

## 【基盤研究(S)】

理工系(工学)



### 研究課題名 二次元原子薄膜ヘテロ接合の創製とその新原理テラヘルツ光電子デバイス応用

東北大学・電気通信研究所・教授 おつじ たいいち  
尾辻 泰一

研究課題番号: 16H06361 研究者番号: 40315172

研究分野: 工学、総合理工

キーワード: 電子デバイス、量子デバイス、ミリ波・テラヘルツ波、グラフェン、ナノ構造物性

#### 【研究の背景・目的】

テラヘルツ(THz)波帯は、多くの産業応用が期待される未開拓電磁波帯である。従来の光電子デバイスは、電子走行効果やフォノンデコヒーレンスという本質的な物理限界に律速され、動作が困難である。そのような中、炭素原子の単層シート:グラフェンは、電子・正孔が極限的輸送特性を有する相対論的 Dirac 粒子として振る舞い、研究進展が著しい。

一方、h-BN 絶縁体や MoS<sub>2</sub> 等の遷移金属ジカルコゲナイド(TMD)半導体等の van der Waals (vdW)層状物質が、グラフェンと不活性なヘテロ接合材料として注目されている。我々は、h-BN トンネルバリア層をグラフェンで挟んだゲート制御グラフェン二重層(G-DGL)において、THz フォトン・プラズモンの発光・吸収が共鳴トンネルをアシストし、従来より桁違いに高い量子効率で THz 波の増幅・発振・検出・非線形波動制御が可能なることを理論的に発見し、一部機能の試作検証に成功している。工学的応用発展の鍵は連続ヘテロエピタキシー技術の実現にある。

本研究は、連続ヘテロエピタキシーによる二次元原子薄膜ヘテロ接合をプラットフォームとして創製し、二次元原子薄膜ヘテロ接合系に特徴付けられた電子・フォトン・プラズモン・フォノンが関わる複合量子系に現れる新奇な物理現象を動作機構として導入し、THz 波領域での増幅・発振・検出・非線形波動制御の各機能を、従来の材料・物理機構が果たし得なかった極めて高いエネルギー効率で実現し得るデバイスを創出することを目的とする(図 1)。

#### 【研究の方法】

まず、絶縁体や半導体もしくは両者の積層からなるトンネルバリア薄膜をグラフェンでサンドウィッチした DGL コアシェルと外部ゲートからなる G-

#### グラフェン二重層 vdW ヘテロ接合 THz 信号処理

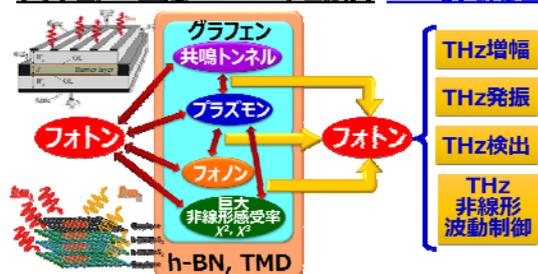


図 1 研究の目的: G-DGL vdW ヘテロ接合に発現する非線形複合量子効果とその THz デバイス応用。

DGL 構造をプラットフォームとして創製する(図 2)。平行して、第一の物理機構としてフォトンアシスト共鳴トンネル効果を G- DGL に導入し、THz 波増幅・検出の各機能性能の従来素子に対する優位性を明らかにする。次に、第二の物理機構としてプラズモンアシスト共鳴トンネル効果を G-DGL に導入し、その THz 帯利得増強・検出感度増強効果を明らかにする(図 2)。さらに、第三の物理機構としてグラフェンプラズモンとトンネル現象との二重共鳴を導入し、THz 波増幅・検出・発振・非線形波動制御の各能力の格段の向上に挑む。

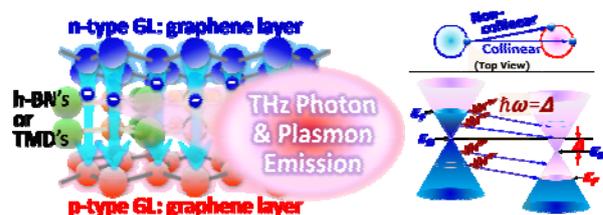


図 2 研究の手段: G-DGL とそのフォトン・プラズモン発光アシスト共鳴トンネル現象。

#### 【期待される成果と意義】

フォトン・プラズモンを介在させて GL 間の量子力学的トンネル効果を変調するという全く新しい物理機構によって、フェルミ面のみならず全ての過剰キャリアが寄与し得る圧倒的に高い量子効率を実現できる点が独創的かつ革新的成果として期待される。

本研究が成功すれば、100Gbit/s 級超高速 THz 無線、瞬時に大容量メディア転送可能な Transfer-Jet など、将来のコピキタス通信に産業革命をもたらすことが期待される。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Otsuji, V. Popov, and V. Ryzhii, "Active graphene plasmonics for terahertz device applications," *J. Phys. D: Appl. Phys.* **47**, 094006 (2014).
- ・ V. Ryzhii, A.A. Dubinov, T. Otsuji, V.Ya. Aleshkin, M. Ryzhii, M. Shur, "Double-graphene-layer terahertz laser: concept, characteristics, and comparison," *Opt. Exp.* **21**, 31569-31579 (2013).

#### 【研究期間と研究経費】

平成 28 年度-32 年度 144,600 千円

#### 【ホームページ等】

<http://www.otsuji.riec.tohoku.ac.jp>