

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02152

研究課題名（和文）電源回路in-situ電流測定のための新たな光プローブ電流センサの開発

研究課題名（英文）Development of novel optical probe current sensor for in-situ current measurement of power circuit

研究代表者

曽根原 誠（Sonehara, Makoto）

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：30456496

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：申請者らが開発を進めた光プローブ電流センサは、特にSiC等パワーデバイスで構成される電源回路のパワーデバイスの端子に流れる電流をin-situで測定でき、電源回路の高効率化だけでなく、サージ電流も測定可能なため安全性向上も期待できる。センサ部のFaraday素子や、小型集磁用ヨーク、光-電気変換回路などを実施し、光ファイバと同径の125μmまでセンサ部を小型化できた。電源回路を模擬したダブルパルス試験回路において、同センサを用いたところ、電流の時間的変化（高速性）は1.8 kA/usを実現し、市販されているロゴスキーコイルよりも10%ノイズフロアを低減でき、当初の目標を満足した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

次世代電源回路の開発・使用において、本センサを用いてin-situ電流測定が可能になると、高効率な電源回路が実現でき、カーボンニュートラルや温暖化抑止に貢献できる。またサージ電流も測定可能なため例えば電気自動車や電動航空機など電動モビリティの安全性向上にも貢献できる。以上のように社会的意義は極めて高い。高いFaraday効果を有するグラニューラ磁性膜の開発や、同材料をセンサ部とする光プローブ式センサの研究・開発事例は少なく学術的にもインパクトがあり、実施期間中に当該テーマに関する招待講演を4件頂いた。コロナ禍で発表が滞っていたが、2022年度以降に研究成果を多数公表する予定である。

研究成果の概要（英文）：The optical probe current sensor developed by the applicants can measure the current flowing through the terminals of the power device of the power supply circuit composed of power devices such as SiC in-situ, not only to improve the efficiency of the power supply circuit but also to improve the efficiency of the power supply circuit. Since the surge current can also be measured, improvement in safety can be expected. The Faraday element of the sensor unit, a small magnetizing yoke, an optical-electric conversion circuit, etc. were implemented, and the sensor unit could be downsized to 125μm, which is the same diameter as the optical fiber. When the same sensor was used in a double pulse test circuit simulating a power supply circuit, the temporal change (high-speed) of the current was 1.8 kA / us, and the noise floor was 10% higher than that of the commercially available Rogoski coil. It was possible to reduce it and satisfied the initial target.

研究分野：磁気工学

キーワード：磁界センサ 磁気光学効果 磁性材料

1. 研究開始当初の背景

本研究テーマ申請時点の 2018 年から報告書執筆時点の 2022 年まで、当初考えられていた通り SiC パワーデバイスあるいは GaN パワーデバイスを用いた電源回路の実用化が大幅に進んでいる。特に東海道新幹線の車両や一部自動車メーカーの電気自動車に SiC パワーデバイス利用電源回路が搭載され、小型電動航空機にも利用される見込みで、電動モビリティへの展開も著しい。

2022 年においても、上記の電源回路の課題の一つとして、High side 側と Low side 側のパワー半導体素子が同時 ON になり貫通電流が流れないように設けているデッドタイム(約 2 μ s)を如何に短縮するかが検討されている。解決策の一つとして、SiC-MOSFET のソース端子に流れる電流を in-situ で精度良く測定し、その電流の情報を基にゲートドライバを制御し、デッドタイムを限り無く 0 s に近づけ、電力変換効率を向上する方法が挙げられる。

従来より大電流用電流センサとして用いられているホールセンサ方式やロゴスキーコイルなどは、センサから信号処理回路までワイヤハーネスで接続し、電気信号でセンサ出力を送っている。しかしながら電磁ノイズが誘導現象によりワイヤハーネスを介してセンサ信号に重畳し、S/N 比が低下する問題がある。

そこで申請者らは、2008 年より磁気光学効果である磁気 Kerr 効果を有した金属磁性反射膜を用いた大電流用光プローブ電流センサの開発を進めている。電気信号を光信号にしているため電磁ノイズがセンサ信号に重畳しないという特長を有する。

