

Title	ダイヤモンドNVセンターを用いた多周波数制御複合量子センサの開発
Sub Title	Multiple quantum sensor using NV centers in diamond controlled by multi-frequency microwaves
Author	早瀬, 潤子(Hayase, Junko)
Publisher	福澤基金運営委員会
Publication year	2022
Jtitle	福澤諭吉記念慶應義塾学事振興基金事業報告集 (2021.)
JaLC DOI	
Abstract	<p>ダイヤモンド中空素空孔中心(Nitrogen-Vacancy center; NVセンター)中に局在する電子スピンは、室温大気圧下で様々な物理量を高感度かつ高空間分解能で測定する量子センサとして注目を集めている。NVセンターを用いてセンシング可能な物理量はベクトル磁場、ベクトル電場、温度等多岐にわたる。しかしながらNVセンターを用いたこれらの物理量のセンシングは、それぞれ独立に研究が行われており複数の物理量を複合センシングする試みはあまり行われてこなかった。その理由として、測定対象となる物理量によって高感度化に必要なサンプルの条件が異なるためである。近年磁場と温度の複合センシングの研究が進められているが、先行研究ではスカラー磁場と温度の複合測定にとどまっている。そんな中、我々の研究室では複数の周波数のマイクロ波を同時に照射する多周波マイクロ波制御の手法によってサンプルに存在する複数の配向軸(量子化軸)のNVセンターを同時に制御しセンシングする技術を開発した。この技術を用いることでベクトル交流磁場の高感度なセンシングを実験的に実証した。この手法は磁場センシングに限らず、温度測定を含む他のセンシングに適用可能であることが期待される。</p> <p>本研究ではNVセンターを用いた温度センシングにおいて、多周波マイクロ波制御法を適用することで、従来法に比較して高感度な温度センシングが可能であることを実験的・理論的に示し、同手法がベクトル磁場と温度の高感度複合センシングに有用であると示した。多周波制御の手法を用いることで、NVセンター集合体に存在する異なる配向軸のNVセンターを同時に制御、測定することで、単一周波制御に比べ信号を増強し、温度感度を1.8倍、ベクトル磁場感度を2.7倍以上向上させることができた。この結果は、我々の開発した多周波制御法を用いることで、同一のサンプルかつ同一のセットアップを用いて、ベクトル磁場と温度の両方を高感度にセンシング可能であることを示している。</p> <p>Electron spins of nitrogen-vacancy centers (NV centers) in diamond have attracted much attention as quantum sensors to measure various physical quantities with high sensitivity and spatial resolution at room temperature. The measurable field using NV centers includes magnetic field, vector electric field, temperature, and so on. However, the sensing of these physical quantities using NV centers has been studied independently, and there have been few attempts to combine sensing of multiple physical quantities. The reason is that the sample conditions required for high sensitivity differ depending on the physical quantity to be measured. In recent years, multiple sensing of magnetic field and temperature has been studied, but previous studies have been limited to combined measurement of scalar magnetic field and temperature. In recent years, our laboratory has developed a multi-frequency technique to simultaneously control and sense the NV centers of various orientation axes (quantization axes) in a sample by using multi-frequency microwaves. By using this technique, we have experimentally demonstrated highly sensitive sensing of vector AC magnetic fields. This technique is expected to be applicable not only to magnetic field sensing but also to other sensing applications including temperature measurement. In this study, we experimentally and theoretically demonstrated that the multi-frequency microwave control method can be applied to temperature sensing using NV centers with higher sensitivity than the conventional method and showed that the method is useful for high-sensitivity multiple sensing of vector magnetic fields and temperature. By using the multi-frequency control method, the NV centers with different orientations can be controlled and measured simultaneously, which enables us to enhance the signal and improve the temperature sensitivity by a factor of 1.8 and the vector magnetic field sensitivity by a factor of 2.7 compared to the single-frequency control method. This result indicates that the multi-frequency control method can be used to sense both vector magnetic field and temperature with high sensitivity using the same sample and the same setup.</p>
Notes	申請種類：福澤基金研究補助
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO12003001-20210002-0021

