


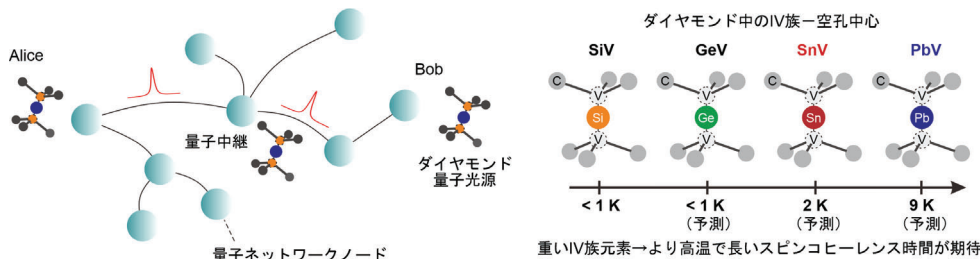
ダイヤモンド中のIV族-空孔中心の電荷制御と量子ネットワークデバイスの創製

	研究代表者	東京工業大学・工学院・准教授 岩崎 孝之（いわさき たかゆき）	研究者番号:80454031
	研究課題 情報	課題番号：22H04962 キーワード：ダイヤモンド量子光源、IV族-空孔中心、量子ネットワーク、電荷制御	研究期間：2022年度～2026年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

● 研究の全体像

量子ネットワークは、量子情報を伝搬することで盗聴ができない安全な通信を可能とするネットワークとして注目されている。量子ネットワークは情報の送受信者や中継器などの量子ネットワークノードからなる。量子ネットワークの実現には、量子ネットワークノードを構成する優れた光・スピン特性を有する量子光源が必要である。固体物質中に形成され、高効率な光学遷移および電子スピンを有する欠陥がこのような量子光源の候補として期待される。光・スピン特性の両者を満たす候補として、ダイヤモンド中のIV族元素を用いた量子光源<sup>1</sup>が世界で注目されている。ダイヤモンドは最も軽いIV族元素である炭素からなる結晶であり、5.5 eVと大きなバンドギャップを有するワイドギャップ半導体である。ダイヤモンド中に導入された不純物は、周りの空孔と複合欠陥となり、エネルギー準位を形成することで量子光源として機能する。その中でも、窒素と空孔からなる窒素-空孔（NV）中心は最も良く研究されている量子光源であるが、全体の発光に対して量子ネットワークに用いるゼロフォノン線の割合が4%程度と低いという課題がある。これに対し、IV族元素からなる量子光源は大きなゼロフォノン線の割合を有している。シリコン-空孔（SiV）中心とゲルマニウム-空孔（GeV）中心のゼロフォノン線割合は大きい、長いスピコヒーレンス時間を得るためには希釈冷凍機を用いたミレKelvin温度への冷却が必要である。一方、重いIV族元素を用いたスズ-空孔（SnV）および鉛-空孔（PbV）中心は、大きな基底状態分裂のためにフォンの影響を抑制でき、ケルビン温度にて長いスピコヒーレンス時間が期待されている<sup>2,3</sup>。本研究は、量子ネットワーク応用へ向け、重いIV族元素を用いたダイヤモンド量子光源であるSnVおよびPbV中心の研究を推進するものである。



本研究：SnVおよびPbV中心の研究を推進

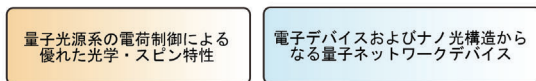


図1 量子ネットワークとダイヤモンド中のIV族-空孔中心

量子ネットワーク応用へは、理論限界に迫る発光線幅や発光波長が時間的に揺らぐスペクトル拡散が発生しないなどの優れた光学特性が必要であり、さらに長いスピコヒーレンス時間が求められる。これらの特性を全て満たすためには、光・スピン特性を支配する量子光源系の電荷状態の理解および制御が必要不可欠である。さらに、その知見をもとに量子ネットワークデバイスを構築する必要がある。本研究の目的は、ダイヤモンド中のSnV、PbV中心系に有効な電荷制御技術をメカニズムの理解を通して開発し、その量子光源を用いた量子ネットワークデバイスを創製することである。