さらに申請者らは、磁気 Kerr 効果よりも高い磁気光学効果が得られる Faraday 効果を有した透過型 Co-MgF₂ グラニューラー磁性膜を用いた大電流用光プローブ電流センサの開発を進め、磁気 Kerr 効果型に比べて S/N が 2 倍高い 40dB を実現した。

申請者らが開発を進める光プローブ電流センサが実現すれば、特に SiC や GaN パワーデバイスで構成される次世代電源回路のパワーデバイスの端子に流れる電流を in-situ で測定でき、電源回路の高効率化だけでなく、サージ電流も測定可能なため安全性も高めることができる。

2. 研究の目的

前項の通り SiC 電源回路の電流 in-situ 測定を実現するためには、センサの S/N 比を 80dB まで高くして高精度化を図り、パワーデバイスの端子にセンサヘッドを接するまで近付けるくらいセンサヘッドを小型化しなければならないが至っていない。

そこで本研究では、センサの高 S/N 比化を図るため新たに巨大な Faraday 回転角 θ_F を有すると期待される FeCo 系グラニューラーと MgF₂ マトリックスによるグラニューラー磁性膜の開発を目的とする。加えて、GHz 帯まで高周波特性に優れた磁性微粒子複合材料(科研費若手 B H25 ~ 26)を用いる極小集磁ヨークの開発及びダウンコンバージョン方式を用いる信号処理回路をそれぞれ新たに開発する。

一方でセンサヘッドの小型化として、現在は 0.5 mm 厚のガラス基板上に成膜したグラニューラー磁性膜を光学接着剤で光ファイバの端部に貼り付けているが、光ファイバの端部の研磨面にグラニューラー磁性膜を直接成膜する技術を確認する。グラニューラー磁性膜は下地の影響を受け、軟磁気特性が劣化し易いため、そこで厚さ 1 nm の Ru を磁性膜の下地層として利用すると基板の影響を受けずに磁性膜の軟磁気特性を向上できた知見(科研費若手 B H22 ~ 23)を活かし、グラニューラー膜の軟磁気特性だけでなく磁気光学効果の向上を図る。

本研究は、電源回路の高効率化と安全性を高めるため電源回路のパワーデバイスの端子に流れる電流をリアルタイムに in-situ で測定できる Faraday 効果利用型光プローブ電流センサを開発することが目的である。

3. 研究の方法

電源回路のパワーデバイスの端子に流れる電流をリアルタイムに測定できる Faraday 効果利用型光プローブ電流センサの開発として以下の研究項目 ~ を実施した。

- 項目 : 高 Faraday 回転角 θ_F 、均一グラニューラー粒形・分散をもつグラニューラー磁性膜の開発
- 項目 : 磁性微粒子分散複合材料を用いた極小集磁ヨークの開発
- 項目 : 光 - 電気変換回路の開発
- 項目 : 高 θ_F グラニューラー磁性膜を用いた光プローブ電流センサシステムの開発と実証試験(グラニューラー磁性膜の光ファイバ端部研磨面への成膜技術の確立も含む)

4. 研究成果

項目 : 高 Faraday 回転角 θ_F 、均一グラニューラー粒形・分散をもつグラニューラー磁性膜の開発
共同研究先であるシチズンファインデバイス(株)(御代田町)と開発を進めてきた共蒸着法による Co-MgF₂ グラニューラー磁性膜や同時スパッタ法により FeCo-BaF₂ グラニューラー磁性膜などの更なる改善を図り、高い S/N 比が得られる高いファラデー回転角 θ_F を有するグラニューラー磁性膜を開発してきた。また実施期間中に θ_F だけでなく、磁性膜の透過係数 T も S/N 比増大に寄与することが改めて重要であることが分かり、性能指数 $FOM(=|\theta_F|/(-10\log_{10}T))$ を新たな指標とし

て開発を進めた。

表 1 に実施期間中に開発した各グラニュー膜の諸元を示す。高い θ_F を有するグラニュー膜として FeCo-BaF₂ グラニュー磁性膜が有効と考えていたが、透過係数 T を高くすることが困難であり、結果的に FOM を高くすることが難しかった。一方、Co-MgF₂ グラニュー磁性膜の母材である MgF₂ をポストアニール(成膜後熱処理)すると T が高くなる可能性があったため、2020 年度は主にポストアニールした Co-MgF₂ グラニュー磁性膜の開発を進めた。

