

低次元プラズモンの分散特性を利用した
電磁波伝搬モード型回路の研究
Exploring Novel Electromagnetic Circuits Based on
Management of Low-Dimensional Plasmonic Dispersion

尾辻 泰一 (OTSUJI TAIICHI)
東北大学・電気通信研究所・教授



研究の概要

本研究では、ミリ波からテラヘルツ波領域において、発振、増幅、周波数変換、論理処理等の超ブロードバンド信号処理機能を可能とする集積型の回路・システムの実現を目的として、低次元プラズモンの分散制御を利用した新規電磁波伝搬モード型回路を創出するものである。

研究分野：テラヘルツ電子工学分野

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：低次元プラズモン、分散制御、電磁波伝搬モード型回路、電子デバイス

1. 研究開始当初の背景

(1) トランジスタやレーザダイオードをはじめとする半導体デバイスの世界では、光と電波の融合域であるテラヘルツ領域は長らく未開拓領域であった。また、超ブロードバンドな「伝送」、「周波数変換」等の視点に立ったデバイス・回路システムの研究は皆無である。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、ミリ波からテラヘルツ波領域において、発振、増幅、周波数変換、論理処理等の超ブロードバンド信号処理機能を可能とする集積型の回路・システムの実現を目的として、低次元プラズモンの分散制御を利用した新規電磁波伝搬モード型回路を創出するものである。特に、分散特性の異なる複数の低次元プラズモンモードを電磁波と選択的に結合させるというアイデアを機能実現の方法論として導入する。

3. 研究の方法

(1) 全5カ年の研究計画は、1)低次元プラズモンの局在性と分散特性の関係解明とモデル化、2)プラズモン分散制御機構の実験的検証とモデル化、3)プラズモン分散制御による電磁波伝搬モード型回路機能の検証、4)各種要素回路の構造検討・試作評価、5)新概念回路設計論の体系化、を主要課題として構成されている。これらの5つの研究計画を適材適所と有機的な相互連携によって推進する。デバイス試作は東北大電気通信研究所ナノ・スピン実験施設等で行う。

4. これまでの成果

(1) 低次元プラズモンの局在性と分散特性の関係解明とモデル化： アンゲート型プラズモン領域が系全体のプラズモン共鳴周波数を大きく抑圧することを初めて見出した。(図1)また、電気パルス入力に対してソリトンのような極短孤立パルスが生成可能であることを初めて見出した。(図2)グラフェン内2次元プラズモンの特異な分散特性は、標準の半導体ヘテロ接合構造における2次元プラズモンのものとは根本的に異なることを初めて明らかにした。(図3)
(2) プラズモン分散制御機構の実験的検証とモデル化： 室温動作で 0.5~6.5THz、

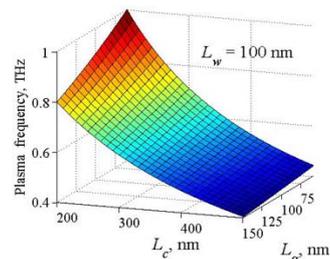


図1. HEMT プラズモン共鳴周波数の真性ゲート長 L_g と Cap 層 L_c 依存性.

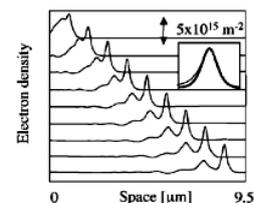


図2. 2次元プラズモンによるソリトンパルス成長.

〔4. これまでの成果 (続き)〕

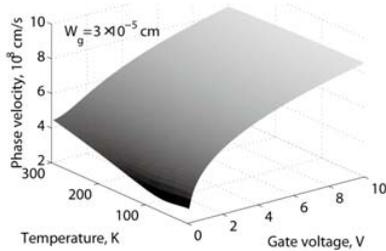


図 3. グラフェン中のプラズモン速度.

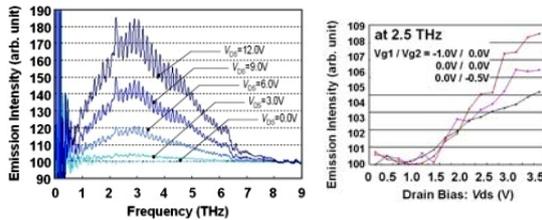


図 4. プラズモン共鳴エミッターの放射特性(左)としきい値特性(右).

