

グラフェンの電荷輸送特性におけるドメインサイズ依存性

Dependence of local-scale charge transport properties of graphene on its domain sizes

京大院工¹、NTT 物性研²、[○]西山 颯¹、竹内 友宏¹、筒井 祐介¹、崔 旭鎮¹、櫻井 庸明¹、小川 友以²、上野 裕子²、関 修平¹

Kyoto Univ.¹, NTT Basic Res. Lab.², [○]H. Nishiyama¹, T. Takeuchi¹, Y. Tsutsui¹, W. Choi¹, T.

Sakurai¹, Y. Ogawa², Y. Ueno², and S. Seki¹

E-mail: seki@moleng.kyoto-u.ac.jp

グラフェン中の伝導キャリアは、その特異なバンド構造により散乱を受けにくい^[1]。しかし、連続性が崩れる結晶粒界では顕著な散乱を受け、キャリア輸送特性はドメインサイズに依存することが予想される^[2,3]。本研究では、グラフェンへの電荷注入に伴う複素誘電率変化を、マイクロ波共振法を用いて計測した。複素誘電率マイクロ波分光法では局所的なキャリア輸送特性評価が可能であり^[4]、測定結果をプラズマキャリアモデル^[5]で解析し、緩和時間とそのドメインサイズ依存性について議論した。

測定試料として石英板上に金/ポリイミド/グラフェン/金と積層した素子を作成した。グラフェンのドメインサイズは3、10、30 μm としている。金電極間への電圧印加により電子・正孔をグラフェンに注入した際のマイクロ波の応答 ΔP_r の周波数依存性より、複素誘電率変化 ($\Delta\epsilon'^{\text{electron}}$, $\Delta\epsilon'^{\text{hole}}$, $\Delta\epsilon''^{\text{electron}}$, $\Delta\epsilon''^{\text{hole}}$) を得た。注入電荷のプラズマキャリアモデルに基づく複素誘電率の変化は、初期正孔ドーパ量 n 、有効質量 m^* 、緩和時間 τ によって次のように与えられる。

$$\Delta\epsilon' = \frac{-\Delta n e^2 \tau^2 (1 - \omega_p^2 / \omega^2)}{\epsilon_0 m^* [1 + \{(1 - \omega_p^2 / \omega^2) \omega \tau\}^2]}$$

$$\Delta\epsilon'' = \frac{\Delta n e^2 \tau}{\epsilon_0 m^* \omega [1 + \{(1 - \omega_p^2 / \omega^2) \omega \tau\}^2]} \quad (1)$$

ω はマイクロ波の角周波数、 ϵ_0 は真空の誘電率、 e は電気素量、 ω_p はプラズマ周波数である。グラフェン内における電子の有効質量 $m^* = \hbar v_f / v_F \pi^{1/2}$ は初期状態における電子構造を反映しているため、初期正孔ドーパ量 n によって決定した。ここで、 \hbar はプランク定数、 v_F はフェルミ速度、 π は円周率である。Eq. 1 をもとに、複素誘電率変化をシミュレーションし (Figure 1)、見積もられた緩和時間 τ と正孔移動度 μ_h を Table 1 に示した。得られた τ はドメインサイズと相関しており、キャリア散乱は主にドメイン境界で起こっていると解釈できる。

【参考文献】 [1] T. Ando et al. *J. Phys. Soc. Jpn.* **1998**, 67, 2857–2862. [2] S. Park et al. *Carbon* **2017**, 112, 142–148. [3] F. Long et al. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2016**, 8, 18360–18366 [4] W. Choi, S. Seki et al. *Appl. Phys. Lett.* **2017**, 110, 153303. [5] S. Grachtchak et al. *Phys. Rev. B* **1998**, 58, 4701–4707.

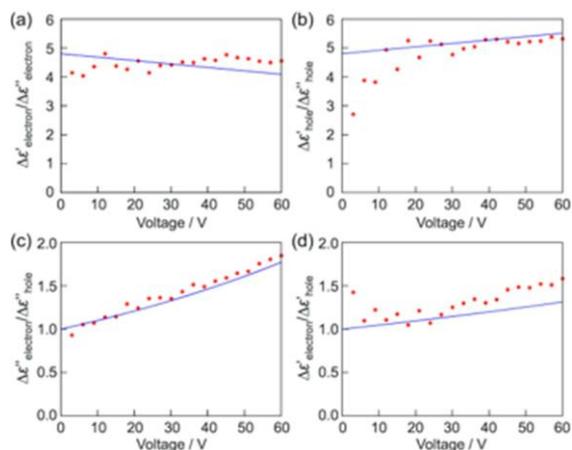


Figure 1. Experimental values (red) and fitting curves (blue) of the complex dielectric constant change ratio in graphene with domain size of 10 μm . Plots for (a) $\Delta\epsilon'^{\text{electron}}/\Delta\epsilon''^{\text{electron}}$, (b) $\Delta\epsilon'^{\text{hole}}/\Delta\epsilon''^{\text{hole}}$, (c) $\Delta\epsilon''^{\text{electron}}/\Delta\epsilon''^{\text{hole}}$, and (d) $\Delta\epsilon'^{\text{electron}}/\Delta\epsilon'^{\text{hole}}$.

Table 1. Summary of μ_h , m^* , and τ values for each domain size of graphenes.

Domain size / μm	μ_h / $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$	m^* / m_0	τ / s
3	3300	0.03	6×10^{-14}
10	8800	0.08	4×10^{-13}
30	15000	0.05	4.5×10^{-13}