図 1 にポストアニール(500°C, 1 時間)前後の Co-MgF₂ グラニュー磁性膜の成膜時基板加熱温度 T_d に対する FOM の測定結果を示す。同図より、 T_d に関わらずポストアニールすると FOM が増大することが明らかになり、特に $T_d = 250$ [°C] であると、高い FOM が得られることも分かった。図 2 に $T_d = 250$ [°C] としたポストアニール前後の TEM 像を示すが、Co グラニューの粒成長が確認され、また MgF₂ の結晶性が高くなったことが示唆された。特に後者が T を高くすることに寄与したものと考えられ、結果的に高い FOM が得られたと考えられる。また Co グラニューの均一性も高くなった。

表 1 の右側にポストアニールした Co-MgF₂ グラニュー磁性膜の諸元を示したが、FOM が実用的には十分な値である約 0.3%/dB となり、目標に達した。

表 1 Faraday 回転角を有する各グラニュー膜の諸元

項目	開発期間前 (2018 年度)	2019 年度	2020 年度
	Co-MgF ₂ グラニュー磁性膜	FeCo-BaF ₂ グラニュー磁性膜	ポストアニールした Co-MgF ₂ グラニュー磁性膜
成膜方法など	共蒸着法	同時スパッタ法	共蒸着法 →ポストアニール
膜厚 t	3.0 μm	1.3 μm	3.0 μm
透過率 T	22%	15%	32%
Faraday 回転角 θ_F (波長 1.55 μm @400 kA/m)	-1.4°	-1.9°	-1.4°
膜厚 1 μm 当たりの Faraday 回転角 $\theta_{F/t}$	-0.48°/ μm	-1.5°/ μm	-0.48°/ μm
性能指数 FOM	0.22%/dB	0.23%/dB	0.29%/dB

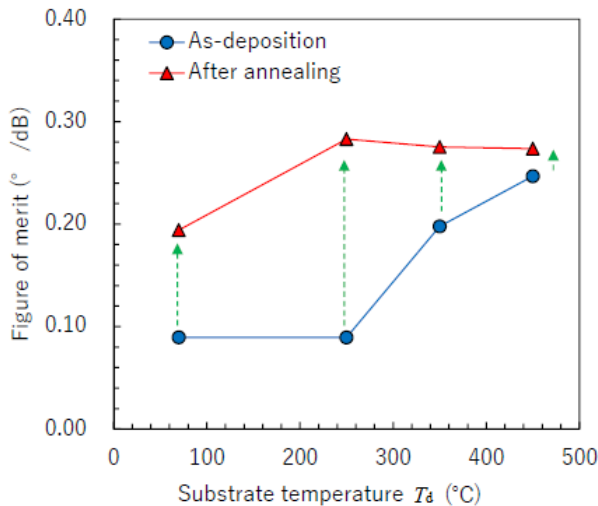
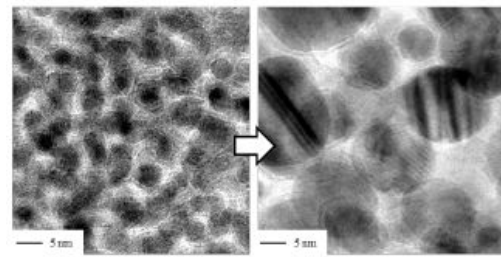


図 1 ポストアニール(500°C, 1 時間)前後の Co-MgF₂ グラニュー磁性膜の成膜時基板加熱温度 T_d に対する性能指数 FOM の測定結果



(a) As-Depo. (b) After annealing
図 2 ポストアニール前後の Co-MgF₂ グラニュー磁性膜の TEM 像

項目 : 磁性微粒子分散複合材料を用いた極小集磁ヨークの開発

小型集磁用ヨークの材料として電源用インダクタの鉄心材料でもある磁性微粒子複合材料を利用した。磁性微粒子には、鉄系球形微粒子と鉄系扁平微粒子の 2 種類をそれぞれ用いた。扁平微粒子は面内方向の反磁界が球形微粒子よりも低減することから、高い透磁率が期待されるため用いた。

図 3 に球形微粒子複合材料および単層扁平微粒子複合材料、積層扁平微粒子複合材料の複素比透磁率の周波数特性を示す。同図より、約 10 MHz 以下において、単層および積層扁平微粒子

