



## 量子技術応用に向けた炭化ケイ素色中心の研究

工学研究科 物理学系専攻

准教授 小林 拓真

Researchmap <https://researchmap.jp/takumakobayashi>

## 研究の概要

炭化ケイ素 (SiC) は優れた材料物性を有し、結晶成長や微細加工、プロセス技術が進展していることから、スケーラブルな量子デバイスを実現する材料として期待される。著者は SiC の量子技術応用に向け、色中心の解明と制御の研究に取り組んでいる。本稿では特に、SiC と絶縁膜との界面に局在する色中心 (界面色中心) に関する研究成果を紹介する。界面色中心は室温で極めて高輝度な発光を示すものの、その基礎物性の理解が十分に進んでいない。本研究では、界面色中心の詳細な光学特性評価と電気的評価を通して、その重要な物性であるエネルギー準位の解明に成功した。

## 研究の背景と結果

半導体の点欠陥に由来する色中心は、単一光子源 (光の最小単位である「光子」を放出できる光源) として機能し、量子コンピューティングや量子暗号通信等への応用で期待される。特に、炭化ケイ素 (SiC) は量子状態の保持に有利なワイドギャップ半導体であり、結晶成長や微細加工、各種プロセス技術が進展していることから、スケーラブルな量子デバイスを実現できる材料として注目を集めている。

色中心の研究は一般に結晶中の欠陥を対象とすることが主流である。しかし、SiC の場合、絶縁膜との界面に非常に高輝度な色中心 (界面色中心) が存在することが知られていた (図1)。通常の色中心はイオン注入などの高コストなプロセスで形成する必要があるが、界面色中心は SiC の熱酸化で容易に形成できる利点がある。しかし、界面色中心

の物性や発光プロセスについては、理解が進んでいなかった。

本研究では、酸化条件 (温度・分圧) を広範囲に変化させて絶縁膜 / SiC 界面色中心を形成し、界面の光学特性と電気的特性の相関を詳細に調査した。その結果、界面色中心と特定の電気的欠陥の間に明確な相関を見出し、色中心がバンドギャップ中に形成するエネルギー準位 (SiC の伝導帯下端から 0.65 - 0.92 eV) を明らかにした (図2)。同定したエネルギー準位を先行の理論計算と照らし合わせた結果、界面近傍 SiC 中の置換型炭素ダイマー欠陥 ((C<sub>2</sub>)<sub>Si</sub>) が色中心の有力候補であることを見出した。また、色中心の発光メカニズムの理解も大きく進展させた。

## 研究の意義と将来展望

本研究の成果は、不明であった界面色中心の起源の理解に直結し、その制御指針を切り拓くものであり、量子技術の実用化に向けた大きな進展といえる。SiC 界面発光中心は代表的な色中心であるダイヤモンド窒素-空孔 (NV) センターを凌ぐ発光強度を示すことが知られており、応用への期待が高まっている。また、絶縁膜 / 半導体界面は、人類の発展を支えてきた半導体技術の最も重要な構成要素であり、例えばコンピュータの CPU に組み込まれる半導体トランジスタの心臓部である。このため、界面発光中心は発展してきた半導体製造プロセスとの親和性が高く、量産性や集積性に優れることが期待される。熱酸化で容易に形成できる点も、応用上の大きな利点となる。本研究で確立した色中心の基礎的理解を基に、今後色中心の制御が進展すれば、量子技術のオンチップ実装や集積化に繋がることを期待される。

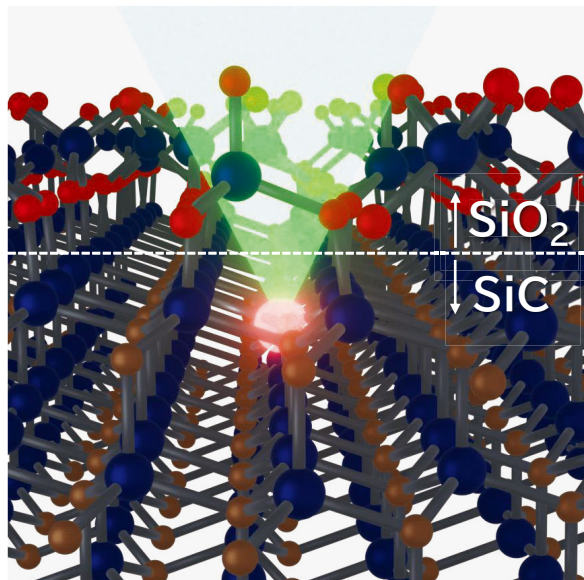


図1: 絶縁膜 / SiC 界面色中心の模式図

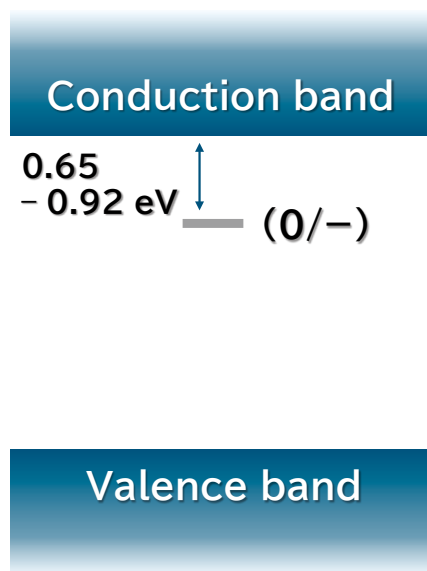


図2: 界面色中心のエネルギー準位

特許  
論文  
参考URL  
キーワード

Onishi, Kentaro; Kobayashi, Takuma et al. Insight into the energy level structure and luminescence process of color centers at SiO<sub>2</sub>/SiC interfaces. APL Materials. 2025, 13(2), 021119-1 - 021119-8. doi: 10.1063/5.0253294

ワイドギャップ半導体、炭化ケイ素、点欠陥、色中心