

グラフェンテラヘルツプラズモンの ドーピング基板表面プラズモンとの結合による減衰の解析

Analysis of damping of terahertz plasmons in graphene coupled with
surface plasmons in heavily-doped substrate

東北大通研¹, ロシア科学アカデミー² ○小関 勇気¹, 佐藤 昭¹,

V. Ryzhii¹, V. Vyurkov², 尾辻 泰一¹

RIEC, Tohoku Univ.¹, IREE, Russian Academy of Sciences² ○Yuki Koseki¹, Akira Satou¹,

V. Ryzhii¹, V. Vyurkov², Taiichi Otsuji¹

E-mail: koseki@riec.tohoku.ac.jp

まえがき 近年, THz 波源や検出器として, グラフェン中の二次元プラズモンを利用したプラズモニックデバイスが注目されている [1]. 高品質グラフェンにおいては, 室温での音響フォノンで律速されるプラズモン減衰が 10^{-11} s^{-1} 程度であり, 従来のプラズモニックデバイスに使われてきた InGaAs 二次元電子チャネル等と比べて非常に小さいことが特徴である. グラフェンを用いたデバイスでは, 多くの場合, 電子密度を可変するためのバックゲートとして, p^+ -Si/SiO₂ 基板を用いている [2],[3]. 同構造を用いて高性能プラズモニックデバイスを実現するためには, 基板がグラフェン中プラズモンに及ぼす影響を理解することが重要である.

本研究では, グラフェン中プラズモンとドーピング基板中の表面プラズモンの結合による減衰レートを数値解析によって評価する.

解析モデル 図 1 に本研究で解析するグラフェン構造の模式図を示す. ドーピング濃度 N_s の p^+ -Si 基板上に, 膜厚 W_b の SiO₂ 層, 単層グラフェンがあり, その上に膜厚 W_t の比誘電率 ϵ_t の誘電体 (Al₂O₃ あるいは真空) および金属ゲートがある構造である. グラフェン中の電子の運動は流体方程式 [4] で記述し, Si 基板中の電子にはドルーデモデルを適用する. これらと自己無撞着ポアソン方程式を連立させることにより, グラフェン中プラズモンと基板表面プラズモンの結合を考慮した分散関係式を導出し, これを数値的に解くことで, プラズモン減衰レートの基板ドーピング密度 N_s および膜厚依存性を明らかにする. この解析を (1) トップゲートなし ($W_t \rightarrow \infty$ および $\epsilon_t = 1.0$) と (2) トップゲートあり ($W_t = 40 \text{ nm}$ および $\epsilon_t = 6.0$) について行う.

結果 トップゲートなしの場合の解析結果を図 2(a) に示す. 図 2(a) から, N_s が $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 付近で減衰が 10^{12} s^{-1} 以上あり, フォノン散乱による減衰 ($1.5 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$) より 10 倍以上大きくなることが分かる. 特に, $W_b = 50, 100 \text{ nm}$ では周波数がゼロに落ちており, 過減衰にあることが分かる. また, W_b を大きくすることで減衰が小さくなる. これは, グラフェンと基板間の距離を大きくすると両者のプ

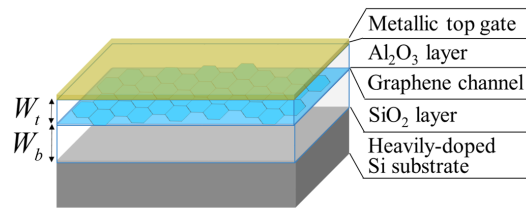
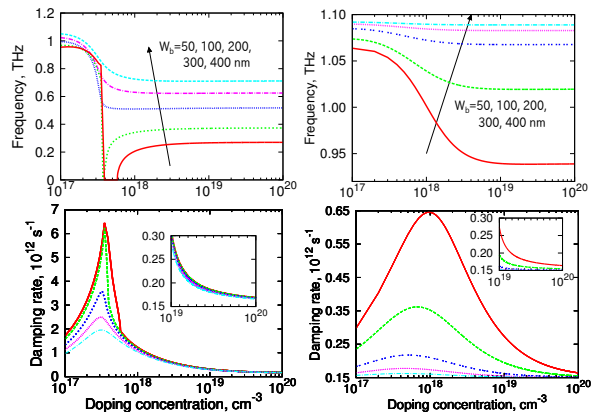


図 1: 金属トップゲート・ p^+ -Si バックゲートつきグラフェン構造の模式図.



(a) トップゲートなし (b) トップゲートあり

図 2: プラズモンの減衰レートと周波数.

ラズモン結合が薄れることを示している.

続いて, トップゲート付きの解析結果を図 2(b) に示す. 図 2(b) から, N_s が $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 付近で減衰のピークが現れているが, その値は図 2(a) の 1/10 程度であることが分かる. これは, トップゲートによる電界遮蔽効果によって, グラフェンと基板とのプラズモン結合が小さくなったためと考えられる. むすび 本研究では, グラフェン中プラズモンのドーピング基板表面プラズモンとの結合による減衰の数値解析を行った.

謝辞 本研究は, JSPS 若手研究 (B)(23760300) および, JSPS 特別推進研究 (23000008), JST-CREST の助成を受けている.

参考文献

- [1] T. Otsuji, *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **45**, 33001, 2012.
- [2] L. Ju, *et al.*, Nat. Nanotechnol. **6**, 630, 2011.
- [3] J. H. Strait, *et al.*, Phys. Rev. B **87**, 241410, 2013.
- [4] D. Svintsov, *et al.*, J. Appl. Phys. **111**, 083715, 2012.