複合材料の複素比透磁率の実部 μ' は、球形微粒子複合材料の μ' に比べて約3倍高くなった。また扁平微粒子複合材料において、単層、積層（多層）に関わらず概ね同様な磁気特性になることも明らかになった。一方、10 MHz以上では、単層および積層扁平微粒子複合材料の複素比透磁率の虚部 μ'' は、球形微粒子複合材料の μ'' に比べて5倍以上高くなった。これは、扁平微粒子が複合材料内で全て一方向に揃っておらず、面内うず電流損が影響しているものと考えられる。

図4に小型集磁ヨーク有無における光プローブ電流センサの磁界強度 H に対するファラデー回転角 θ_F の測定結果を示す。集磁ヨークは球形微粒子複合材料と扁平微粒子複合材料の2種類で比較した。同図より、線形変化する $|H| \leq 10$ [kA/m]の範囲でヨーク無しのセンサのセンサ感度は約 6.3×10^{-3} [°/(kA/m)]であった。一方、球形微粒子複合材料および扁平微粒子複合材料を用いたヨーク付センサのセンサ感度はそれぞれ約 3.3×10^{-3} [°/(kA/m)]、約 5.0×10^{-3} [°/(kA/m)]であり、ヨーク無しに比べて、それぞれ約5.3倍、約7.9倍感度が向上し、当初目標を大幅に上回った。

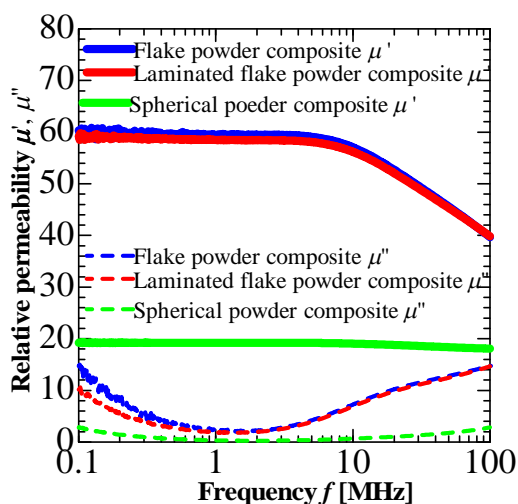


図3 球形微粒子複合材料（緑）、単層（青）および積層扁平微粒子複合材料（赤）の複素比透磁率の周波数特性の測定結果

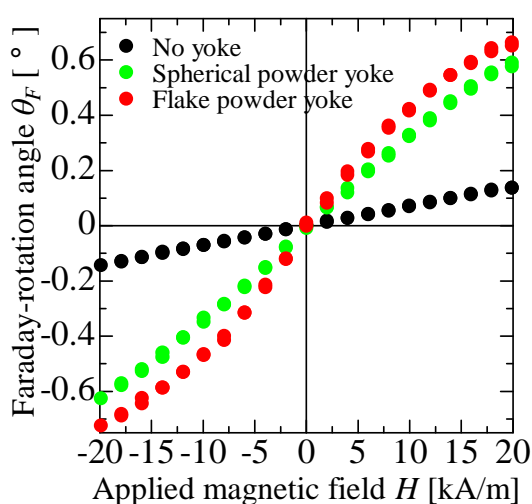


図4 小型集磁ヨーク有無における光プローブ電流センサの磁界強度 H に対するファラデー回転角 θ_F の測定結果（ヨーク無：黒、球形：緑、扁平：赤）

項目：光 - 電気変換回路の開発

アナログ信号処理集積回路においては、容量型トランスインピーダンスアンプ（CTIA）の帯域を向上させるため、CTIAのクロック周波数を2.5 MHzから10 MHzまで4倍高くした。図5に回路全体図概要を示す。クロック周波数を高くする際、トランスインピーダンスゲイン（TIG）はクロック周波数に反比例するためCTIAに用いる容量は1/4にし、内部サンプル・ホールド回路のクロック（図5中、CLK1とCLK2）動作タイミングを調整することでTIGの低下を抑えるようにした。また、CTIA帯域と安定性を確保するためにRegulated Cascode（RGC）バッファを挿入することでフォトダイオードの容量をCTIA入力から分離した。チョッパ回路をRGCの前に挿入することでRGC入力とコモンモードフィードバックループのM1とM2トランジスタをはじめとする回路内の素子ミスマッチを補正した。図6に0.18 mm-CMOSプロセスで設計試作したチップ写真を示す。図7にTIGの周波数特性の解析結果を示す。TIGが86 dB Ω からの-3dB帯域が80 kHzであり、概ね当初目標通りの結果が得られた。

