

# グラフェン二重層ヘテロ構造を用いたテラヘルツ検出

## Terahertz Detection in Double-Graphene-Layer Heterostructures

°Stevenus Arnold<sup>1</sup>, Stephane Boubanga Tombet<sup>1</sup>, Deepika Yadav<sup>1</sup>, 渡辺隆之<sup>1</sup>, Victor Ryzhii<sup>1,2</sup>, 尾辻泰一<sup>1</sup>

(1. 東北大通研, 2. Institute of Ultra-High-Frequency Semiconductor Electronics, RAS)

°S. Arnold<sup>1</sup>, S. Boubanga Tombet, D. Yadav<sup>1</sup>, T. Watanabe<sup>1</sup>, V. Ryzhii<sup>1,2</sup>, T. Otsuji<sup>1</sup>,

(1. RIEC Tohoku University, 2. Institute of Ultra-High-Frequency Semiconductor Electronics, RAS)

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

**【背景】** 二枚のグラフェン層で原子層オーダーに薄い六方晶窒化ホウ素 (h-BN) を挟んだ二次元原子薄膜積層構造をコアシェルとするグラフェン二重層ヘテロ構造 (DGL) は, その量子力学的共鳴トンネル現象に伴う負性微分導電率(NDC)特性に由来した種々の信号処理機能応用が期待でき, 研究が活発化している [1]. 本稿では, フォトンアシスト共鳴トンネル (RT) によるテラヘルツ波検出 [2]の可能性について実験結果を報告する.

**【原理】** GL 間にバイアス電圧を印加すると対向する GL に二次元電子・正孔ガスが誘導される.とともに、GL 間にはバンドオフセットが生じる. 各 GL の電子・正孔密度とバンドオフセットは, DGL の外部に設けたゲート電圧によって変調できる. グラフェン層間トンネル遷移の終状態のエネルギーが始状態よりも高い場合, バンドオフセットと等しいエネルギーのフォトン吸収することによって RT を生じせしめる. いわゆるフォトンアシスト共鳴トンネル現象である. (図 1).

**【実験結果】** トンネルバリアを h-BN 9 層 (~3 nm 厚) で, バックゲートスタックを 50 nm 厚 h-BN と 90 nm 厚 SiO<sub>2</sub> でそれぞれ形成した. NDC は 100K の低温下で確認できたが, 室温下では熱的非共鳴トンネル電流にマスクされて確認できない. フーリエ変換遠赤外線分光計を使用して 100 K での THz 放射スペクトルが確認できた. そこで室温下で本試料の THz 波検出能力を観測した(図 3). UTC-PD より発生した 0.5 μW, 1 THz の CW 光を試料に照射し, トンネル電流のバイアス依存性を測定した[3]. 光応答トンネル電流の DGL バイアス依存性は理論結果[3]に類似の傾向を示し, 正・負両極性ともに DGL バイアスの増加とともに増加傾向を示した. 負バイアスは THz フォトン吸収にともなう非共鳴トンネル電流増, 正バイアスは THz フォトン照射で DGL からのフォトン発光が誘導され, それにアシストされた非共鳴トンネル電流増として, それぞれ解釈できる.

**【まとめ】** 室温下では NDC を示さない DGL 素子においても, THz フォトン吸収・発光にともなう非共鳴トンネルによる光電流が観測された. 今後は, 低温下での実験検証とともに, 上下 GL 間の回転角度偏差(図 2 中 δθ)を抑制した素子を作成し, 室温下でのフォトンアシスト共鳴トンネル現象を確認する. 本研究は科研費特別推進研究(#23000008)の支援を受けた.

**【参考文献】** [1] L. Britnell et al., Nature Comm., vol. 4:1794, 2013. [2] T. Otsuji et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 45, 302001, 2012 [3] V. Ryzhii et al., Appl. Phys. Lett., vol. 104,163505, 2014.

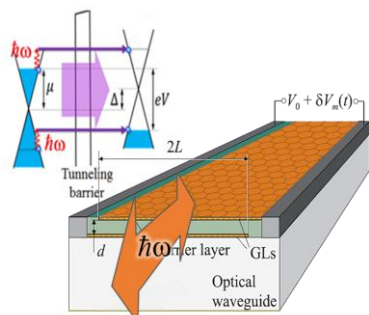


Fig 1. Photo-absorption-assisted inter-GL radiative transitions in DGL. The inter-GL transitions work for the TM-mode THz photon adiation in our structures.

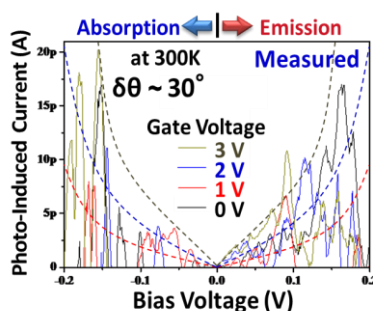


Fig 2. Measured tunneling current induced by the incoming THz beam at different gate bias voltages

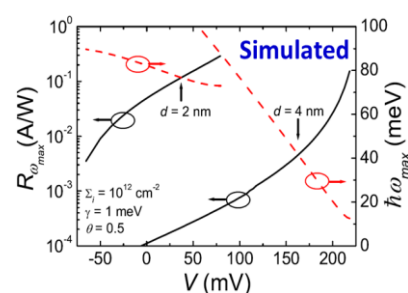


Fig 3. Dependences of the responsivity maximum  $R_{0max}$  (solid lines) and corresponding photon energy  $\hbar\omega_{max}$  (dashed lines) on bias voltages  $V$  for different thicknesses  $d$ .