

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560423

研究課題名(和文) ミリ波・サブミリ波帯におけるフォトニック結晶構造を応用した電磁波回路の解析と応用

研究課題名(英文) Electromagnetic circuits based on millimeter-and sub-millimeter-wave photonic crystals and its applications

研究代表者

穴田 哲夫(anada, tetsuo)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：20260987

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：近年、通信情報量の飛躍的増大に伴って、光波とミリ波の境界領域であるテラヘルツ周波数領域の技術開発が強く求められている。通信においては、数十Gbpsの超高速無線システムの実現に向けて、広帯域周波数資源を有効に利用できるsub-THz帯での低損失・小型電磁波回路が必要である。これまでTHz帯での導波路として、平行平板メタル導波路、NRD導波路、及びSIW構造などが提案されているが、ここではTHz帯での低損失・超小型電磁波デバイスの中でも特にバンドパスフィルタの開発に向けて2重縮退共振モードを利用した構造を提案し、優れたフィルタ特性を実現することができたことは通信への応用の第1歩となった。

研究成果の概要(英文)：Terahertz-technology in recent years has the potential to develop new capabilities for imaging, short-range and secured communications, remote sensors, spectroscopy, and material analyses etc. In order to realize the THz indispensable functional devices such as filters, various THz waveguiding structures have been proposed and some typical structures have a parallel plate metal waveguide, NRD (H-guide), and substrate-integrated waveguide (SIW), etc. This report proposed a new dual-mode bandpass filter using higher-order de-generate resonant modes of a square lattice photonic crystal microcavity in the terahertz frequency band. In order to design a photonic crystal high-Q microcavity, the dispersion relations of photonic bandgap are calculated by using the plane wave expansion method. The transmission properties of proposed dual mode filters for THz applications are numerically investigated.

研究分野：マイクロ波・光波電磁波回路の数値解析

キーワード：テラヘルツ波 フォトニック結晶 2重縮退モード バンドパスフィルタ 点欠陥共振器 線欠陥導波路 サブミリ波 有限差分時間領域法

1. 研究開始当初の背景

近年の情報量の飛躍的な増加に伴って、10年後には現状の1000倍以上の情報伝送が予想され、さらなる高速化技術が要求されている。その中でも、無線通信分野において、短ミリ波、サブTHz帯は従来無線の100倍以上の周波数を持つ未開の周波数領域であり、100Gbpsを超える無線通信が期待されることから、将来的に、光通信とTHz無線通信のシームレスな接続が可能になるので、THzアクセスポイントや光配線を持つチップ間のTHz信号通信の分野に新しいブレークスルーを起こすことができる。

2. 研究の目的

本研究のターゲットは、ミリ波からサブミリ波帯の超広帯域領域でのフォトニック結晶構造を応用した機能回路の解析と開発を通じて周波数の利用効率を上げ、ミリ波～サブミリ波帯における短距離無線通信の開拓として新しい電磁波回路の基礎研究と実際の応用を開発することである。

上記の目的を実現するために、ミリ波・サブミリ波帯のフォトニック結晶構造の分散特性の計算手法の確立、及び電磁波デバイスの数値解析、さらに電磁波回路としての設計手法の確立と実装・応用の両面から3年間にわたって研究することである。具体的には、ミリ波・サブミリ波帯フォトニックバンドギャップ(PBG)による電磁波回路の開発(ハイブリッド、電力分配器、フィルタ、スイッチなど)。特に最もキーデバイスとなるTHz帯におけるバンドパスフィルタの開発に重点を置く。