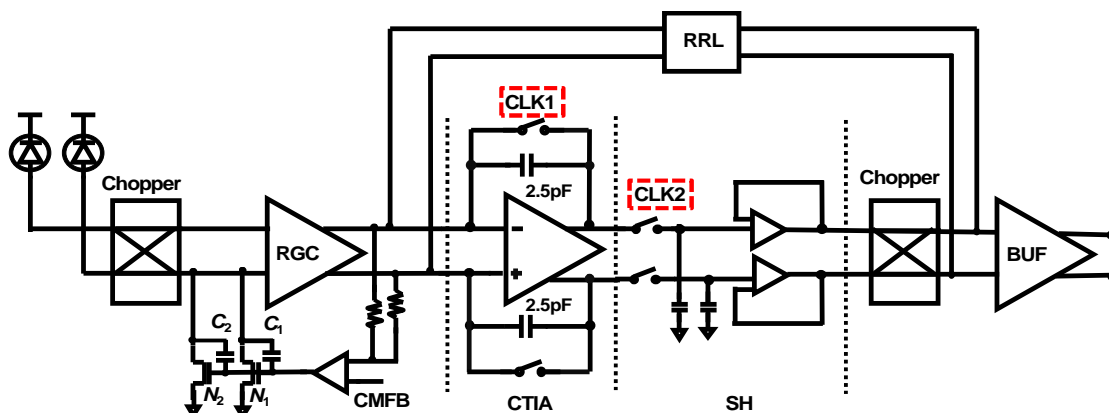


図5 アナログ信号処理回路の概略図

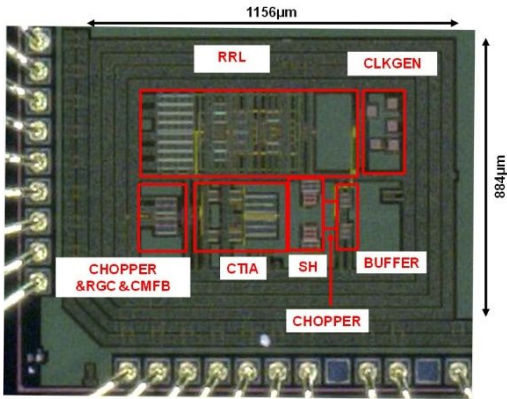


図6 アナログ信号処理集積回路のチップ写真

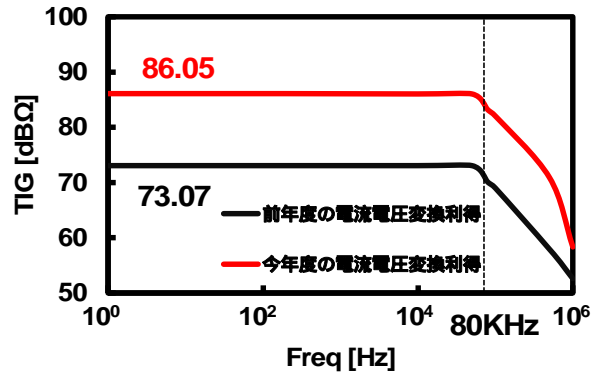


図7 トランスインピーダンスゲイン (TIG) の周波数特性の解析結果

項目 : 高 f_c グラニューラー磁性膜を用いた光プローブ電流センサシステムの開発と実証試験

図8にダブルパルス試験の回路図を示す。FETにはCREE製C2M0025120D(SiC)、ダイオードにはIXYS製DSEP60-12Aを用いた。FETに図9の青線で示す2回ONになるようなダブルパルスを入力すると、FETには同図中赤線で示すような電流が流れ、ダイオードには同図中橙線で示すような電流が流れる。光プローブ電流センサと比較として市販されているログスキーコイル(SS-683)をダイオードの端子付近に設置し、ダブルパルス試験時の電流を測定した。