1 μ W 以上の高強度放射に初めて成功した(図 4)。また、周期 2 次元プラズモンの分散制御機構は、プラズモンモードと電磁波モードの結合姿態が電子ドリフト速度および電子濃度によって明瞭に変調できることを初めて解析的に実証した。(図 5)

(3) プラズモンの分散制御による電磁波伝搬モード型回路機能の検証： プラズモニックメタマテリアルによる「特異伝送」「増幅」「周波数変換」「時間論理」の実現性を初めて見出した。

(4) プラズモン分散制御を端緒とする新たな知の創出： 世界初の光励起グラフェンからのテラヘルツ誘導放射に成功した。(図 6) 完全 2 次元プラズモンを利得増強媒質として利用するアイデアが生まれた。

5. 今後の計画

(1) 今回実現性が見出された「増幅」、「周波数変換」、「時間論理」という電磁波伝搬モード型回路機能をプラズモニックメタマテリアルによって試作検証する。また、2 重回折格子のような共振構造の導入によって、グラフェンを用いたプラズモン共鳴を利得増強媒質とする全く新しい原理による室温コヒーレントテラヘルツレーザーの実現を目指す。最終的には、「電子回路の物質化」という新しい概念に基づくミリ波・テラヘルツ波回路設計論の創出をめざす。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(研究代表者は太字、研究分担者は二重下線、連携研究者は一重下線)

(1) V. Ryzhii, A. Satou, M. Ryzhii, **T. Otsuji**, and M. S. Shur, J. Phys.: Condens. Matters, Vol. 20, 384207, 2008.

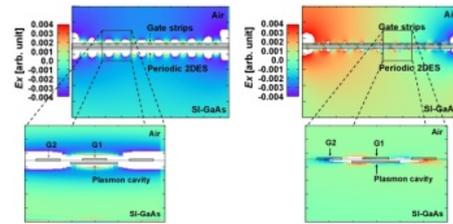


図 5. プラズモン-電磁波結合の電子濃度依存性. 左:放射、右:非放射.

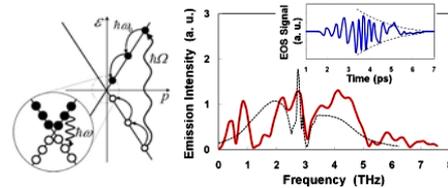


図 6. 光励起グラフェンのキャリア緩和とテラヘルツ誘導放射.

(2) **T. Otsuji**, Y. M. Meziani, T. Nishimura, **T. Suemitsu**, W. Knap, E. Sano, T. Asano, V.V. Popov, J. Phys.: Condens. Matters, Vol. 20, 384206, 2008.

(3) K. Narahara, Y. Suzuki, J. Appl. Phys., Vol.103, No.3, pp.023301-023304, 2008

(4) Y. Suzuki, S. Nakagawa, K. Narahara, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.47, No.12, pp.8756-8760, 2008.

(5) E. Sano, S. Taga, and K. Inafune, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 47, no. 8, pp.6359-6360, 2008.

(6) T. Nishimura and **T. Otsuji**, Int. J. High Speed Electron. Sys., Vol. 13, No. 3, pp. 547-555, 2007.

(7) E.Vostrikova, A.Ivanov, I.Semenikhin, and V. Ryzhii, Phys. Rev. B 76, 035401, 2007.

(8) **T. Otsuji**, Y.M. Meziani, M. Hanabe, T. Nishimura, and E. Sano, Solid State Electronics, Vol. 51, Iss. 10, pp. 1319-1327, 2007.

(9) V. Ryzhii, M. Ryzhii, and **T. Otsuji**, J. Appl. Phys., Vol. 101, No. 7, pp. 083114-1-083114-4, Apr 2007.

(10) V. Ryzhii, A. Satou and **T. Otsuji**, J. Appl. Phys., vol.101, 024509-1-024509-5, Jan. 2007.

(11) K. Narahara, J. Appl. Phys. Vol.100, Iss.6, pp.064908-064913,2006.

(12) **T. Otsuji**, M. Hanabe, T. Nishimura and E. Sano, Opt. Express, Vol. 14, No. 11, pp. 4815-4825, May 2006.

(13) V. Ryzhii, A. Satou, W. Knap, M.S. Shur, J. Appl. Phys. Vol. 99, 084507, 2006.

(14) V. Ryzhii, Jpn. J. Appl. Phys. (Express Letter), vol. 45, pp.L923-L925, 2006.
(他 35 編、国際会議：招待 15、一般 50) ホームページ等
<http://www.otsuji.riec.tohoku.ac.jp/>