

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22423

研究課題名（和文）ダイヤモンドNV中心を利用した精密電流センシングデバイスの研究

研究課題名（英文）Research on precise current sensing devices using diamond NV centers

研究代表者

村松 秀和（Muramatsu, Hidekazu）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・研究員

研究者番号：40889028

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：NV中心による磁場検出には、主に光検出磁気共鳴(ODMR)測定が行われ、ODMRは緑色光を照射したときに観測される赤色蛍光がマイクロ波を照射すると特定の周波数でその蛍光強度が小さくなる現象である。そこで、蛍光を観測するための光学系の構築と、マイクロ波を照射するためのアンテナの設計・試作を行った。作製した光学システムでは、NV中心素子の蛍光を観測することに成功している。マイクロ波アンテナは、所望の周波数のマイクロ波が出力されるよう調整を行った。加えて、NV中心を搭載可能な電流比較器を作製するために磁性体コアの設計・試作を行った。これにより、NV中心を搭載した電流比較器を試作する準備が整った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年導入が進んでいる分散型電源の出力は、直流から高周波までの広い周波数範囲にわたっており、この広帯域な電力出力を評価するためには広帯域に計測可能な電流計測技術が必要となる。しかし、巻線やホール素子といった磁場センサを搭載した既存の電流比較器では、分散型電源の出力を単一のデバイスで評価するには不十分である。そこで、直流から数MHzまでの広い周波数範囲にわたって高感度に磁場を検出できるNV中心を利用した電流比較器の開発は、単一デバイスで広帯域電流の高精度計測が可能となることが期待されるため、普及しつつある分散型電源の出力を評価するうえで有意義な研究である。

研究成果の概要（英文）：Detecting magnetic field with NV centers is mainly performed by optically detected magnetic resonance (ODMR) measurement. In ODMR, the intensity of red fluorescence obtained when irradiated NV centers with green laser is reduced by irradiating with microwaves with resonance frequencies. I constructed an optical system for ODMR measurement and designed and manufactured antennas which irradiate NV centers with microwave. The optical system has succeeded in observing the fluorescence of NV centers. The microwave antennas were tuned to output microwave of the desired frequency. In addition, I designed and prototyped magnetic cores to construct a current comparator that can mount a sensor by NV centers. Therefore, I am ready to prototype a current comparator equipped with a sensor by NV centers.

研究分野：計測工学

キーワード：ダイヤモンド窒素-空孔中心 共焦点顕微鏡 電流比較器

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

分散型電源は、太陽光発電や風力発電といった様々な発電方式があり得るため、その出力は発電方式ごとに周波数が異なっている。したがって、電力品質を確保するためには様々な周波数で供給される電力を精密に評価することが求められる。この電力評価に欠かすことのできない電流計測において最も高精度な測定方法として電流比較器が挙げられ、電流比較器の性能は電流が生成する磁場を検出する機構の性能に左右される。磁場検出機構に用いられるセンサとしては巻線やホール素子などがあるが、分散型電源の広帯域な出力を高精度に測定する単一デバイスは存在しなかった。ダイヤモンド中の格子欠陥である窒素-空孔中心(NV 中心)は、高感度な量子磁場センサとして注目されており、広範な周波数範囲での計測も可能であることから、広帯域な電流計測に有用であると考えられる。

2. 研究の目的

精密電流計測装置である電流比較器は、被測定電流を流した巻線と基準電流を流した巻線のそれぞれが生成する磁場を磁性体コア中で対向させ、打ち消し合うよう設計されている。打ち消し合ってなおコア中に残っている磁場(残留磁束)は磁場センサによって検出され、補償機構で残留磁束が零となるよう調整し、被測定電流と基準電流の平衡点を高精度に検出することで電流計測の高精度化を実現している。したがって、電流比較器の性能は磁場センサの感度や周波数帯域に依存している。一般に、磁場センサに用いられる巻線やホール素子はその周波数帯域や感度から単一デバイスで広帯域な分散型電源の出力電力を精密に評価するには不十分である。NV 中心は直流から数 MHz の広い周波数範囲で磁場センサとして利用可能であり、その磁場感度は、室温下であっても、超伝導量子干渉計に匹敵すると期待されている。そこで、NV 中心を磁場センサとして組み込んだ電流比較器を開発し、精密な電流計測が可能な周波数範囲がどの程度であるかについて測定を行うとともに、電流計測の高精度化の可能性についても検証する。