図10にダブルパルス試験におけるダイオード端子に流れる電流波形を光プローブ電流センサおよびログスキーコイルで測定した結果を示す。同図より、両センサで測定した電流波形が重なっていることが分かり、これは市販のログスキーコイルと同等の性能が得られたことを意味する。また、電流の時間的变化である di/dt も1.8 kA/μmと高速な電流応答を計測できた。加えて、電流換算したノイズフロアは、ログスキーコイルは0.20 Aであったのに対して、本センサは0.18 Aであり、本センサの方がログスキーコイルよりも小電流計測に優位であることが示され、S/N比が向上したことを示唆するものである。

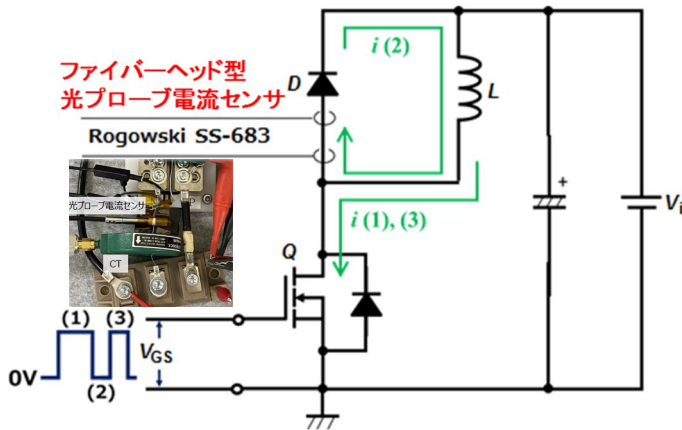


図8 ダブルパルス試験の回路図
($i(1) \sim (3)$ の電流経路は、図10に対応)

