

本資料では、グラフェンプラズモン、および本研究の経緯について、より詳細に解説します。

1. グラフェンプラズモンとは

プラズモンとは固体中の電荷密度のプラズマ振動であり、電磁場を回折限界以下のナノ空間に閉じ込められることを利用したプラズモニクスが様々な分野で応用されています(詳細は NTT 技術ジャーナルを参照¹⁾)。こうしたプラズモニクスは元々金属材料を用いて発達してきました。しかし、金属を使ったプラズモニクスでは損失が大きい、制御性が乏しいといった避けられない問題があり、応用範囲が限られているのが現状です。そこで、これらの問題を打破できる可能性があるとしてグラフェン中のプラズモンが注目されています。

グラフェンプラズモンはテラヘルツ(THz)から中赤外の領域において、①電荷密度の変調により位相及び振幅を動的に制御できる、②損失が少ないため長距離(理論的には約 50 波長)伝播させることができる、③波長を自由空間に比べて約 300 倍圧縮することができる、といった利点があります。これらの利点を最大限利用することで、THz 以上の高周波信号をナノ空間で電氣的に制御可能なプラズモニック回路の構築が期待されています(詳細は NTT 技術ジャーナルを参照²⁾)。

2. これまでのグラフェンプラズモンの測定手法

期待されているグラフェンプラズモンのTHz回路応用を実現するためには、THz以上の高周波領域において、あるA地点で動的に制御されたプラズモンを発生させ、回路上で伝搬を制御し、遠隔のB地点でプラズモン信号の位相と振幅を検出する必要があります。しかし、これまでのグラフェンプラズモンの研究では、この回路動作に必要な条件を満たすことができていませんでした。

これまでTHz領域のグラフェンプラズモンを調べる研究では、自由空間を伝搬するTHz光を使ってプラズモンを励起する手法が用いられてきました。この手法では、THz光をグラフェンプラズモンに変換するため、特殊な構造をグラフェン試料に作り込んだり³、近接場顕微鏡を用いる⁴ののですが、実験の制約上 THz 光とプラズモンの変換効率が低くなったり、静的なプラズモン定在波の計測に限られてしまうため、上述の回路動作に必要な条件を満たすことができません。

一方で、グラフェンプラズモンは電気パルスを使って励起できることが知られており、NTTではこれまでグラフェンプラズモン回路の実現に向けて研究を進めてきました^{5,6}。ただし、一般的なエレクトロニクスの帯域制限により、GHz 領域の測定に限られてきたため、応用上有望なTHz領域のグラフェンプラズモンの計測・制御はできていませんでした。そこで本研究では、新たにTHz領域で高周波電流の発生・検出が可能なTHzエレクトロニクス技術を構築し^{7,8}、グラフェンデバイスを同一チップ上に統合することで、初めてTHz領域で電氣的にグラフェンプラズモン波束の電氣的発生・伝搬制御・計測を実現することに成功しました(表1)。

	従来の光測定	従来の電気測定	本研究
THz領域	○	×	○
回路動作	×	○	○

表1 本研究の位置づけ

3. 参考文献

1. 半導体 2 次元系におけるプラズモン研究の概要と展望：
<https://journal.ntt.co.jp/article/21252>
2. グラフェンを用いたテラヘルツプラズモンの動的空間制御：
<https://journal.ntt.co.jp/article/21254>
3. N. H. Tu, K. Yoshioka, S. Sasaki, M. Takamura, K. Muraki, and N. Kumada, *Commun. Mater.* **1**, 7 (2020).
4. M. Takamura, N. Kumada, S. Wang, K. Kumakura, and Y. Taniyasu, *ACS Photonics* **6**, 947 (2019).
5. N. Kumada, S. Tanabe, H. Hibino, H. Kamata, M. Hashisaka, K. Muraki, and T. Fujisawa, *Nat. Commun.* **4**, 1363 (2013).
6. N. Kumada, R. Dubourget, K. Sasaki, S. Tanabe, H. Hibino, H. Kamata, M. Hashisaka, K. Muraki, and T. Fujisawa, *New J. Phys.* **16**, 063055 (2014).
7. K. Yoshioka, N. Kumada, K. Muraki, and M. Hashisaka, *Appl. Phys. Lett.* **117**, 161103 (2020).
8. K. Yoshioka, T. Wakamura, M. Hashisaka, K. Watanabe, T. Taniguchi, and N. Kumada, *Nat. Photonics* **16**, 718 (2022).