

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04537

研究課題名（和文）周波数依存型半陰的FDTD法の確立と導波路型THzデバイス設計への応用

研究課題名（英文）Development of a frequency-dependent semi-implicit FDTD method and its application to the design of waveguide-based THz devices

研究代表者

柴山 純（Shibayama, Jun）

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：40318605

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は2つある。ひとつは、半導体InSbの薄膜を持つテラヘルツ(THz)帯での導波路型デバイス設計のための半陰的有限差分時間領域(FDTD)法を開発することである。もうひとつは、開発した半陰的FDTD法を用いてTHz表面プラズモン共鳴(SPR)センサ、および偏光子を解析・設計することである。2、3次元の半陰的FDTD法を開発した。従来の陽的FDTD法と比較して、計算精度を維持しつつ計算時間をそれぞれおおよそ30、20%に低減できた。

偏光子の設計では、モードの干渉を利用せず、コアの両側にInSb層を付加しプラズモンの励振によりTE波を減衰させて除去する新たなデバイスを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光波と電波の中間に存在するテラヘルツ(THz)波を用いた技術開発が進んでいる。本研究ではTHz波を利用した導波路デバイスの設計を効率よく行える半陰的FDTD法の開発と、開発したFDTD法を用いて種々のデバイスの設計を行った。計算時間を従来手法の20～30%にまで低減できたことから、極めて効率よいデバイス設計が可能になった。また、従来の干渉現象を用いた製造精度の要求される偏光子に対して、半導体層をコア両壁に設けた新たな偏光子を提案した。提案した偏光子では、特性が長さ方向に鈍感であり、高い製造精度がなくても良好な特性の得られる見込みが立った。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is twofold. One is to develop a semi-implicit finite difference time domain (FDTD) method for the design of waveguide-type devices in the terahertz (THz) band with thin films of semiconductor InSb. The second is to analyze and design THz surface plasmon resonance (SPR) sensors and polarizers using the developed semi-implicit FDTD method.

Two and three-dimensional semi-implicit FDTD methods were developed. Compared to the conventional explicit FDTD method, the calculation time was reduced to roughly 30 and 20%, respectively, while maintaining the calculation accuracy.

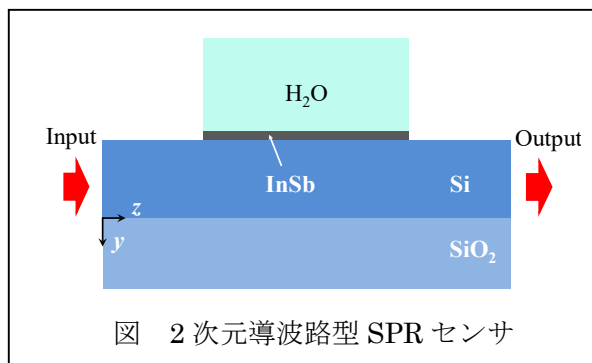
In the design of polarizers, we proposed a new device that does not use interference of modes, but adds InSb layers on both sides of the core to attenuate and remove TE waves by plasmon excitation.

研究分野：機能素子工学

キーワード：FDTD法 テラヘルツ波 表面プラズモンポラリトン 表面プラズモン共鳴 SPRセンサ

1. 研究開始当初の背景

金属薄膜を用いた SPR センサは光波領域で広く用いられており、すでに実用化に至っている。応用範囲は広く、抗原抗体反応、DNA、タンパク質、ウイルスなどの検出が可能である。他方、周波数 1THz 付近には物質固有の吸収スペクトルが多く存在することから、THz 波を用いたセンシング技術が注目されるようになってきている。また、THz 波は水には強く吸収される一方、水溶液に対しては吸収が弱まるため、水溶液の濃度センシングにも利用できると期待されている。光伝導アンテナや、パラメトリック発信器、量子カスケードレーザなどの開発により、THz 波の発生が容易になりつつある。そこで、申請者は図に示すアンチモン化インジウム(InSb)薄膜を用いた THz 帯での 2 次元導波路型 SPR センサを世界に先駆けて提案した [1]。