3. 研究の方法

本研究では、以下の手順で研究を進める。

まず、NV 中心による磁場検出手法を開発する。NV 中心による磁場検出には、主に光検出磁気共鳴(ODMR)測定が行われる。ODMR は、NV 中心に緑色レーザーを照射すると赤色蛍光を発生し、その赤色蛍光の強度が特定の周波数のマイクロ波を照射することで変化する現象である。こうして得られる蛍光スペクトルは、磁場強度に比例した幅で分裂するため、磁場検出が可能である。本研究では、ODMR 測定を実施するために共焦点顕微鏡を作製する。

続いて、NV 中心の ODMR 測定を実施する。ODMR 測定を実施するためには、共焦点顕微鏡に加え、マイクロ波を NV 中心に照射するためのアンテナが必要となる。そこで、磁気共鳴に適切な周波数を放射するアンテナの設計と試作を行い、ODMR による蛍光スペクトルの観測を行う。

ODMR による蛍光スペクトルを取得したら、NV 中心をセンサとして搭載した電流比較器の作製を行う。はじめは、残留磁束を零とするための補償機構は持たない簡易的な電流比較器を試作し、一次巻線と二次巻線にはそれぞれ電流値が既知で高精度に出力が可能な基準電流源を用いる。これにより、一方の電流値を変化させることで NV 中心の蛍光スペクトルのふるまいを観測することができると考えられる。

補償機構のない電流比較器により、NV 中心による残留磁束が検出可能であることを確認したら、補償機構を加えた電流比較器を作製する。補償機構のある電流比較器では、一次巻線には被測定電流源、二次巻線には基準電流源を接続し、いずれの電流値も固定する。残留磁束を零にする操作は補償機構によって行う。残留磁束が零になったかどうかは、NV 中心の蛍光スペクトルが分裂していないかどうかで判定する。NV 中心の蛍光スペクトルは、磁場強度に比例した幅で分裂するが、電流比較器においては分裂しないことを確認するため分裂幅の比例定数を知る必要がなく、比例定数が伴う不確かさを考慮しなくてよい。このことは、高精度測定を実現するうえでメリットとなると考えられる。

最終的には、作製した電流比較器は磁気シールドなどによって余計な磁場の影響を排除し、光学系も光ファイバを利用するなどして堅牢性を高めることを検討する。また、磁場検出感度もパルス ODMR などにより向上させることを検討する。

4. 研究成果

本研究では、以下の項目について実施した。

- (1) ODMR 測定のための光学系の作製
- (2) マイクロ波アンテナの設計・試作および ODMR 測定の実施
- (3) NV 中心センサを搭載した電流比較器のための磁性体コアの設計・試作

- (1) ODMR 測定のための光学系の作製

本研究では、共焦点顕微鏡による ODMR 測定を行うことを目指しているため、共焦点顕微

鏡の光学系を設計し、作製した。作製した共焦点顕微鏡は、ガルバノミラーシステムにより励起光の光軸に垂直な xy 平面上を走査可能であり、試料ステージは z 軸方向に調整可能であるので、三軸の調整が可能なものを作製した。作製した顕微鏡は、緑色レーザーで励起することで様々な蛍光を発する蛍光試料を観測することで調整を行った。調整後、応募者の所属する研究機関の研究者から提供を受けた NV 中心素子の観測を行い、その蛍光を観測することに成功した。

(2) マイクロ波アンテナの設計・試作および ODMR 測定の実施

ODMR を実施するにあたって、まずマイクロ波アンテナを作製した。作製したアンテナはネットワークアナライザ等を用いて、NV 中心の磁気共鳴に一致した周波数のマイクロ波（約 2.8 GHz）が放射されるよう微調整を施した。(1)で作製した共焦点顕微鏡とマイクロ波アンテナを用いて NV 中心の ODMR を実施した。マイクロ波の周波数を変化させながら蛍光強度の観測を行ったところ、マイクロ波の周波数が 2.8 GHz 付近で線幅約 10 MHz の共鳴ピークを観測することに成功した。

(3) NV 中心センサを搭載した電流比較器のための磁性体コアの設計・試作

NV 中心を磁場センサとして電流比較に搭載するには、トロイダル状のコアにギャップを作る必要がある。そこで、いくつかの形状のコアを設計・試作した。材質には、高透磁率材料であるパーマロイを使用した。

以上の成果を踏まえ、NV 中心を磁場センサとして搭載した電流比較器の試作を行う予定である。

「3. 研究の方法」で述べた手順に従い、NV 中心センサを搭載した電流比較器を開発し、各周波数帯域で既存の電流計測技術との比較を行い、作製した電流比較器の評価を行っていく。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------