

窒化ガリウム中プラセオジムの発光を利用したナノスケール領域温度計測

Nanoscale Thermometry Based on Photoluminescence from Praseodymium Ions in Gallium Nitride Semiconductor

量研¹, RMIT 大², 名古屋大³, 法政大⁴ ○佐藤 真一郎^{1,2}, 出来 真斗³, 西村 智朗⁴

渡邊 浩崇³, 新田 州吾³, 本田 善央³, 天野 浩³, A. D. Greentree², B. C. Gibson², 大島 武¹

QST¹, RMIT Univ.², Nagoya Univ.³, Hosei Univ.⁴, °Shin-ichiro Sato^{1,2}, Manato Deki³,

Tomoaki Nishimura⁴, Hirotaka Watanabe³, Shugo Nitta³, Yoshio Honda³, Hiroshi Amano³,

Andrew D. Greentree², Brant C. Gibson², Takeshi Ohshima¹

E-mail: sato.shinichiro2@qst.go.jp

固体結晶中の点欠陥や不純物元素におけるスピン共鳴や発光を利用して周辺の温度、磁場、電場などを計測する手法は「量子センシング」とよばれ、ナノスケールの空間を高感度に計測できる技術として高い注目を浴びている。エレクトロニクス分野においては、デバイス中に量子センサを導入することで、デバイス内部の局所的な状態をリアルタイムで計測し、異常や故障の検出へと活用できる。しかし、これまで提案されている量子センサの母材料はダイヤモンドや炭化ケイ素であり、同じワイドギャップ半導体である窒化ガリウム(GaN)では報告されていなかった。本研究では、新たな量子センサとして GaN にドーブしたランタノイドを提案しており、そのセンシング手法の開発を進めている。

非ドーブ GaN の微小領域 (100 nm 四方) にランタノイドの一種であるプラセオジム(Pr)をイオン注入し (100 keV、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$)、高速熱処理 (N₂ 雰囲気中 1200°C、1 分) によって活性化させた後、共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡 (励起光波長 525 nm) を用いて注入領域の発光スペクトルを取得した。その結果を Fig. 1 に示す。Pr³⁺の³P₀→³F₂遷移に起因する発光ピークが 650 nm と 652 nm に生じるが、高温になるにつれ 650 nm ピークの相対強度が増加する。従って、2 つの発光ピークの強度比から、ナノスケール領域の温度計測が可能となる。講演では、そのメカニズムについて議論すると共に、励起光源不要の電流注入発光による温度計測についても紹介する。

本研究は、JST 創発的研究支援事業 (JPMJFR203G)、JSPS 科研費 (JP17KK0137, JP18H01483)の助成を受け、QST 国際リサーチイニシアチブ "Quantum biosensors in wide bandgap semiconductors"のもとで実施した。また、本研究の一部は、文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」事業 (JPMXP09F18AT0061)の支援を受け、産総研 NPF において実施した。

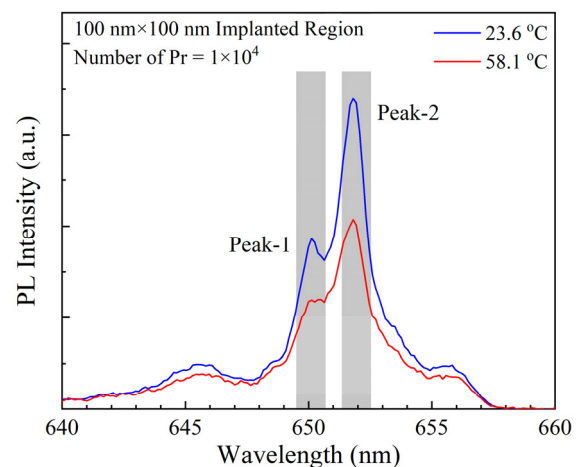


Fig. 1. Photoluminescence spectra of Pr³⁺ ions in GaN at 23.6 °C (blue) and 58.1 °C (red). Number of the implanted Pr was 10^4 and the implanted area was 10^4 nm^2 .