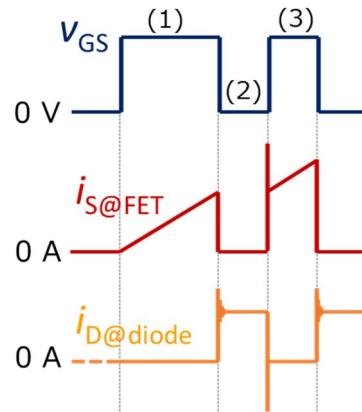


図9 ダブルパルスの波形と各電流波形の模式図

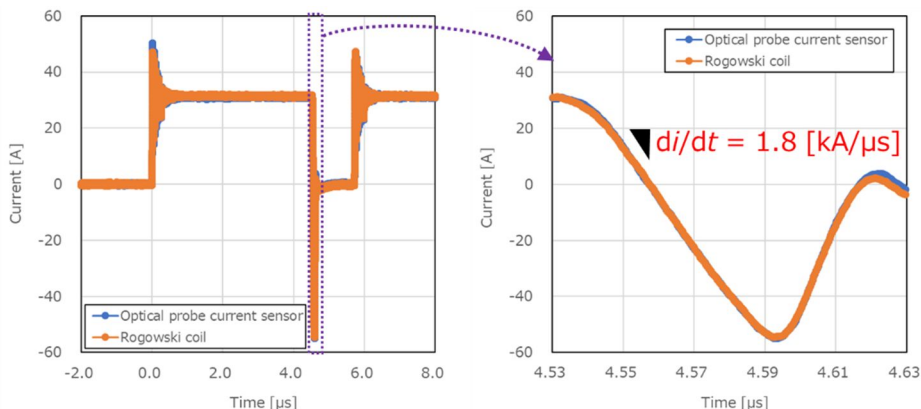


図10 ダブルパルス試験におけるダイオード端子に流れる電流の測定結果
(青：光プローブ電流センサ、赤：ログスキーコイル)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 菅原 聡, 直江 正幸, 曾根原 誠	4. 巻 141
2. 論文標題 高周波POL電源の研究動向と磁性体装荷の展望	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A (基礎・材料・共通部門誌)	6. 最初と最後の頁 279-288
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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27件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 曾根原 誠
2. 発表標題 磁気光学効果を利用した電流センサの開発
3. 学会等名 第230回研究会 / 第4回磁気センサ専門研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 曾根原 誠
2. 発表標題 100MHz帯POL電源用CIP球形粉末コンポジットインダクタの試作
3. 学会等名 電気学会マグネティックス技術委員会主催ワークショップ「マグネティックスによるパワーエレクトロニクスの革新と協創」 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 曾根原 誠, 佐藤 敏郎, 宮地 幸祐
2. 発表標題 Faraday効果型光プローブ電流センサの開発
3. 学会等名 令和2年 電気学会 基礎・材料・共通(A)部門大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古屋 一輝, 寺岡 佑恭, 曽根原 誠, 佐藤 敏郎, 久保 俊哉, 宮本 光教
2. 発表標題 リング干渉方式光プローブ電流センサの広帯域ランダム振動試験による耐振性能評価
3. 学会等名 第44回日本磁気学会学術講演会 日本磁気学会学生講演賞 (桜井講演賞) を受賞
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田 柊都, 寺岡 佑恭, 古屋 一輝, 村上 拓也, 曽根原 誠, 佐藤 敏郎
2. 発表標題 光プローブ法航空機落雷検知センサを用いたCFRPにおける雷電流模擬試験の電流計測
3. 学会等名 令和02年度 電気学会東海支部主催 学生発表会 (第2回)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mitsunori Miyamoto, Toshiya Kubo, Makoto Sonehara, Toshiro Sato
2. 発表標題 Development of Optical-probe Current Sensor using Granular Film with Faraday Effect
3. 学会等名 MWE 2020 FR5Aワークショップ (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤羽 和哉, Nguyen La Hong Phuc, 曽根原 誠, 佐藤 敏郎, 宮地 幸祐
2. 発表標題 容量型TIAを用いた光プローブ電流センサ向けCMOSアナログフロントエンド回路の精度改善
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩見 晃希, 山崎 健太, 藤城 佑太, 塩田 健太, 太田 柊都, 古屋 一輝, 曾根原 誠, 宮本 光教, 久保 利哉, 佐藤 敏郎, 宮地 幸祐, 南澤 俊孝
2. 発表標題 Faraday効果型光プローブ電流センサを用いた電源回路in-situ電流測定の基礎検討と航空機用落雷検知センサへの応用
3. 学会等名 JPCA Show 2019 (第49回国際電子回路産業展)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎 健太, 塩田 健太, 岩見 晃希, 藤城 佑太, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎, 南澤 俊孝, 宮本 光教, 久保 利哉, 宮地 幸祐
2. 発表標題 Faraday効果型光プローブ磁界センシング技術を用いた航空機落雷検知センサの開発
3. 学会等名 (一社)エレクトロニクス実装学会アカデミックプラザ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Sonehara, Kenta Shiota, Kenta Yamazaki, Koki Iwami, Yuta Fujishiro, Minamisawa Toshitaka, Toshiro Sato, Mitsunori Miyamoto, Toshiya Kubo, Kosuke Miyaji
2. 発表標題 Fundamental Study of Aircraft Lightning Detection Sensor System using Optical Probe Magnetic Field Sensor with Nanogranular Film
3. 学会等名 EM-NANO 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎 健太, 太田 柊都, 岩見 晃希, 古屋 一輝, 久保 俊哉, 宮本 光教, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎
2. 発表標題 コリメータレンズをセンサヘッドに用いた高S/N比光プローブ電流センサの基礎検討
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古屋 一輝, 岩見 晃希, 太田 柊都, 山崎 健太, 久保 俊哉, 宮本 光教, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎
2. 発表標題 高い温度安定性を有するリング干渉方式光プローブ電流センサの基礎検討
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田 柊都, 山崎 健太, 岩見 晃希, 古屋 一輝, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎, 久保 俊哉, 宮本 光教
2. 発表標題 航空機落雷検知用反射型光プローブ電流センサの基礎検討
3. 学会等名 令和元年度 電気学会東海支部 学生発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古屋 一輝, 岩見 晃希, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎 (信州大学)
2. 発表標題 光プローブ電流センサの広帯域ランダム振動試験による耐振性能評価
3. 学会等名 令和2年 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takanori Kanaya, Makoto Sonehara, Toshiro Sato
