

調整可能な光による完璧な量子ビット探索の高速化

OPO テクノロジーに基づく広範囲に調整可能な連続波レーザーにより、さまざまな量子ビット候補の内部エネルギー構造の特性評価がより迅速かつ簡単になります。



幻想的な光: 単一光子エミッターの特性を測定する実験では、広い周波数範囲にわたって簡単に調整できる連続波光源が必要になることがよくあります。(提供: Holger Kock、フラウンホーファー物理測定技術研究所、IPM)

物理学者は依然として完璧な量子ビット、つまり環境の影響を受けずに正確に測定および制御できる 2 レベルの量子システムを探しています。最も有望な候補の 1 つは、色中心とも呼ばれる固体材料の欠陥中心であり、特定の周波数のレーザー光で励起されると、励起イベントごとに単一の光子を放出することがわかっています。

初期の注目のほとんどは、室温で単一光子放出を提供するダイヤモンドの窒素空孔中心に集中していましたが、その非対称な電荷分布により電場の局所的な変動に敏感になるため、すべての用途に理想的ではありません。

したがって研究者らは、シリコンやゲルマニウムの空孔を含むダイヤモンドのさまざまな色中心の特性や、2D 六方晶窒化ホウ素 (hBN) などの他の材料系を研究しています。しかし、これらの繊細な量子システムのエネルギー準位を計画するのは難しく、時間がかかる場合があります。

重要な技術の 1 つはフォトルミネセンス励起 (PLE) 分光法です。これは、単一光子エミッターが連続波 (CW) レーザー光によって励起されたときに生成される微小な光信号を測定します。

広い周波数範囲

「研究者は通常、広い周波数範囲にわたってサンプルからの応答を測定したいと考えています」と、HÜBNER Photonics 社の化学物理学者 Jaroslaw Sperling 氏は説明します。「非常に明確に定義された周波数の光を生成し、広範囲の周波数にわたって簡単に調整できる光源が必要です。」

メーカーについて

HÜBNER Photonics 社

HÜBNER Photonics 社は、品質、信頼性、堅牢性に関する市場の期待を満たす、またはそれを超える高性能で革新的なレーザーを供給することに尽力しています。HÜBNER Photonics 社は、高性能 Cobolt レーザー、CW チューナブルレーザー C-WAVE、および C-FLEX レーザーコンバイナーの全製品を提供しています。継続的な技術開発、顧客志向、ISO 認定の品質管理システムを通じて、HÜBNER Photonics 社は、蛍光顕微鏡、フローサイトメトリー、ラマン分光法、計測学、ホログラフィー、ナノフォトニクス、量子研究の分野における最先端のアプリケーション向けに、大手機器メーカーや大手研究機関にレーザーを供給する好ましいサプライヤーとなっています。HÜBNER Photonics 社はドイツのカッセルとスウェーデンのストックホルムに製造拠点をもち、米国と英国に直接販売およびサービスオフィスを置いています。

www.hubner-photonics.com

HÜBNER Photonics 社製 C-WAVE は、必要な狭い線幅と幅広い調整性、および同等の調整可能レーザーよりも高いスペクトル純度を兼ね備えています。

しかし、ここ数年、設計技術が改良され、ポンプレーザーと位相整合できる周期分極反転ニオブ酸リチウムなど、より洗練され、より効率的な非線形材料が生み出されてきました。新世代の連続波レーザーは、周波数スペクトル全体でより高いポンプパワーも提供し、数百ミリワットのパワーレベルで狭線幅出力を提供するターンキーシステムで広範囲に調整可能な CW OPO を製造することを初めて可能にします。[1]。

大きなメリット

従来の CW 波長可変レーザーと比較した OPO テクノロジーの大きな利点の 1 つは、出力波長の制御がより便利になることです。「原理的には、慎重に選択され、適切に操作された非線形結晶を使用して、可視範囲内のほぼすべての色を生成できるため、目的の波長を達成するためにレーザー発振媒体やレーザーキャビティ光学系を変更する必要はありません」と Sperling 氏は説明します。

OPO テクノロジーにより、同じ実験設定でさまざまなサンプルのスペクトルを測定することも容易になります。「ビームの位置と方向は常に同じままなので、光学コンポーネントを変更したり再調整したりする必要はありません」と、HÜBNER Photonics 社のレーザー物理学者で量子アプリケーションを専門とする Niklas Waasem 氏は述べ「対照的に、他の波長可変レーザーでは通常、波長が大きく変化した後、ビーム経路の再調整が必要になるか、レーザー内の異なる光学系さえも必要になります。OPO を使用すると、研究者はコンピューターから全周波数範囲をスキャンできるため、同じサンプル内の異なる色中心や、異なるサンプルや材料システムの特性をより迅速に評価できるようになります。」

HÜBNER Photonics 社製 C-WAVE などの最新の商用システムは、この

幅広い調整機能と、特定のスペクトル共鳴を解決するために必要な狭い線幅を組み合わせています。また、OPO は同等の波長可変レーザーよりも高いスペクトル純度を提供します。これにより、原子スケールの欠陥によって生成される弱い光信号が、レーザーが不要な波長で生成する可能性がある増幅された自然発光によって隠蔽されなくなります。「OPO のスペクトル純度は、PLE 実験にとって大きな利点です」と Waasem 氏はいいます。

量子研究者は、さまざまな単一光子エミッターの可能性を評価するための連続波 OPO の利点をすぐに認識してきました。たとえば、米国、ドイツ、中国、シンガポール、日本の科学者は、C-WAVE プラットフォームを利用して、ダイヤモンドのシリコン、ゲルマニウム、錫の空孔中心からのフォトルミネッセンス スペクトルを測定しましたが、いずれも窒素欠陥としての電場に対する感度が同じではありませんでした。

