテープ法により SiO₂/Si 基板に転写された WSe₂ と架橋型 WSe₂ の 2 つの試料のキャリア分布とその直流バイアス依存性を走査型非線形誘電率顕微鏡(SNDM)を用いて評価比較した。SNDM は半導体材料・デバイスのキャリア分布をナノスケールで観察可能なプローブ顕微鏡である。SNDM では、探針と半導体間に電圧を印加した場合に生じる空乏層由来の容量変化(dC/dV)を測定する。dC/dV の符号は p 型, n 型により異なり、またその絶対値はキャリア濃度に依存する。よって、dC/dV を測定することで多数キャリア分布が観察可能となる。

試料は熱酸化された高濃度 Si 基板(酸化膜厚 300 nm)上にスコッチテープ法により非ドープの WSe₂(3~10 層)を転写した試料 A、及び、同様の基板上に作製した高さ 40nm の電極に非ドープの WSe₂(3 層)を架橋した試料 B である。接触状態の制御はコンタクトモード AFM で行った。探針には著者らが提案してきた絶縁膜付き探針を用いた[2]。図 1(a),(b)にそれぞれ試料 A, B の WSe₂ 上の定点で測定した dC/dV-V 特性を示す。図中の青線、赤線のグラフはそれぞれ-5V から+5V, +5V から-5V に直流電圧を変化させて測定した dC/dV-V 特性である。dC/dV は p 型の場合は正の値となり、n 型の場合は負の値となる。また理想的には、WSe₂ は基板に負の電圧を印加した場合は n 型、正の電圧を印加した場合は p 型となる。しかしながら、図 1(a)では正、負両方の印加電圧で n 型を示す負の値を示した。また、青線と赤線で大きなずれが生じ、履歴現象が観察された。一方で、図 1(b)では負の印加電圧で n 型、正の印加電圧で p 型となる理想的な dC/dV-V 特性が得られた。また、図 1(a)と比較して履歴現象が大きく低減された。次に試料 A、試料 B の SNDM 像観察を行った。その結果をそれぞれ図 2(a), (b)に示す。図 2(a), (b)で(i)は形状像, (ii), (iii), (iv), (v)はそれぞれ印加電圧を 0, -5, 0, +5V の順に変えて同一位置を観察した SNDM 像である。図 2(a)の(ii), (iv)はどちらも 0V の印加電圧であるがコントラストが大きく異なっている。これは、図 1(a)で見られたのと同様にキャリア分布の直流バイアス依存性に履歴現象が存在することを意味する。また、図 2(a) (v)では正の印加電圧にもかかわらず一部 n 型を示した。これは、図 1(a)で正の印加電圧で n 型を示したことと対応している。これらの現象は図 2(b)に示す架橋型 WSe₂ の場合では観察されず、理想的な WSe₂ の特性を示した。これらの結果より、スコッチテープ法により基板に転写された WSe₂ と比較して、架橋型 WSe₂ では界面の影響を低減して、理想的な WSe₂ の特性が得られたと考えられる。以上より、層状半導体において架橋構造を形成することは層状半導体デバイスの特性を改善するうえで有用であると考えられる。また、SNDM は層状半導体やそのデバイスにおけるキャリア分布観察に有用であると言える。

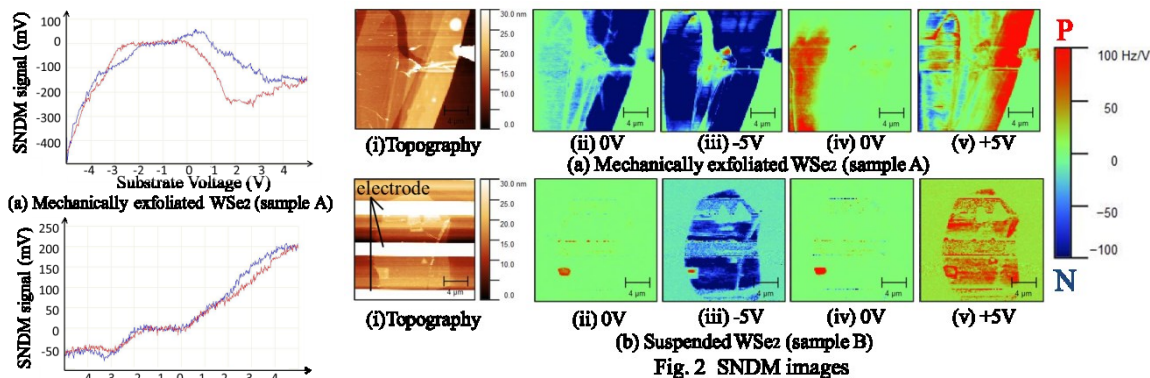


Fig. 1 dC/dV-V characteristics

Fig. 2 SNDM images

謝辞 本研究は科学研究費補助金(16H06360)の補助を受けています。

参考文献 [1] S. Das, and J. Appenzeller, Appl. Phys. Lett. 103, 103501(2013).
[2] 高野, 山末, 長, 2019 年 第 80 回応用物理学秋季学術講演会 18p-143-9, September 18-21 (2019)