

InGaN 量子井戸の発光温度消光の励起波長依存性

Excitation wavelength dependence of temperature-induced photoluminescence quenching in InGaN quantum wells

金沢工大 [○]山口拓海, 有賀恭介, 森恵人, 山口敦史

Kanazawa Institute of Technology, [○]Takumi Yamaguchi, Kyosuke Ariga, Keito Mori and Atsushi A. Yamaguchi

E-mail: b1611757@planet.kanazawa-it.ac.jp

1. はじめに

窒化物半導体を用いた光デバイスはすでに様々なものが実用化されているが、その光物性はまだ解明されていない点が多い。これらの光デバイスの活性層に用いられる InGaN 量子井戸 (あるいは AlGaIn 量子井戸) の内部量子効率 (IQE) は、輻射再結合や非輻射再結合のメカニズムを探る上での重要な物理量である。従来より、IQE を実験的に測定する方法として、発光 (PL) の温度消光がよく用いられている[1,2]。しかし、我々は以前から、励起波長によって温度消光の結果に差異がみられることを懸念していた。

そこで、本研究では同一の InGaN 量子井戸試料に対して、様々な励起波長で PL 温度消光を測定し、PL 温度消光の振る舞いが励起波長によってどの程度変化するかを調べた。そして、その結果に対して定量的な解析を試みた。

2. 実験方法

試料には、c 面 GaN 基板上に MOCVD で成長した InGaN 量子井戸 (QW) を用いた。PL 温度消光の実験においては、励起光源にピコ秒 Ti:sapphire レーザの第 2 高調波を用いた。レーザ光はクライオスタット内部のサンプルホルダーに設置された試料の表面に照射された。PL 光はレンズにより集光され、分光器で分光され、光電子増倍管で検出された。

3. 実験結果と考察

図 1 に、様々な励起波長で測定した InGaN 量子井戸試料の PL 積分強度の温度変化を示す。励起波長 385 nm の場合には、温度上昇に伴い PL 強度が単調に減少しているが、その他の励起波長ではそうでないことがわかる。さらに、同一の試料において PLE 測定を行い、得られた PLE スペクトルから励起波長 385 nm が温度による吸収量の変化が少ないことを確認した。したがって、励起波長 385 nm の場合は、温度の変化によるキャリア密度の変化は少なく、PL 温度消光の結果がほぼ正しい IQE を示すと考えられる。そこで、385 nm 以外の励起波長の PL 温度消光においては、励起キャリア密度の温度依存性に起因して PL 温度消光のデ

ータが変化していると考え、図 1 の 385 nm 以外の各励起波長のデータを励起波長 385 nm のデータで割り算し、各励起キャリア波長での励起キャリア密度の温度依存性を推定した。そして、それを再現するように求めた吸収スペクトルが図 2 のようになる。ここでは、量子井戸層、バリア層、GaN 層の各層による吸収スペクトルを誤差関数であるすることと、それらのエネルギー位置が Varshni の経験則に従って温度変化するという制限をつけている。そして、この吸収スペクトルを用いて、逆に、各励起波長での温度消光の実験結果を計算したものが図 3 である。図 3 と図 1 を比較すると、励起波長 365, 375 nm に見られる室温付近での急激な数値の上昇など実験で得られた特徴を再現できていることがわかる。したがって、励起光波長を一定にした PL 温度消光から IQE を求める際には、キャリア密度の温度依存性が結果に影響を与えてしまう可能性を考慮する必要がある。

4. まとめ

様々な励起波長で PL 温度消光を測定し、励起波長によって見積られる IQE が全く異なることを示した。そして、この現象が、バンドギャップの温度変化に伴って励起キャリア密度が変化することに起因していることを半定量的に説明することができた。

謝辞

本研究は科研費 (JP19H04553) の助成を受けて遂行された。本研究及び本論文を作成するに当たって、半導体試料を提供して下さったソニー株式会社の富谷茂隆様、工藤喜弘様、蟹谷裕也様、草薙進様に感謝いたします。

文 献

- [1] K. Okamoto, et al., Phys. Status Solidi C, 5, 9 (2008).
[2] Y.-J. Lee, et al., IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron, 15, 4 (2009).

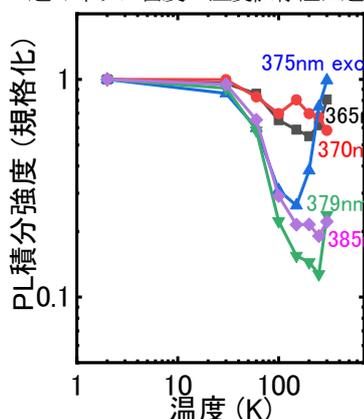


図 1 PL integrated intensity measured at various excitation wavelengths

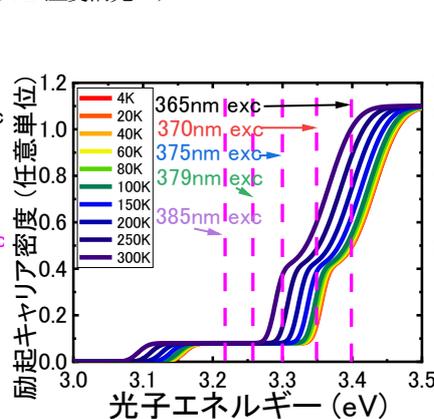


図 2 Temperature change of absorption obtained by spectrum

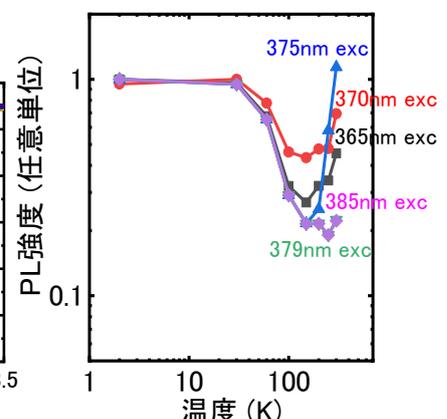


図 3 Temperature change of PL integral intensity at various excitation wavelengths calculated based on theoretical model