量子光源の特性は量子光源自身の電荷状態および周りの電荷状態に強く依存する。量子光源の光励起には、量子光源のエネルギー準位と正確に一致するレーザーを照射する共鳴励起を用いる。しかしながら、その過程で量子光源の電荷状態の変化が起こる。また、量子光源の周りのダイヤモンドの格子・表面欠陥の電荷により、発光波長が時間に変化するスペクトル拡散も発生する。さらに、スピン特性は欠陥や不純物の磁気ノイズに影響を受けるため、それらの制御が長いスピコヒーレンス時間を得るためには重要である。本研究では、SnV、PbV中心の電荷制御を実験および理論的見地から行う。

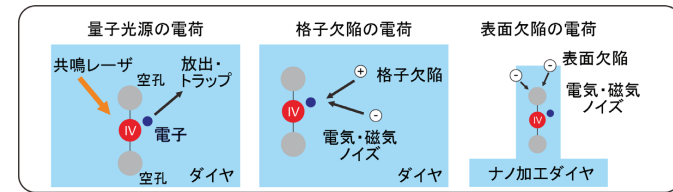


図2 量子光源系の電荷

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

本研究では、ダイヤモンド量子光源の電荷制御技術の開発を行い、量子光源を用いた量子ネットワークデバイスの創製に向けて研究を推進する。

● 量子光源系の電荷制御技術

共鳴励起におけるSnV、PbV中心の電荷遷移のメカニズムの理解とその制御を行う。共鳴レーザー（SnVは619 nm、PbVは550 nm）および非共鳴レーザーの照射による電荷状態遷移の詳細なメカニズムを明らかにする。タイミングを制御した2つのレーザーを同一の量子光源に照射することで電荷遷移過程を研究する。理論的にはレーザー照射での過渡的応答を時間依存密度汎関数理論に基づく第一原理計算で解析する。さらに、量子光源を内包するダイヤモンドの格子・表面欠陥の形成および電荷を制御する。格子欠陥の形成自体の抑制として、高温高圧アニールによる高品質化技術を開発させ、共鳴励起によって光学特性の安定性を評価する。

● 量子光源のスピン特性評価

格子・表面欠陥は磁気ノイズを発生することでスピン状態を乱す。電荷制御を行った光源系内に発生する磁気ノイズと量子光源のスピン特性を明らかにする。スピン状態をパルス列（ダイナミカルディカップリング）により制御することで評価し、SnV、PbV中心において長いスピコヒーレンス時間の実現を目指す。PbVではより高い温度において優れたスピン特性が期待でき、その物理的限界の解明を含めて計測を実施する。

● 量子ネットワークデバイスと量子干渉計測

ダイヤモンドデバイスを発展させることで、ダイヤモンドからの光取出し効率を向上させる構造を有した量子ネットワークデバイスを作製する。量子ネットワークでは、離れた位置にある量子光源が同一の発光波長および線幅を有する同質な光子を生成する必要がある。作製したデバイスから同質な光子を生成可能であることを、量子干渉を用いて計測する。

● 期待される波及効果

本研究において創製する量子ネットワークデバイスは、長距離量子ネットワーク形成へ向けた量子もつれ生成や量子中継器の形成へ発展するものである。さらに、本研究で開発する量子光源系の電荷制御技術は、他の固体量子光源系へも有用であり、量子科学技術の発展をさらに加速するものと期待される。量子情報技術に加え、NV中心の量子センサとしての性能も電荷状態およびダイヤモンド格子・表面欠陥に影響を受けるため、本研究は異なる発光中心からの新たな知見を提供することで、量子センサ分野の発展にも貢献するものである。

ホームページ

参考文献

1. T. Iwasaki, Semiconductors and Semimetals 103, 237, 2020.
2. T. Iwasaki, Y. Miyamoto, T. Taniguchi, P. Siyushev, M. H. Metsch, F. Jelezko, M. Hatano, Phys. Rev. Lett. 119, 253601, 2017.
3. P. Wang, T. Taniguchi, Y. Miyamoto, M. Hatano, T. Iwasaki, ACS Photonics 8, 2947, 2021.

ホームページ: <http://dia.pe.titech.ac.jp/>