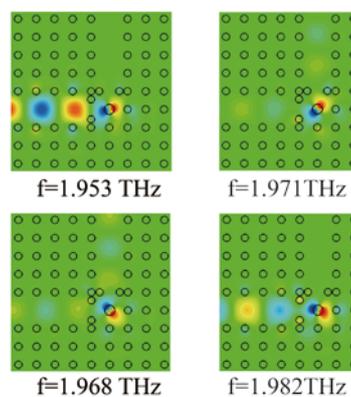
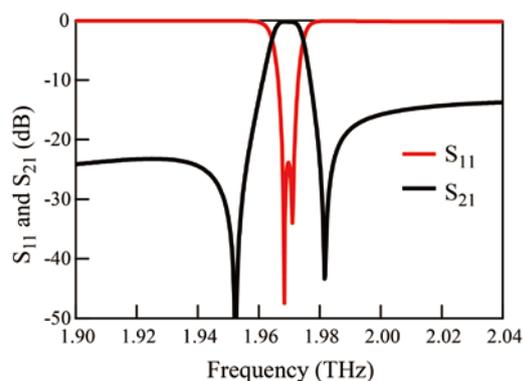
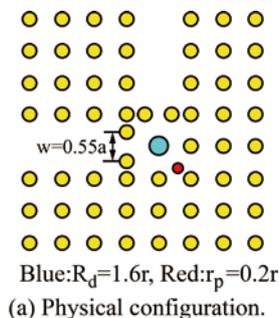
3. 研究の方法

ミリ波・サブミリ波帯における2次元フォトニック結晶構造は、電磁波回路の有力候補として注目されており、強い閉じ込めを実現できることから、既存のデバイスの小型化・集積化が期待される。しかし、構造の複雑さから数値計算を整備することが重要であり、FDTD法、有限積分法(FI法)と時間領域波動伝搬法(TD-BPM)を組み合わせることにより、実際の3D-PBGモデルを2次元モデルで非常に良く近似できることを誘導する。これにより、計算時間とメモリの劇的な削減を可能するとともに、複雑な大規模モデルをシミュレーション用ソフト開発を検討する。

- (1) 初期構造を決定するためにモード分散特性を計算する。
- (2) 次に、共振器、導波路の特性を計算するとともにフィルタなどの伝送特性を計算する。
- (3) 最後にT分岐回路や2重縮退共振モードと入出力導波路との結合を明らかにする。帯域外に減衰極を有するバンドパスフィルタ特性を実現する設計と合成手法の確立を目指す。

4. 研究成果

有線と無線のシームレスな数十Gbpsの超高速無線通信システムの実現に向けて、広帯域周波数資源を有効に利用できるミリ波からテラヘルツ帯での低損失、且つ集積化に適した電磁波回路を開発した。特にTHz帯でのPBG構造を平面波展開法およびFDTD法で分散特性を計算し、デバイス設計に必要な構造パラメータを算出すると共に線欠陥導波路の伝送特性および点欠陥共振器の共振特性を数値解析した。また設計に必要なソフトウェアの開発と整備を行った。更に点欠陥部に円柱誘電体と摂動を装荷した微小共振器構造の2重縮退共振モードによる狭帯域バンドパスフィルタを始めて提案し、実現した回路と周波数特性の一例を与える。帯域外に2つの減衰極を実現し、急峻なスカート特性を実現している。その他、フォトニック結晶T分岐回路、Y分岐回路などを開発すると共にスイッチ回路の特性を実現した(学会発表EST2014-55, EST2014-37)。



提案の擬似楕円関数型バンドパスフィルタと周波数特性の例

5. 主な発表論文等

(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 20 件)

