

炭化ケイ素中のスピン欠陥形成と特性評価

Creation of Spin Defects in Silicon Carbide and their Characterization

量研, °大島 武

QST, °Takeshi Ohshima

E-mail: ohshima.takeshi@qst.go.jp

ワイドバンドギャップ半導体中には、室温においてもスピン操作が可能といった結晶欠陥（スピン欠陥）が形成できることから、これらを室温動作の量子ビットや量子センサへ応用する研究が盛んに行われている。本講演ではワイドバンドギャップ半導体の一つである炭化ケイ素（SiC）を母材として着目し、粒子線を用いたスピン欠陥の形成技術及び高感度量子センシングの実現に向けたスピン欠陥の特性評価・制御について紹介する。

超低損失パワーエレクトロニクスへの応用が進む SiC は、高品質な大型基板の入手が可能であり母材としての優位性があるとともに、デバイス作製プロセスが開発されていることは将来の量子デバイス応用の観点からも有望といえる。SiC 中のスピン欠陥は、負に帯電したシリコン空孔（ V_{Si} ）、中性の複空孔（ $V_{Si}V_C$ ）や負に帯電した窒素一空孔（ $N_C V_{Si}$ ）などが知られている[1]。六方晶（4H-SiC）の k サイト（V2 と呼ばれる）に形成される V_{Si} は、近赤外領域の 900 nm 付近のフォトルミネッセンス（PL）を示し、室温においても PL 観測やスピン操作が可能なることから、深部や遠距離地点の観測を可能とする量子センサへの応用が期待されている[2]。

V_{Si} の形成には、電子やイオンビームといった放射線照射が有効であり、MeV 級の陽子や He といったイオンを直径 1 μ m 程度に集束して照射する粒子線描画（Particle Beam Writing: PBW）を活用することで任意位置に V_{Si} を形成できる。つまり、この任意位置に形成された V_{Si} を用いて量子センシングをすることで、SiC デバイス内部の局所領域の温度・電流などの情報が取得できる[3]。

量子センシングには光検出磁気共鳴（ODMR）を用いるが、SiC 中 V_{Si} の場合、基底準位の共鳴周波数に温度依存性がないため、温度測定には励起準位の ODMR を利用しなければならない。このことは、基底準位の ODMR を用いた磁場測定では温度変化による共鳴周波数シフトを考慮しなくて良いため磁場測定には有利であるが、温度測定には ODMR コントラスト小さい励起準位を利用するため、温度決定が困難になる。我々は、この課題解決のために基底・励起準位同時共鳴法（SRODMR）を提案した。これは、基底準位で共鳴状態（無磁場では 70MHz 印加）を形成した後、励起準位が共鳴する高周波を印加すると発光強度が減少することを利用して、励起準位の共鳴周波数を明らかにする、即ち、温度を決定する方法である。Fig.1 に従来 ODMR と SRODMR のシグナルを示す。従来 ODMR では室温での共鳴周波数である 400MHz 付近に小さなピークが観察される。一方で SRODMR では 400MHz 付近で発光強度の大きな減少が観測されており、このディップ位置から温度を決定できる。

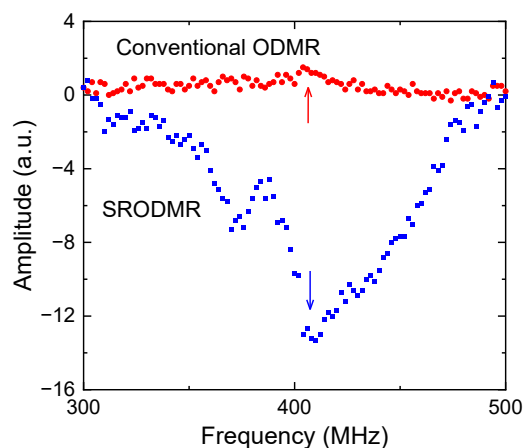


Fig.1 SRODMR and conventional ODMR signals. Excitation laser: 785 nm. Long pass filter: 900 nm.

【謝辞】本研究は山崎雄一氏、田中友晃氏をはじめとした QST QUARC メンバーの協力、及び電力中央研究所や産業技術総合研究所、東京工業大学などとの共同研究により実施された。ここに感謝の意を表す。本研究の一部は、Q-LEAP (JPMXS118067395)、ATLA (JPJ004596) 及び科研費 (20H00355, 21H04553) を用いて行われた。

【参考文献】例えば、[1] T. Ohshima *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **51** (2018) 333002. [2] V. Ivady *et al.*, Phys. Rev. B **96** (2017) 161114(R). [3] T. Hoang *et al.*, Appl. Phys. Lett. **118** (2021) 044001.