

平成 21 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（S）
研究期間：2006～2010
課題番号：18106006
研究課題名（和文） 低次元プラズモンの分散制御を利用した電磁波伝搬モード型回路の研究
研究課題名（英文） Exploring Novel Electromagnetic Circuits Based on Management of Low-Dimensional Plasmonic Dispersion
研究代表者
尾辻 泰一（OTSUJI TAIICHI）
東北大学・電気通信研究所・教授
研究者番号：40315172

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. 研究計画の概要

(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。

(2) 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。

2. 研究の進捗状況

(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。また、電気パルス入力に対してソリトニック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。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。

(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、1・W以上の高強度放射に初めて成功した。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。

(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。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。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

（理由）当初計画の、2重回折格子ゲートのHEMT構造エミッター素子よりDCバイアスのみによる高強度テラヘルツ波放射を実現するとともに、電磁波伝搬モード制御に有効な増幅（負性導電率）、非線形波動生成（周波数変換）の生成機構を初めて明らかにした。また、プラズモニックメタマテリアルによる超指向性（特異伝送）、伝搬経路制御性（時間遅延）、スペクトル狭窄化とSmith-Purcell放射（増幅）等の主要回路機能の検証を計画以上に進めた。更には、当初計画外の新材料グラフェンのゲート型・アンゲート型2次元プラズモンを他に先駆けて予見するとともに、桁違いに大きい位相速度など、グラフェ

ン内プラズモンの特性が、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解析的に明らかにした。

4. 今後の研究の推進方策

(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。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 49 件)

- ① T. Otsuji, Y. M. Meziani, T. Nishimura, T. Suemitsu, W. Knap, E. Sano, T. Asano, V. V. Popov, "Emission of terahertz radiation from dual-grating-gates plasmon-resonant emitters fabricated with InGaP/InGaAs/GaAs material systems," J. Phys.: Condens. Matters, Vol. 20, 384206, 2008. 査読有
- ② V. Ryzhii, A. Satou, M. Ryzhii, T. Otsuji, and M. S. Shur, "Mechanism of self-excitation of terahertz plasma oscillations in periodically double-gated electron channels," J. Phys.: Condens. Matters, Vol. 20, 384207, 2008. 査読有
- ③ K. Narahara, Y. Suzuki, "Characterization of plasma waves in gated two-dimensional electron systems", J. Appl. Phys., Vol. 103, No. 3, pp. 023301-023304, 2008. 査読有
- ④ Y. Suzuki, S. Nakagawa, K. Narahara, "Nonlinear plasma waves in coupled two-dimensional electron systems", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 12, pp. 8756-8760, 2008. 査読有
- ⑤ E. Vostrikova, A. Ivanov, I. Semenikhin, and V. Ryzhii. "Electrical excitation of shock and solitonlike waves in two-dimensional electron channels", Phys. Rev. B 76, 035401, 2007. 査読有
- ⑥ V. Ryzhii, A. Satou and T. Otsuji, "Plasma waves in two-dimensional electron-hole system in gated graphene heterostructures," J. Appl. Phys.,

vol. 101, 024509-1-024509-5, Jan. 2007. 査読有

- ⑦ T. Nishimura and T. Otsuji, "Terahertz polarization controller based on electronic dispersion control of 2D plasmons," Int. J. High Speed Electron. Sys., Vol. 13, No. 3, pp. 547-555, 2007. 査読有

[学会発表] (計 65 件)

- ① Y. M. Meziani, T. Nishimura, H. Handa, W. Knap, T. Otsuji, E. Sano, V. V. Popov, D. Coquillat, and F. Tepe, "Room temperature generation of terahertz radiation from dual grating gate HEMT's," Int. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Pasadena, CA, USA, Sept. 15, 2008.
- ② T. Nishimura, H. Handa, H. Tsuda, T. Suemitsu, Y. M. Meziani, W. Knap, T. Otsuji, E. Sano, V. Ryzhii, A. Satou, V. Popov, D. Coquillat, and F. Tepe, "Broadband Terahertz Emission from Dual-Grating Gate HEMT's -Mechanism and Emission Spectral Profile," Device Research Conference (DRC), Santa Barbara, CA, USA, June 24, 2008.
- ③ Y. M. Meziani, H. Handa, W. Knap, T. Otsuji, E. Sano, V. Popov, "Room temperature terahertz emission from two-dimensional plasmons in doubly interdigitated grating gate heterostructure transistors," Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), San Jose, CA, USA, May 9, 2008.

[図書] (計 1 件)

- ① メタマテリアル-最新技術と応用-, 石原照也監修, シーエムシー出版, 東京, Nov. 2007. [尾辻, pp. 252-261., 佐野, pp. 274-283., 榎原, pp. 284-292.]

[産業財産権]

- 出願状況 (計 1 件)
- ① 電磁波放射素子, 尾辻泰一, 東北大学, 特願 2008-065890, H20. 03. 14、国内
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

- ① ホームページ
<http://www.otsuji.riec.tohoku.ac.jp>
<http://www.u-aizu.ac.jp/labs/hw-cm>
<http://teraele.yz.yamagata-u.ac.jp>
- ② 報道掲載
「テラヘルツ波 室温で放射成功 東北大など プラズモン共鳴利用」、日刊工業新聞、2006. 6. 28.