1. 加藤 丈政, 鎌田 克洋, 加藤 紀樹, 陳 春平, 穴田 哲夫, テラヘルツ帯金属フォトニック結晶を用いた電磁波回路の伝送特性, 電子情報通信学会論文誌C, 査読有, Vol.J97-C, No.7, pp. 290-297, Jul. 2014.
2. Chun-Ping Chen, Tetsuo Anada, Stephen Greedy, Trevor M. Benson and Phillip Sewel, A novel photonic crystal band-pass filter using degenerate modes of a point-defect microcavity for terahertz communication systems, Microwave and Optical Technology Letters, 査読有, Vol. 56, 4, pp. 792-797, April 2014.
3. 鎌田 克洋, 加藤 丈政, 小田 純也, 陳 春平, 穴田 哲夫, 許 瑞邦, フォトニック結晶によるテラヘルツ帯デュアルモードバンドパスフィルタの提案, 電子情報通信学会論文誌 C, 査読有, Vol.J97-C, No.5, pp.186-193, Apr. 2014.
4. Chun-Ping CHEN, Junya ODA and Tetsuo ANADA, Synthesis of Optimum UWB Filters Composed of One-Wavelength Parallel-Coupled SIRs and Shunt Short-Circuited Stubs, IEICE trans. C, 査読有, Vol.E96-C, No.10, pp.1281-1288, Oct. 2013.
5. 小田 純矢, 陳 春平, 穴田 哲夫, 先端短絡スタブと平行結合SIR共振器を組み合わせた3段チェビシェフ型広帯域バンドパスフィルタの汎用設計式, 電子情報通信学会論文誌 C, 査読有, Vol.J97-C, No.4, pp.164-167, Apr. 2014.
6. Chun-Ping CHEN, Wataru IMASHIRO, Tetsuo ANADA and Zhe Wang MA, Improved Modeling of Parallel-Coupled Three-line for Wideband Filters, Microwave and Optical Technology Letters, 査読有, Vol. 56, Issue. 10, pp.2392-2395, Oct. 2014.
7. C.-P. Chen, J. Oda and T. ANADA, "Design of A Wideband Filter With Attenuation Poles Using A Novel Parallel-Coupled Three-line Unit Based on Cross-Coupling," IEICE Trans. Electronics, 査読有, Vol.E97-C, No. 7, pp. 689-696, Jul. 2014.
8. Katsuhiko Kamata, Takemasa Kato, C.-P. Chen, T. Anada, Shigeki Takeda, Numerical Study on Upper-Millimeter Wave to Terahertz Devices using PBG Waveguiding Structure, Proc. 43th European Micro. Conf., 査読有, pp. 1047-1050, October 6-11, Germany, 2013. (EuMC56)
9. C.-P. CHEN, J. ODA, K. KAMATA, W. IMASHIRO, T. ANADA and S. TAKEDA, An Iterative Synthesis Scheme for Wideband Filter Based on Parallel-Coupled Three-line Including the Cross-Coupling Between Non-Adjacent Lines, Proc. 43th European Micro. Conf., 査読有, pp. 889-892, October 6-11, Germany, 2013. (EuMC48)
10. Chun-Ping Chen, Noriki Kato, Tetsuo Anada, et al, Synthesis of a High-performance Ultra-Wideband Bandpass Filter, Proc. 31st URSI General Assembly and Scientific Symposium, 査読有, August 16-23, 2014.
11. T. Kato, K. Kamata, C.P. Chen, T. Anada, Steve Greedy, Trevor Benson, A Numerical Study on 2D Photonic Crystal Devices for Millimeter and Terahertz Wave Applications, The 35th Progress in Electromagnetics Research Symposium, 査読有, August 25-28, 2014.
12. J. ODA, C.-P. CHEN, K. KAMATA, T. KATO, N. KATO, T. ANADA and S. TAKEDA, Design of Wideband Filters With High Skirt-Selectivity Using Improved Parallel-Coupled Three-line Units, APMC 2013, 査読有, pp. 957- 959, Nov. 5-8, 2013.