設計には、センサ入出力部での反射や、THz 波の伝搬状態を詳細に調査できる FDTD 法を用いた。計算の際に注意すべきは、InSb の厚みが $5 \mu\text{m}$ と極めて薄く、計算精度を確保するため厚み方向の空間の刻み幅を $0.5 \mu\text{m}$ と小さく選ばざるを得ない点である。これにより、FDTD 法の安定化条件の制限で時間刻み幅も極小に選ぶ必要があった。しかし、2次元構造のため計算負荷はそれほど大きくなく、ある一点での周波数のデータは PC を用いて数十分の計算で終了した。ところが、実用的な 3次元センサを検討したところ、ある周波数のデータを得るのに 10 時間近い計算が必要になった。温度変化を考慮した周波数応答を得るには 1 週間程度の計算を続ける必要がある。従って現状では、実用的な 3次元導波路型 SPR センサの設計を効率よく行える新たな FDTD 法の開発が喫緊の課題となっている。

[1] J. Shibayama, K. Shimizu, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Surface plasmon resonance waveguide sensor in the terahertz regime," *IEEE/OSA J. Lightw. Technol.*, 34, 2016.

2. 研究の目的

本研究の目的は、3次元導波路型 SPR センサを極めて効率よく設計できる新規な FDTD 法を開発することである。具体的には、細かい空間刻み幅の方向、すなわち半導体薄膜の厚み方向にのみ陰的な計算技法を導入した、3次元半陰的 FDTD 法を確立する。陰解法を用いることで連立方程式を解くことになる。しかし、細かい空間刻み幅から生じる時間刻み幅の制限が陰解法により除去される。結果として、連立方程式を解く時間増加よりも、大きな時間刻み幅を使用することによる時間短縮の効果が極めて大きくなる利点を持つ。ところで、半導体の周波数分散性を考慮できる半陰的 FDTD 法はこれまで存在しない。そこで、周波数分散性をもつ誘電率を表現する関数である Drude モデルを導入した、周波数依存型半陰的 FDTD 法を新たに提案する。当研究室で実績のある簡素な台形則に基づく帰納的畳み込み法を用いて、Drude モデルを FDTD 法に組み込むことも新規性・独自性の高い点である。

ところで、申請者は陰的な局所的な一次元(LOD)法を初めて FDTD 法に導入し、刻みの制限を完全に除去した FDTD 法を開発した。提案した 2005 年の論文[2]は 300 件弱の引用(Google Scholar)があり、空間の刻みを小さく選ばざるを得ない問題を解く際の汎用的手法になっている。しかし、本研究の SPR センサの解析では、全空間方向を陰解法で解く LOD-FDTD 法は必要なく、厚み方向のみに陰解法を適用すれば良い。LOD-FDTD 法の開発で得た知見を生かしながら、THz デバイス解析に好適な半陰的 FDTD 法を開発することは本研究の独自性の高い点と考える。上述したように、半陰的 FDTD 法では時間刻み幅の制限が除去され、大きな時間刻み幅が利用可能であり、計算時間を 1/10 程度まで短縮できるアルゴリズムを構築する。

本研究のもう一つの目的は、実用的な 3次元の THz 導波路型 SPR センサの詳細な設計を行いその実用可能性を吟味することである。光波帯では金属が負誘電体となり金属/誘電体境界に表面プラズモン(SP)が励起されるが、THz 帯では金属が完全導体に近い特性を示し SP が励起されない。そこで、本研究では THz 帯で負誘電体となる半導体材料に注目する。特に、SPR

を得るために上述の InSb, あるいはヒ化インジウム(InAs)の半導体薄膜をセンサに導入することが, 創造性の高い点と考える.

申請者は, InSb 薄膜を用いた 2 次元導波路型 SPR センサを世界に先駆けて提案しており, その基本動作を確認している[1]. InSb を用いたセンサは検討されている[3]が, 損失性媒質である InSb のみで構成されているため, 温度センサとして利用した際に感度が低い(1.425×10^{-3} THz/K). 他方, 提案したセンサは InSb の薄膜化により損失が抑えられ, 5 倍以上の 7.5×10^{-3} THz/K の感度が得られている. しかしながら, これらの検討は 2 次元構造にとどまっており, 実用的な 3 次元センサの研究が急務となっている.

SPR センサに TM 波を入力する導波路型偏光子も提案する. 具体的には, 2 本の導波路からなる方向性結合器の一方に InSb 薄膜を装荷し, 2 本の導波路間で TM 波の伝搬定数を大きく乖離させる. これにより TM 波を透過させ, TE 波を他方の導波路に結合させ除去する高い消光比を有する偏光子を新たに考案する. 偏光子とセンサが同一の材料で構成され, 一体成形が可能なる素子であることも創造性が高いといえる.