何が次に起きるか？

強度変調は次のステップへ

広範囲に調整可能なレーザー光源を使用したフォトルミネッセンス分光法を使用して色中心の集団(アンサンブル)を特徴付けると、研究者は多くの場合、特定の周波数での最も有望な候補のダイナミクスを調べるために他の光学技術に目を向けます。これらの実験では通常、単一の明確に定義された波長で動作する光源が必要であり、これにより光の強度を非常に迅速に変化させることもできます。

最近まで、最も一般的なアプローチは、レーザーと音響光学変調器を組み合わせることでした。しかし現在では、変調ダイオードレーザーでも同じ性能を達成できるため、セットアップがよりコンパクトで堅牢になり、位置合わせが容易になります。「HÜBNER Photonics の変調ダイオードレーザーは、高速変調機能、高いオン/オフ消光比、高レベルのスペクトル純度、優れたガウシアンビームプロファイルを備えているため、スピン状態の初期化と読み出しに人気があります」と Waasem 氏はコメントしています。

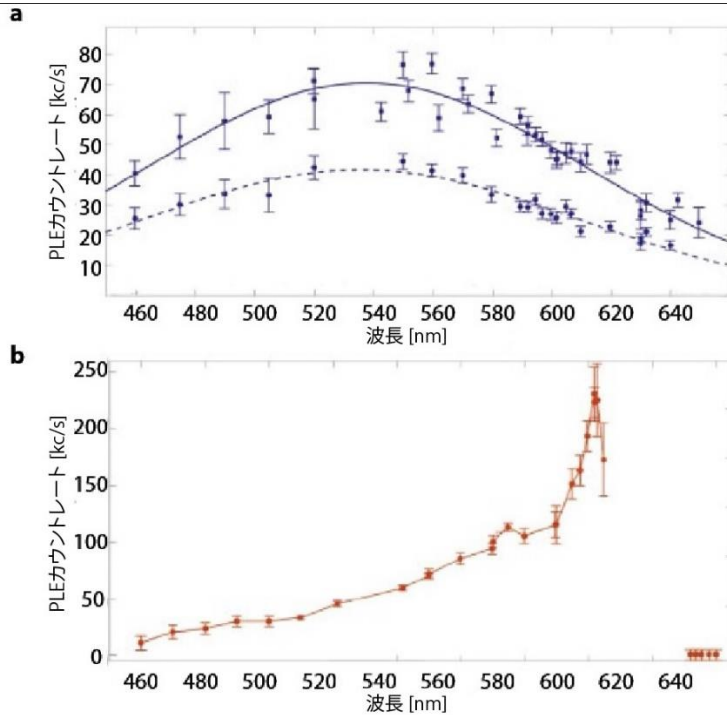


ゲルマニウム空孔中心の集合体に対して行われた室温実験では、可視周波数範囲にわたる幅広い掃引により、602nm 付近に PLE スペクトルの強いピークが明らかになりました [2]。5K でのより詳細な実験では、この特定の単一光子エミッターの励起ダイナミクスが調査され、オン/オフスイッチとして効果的に機能する別のレーザーによって空孔中心も励起された場合にのみ共鳴蛍光が見られることが示されました [3]。

C-WAVE システムは、ドイツの研究者によって、hBN の個々の欠陥中心を研究するためにも使用されています。hBN は、可視スペクトル全体にわたる広範囲の遷移エネルギーを持つため、



Cobolt 06 MLD
レーザー



2つの励起パワーで記録されたSi-V中心の集合体のフォトルミネッセンス励起スペクトル(上)。両方のスペクトルは室温で、励起波長を460nmから650nmに調整して記録されます(a)。Ge-Vのアンサンブルのフォトルミネッセンス励起スペクトル。スペクトルは、励起波長を450nmから640nmに調整して室温で記録されます[2](b)。

特徴付けるのが困難です[4]。50を超える異なる励起周波数でフォトルミネッセンス強度を測定すると、発光に対するフォノン結合の影響が明らかになり、この2D材料で最も効率的な単一光子エミッターを特定するための手がかりが得られました。このような初期の成功は、連続波OPOがさまざまな量子システムの特性を評価するための一般的な選択肢になることを示唆しています。「OPOコンセプトはさまざまな調整範囲にわたって使用できるため、新しい実験要件に継続的に適応できるようになります」とSperling氏は言います。「全体として、私たちは連続波OPO技術が成熟して、急速に進化する量子研究分野を前進させるレーザー光源の選択肢として認識されるようになって期待しています。」

*

この記事は、Hübner Photonicsに代わってPhysics Worldによって書かれました。

- [3] D. Chen et al.: Optical gating of resonance fluorescence from a single germanium vacancy color center in diamond, *Phys. Rev. Lett.* **123** (2019) 3, 033602
- [4] D. Wigger et al.: Phonon-assisted emission and absorption of individual color centers in hexagonal boron nitride, *2D Mat.* **6** (2019) 3, 035006

Contact: Dr Elizabeth Illy
Director of Marketing

Hübner Photonics

phone: +46 8 545 912 30 fax:
+46 8 545 912 31

e-mail: marketing@cobolttasers.com Web:
www.hubner-photonics.com

- [1] J. Sperling and K. Hens: Made easy: CW laser light widely tunable across the visible, *Optik & Photonik* **13** (2018) 3, 22-24; DOI: 10.1002/opph.201800022
- [2] S. Häußler et al.: Photoluminescence excitation spectroscopy of SiV- and GeV- color center in diamond, *New J. Phys.* **19** (2017) 6, 063036