13. 陳 春平, 徐 得名, 穴田 哲夫, 開放端同軸プローブによるスカラー反射係数に基づいた複素誘電率及び複素透磁率の非破壊同時測定法, 電子情報通信学会論文誌C, 査読有, Vol.J96-C, No.6, pp.131-139, 2013 (6月)
14. Chun-Ping Chen, Tetsuo Anada and Zhewang Ma, Realization of UWB Filter with SIRs and Parallel-Coupled Three Lines by Synthesis Method, Microwave and Optical Technology Letters, 査読有, Vol. 55, Issue 11, pp. 2689–2692, Aug. 2013.
15. Chun-Ping CHEN, Junya ODA and Tetsuo ANADA, Synthesis of Optimum UWB Filters Composed of One-Wavelength Parallel-Coupled SIRs and Shunt Short-Circuited Stubs, IEICE trans. C, 査読有, Vol.E96-C, No.10, pp. 1745-1353, Oct. 2013.
16. Katsuhiko Kamata, Takemasa Kato, C.-P. Chen, Tetsuo. Anada, Shigeki Takeda, Numerical Study on Upper-Millimeter Wave to Terahertz Devices using PBG Waveguiding Structure, Proc. 43th European Micro. Conf., 査読有, pp. 1047-1050, October 6-11, 2013. (EuMC56)
17. C.-P. CHEN, J. ODA, K. KAMATA, W. IMASHIRO, T. ANADA and S. TAKEDA, An Iterative Synthesis Scheme for Wideband Filter Based on Parallel-Coupled Three-line Including the Cross-Coupling Between Non-Adjacent Lines, Proc. 43th European Micro. Conf., 査読有, pp. 889-892, October 6-11, EuMC, 2013.
18. C.-P. Chen, J. Oda, Y. Kamiji, T. Anada, Z. Ma, Theoretical/Synthesis Design of Compact UWB Bandpass Filters with Very Sharp Roll-off Characteristics, APMC2012, 査読有, pp. 112–114, Dec.4-7, 2012.
19. Y. Kamiji, N. Nagaoka, C.-P.Chen, T. Anada and H., J.-P., A Novel Photonic Crystal Bandpass Filter Using Degenerate Modes of Point-Defect Microcavity for Terahertz Communication System, APMC2012, 査読有, pp. 583-585, Dec.4-7, 2012.
20. C.-P. Chen, Y. Kamiji, J. Oda, N. Nagaoka, T. Anada, S. Takeda, A Novel Bandpass Filter Using Higher-Order Degenerate Modes of Planar Photonic Crystal Microcavity in Terahertz Regime, Proc. 42th European Micro. Conf., 査読有, pp. 1186 – 1189, 28 Oct.-2 Nov., 2012.
- [学会発表] (計 18 件)
1. 鎌田克洋, 加藤丈政, 加藤紀樹, 陳 春平, 穴田哲夫, 武田重喜, テラヘルツ帯2次元フォトニック結晶共振器とその応用, 信学技報, vol. 114, no. 215, EST2014-55, pp. 57-62, 2014年9月.
 2. 加藤丈政, 鎌田克洋, 加藤紀樹, 陳 春平, 穴田哲夫, 武田重喜, 2次元フォトニック結晶T字型分岐回路のシミュレーションと電磁波伝搬の制御, 信学技報, vol. 114, no. 143, EST2014-37, pp. 169-174, 2014年7月.
 3. 陳 春平, 加藤紀樹, 鎌田克洋, 加藤丈政, 穴田哲夫, Novel Synthesis of A Wideband Filter Using Open-Short- Circuited Stepped Impedance Resonators, 信学技報, vol. 114, no. 11, MW2014-3, pp. 11-16, 2014年4月.
 4. 陳 春平, 加藤紀樹, 加藤丈政, 鎌田克洋, 穴田哲夫, 5段チェビシェフ型平行結合半波長共振器フィルタの新合成法, 信学技報, vol. 114, no. 69, EST2014-1, pp. 1-6, 2014年5月.
 5. 加藤丈政, 鎌田克洋, 加藤紀樹, 陳 春平, 穴田哲夫, 馬 哲旺, デュアルモードSIW共振器を用いた有極型帯域通過フィルタ, 2014年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-15-13, p.220.
 6. 加藤紀樹, 陳 春平, 加藤丈政, 鎌田克