[2] J. Shibayama, M. Muraki, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Efficient implicit FDTD algorithm based on locally one-dimensional scheme," Electron. Lett., 41, 2005.

[3] H. Liu et al., "Tunable subwavelength terahertz plasmon-induced transparency in the InSb slot waveguide side coupled with two stub resonators," Appl. Opt., 54, 2015.

3. 研究の方法

2019 年度

初年度は, 半導体の分散性媒質を扱える 3 次元半陰的 FDTD 法の開発, 及び InSb を用いた 3 次元 SPR センサの基本特性の評価を行う. 理論検討・数値計算には 2 名の研究協力者(大学院生)に参加してもらう. 下記のように研究を遂行する.

(1) 分散性媒質を扱うための 3 次元周波数依存型半陰的 FDTD 法の定式化を行う. その際, 半導体誘電率の分散性を表す Drude モデルを, 効率よく簡素な台形則に基づく帰納的畳み込み法で, 半陰的 FDTD 法に組み込む. 万が一, 定式化がうまくいかない場合は, すでに完成している従来の陽的 FDTD 法を代用して研究を進める.

(2) 購入した WS を立ち上げ, 早急に半陰的 FDTD 法を実装する. 従来の陽的な FDTD 法に比べて, GPU などのハードウェアに頼らず 10 倍程度の計算高速化を達成する.

(3) 3 次元導波路型 SPR センサの設計を行う. センシング部に装荷する InSb の長さ・厚さに注目し, プラズモン共鳴の強く生じる構造を見出す. 2 次元センサとの特性比較も行う.

初年度では, 成果の中間報告, 速報誌への投稿も行う. 国内外の学会に参加し広く意見を伺い, 今後の研究方針に反映していく.

2020 年度

開発した半陰的 FDTD 法により, センサ・偏光子を検討する. 研究協力者を 3 名に増強する.

(1) 測定感度の観点からセンサはプラズモン共鳴での出力パワーがより小さくなるのが好ましい. そこで, -40 dB 以下が得られる構造を探る. 温度センサとして動作させる際の感度評価も行い, 構造を最適化しながら 2 次元構造並みの感度 7.5×10^{-3} THz/K を目指す. 現実的なセンサを想定し試料槽を設けたセンサも検討する. 必要な試料量を明確にする.

(2) InSb は温度に対して THz 帯での誘電率が大きく変化するため, 温度センサとしては好適である. 他方, InAs は InSb に比べ温度に対して誘電率が大きく変化しない. そこで, 温度に対して安定性の高いセンサを目指し, InAs を用いた SPR センサの検討にも着手する.

(3) 2 本の平行導波路からなる方向性結合器の片方の導波路に InSb を装荷し, プラズモニック導波路を構成する. 各々の導波路の TE, TM モードの伝搬定数を厳密に調査し, センサに入力する TM 波のみを取り出す偏光子の構造を探る.

(4) 偏光子においては不要な TE 波がセンサ特性を悪化させるので, それを低減し消光比をできる限り稼ぎたい. 3) の単独導波路の固有モード解析だけでなく, 方向性結合器に励起されるスーパーモードの解析も行い, 消光比 -20 dB 以下が得られる構造を見出す.

成果発表のため外国旅費を計上している. 米国電気電子学会主催の International Microwave Symposium (IMS), Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD) などでの成果発表を大学院生とともに行う. 論文執筆も行い, 広く成果を公表する.

2021 年度

最終年度は偏光子・センサの一括構造での動作実証と研究の総まとめを行う. 特に国内外の論文誌への投稿と国際学会, 国内発表に力点を置く. 大学院生とともに成果発表するための旅費を計上している.

(1) 前段に偏光子, 後段に試料槽を持つ SPR センサを配置した, より実際的な一括構造の解析を行い, 実用可能性を吟味する. さらに, 検出可能な試料をリストアップし, センサの測定感度を詳細に調査する. 必要に応じて WS 用のメモリを増設する.

