

O₂/Ar 混合プラズマによる垂直エッチングと、ファラデーケージを用いた角度付きエッチングを組み合わせることで、ダイヤモンド基板を直接中空化し、1DPhC 共振器を形成した。

SEM 観察の結果、周期的な空孔とビーム下部の中空構造が明瞭に確認され、設計に基づく 1DPhC 形成に成功した。さらに、反転転写プリント法により、作製した共振器をステージ基板上へエアブリッジ集積した。これにより、基板からのバックグラウンド光を低減しつつ、導波路や検出器との将来的なチップ集積へ接続可能な実装基盤を確立した 4),5)。

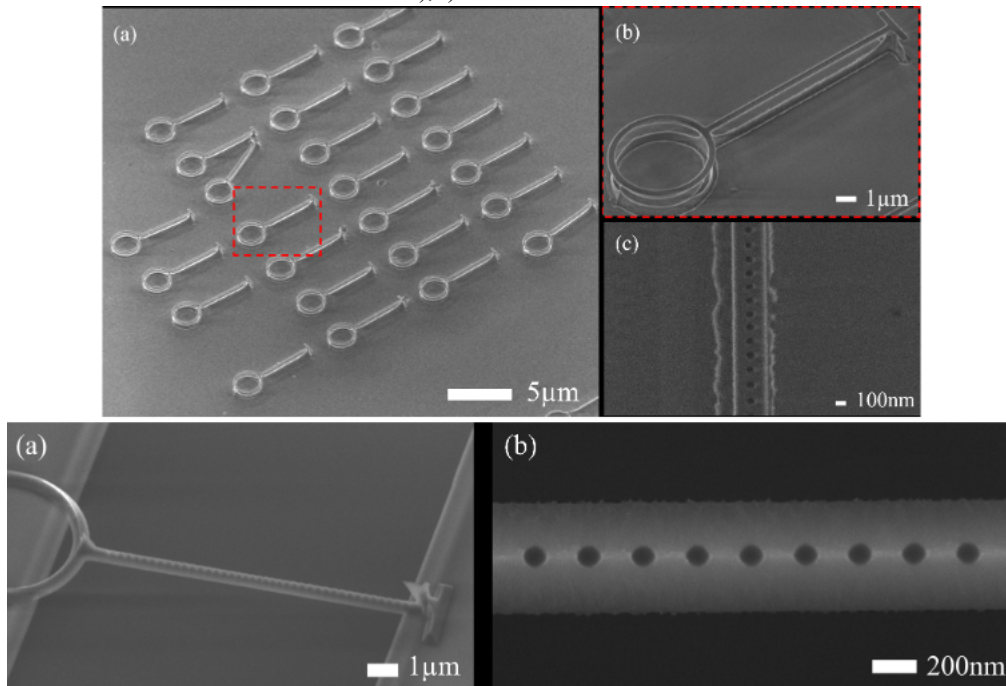


図 2 高密度 NV ダイヤモンド基板上に作製した 1DPhC 共振器(上)とステージ基板上へ集積したエアブリッジ構造(下)

4. 光学評価と量子センシング実証

作製した共振器の光学特性を、532 nm CW レーザ励起によるフォトルミネッセンス (PL) 測定で評価した。NV のフォノンサイドバンド領域に鋭い共振ピークが現れ、Lorentz フィッティングから、基本モードは $\lambda = 650.6$ nm、 $Q = 5,628$ 、第 2 モードは $\lambda = 677.8$ nm、 $Q = 2,569$ と見積もられた。設計値とのずれは加工寸法の誤差や表面粗さに起因すると考えられるが、微細加工後も NV 発光帯において強い光閉じ込めが実現できることを確認した。

