

次世代デバイス応用半導体量子ナノ構造に対する光照射の影響に関する研究

矢口裕之 (理工学研究科・教授)

1 はじめに

III-V-N 混晶半導体の一つである InGaAsN は、GaAs や Ge と格子整合し、この材料系に特有な巨大バンドギャップボウイングによって赤外域の光を吸収・発光することが可能であるため、高効率太陽電池や高性能半導体レーザーなどの次世代光デバイスへの応用が期待されている。しかしながら InGaAsN などの III-V-N 混晶半導体は、次世代光デバイスへの応用が期待されている一方で、寿命などのデバイス信頼性に対して課題を抱えている。例えば、レーザー動作時にデバイス内に存在する高パワー密度の光によって結晶性の低下が引き起こされることが懸念されている。これまでに、我々は GaAsN 薄膜に対して極低温下で高パワー密度のレーザー照射を行うことで発光効率が変化することを明らかにしてきた[1, 2]。本研究プロジェクトは、InGaAsN を中心とした半導体材料から成る量子ナノ構造に対して、高パワー密度の光を照射することによって生じる結晶性の改善あるいは劣化の機構を解明することを目的とした。具体的には、顕微フオルミネッセンス分光装置を用いて、高パワー密度のレーザー光を半導体量子井戸構造や半導体量子ナノ構造に照射し、実時間で発光効率の変化をモニターすることで結晶性の改善あるいは劣化現象を捉える一方、III-V 族化合物半導体発光デバイスの劣化機構に関する研究の第一人者である金沢工業大学・上田修教授の協力を得て、電界放出型透過電子顕微鏡で局所的にレーザー照射した箇所を観察し、どのような構造変化が生じているかを調べるという方法で研究を進行中である。

2 実験

試料には有機金属気相エピタキシー法によって成長した InGaAsN/GaAs 単一量子井戸を用いた。窒素組成の異なる 2 つの試料(試料 A 0.6%、試料 B 1.3%)を用意し、窒素組成による違いについて検討した。In 組成はどちらも 33%とした。励起光として DPSS レーザー(波長 532 nm)をビーム直径 1 μm に集光したものをを用いて顕微フオルミネッセンス測定を室温で行った。レーザー照射時間に対して発光強度がどのように変化するかを測定した。この測定に関しては、照射するレーザーパワー密度を変化させて行った。また、透過電子顕微鏡観察のために、微細加工したカーボン膜によって目印をつけた試料の一部にレーザー照射を行った。

3 結果

図 1 に、試料 A に対してパワー密度 3.0 MW/cm²でレーザーを 1800 s 照射することによってフオルミネッセンススペクトルがどのように変化したかを示す。スペクトル形状はほとんど変化せずに強度が減少している様子が見てとれる。このように、InGaAsN/GaAs 量子井戸構造では室温での高パワー密度のレーザー照射によって発光効率が変化することがわかった。これまでの研究 [1, 2] で用いていた GaAsN 薄膜では、極低

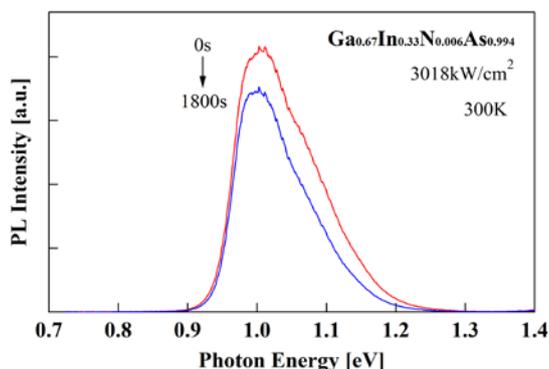


図 1 レーザー照射による試料 A からのフオルミネッセンススペクトルの変化。

温下でのみ、レーザー照射によって発光効率の変化が観測されていたのとは異なる傾向があることが明らかになった。

図2に、試料Bの発光ピーク強度のレーザー照射時間に対する変化を示す。レーザーパワー密度が 2.5 MW/cm^2 以下では、発光ピーク強度はレーザー照射を開始すると急激に増加し、その後、増加傾向が緩やかになっていく。一方、レーザーパワー密度が 3.9 MW/cm^2 の場合には、レーザー照射開始からしばらくは発光ピーク強度が増加していくものの、途中から減少に転じて、レーザー照射前よりも発光ピーク強度が弱くなっていく。