4. 研究成果

当初計画では21年度までの課題であったが、コロナ禍での研究遅延により、22年度まで研究期間の延長を行った。4年間の研究期間全体として、(1)2次元の半陰的FDTD法の確立、(2)新たな3次元偏光子の提案、(3)3次元の半陰的FDTD法の確立、(4)反復法を用いた新たなFDTD法の提案、の大きく4つの成果が得られた。

(1)については、デバイスの厚み方向に陰解法を適用した2次元半陰的FDTD法を確立した。デバイスの厚み方向とTHz波の進行方向の刻みの比率を1:16とした場合、計算時間を従来の陽的FDTD法の36%まで減じることができた。この結果を電子情報通信学会論文誌で公表した。

(2)従来の偏光子では、モード干渉やモード結合を用いてTE波を除去していたため、デバイス長を正確に選択する必要があった。これに対して、計画段階では想定していなかった新たなデバイス構造を提案した。提案した偏光子では、コアの両側面にInSb層を付加しプラズモンの励振によりTE波を減衰させて除去する。結果として、デバイス長の選択に細心の注意を払う必要がなくなり、デバイス設計が容易になった。この結果を、電子情報通信学会ソサイエティ大会、国際会議(ISAP2020)で公表した。

(3)については、3次元の半陰的FDTD法を定式化、実装し、THz導波路偏光子を解析した。定式化では半導体の分散性を考慮するため、新たに台形則に基づく帰納的畳み込み法を3次元手法に組み込んだ。偏光子の厚み方向に計算精度が必要になり細かい空間刻みを用いるため、この方向にのみ陰解法を組み込んだ。従来の陽的FDTD法と比較した結果、同等の計算精度を得ながら、計算時間を約20%に低減できた。現在はこの成果を論文として公表すべく準備中である。

