非対称型グラフェン装荷 ハイブリッドプラズモニック導波路光検出器の設計

Design of an ultrafast photodetector based on

a graphene loaded asymmetric hybrid plasmonic waveguide

NTT 物性科学基礎研究所¹, NTT ナノフォトニクスセンタ²

^O吉岡克将¹, 小野真証^{1,2}, 野崎謙悟^{1,2}, 新家昭彦^{1,2}, 納富雅也^{1,2}

NTT Basic Research Lab.¹, NTT Nanophotonics Center²

^oKatsumasa Yoshioka¹, Masaaki Ono^{2,1}, Kengo Nozaki^{2,1}, Akihiko Shinya^{2,1}, Masaya Notomi^{2,1}

E-mail: katsumasa.yoshioka.ch@hco.ntt.co.jp

小型かつ高速かつ高効率なオンチップ光素子は、光コンピューティングの実現に向けて必要不 可欠な基盤技術である。グラフェンとプラズモニック導波路の組み合わせは、プラズモンによる 電場増強効果により光とグラフェンの相互作用を増強させることが可能であり、グラフェン特有 の高速性、制御性、集積性の高さに加えて効率を追求したデバイスが多数報告されている[1,2]。 その中でも、光検出器は最も基本的なオンチップ光素子の一つとして精力的に研究されているが、 グラフェンにはバンドギャップが存在しないため、バイアス下で大きな暗電流が流れることが問 題となっている。これを避ける方策として、金属-誘電体-金属(MIM)導波路上のグラフェンに p-n 接合を誘起することで、ゼロバイアス下での Photothermoelectric (PTE)効果による光電流検出が報 告されている[3]。しかしながら、p-n 接合実現のためには、化学ポテンシャルのピニングを避ける ためグラフェンとスプリットゲートの間に絶縁膜を挟む必要があり、これによって両者の相互作 用が大きく低下してしまう。そこで我々は、誘電体と金属で構成されるハイブリッドプラズモニ ック導波路上に直接グラフェンを敷くことで、絶縁膜による相互作用の低下が生じない新たなデ バイス構造を有限要素法により検討した。MIM 導波路では、p-n 接合によって電極間に反対称な ゼーベック係数を誘起することで光電流を読み出している[3]。これに対して我々の導波路では、 一様なゼーベック係数下において構造自体の対称性を破ることで電極間に非対称な電子温度分布 を形成し PTE 効果を発現させ光電流を検出する。計算の結果、本構造が MIM 導波路に比べて 2.6 倍の光吸収率を実現し、さらにシリコン導波路との結合効率が94%に達することが分かった。

図 1(a)に設計した構造の断面図を示す。導波路は金とシリ コンによって構成されており、金はドレイン電極の役割も同 時に果たしている。図 1(b)の挿入図は赤い枠線内における光 のモード分布を示したものであり、金の導波路近傍にのみモ ードが集中していることが分かる。これに対して、ソース電 極付近にはモードが存在せず、電極間で極めて非対称な電子 温度分布が形成されるため、PTE 効果を通してゼロバイアス 下で光電流を検出することができる。図 1(b)にこの導波路に よるグラフェンの光吸収率の伝播距離(L)依存性の計算結果 を示す。20 µm の伝播で 58%もの光が吸収されているが、30 nm 厚の絶縁膜を挟んだ MIM 導波路[3]に比べ 2.6 倍高い値を 示すことが分かった。さらに、適切なモード変換によりシリ コン導波路との結合効率が 94%に達することが分かった。

以上より、本構造を用いれば暗電流が流れない小型かつ高 速かつ高効率な光検出器を作れることが期待できる。

[1] M. Ono et al., Nat. Photonics 14, 37 (2020).

- [2] J. Li et al., Nanophotonics 9, 2295 (2020).
- [3] J. E. Muench et al., Nano Lett. 19, 7632 (2019).



Fig. 1 (a) Schematic configuration. (b) Calculated graphene absorption as a function of the propagated length. Inset shows field distribution inside the red dashed border in (a).