

ワイドギャップ半導体結晶中の単一欠陥の製作と光学評価

量子科学技術研究開発機構・先端機能材料研究部 小野田 忍

世界中のエレクトロニクスを支えている半導体回路は、バンドギャップが 1.12eV のシリコン半導体結晶で作られている。これに対して、窒化ガリウム、炭化ケイ素、ダイヤモンドなどの半導体結晶は、約 3eV 以上の広いバンドギャップを有していることから「ワイドギャップ半導体」と呼ばれており、次世代を担う電子デバイス材料として期待されている。

近年、ワイドギャップ半導体結晶の中に形成された「単一欠陥」の量子状態を利用する研究が盛んになっている。最も研究が盛んな「単一欠陥」は、ダイヤモンド中の NV (窒素・空孔) センターである。これは、ダイヤモンド結晶を構成する炭素原子を窒素原子が置き換え、その窒素原子に隣接する格子位置の炭素原子が欠損している複合欠陥である。NV センターは優れた電子スピン特性を持っており、室温において ms を超えるコヒーレンス時間を有していたり、レーザー照射によるスピン偏極やスピン状態の読み出しが可能であったりする特徴を持つ。本稿では、量子ビームを利用することによって、ワイドギャップ半導体結晶中に単一欠陥を形成する技術について紹介する。図1は集束型イオンビームによる単一欠陥形成の模式図である。

単一欠陥の形成と並んで重要なことは、その量子状態を計測・制御する技術である。これには共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡 (CFM) を利用する。図2は、集束型イオンビームによるプロトンビーム描画法 (PBW) を用い、炭化ケイ素中のシリコンが欠損した欠陥 (シリコン空孔) を形成し、CFM で観察した例である。およそ $1\mu\text{m}$ に集束した陽子ビームが半導体結晶をはじき出すことで、横一列にシリコン空孔を形成することに成功している。

上述してきたワイドギャップ半導体結晶中の単一欠陥の製作と光学評価では、数mmの大きさの半導体結晶を使用している。本セミナーのテーマである「細胞内天気予報を目指して」では、細胞という小さな生体物質を調べるために単一欠陥を利用する必要がある。発表では、細胞に取り込ませることの可能なナノメートルオーダーにまで小さくした半導体結晶に単一欠陥を形成する技術についても触れる。

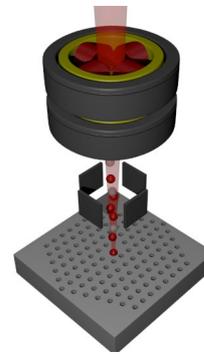


図1. 集束型イオンビームの実験概要

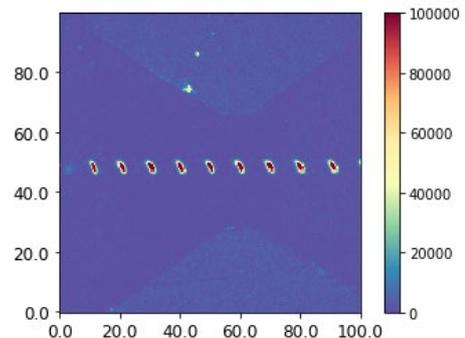


図2. 共焦点顕微鏡(CFM)像。
走査範囲は $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$