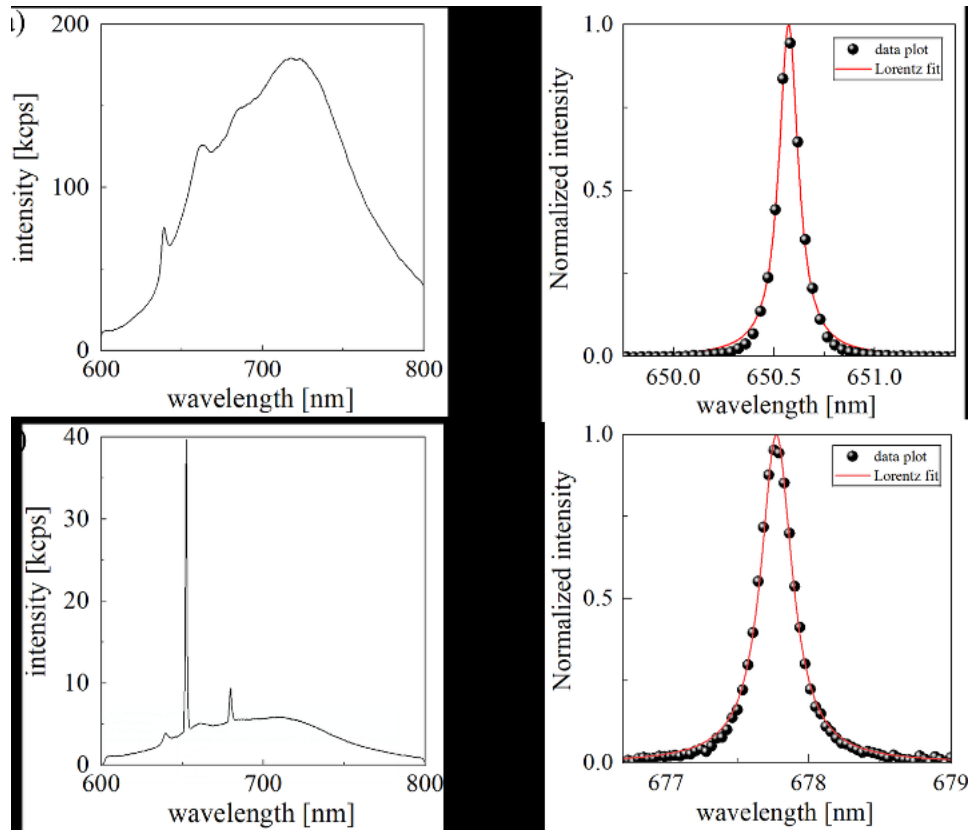


図3 作製した 1DPhC 共振器から得られた PL スペクトルと共振ピークの Lorentz フィッティング

続いて、静磁場印加下で CW-ODMR 測定を行ったところ、4 本の NV 軸に対応する 8 本のディップが観測され、共振器中の NV センターによる磁気検出を実証した。最大分裂幅から見積もった磁場は約 4.13 mT であり、平均線幅は 7.07 MHz であった。これは高密度 NV 基板に対する先行結果と同程度であり、作製プロセスを経ても NV の量子性が保持されていることを示している。さらに、取得光子数と実現可能なコントラストを用いて評価した現時点の交流磁気感度は 2.03 nT/√Hz であった。

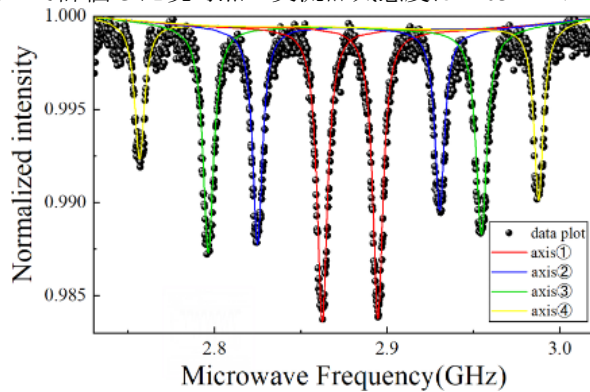


図4 共振器中 NV センターから得られた ODMR スペクトル

また、共振器上で得られる総光子量は励起パワーに対して概ね線形に増加しており、励起条件と光取出し構造の最適化により、さらなる感度向上の余地があることも確認した。今後は片側ミラー低減構造や導波路結合を導入し、Purcell 効果をより直接的に磁気感度へ反映させることが重要である。

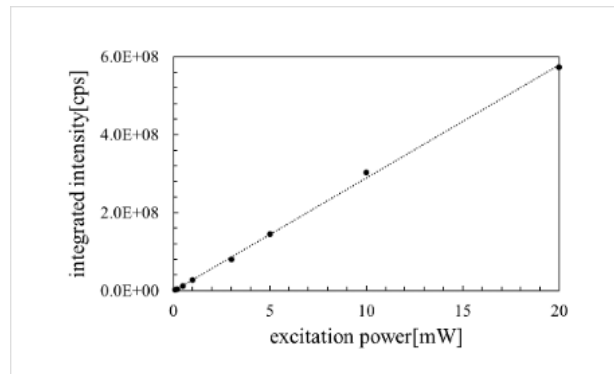


図5 共振器から得られる総光子量の励起パワー依存性

5. まとめ

以上、本助成では、ダイヤモンド点欠陥制御技術の実装基盤として、1DPhC 共振器の高 Q 設計、高密度 NV ダイヤモンドへの直接加工プロセス、異種基板上へのエアブリッジ集積、ならびに共振器中 NV による磁気センシングの原理実証を達成した。特に、 $Q = 5,628$ の光共振と ODMR 検出を同一デバイスで確認できたことは、ナノスケール量子センシングに向けた重要なマイルストーンである。

今後は、表面平滑化と寸法制御の高精度化により共振器 Q をさらに向上させるとともに、フェムト秒レーザ等による点欠陥位置制御を共振器中心へ適用し、光導波路、マイクロ波源、光検出器を統合したオンチップ量子センサへ展開する予定である。これにより、高感度・高空間分解能を兼ね備えた実用的なダイヤモンド量子センシングデバイスの実現が期待される。

謝辞

本研究は（公益財団法人）天野工業技術研究所の研究助成を受けて実施された。ここに感謝の意を表す。また、八井崇教授をはじめ共同研究者に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) J. M. Taylor et al., “High-sensitivity diamond magnetometer with nanoscale resolution,” *Nature Physics*, vol. 4, pp. 810-816, 2008.
- 2) J. F. Barry et al., “Sensitivity optimization for NV-diamond magnetometry,” *Reviews of Modern Physics*, vol. 92, 015004, 2020.
- 3) R. Katsumi, M. Sekino, and T. Yatsui, “Design of an ultra-sensitive and miniaturized diamond NV magnetometer based on a nanocavity structure,” *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 61, 082004, 2022.
- 4) R. Katsumi et al., “High-sensitivity nanoscale quantum sensors based on a diamond micro-resonator,” *Communications Materials*, vol. 6, 49, 2025.
- 5) K. Takada et al., “Alignment-tolerant hybrid integration of a diamond quantum sensor on a silicon nitride photonic waveguide,” *Optics Express*, vol. 33, no. 11, pp. 22769-22779, 2025.
- 6) Y. Guo et al., “Enhanced Quantum Magnetometry with a Femtosecond Laser-Written Integrated Photonic Diamond Chip,” *Nano Letters*, vol. 25, no. 20, pp. 8096-8102, 2025.