(4)についても、当初計画では想定していなかった、反復法を援用した全く新しいFDTD法を提案した。従来の非分散性媒質用の手法に加え、周波数分散性媒質を解析できる周波数依存型FDTD法も開発し、これらを2件の英文論文として公表した。現在は、性能評価のための数値分散解析、3次元問題への応用を検討中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Jun Shibayama, Akira Kawahara, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano	4. 巻 59
2. 論文標題 Frequency-dependent FDTD method based on iterated Crank-Nicolson scheme	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IET Electronics Letters	6. 最初と最後の頁 e12695-1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/e112.12695	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Jun Shibayama, Tomomasa Nishio, Junji Yamauchi, Hisamatsu Nakano	4. 巻 58
2. 論文標題 Explicit FDTD method based on iterated Crank-Nicolson scheme	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IET Electronics Letters	6. 最初と最後の頁 16-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/e112.12335	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Jun Shibayama, Takuma Kuroda, Junji Yamauchi, Hisamatsu Nakano	4. 巻 E105-C
2. 論文標題 Analysis of an InSb sphere array on a dielectric substrate in the THz regime	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 159-162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2021RES0002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 柴山純, 五味頌子, 山内潤治, 中野久松	4. 巻 J105-C
2. 論文標題 陰的及び半陰的FDTD法によるTM透過/TE除去THz導波路偏光子の解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 C	6. 最初と最後の頁 185-192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transelej.2021STP0004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 柴山純, 中野優, 山内潤治, 中野久松	4. 巻 J104-C
2. 論文標題 Subgrid法を適用したFDTD法によるテラヘルツ光伝導アンテナの解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 C	6. 最初と最後の頁 155-156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transelej.2020STF0001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jun Shibayama, Kota Mitsutake, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano	4. 巻 63
2. 論文標題 Kretschmann- and Otto-type surface plasmon resonance waveguide sensors in the terahertz regime	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Microwave and Optical Technology Letters	6. 最初と最後の頁 103-106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mop.32581	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jun Shibayama, Sumire Takahashi, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano	4. 巻 E103-C
2. 論文標題 Fundamental investigation of a grating consisting of InSb-coated dielectric cylinders on a substrate in the THz regime	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 567-574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2019ESP0003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jun Shibayama, Kazuto Suzuki, Tetsuya Iwamoto, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano	4. 巻 19
2. 論文標題 Dispersive contour-path FDTD algorithm for the Drude-Lorentz model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters	6. 最初と最後の頁 1699-1703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LAWP.2020.3014344	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計31件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 宮尾浩斗, 柴山 純, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 3次元半陰的FDTD法に基づくTM透過型偏光子の解析
3. 学会等名 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮尾浩斗, 柴山 純, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 3次元半陰的FDTD法を用いたTE透過型THz導波路偏光子の解析
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jun Shibayama, Arata Yamamoto, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano
2. 発表標題 A terahertz polarization splitter using a hybrid plasmonic waveguide
3. 学会等名 The 8th International Conference on Antennas and Electromagnetic Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jun Shibayama, Tomomasa Nishio, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano
2. 発表標題 Improving the numerical stability of the iterated Crank-Nicolson FDTD method
3. 学会等名 URSI combined Atlantic / Asia-Pacific Radio Science Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jun Shibayama, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano
2. 発表標題 Development of a novel explicit FDTD method based on the iterated Crank-Nicolson scheme
3. 学会等名 URSI-Japan Radio Science Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴山 純, 河原章良, 西尾知将, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 反復計算を用いた新しい陽的FDTD法の開発
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中宏季, 柴山 純, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 テラヘルツ帯における3次元TM透過/TE除去導波路型偏光子の設計と解析
3. 学会等名 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中宏季, 柴山 純, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 半陰的FDTD法を用いたTE透過型THz導波路偏光子の解析
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jun Shibayama, Yu Nakano, Junji Yamauchi, Hisamatsu Nakano
2. 発表標題 Analysis of a terahertz photoconductive antenna using the subgrid FDTD method
3. 学会等名 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (IEEE-APWC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tasuku Nakazawa, D. Wu, Seiya Kishimoto, Jun Shibayama, Junji Yamauchi, Shinichiro Ohnuki
2. 発表標題 Efficiency and accuracy of time-division parallel computation for the LOD-FDTD method
3. 学会等名 Photonics and Electromagnetics Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuma Kuroda, Jun Shibayama, Junji Yamauchi and Hisamatsu Nakano
2. 発表標題 Analysis of an InSb-coated dielectric sphere array in the THz region
3. 学会等名 Photonics and Electromagnetics Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中宏季, 柴山 純, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 テラヘルツ帯における3次元TM透過/TE除去導波路型偏光子の解析
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五味頌子, 柴山 純, 山内潤治, 中野 久松
2. 発表標題 陰的及び半陰的FDTD法によるTM透過型THz導波路偏光子の高効率解析
3. 学会等名 電子情報通信学会EST研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jun Shibayama, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano
2. 発表標題 Frequency-dependent FDTD analyses of terahertz plasmonic devices
3. 学会等名 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五味頌子, 柴山 純, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 半陰的FDTD法によるTM透過型THz導波路偏光子の解析
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴山 純, 田中宏季, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 テラヘルツ帯における3次元SPR導波路型センサの固有モード解析
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jun Shibayama, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano
2. 発表標題 Implicit and semi-implicit FDTD analyses of terahertz plasmonic devices
3. 学会等名 XXXIII General Assembly and Scientific Symposium (GASS) of the International Union of Radio Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五味頌子, 柴山純, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 LOD-FDTD法の計算精度に関する考察
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴山純, 高橋澄玲, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 テラヘルツプラズモニクデバイスの周波数依存型FDTD解析
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴山 純, 田中宏季, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 テラヘルツ帯におけるSPR導波路型センサの特性改善
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋澄玲, 柴山 純, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 コアの両側に半導体層を付加したTE透過/TM除去THz導波路型偏光子の解析
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野 純, 柴山 純, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 InSbを用いたクロスダイポール型THzセンサの性能指数の改善
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴山 純, 黒田匠真, 高橋澄玲, 中野 純, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 テラヘルツ帯におけるInSbコート誘電体球配列のFDTD解析
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴山 純, 五味頌子, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 LOD-FDTD 法によるTM透過THz導波路型偏光子の解析
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋澄玲, 柴山 純, 山内潤治, 中野 久松
2. 発表標題 テラヘルツ帯におけるTE透過/TM除去導波路型偏光子の解析
3. 学会等名 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野 純, 柴山 純, 山内潤治, 中野 久松
2. 発表標題 InSb素子を用いたTHzセンサの比較検討
3. 学会等名 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本新大, 柴山 純, 山内潤治, 中野 久松
2. 発表標題 THz帯で動作するハイブリッドプラズモニック導波路を用いた偏波分割器
3. 学会等名 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴山 純, 高橋澄玲, 山内潤治, 中野久松
2. 発表標題 テラヘルツ帯でのInSbコート誘電体円柱配列の周波数依存型FDTD解析
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Shibayama, Hiroki Tanaka, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano
2. 発表標題 Design of the Surface Plasmon Resonance Waveguide Sensor in the Terahertz Regime
3. 学会等名 URSI-Japan Radio Science Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Shibayama, Sumire Takahashi, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano
2. 発表標題 FDTD Analysis of an InSb-Coated Dielectric Cylinder Array
3. 学会等名 8th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Shibayama, Shoko Gomi, Junji Yamauchi, and Hisamatsu Nakano
2. 発表標題 Analysis of a TM-pass Terahertz Waveguide Polarizer
3. 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------