- 洋, 穴田哲夫, 馬 哲旺, 武田重喜, 先端開放スタブと平行結合SIRを用いた広帯域デュアルバンドBPF, 2014年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-15-14, p.221, 2014年9月23日.
7. 鎌田克洋, 加藤丈政, 陳 春平, 穴田哲夫, 武田重喜, テラヘルツ帯フォトニック結晶によるバンドパスフィルタ, 2014年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-85, 2014年4月
 8. 加藤丈政, 鎌田克洋, 陳 春平, 穴田哲夫, 武田重喜, 短ミリ波帯金属フォトニック結晶によるT字型電力分配回路, 2014年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-100, p. 130, 2014年4月
 9. 陳 春平, 加藤紀樹, 小田純矢, 加藤丈政, 鎌田克洋, 穴田哲夫, 武田重喜, 1/12波長ステップインピーダンス共振器に基いた広帯域BPFの理論設計, 2014年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-15-10, p. 303, 2014年4月
 10. 陳 春平, 小田 純矢, 加藤 丈政, 鎌田克洋, 加藤紀樹, 穴田哲夫, 飛び越し結合を考慮した平行結合3線路を用いた広帯域フィルタの理論合成, 信学技報, vol. 113, no. 396, EST2013-86, pp. 17-22, 2014年1月.
 11. 小田 純矢, 陳 春平, 穴田哲夫, 先端短絡スタブと平行結合SIR共振器を組み合わせたチェビシェフ型高帯域バンドパスフィルタの汎用設計式, 信学技報, vol. 113, no. 365, MW2013-153, pp. 13-18, 2013年12月.
 12. 加藤丈政, 鎌田克洋, 小田純也, 陳 春平, 穴田哲夫, 馬 哲旺, "SIW型デュアルモード共振器によるバンドパスフィルタ," 2013年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-56, p.81, 2013年9月19日.
 13. 穴田哲夫, 鎌田克洋, 加藤丈政, 小田純矢, 陳 春平, テラヘルツ帯におけるPhC結晶T字型スイッチの一検討, 2013年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス講演論文集1, C-2-79, p.104, 2013年9月.
 14. 鎌田克洋, 加藤丈政, 小田純也, 陳 春平, 穴田哲夫, THz帯におけるPhCスラブを用いた点欠陥共振器の設計, 2013年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス講演論文集1, C-2-80, p. 105, 2013年9月.
 15. 鎌田克洋, 加藤丈政, 上地洋輔, 陳 春平, 穴田哲夫, 武田重喜 (アンテナ技研), テラヘルツ帯における金属フォトニック結晶共振器の共振モード, 2013年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-111, p. 142, 2013年3月.
 16. 小田純矢, 陳 春平, 鎌田克洋, 加藤丈政, 穴田哲夫, 馬 哲旺, 多段平行三線路ユニットを用いたUWBバンドパスフィルタの理論合成, 信学技報, vol. 113, no. 143, EST2013-15, pp. 33-38, 2013年7月.
 17. 加藤丈政, 鎌田克洋, 小田純矢, 陳 春平, 穴田哲夫, テラヘルツ帯金属フォトニック結晶共振器の2重縮退モードを用いた狭帯域バンドパスフィルタの検討, 信学技報, vol. 113, no. 26, EST2013-8, pp. 39-44, 2013年5月.
 18. 鎌田克洋, 加藤丈政, 小田純也, 陳 春平, 穴田哲夫, "PhC によるTHz 帯小型デュアルモードバンドパスフィルタの提案", 電子情報通信学会 OPE2013 年4 月期研究会, 2013 年4 月
〔図書〕 (計 1 件)
穴田哲夫, 陳 春平, 現代 電子情報通信選書「知識の森」—マイクロ波伝送・回路デバイス— (分担執筆), オーム社, 2013 年02 月
〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

穴田哲夫 (ANADA, Tetsuo)
神奈川大学・工学部・教授
研究者番号：20260987

(2) 研究分担者

陳 春平 (CHEN, Chun-Ping)
神奈川大学・工学部・助教
研究者番号：20440266

(3) 連携研究者

()

研究者番号：