

縦型電解質デバイスと時間領域サーモフレクタンス法の融合による熱・電荷流相関の解明 Integration among vertical electrolyte-gated device and time-domain thermoreflectance

都立大理¹, 産総研², ハイデルベルグ大³ ○上治 寛¹, 武藤 暢宏¹, 松岡 勇也¹,
一ノ瀬 遥太¹, 蓬田 陽平¹, 八木 貴志², Zaumseil Jana³, 柳 和宏¹

Tokyo Metro. Univ.¹, AIST², Heidelberg Univ.³ °Kan Ueji¹, Nobuhiro Muto¹, Yuya Matsuoka¹,
Yota Ichinose¹, Yohei Yomogida¹, Takashi Yagi², Jana Zaumseil³, Kazuhiro Yanagi¹

E-mail: kueji@tmu.ac.jp, kyanagi@tmu.ac.jp

はじめに: 近年、薄膜から柔軟性をもつデバイスが作製され、重要な役割を果たしつつある。しかし、電子特性やデバイス特性など研究が数多くなされている一方、熱が性能にも大きく影響するにもかかわらず、薄膜材料のキャリア密度を含む熱・電荷輸送特性の関係は殆どなされていない。Wiedemann–Franz 則は、バルク金属の熱・電気伝導率の関係性を明示しているが、薄膜材料には成立しない事例が多い[1]。そのため、薄膜材料の熱・電荷輸送特性を実験的に明らかにする方法は、極めて重要な課題である。時間領域サーモフレクタンス法(TDTR)は、薄膜の熱物性測定に有効だが、熱変換器かつ温度計の役割を果たす金属は Al が一般的に採用される。我々は、電気化学的に不安定な Al を安定な Au に変更し、電解質ゲーティングによりキャリア密度を変調させたカーボンナノチューブ薄膜(CNT 薄膜)の熱と電気伝導率の関係を「その場」で明らかにした[2]。しかし、熱と電気伝導率の測定方向が違う懸念点も残されていた。そこで、縦型デバイスと TDTR を融合させた技術(図 1)により熱流・電荷流が同一方向にさせ、薄膜の熱・電荷流相関の解明の端緒を得る方法を確立する目的で研究を行った。

結果と考察: ここでは、手始めに、van der Waals 界面を無数に含む半導体型 CNT 薄膜の膜厚方向に対する熱・電荷輸送の関係解明を対象に研究を進めた。半導体型 CNT 薄膜を金属電極で挟み込んだ縦型デバイスを作製し、TDTR 測定により膜厚方向の熱伝導率は $0.1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 以下と見積もられた。TDTR 測定の感度計算によって、金属電極で挟んだデバイス構造は測定精度が高くなり、半導体型 CNT 薄膜の小さな熱物性変化を捉える有効性を示した。次に、イオンゲルを電解質として塗布後(図 1)、ゲート電圧によって膜厚方向の電流密度を制御した。電流は 5 桁ほど変調制御が可能であり、各ポテンシャルにおいての TDTR 測定を行ったところ、電流密度が大きく変化するにもかかわらず熱伝導率は一定であることを確認した。これらは、van der Waals 界面が無数に含まれていると、熱伝導はフォノンの寄与が支配的であることを示唆している。薄膜系の熱電変換としてはこの熱物性は利点として働くことを示した。

参考文献: [1] S. J. Mason *et al.*, *Phys. Rev. Mater.*, **4**, 065003 (2020) [2] K. Ueji *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **117**, 133104(2020)

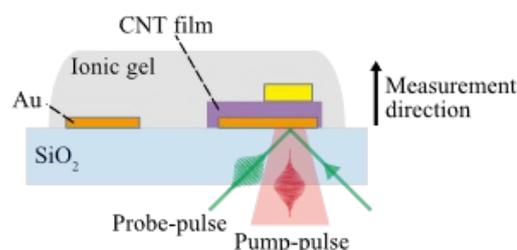


Fig. 1 Cross-sectional schematic diagram of the vertical device with TDTR measurement