2. 発表標題 Fabrication of iron-based amorphous spherical powder pressed magnetic core with low coercivity and low iron loss
3. 学会等名 IEEE Shin-etsu Section Student Branch (SSB) Online Poster Session 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 創一, 川田 奈波, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎
2. 発表標題 Fe系ナノ結晶球形粉末コンポジット磁心の作製と特性評価
3. 学会等名 日本磁気学会第45回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺岡 佑恭, 村上 拓也, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎, 須江 聡, 久保 利哉, 宮本 光教
2. 発表標題 光プローブ式電流センサの感度向上に向けた磁気ヨークセンサヘッドの検討
3. 学会等名 電気学会基礎・材料・共通(A)部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小池 航太, 金谷 孝紀, 多田 智哉, 佐藤 敏郎, 曾根原 誠
2. 発表標題 ナノ結晶合金扁平粉末積層シート磁心の低保磁力化にむけた作製工程の検討
3. 学会等名 電気学会基礎・材料・共通(A)部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nguyen La Hong Phuc, 赤羽 和哉, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎, 宮地 幸祐
2. 発表標題 光プローブ電流センサ向け容量型トランスインピーダンスアンプの広帯域化の検討
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 曾根原 誠, 宮本 光教, 久保 利哉, 佐藤 敏郎, 宮地 幸祐, 南澤 俊孝
2. 発表標題 Faraday効果型光プローブ式磁界(電流)センサ
3. 学会等名 JPCA Show 2021 (第51回国際電子回路産業展) (一社)エレクトロニクス実装学会 アカデミックプラザ10年連続継続賞を受賞
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小池 航太, 金谷 孝紀, 多田 智哉, 曾根原 誠, 南澤 俊孝, 佐藤 敏郎
2. 発表標題 Fe系ナノ結晶合金扁平粉末積層シート磁心の磁気特性とナノ結晶化熱処理温度依存性
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺岡 佑恭, 村上 拓也, 須江 聡, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎, 久保 利哉, 宮本 光教
2. 発表標題 リング干渉方式光プローブ磁界センサのダイナミックレンジ拡大に向けた磁気ヨークセンサヘッドの検討
3. 学会等名 電気学会東海支部学生発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮本 光教, 須江 聡, 久保 利哉, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎
2. 発表標題 方解石を用いたリング型干渉計による光プローブ電流センサの小型・高感度化
3. 学会等名 令和4年電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 須江 聡, 宮本 光教, 久保 利哉, 寺岡 祐恭, 村上 拓也, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎
2. 発表標題 Bi:YIGの磁区反転を利用した高感度光プローブ電流センサの開発
3. 学会等名 令和4年電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 曾根原 誠, 村上 拓也, 佐藤 敏郎, 須江 聡, 宮本 光教, 久保 利哉, 宮地 幸祐
2. 発表標題 磁気光学効果を用いた光プローブ式電流センサの開発 ~電源回路 in-situ電流測定~, ~異方性導電材の電流磁界計測~
3. 学会等名 JPCA Show 2022 (第52回国際電子回路産業展) 予定
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村上 拓也, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎, 須江 聡, 久保 利哉, 宮本 光教
2. 発表標題 高感度光プローブ式電流センサ用磁気ヨーク埋込型センサヘッドの検討
3. 学会等名 日本磁気学会第46回学術講演会 予定
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮本 光教, 久保 利哉, 須江 聡, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎
2. 発表標題 等方性Co-MgF ₂ グラニューラ膜の作製と磁気光学特性
3. 学会等名 日本磁気学会第46回学術講演会 予定
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 干渉型光磁界センサ装置	発明者 宮本 光教, 久保 利哉, 佐藤 敏郎, 曾根原 誠	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-141404	出願年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 磁界センサ素子及び磁界センサ装置	発明者 宮本 光教, 久保 利哉, 佐藤 敏郎, 曾根原 誠	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-177949	出願年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 SiO ₂ 含有被膜を備えたSi含有Fe基金粉及びその製造方法	発明者 佐藤 敏郎, 曾根原 誠, 杉村 佳奈子, 藪直希	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-156138	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

信州大学 工学部 電子情報システム工学科 先端磁気デバイス研究室 のWEBSITE http://amd1.shinshu-u.ac.jp/
--

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
研究分担者	佐藤 敏郎 (Sato Toshiro) (50283239)	信州大学・学術研究院工学系・教授 (13601)	
研究分担者	宮地 幸祐 (Miyaji Kousuke) (80635467)	信州大学・学術研究院工学系・准教授 (13601)	

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
---------	---------