

THz-TDS 透過測定を用いた電気回路モデルによる グラフェンの電気特性評価

Characterization of Electrical Properties for Graphene by Electrical Circuit Model with Transmission THz-TDS

立命館大理工¹, PNP², 名城大理工³, 阪大レーザー研⁴

○(M1) 鈴木 拓輝¹, 藤井 高志^{1,2}, 毛利 真一郎¹, 岩本 敏志²,

上田 悠貴³, 成塚 重弥³, 中嶋 誠⁴, 荒木 努¹

Ritsumeikan Univ.¹, PNP², Meijo Univ.³, Osaka Univ.⁴

○(M1) H. Suzuki¹, T. Fujii^{1,2}, S. Mouri¹, T. Iwamoto²,

Y. Ueda³, S. Naritsuka³, M. Nakajima⁴, T. Araki¹

E-mail: re0107hk@ed.ritsumei.ac.jp

我々のグループでは、THz 時間領域分光法(THz-TDS)を用いて 1~3 THz の周波数帯での半導体単結晶膜(InN 等)の電気特性(キャリア密度、移動度、抵抗率等)を非接触・非破壊で計測可能な手法を提案しており^[1]、この手法のグラフェンへの適用を目指している。これまで、我々はグラフェンを、厚み 0.3nm の 3 次元構造と考えると光学的な解析を行ってきた^[2]が、このモデルでは厚みのわずかな変化や、グラフェンの有効質量が電気特性に大きな誤差を生むという問題点があった。

そこで、今回、グラフェンの厚さと有効質量に依存しないモデルとして、グラフェンをインピーダンス Z_g をもつ無限小厚さの薄膜として扱う電気回路モデル^[3]を用いて、電気特性の解析を行った。測定は平行光学系の透過 THz-TDS を使い、基板の多重反射を考慮した解析を実施した。サファイア基板の上側界面にグラフェンが存在すると仮定し、界面に Snell's law、THz 周波数帯電磁波の Fresnel equations による分光解析をした^[3]。さらに、Drude model を適用することにより、2 次元キャリア密度と散乱時間を直接導いた。

サンプルは CVD 法で直径 50 mm の r 面サファイア基板上全面に、直接成長したグラフェンを用いた^[4]。Fig.1.に測定サンプルの解析モデルを示す。Table 1.に THz-TDS と渦電流法による非接触測定の結果を示す。Fig.2.に THz-TDS 測定の結果と散乱時間をパラメータとしたフィッティング結果を示す。また、渦電流法は同一サンプルを測定したものである。このように、本手法での結果はおおむね一致し、電極を用いることなく、グラフェンの電気特性を導出可能であることがわかった。

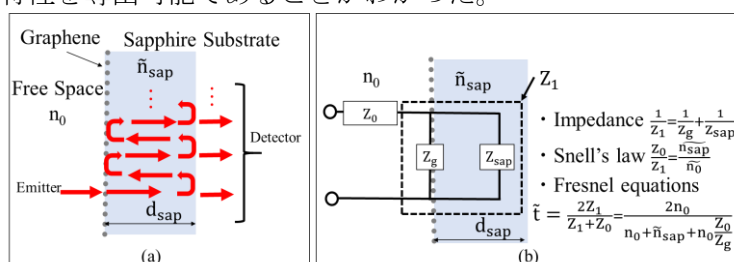


Fig. 1. Analysis models

(a) Wave propagation in the optical system with Transmission

THz-TDS (b) Signal propagation in an equivalent transmission line circuit with the impedances

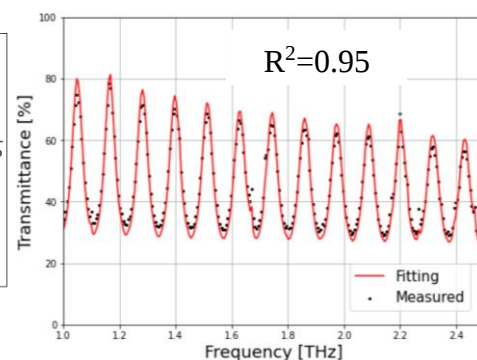


Fig.2. Transmission for Graphene/Sapphire

Fitting parameters

$$\text{Sheet resistance: } Z_g = \frac{\pi}{D_2 \tau}$$

$$\text{2D Drude weight: } D_2 = \frac{e^2 v_F \sqrt{\pi N_2}}{\hbar}$$

$$\text{Mobility: } \mu = \frac{v_F e \tau}{\hbar \sqrt{\pi N_2}}$$

$$\text{Fermi velocity: } v_F = 1.0 \times 10^6 [\text{m/s}]$$

$$\text{Electric charge: } e = 1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$$

$$\text{Dirac's constant: } \hbar = 1.1 \times 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}]$$

$$\text{Free space impedance: } Z_0 = 377 [\Omega]$$

Table 1. Graphene Electrical properties

Measurement methods	Transmission THz-TDS	Eddy current
2D-Carrier density [cm^{-2}]	3.1×10^{12} (Fitting)	
Scattering time [fs]	37 (Fitting)	
Sheet resistance [Ω]	1.1×10^3 (Calculated)	1.3×10^3 (Measured)
Mobility [$\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$]	1.8×10^3 (Calculated)	

[1] K. Morino *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, SCCB22 (2019)

[2] 鈴木、藤井、毛利、荒木他, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会, 10a-Z28-5, (2020)

[3] J. D. Buron, *et al.*, Opt. Express **23**(24), 30721-30729 (2015)

[4] Y. Ueda, S. Naritsuka *et al.*, Appl. Phys. Lett. **115**, 013103 (2019)