

THz-TDS エリプソメトリを用いたグラフェンの電気的特性評価 Characterization of Electrical Properties for Graphene with THz-TDS Ellipsometry

立命館大¹, PNP², 名城大³, 阪大レーザー研⁴

○(M2)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, V.C. Agulto⁴,
中嶋 誠⁴, 荒木 努¹

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

○(M2)H. Suzuki¹, T. Fujii^{1,2}, S. Mouri¹, T. Iwamoto², Y. Ueda³, S. Naritsuka³, V.C. Agulto⁴,
M. Nakajima⁴, T. Araki¹

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

前回、我々は垂直入射の平行光学系による THz-TDS 透過測定を用いて、グラフェン/サファイアを電気回路モデルとして解析を行い、 $R^2=0.95$ というフィッティング結果が得られたことを報告した^[1]。ここではグラフェンの厚みと有効質量を無限小とし、平行光学系での測定と多重反射を考慮することにより高精度な解析を行った。今回、反射測定である THz-TDS エリプソメトリを用いて、グラフェンの電気的特性を解析した。エリプソメトリは THz 周波数帯電磁波に対して不透明な基板で測定可能、基板の厚さを考慮しない、サンプルを動かさずにリファレンスフリーで測定可能といった特徴があり、産業応用に期待されている。サンプルは前回と同じく CVD 法で 2 インチ 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^[2]。Fig. 1 に測定サンプルとエリプソメトリの関係を示す。解析モデルは前回と同様に電気回路モデルとした^[1]。測定では Tera Evaluator (PNP 製) を用いた THz-TDS エリプソメトリを行い、サファイアの基板異方性を考慮した THz 周波数帯電磁波の Fresnel equations による分光解析を行った。さらに、Drude model を適用することにより、キャリア密度と散乱時間をフィッティングパラメータとして電気的特性を導いた。Fig. 2 に P 偏光、S 偏光それぞれの電場時間波形における測定結果を示す。裏面反射による影響を取り除くため多重反射のパルスを除去した。Fig. 3 にエリプソメトリ測定による測定結果とフィッティング結果を示す。Fig. 3 の測定結果は Fig. 2 の時間波形を FFT により得られた結果である。Table 1 に THz-TDS エリプソメトリ、透過測定それぞれより得られた電気的特性と渦電流法非接触測定(Eddy current)により得られたシート抵抗の結果を示す。エリプソメトリの結果は Fig. 3 のキャリア密度と散乱時間をパラメータとしたときのフィッティング結果である。

本手法を用いたシート抵抗の結果は透過測定の結果と同じ値が得られた。しかし、キャリア密度と散乱時間の結果については差が見られる。発表では、入射角度や偏光方向による屈折率の影響、またキャリア密度、散乱時間、移動度の違いについて検討し、透過測定との差についても議論する。

Table 1 Graphene electrical properties

Measurement methods	THz-TDS Ellipsometry	Transmission THz-TDS[1]	Eddy current
2D-Carrier density [cm ⁻²]	8.0×10^{12}	3.2×10^{12}	
Scattering time [fs]	27	39	
Sheet resistance [Ω]	1.0×10^3	1.0×10^3	1.3×10^3
Mobility [cm ² /(V · s)]	0.8×10^3	1.9×10^3	

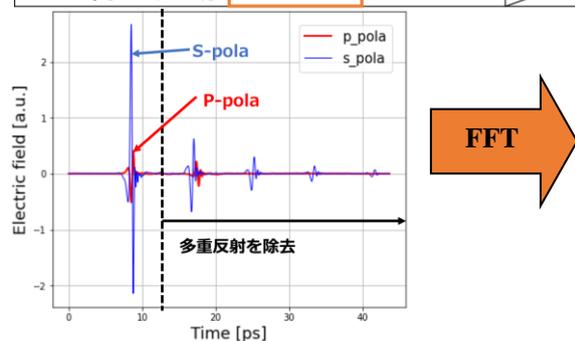


Fig. 2 Graphene/sapphire time wave

[1] 鈴木、藤井、毛利、荒木他, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 16a-Z31-5, (2021)

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

謝辞 本研究の一部は、科研費#21H01017 の助成を受けて行われた。

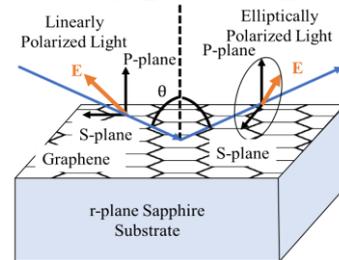


Fig. 1 Graphene/sapphire ellipsometry measurement

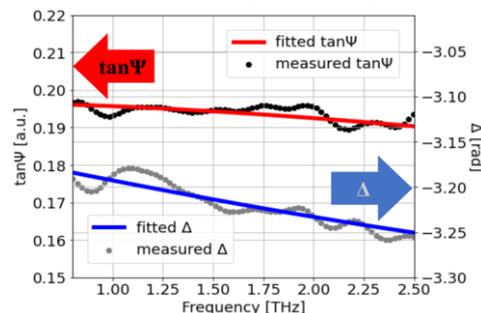


Fig. 3 Graphene/sapphire ellipsometric parameters fitting