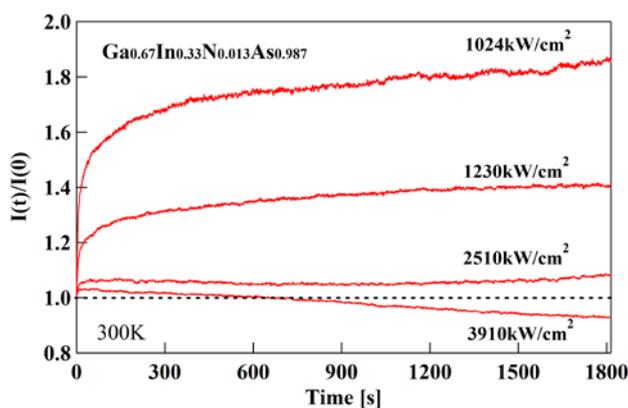


図2 試料Bの発光ピーク強度のレーザー照射時間に対する変化

図3に、試料AおよびBがレーザー照射を1800s行った後に、照射開始直後と比べてどの程度発光効率が変化したのかを、照射したレーザーパワー密度に対してプロットしたものを示す。試料Aでは、レーザーパワー密度が低いときには、わずかに発光効率が向上するものの、レーザーパワー密度の増加にともない、発光効率が減少していく。一方、試料Bでは、 1 MW/cm^2 まではレーザーパワー密度の増加によって発光効率は向上し、2倍程度に達することがわかる。さらにレーザーパワー密度を増加させると発光効率は減少し始め、 4 MW/cm^2 近くになるとレーザー照射開始時との発光効率の比は1を下回る。

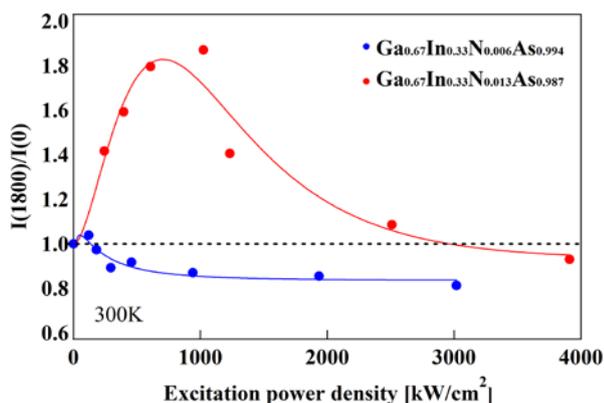


図3 レーザー照射1800s後の発光効率変化のレーザーパワー密度依存性

4 まとめと今後の展開

次世代光デバイスへの応用が期待されている InGaAsN 量子井戸構造に対するレーザー照射による影響を調べた。これまでの結果とは異なり、室温においてもレーザー照射による発光効率の変化が生じることが明らかになった。現在、高励起パワー密度のレーザー照射を行った箇所の透過電子顕微鏡観察を進めているところであり、発光効率変化と構造変化の対応について明らかにしていく予定である。また今後は量子ドット構造に対しても同様の研究を行うことになっている。

[1] H. Yaguchi, T. Morioka, T. Aoki, H. Shimizu, Y. Hijikata, S. Yoshida, M. Yoshita, H. Akiyama, N. Usami, D. Aoki, and K. Onabe, Phys. Stat. Solidi C 3, 1907 (2006).

[2] K. Tanioka, Y. Endo, Y. Hijikata, H. Yaguchi, S. Yoshida, M. Yoshita, H. Akiyama, K. Onabe,