研究代表者	所属	理工学部	職名	准教授	補助額	1,500 千円
	氏名	早瀬 潤子	氏名 (英語)	Junko Hayase		
研究課題 (日本語)						
ダイヤモンド NV センターを用いた多周波数制御複合量子センサの開発						
研究課題 (英訳)						
Multiple quantum sensor using NV centers in diamond controlled by multi-frequency microwaves						
研究組織						
氏 名 Name		所属・学科・職名 Affiliation, department, and position				
早瀬潤子 (Junko Ishi-Hayase)		理工学部・物理情報工学科・准教授				
1. 研究成果実績の概要						
<p>ダイヤモンド中空素空孔中心(Nitrogen-Vacancy center; NV センター)中に局在する電子スピンは、室温大気圧下で様々な物理量を高感度かつ高空間分解能で測定する量子センサとして注目を集めている。NV センターを用いてセンシング可能な物理量はベクトル磁場、ベクトル電場、温度等多岐にわたる。しかしながら NV センターを用いたこれらの物理量のセンシングは、それぞれ独立に研究が行われており複数の物理量を複合センシングする試みはあまり行われてこなかった。その理由として、測定対象となる物理量によって高感度化に必要なサンプルの条件が異なるためである。近年磁場と温度の複合センシングの研究が進められているが、先行研究ではスカラー磁場と温度の複合測定にとどまっている。そんな中、我々の研究室では複数の周波数のマイクロ波を同時に照射する多周波マイクロ波制御の手法によってサンプルに存在する複数の配向軸(量子化軸)の NV センターを同時に制御しセンシングする技術を開発した。この技術を用いることでベクトル交流磁場の高感度なセンシングを実験的に実証した。この手法は磁場センシングに限らず、温度測定を含む他のセンシングに適用可能であることが期待される。</p> <p>本研究では NV センターを用いた温度センシングにおいて、多周波マイクロ波制御法を適用することで、従来法に比較して高感度な温度センシングが可能であることを実験的・理論的に示し、同手法がベクトル磁場と温度の高感度複合センシングに有用であると示した。多周波制御の手法を用いることで、NV センター集合体に存在する異なる配向軸の NV センターを同時に制御、測定することで、単一周波制御に比べ信号を増強し、温度感度を 1.8 倍、ベクトル磁場感度を 2.7 倍以上向上させることができた。この結果は、我々の開発した多周波制御法を用いることで、同一のサンプルかつ同一のセットアップを用いて、ベクトル磁場と温度の両方を高感度にセンシング可能であることを示している。</p>						
2. 研究成果実績の概要 (英訳)						
<p>Electron spins of nitrogen-vacancy centers (NV centers) in diamond have attracted much attention as quantum sensors to measure various physical quantities with high sensitivity and spatial resolution at room temperature. The measurable field using NV centers includes magnetic field, vector electric field, temperature, and so on. However, the sensing of these physical quantities using NV centers has been studied independently, and there have been few attempts to combine sensing of multiple physical quantities. The reason is that the sample conditions required for high sensitivity differ depending on the physical quantity to be measured. In recent years, multiple sensing of magnetic field and temperature has been studied, but previous studies have been limited to combined measurement of scalar magnetic field and temperature. In recent years, our laboratory has developed a multi-frequency technique to simultaneously control and sense the NV centers of various orientation axes (quantization axes) in a sample by using multi-frequency microwaves. By using this technique, we have experimentally demonstrated highly sensitive sensing of vector AC magnetic fields. This technique is expected to be applicable not only to magnetic field sensing but also to other sensing applications including temperature measurement.</p> <p>In this study, we experimentally and theoretically demonstrated that the multi-frequency microwave control method can be applied to temperature sensing using NV centers with higher sensitivity than the conventional method and showed that the method is useful for high-sensitivity multiple sensing of vector magnetic fields and temperature. By using the multi-frequency control method, the NV centers with different orientations can be controlled and measured simultaneously, which enables us to enhance the signal and improve the temperature sensitivity by a factor of 1.8 and the vector magnetic field sensitivity by a factor of 2.7 compared to the single-frequency control method. This result indicates that the multi-frequency control method can be used to sense both vector magnetic field and temperature with high sensitivity using the same sample and the same setup.</p>						
3. 本研究課題に関する発表						
発表者氏名 (著者・講演者)	発表課題名 (著書名・演題)	発表学術誌名 (著書発行所・講演学会)	学術誌発行年月 (著書発行年月・講演年月)			
H. Tabuchi, Y. Matsuzaki, N. Furuya, Y. Nakano, H. Watanabe, N. Tokuda, N. Mizuochi, and J. Ishi-Hayase	Continuous-Wave Temperature Sensing using RF-Dressed States of Nitrogen-Vacancy Centers in Diamond	The 4th International Forum on Quantum Metrology and Sensing	2021 年 12 月 8 日			
田淵 響, 古谷 登, 松崎 雄一郎, 渡邊 幸志, 水落 憲和, 早瀬 潤子	RF-Dressed 状態によるダイヤモンド中 NV 中心を用いた温度センサの高感度化	第 82 回応用物理学会秋季学術講演会	2021 年 9 月 12 日			
中橋 克弥, 松崎 雄一郎, 林 寛, 水落 憲, 早瀬 潤子	ダイヤモンド中 NV 中心の電子スピン多周波マイクロ波制御による温度と磁場の複合センシング	第 82 回応用物理学会秋季学術講演会	2021 年 9 月 12 日			

Katsuya Nakahashi, Yuichiro Matsuzaki, Norikazu Mizuochi, Kan Hayashi, Junko Ishi-Hayase	Temperature sensing by simultaneous control of electronic spins of nitrogen-vacancy centers in diamond using multi-frequency microwaves	32nd International Conference on Diamond and Carbon Materials	2021 年 9 月 8 日
Yohei Oikawa, Ryohei Chiji, Masatsugu Nagai, Yuta Nakano, Norio Tokuda, Junko Ishi-Hayase	Preferentially-oriented nitrogen-vacancy center on (100) diamond substrate with {111}-facet inverted pyramid structure	32nd International Conference on Diamond and Carbon Materials	2021 年 9 月 7 日