陽子線照射を施した GaPN 混晶における高速熱処理の効果

Effect of Rapid Thermal Annealing on GaPN Alloys Irradiated with Proton Beam

餅田　湖 [1], 山根 啓輔 [1], 平井 健登 [1], 大島 武 [2], 中村 徹哉 [3], 今泉 充 [3], 若原 昭浩 [1]
1. 豊橋技術科学大学, 2. 量子科学技術研究開発機構, 3,宇宙航空研究開発機構
M. Mochida, K. Yamane, K. Hirai, T. Ohshima, T. Nakamura, M. Imaizumi, A. Wakahara
(1.Toyohashi Tech., 2. QST, 3. JAXA)
E-mail: mochida.mizumi.nk@tut.jp, wakahara@tut.jp

III-V族希薄窒化物混晶は高い理論変換効率を見込めることから、次世代のIII-V/Si多接合太陽電池材料として期待されている。一般的にIII-V-N混晶では、高速熱処理(RTA)を施すことで、結晶性が改善されることが知られている。さらに最近、陽子線を照射したGaAsPNにRTAを行うことで、RTAのみの場合に比べ発電効率が向上することが発見された[1]。しかしながら、この場合のRTAの効果は未解明のままである。本研究ではGaAsPNの母材であるGaPNに陽子線照射を行い、未照射のサンプルと光学的特性を比較することでRTAの効果を解明する。

試料作製のため、RF-MBE法を用いてN組成2 %のGaPN混晶(200 nm)を半絶縁性GaP基板上に成長した。その後、加速電圧380 keV、照射量1×10^{12} cm^{-2}の条件で陽子線照射を行い、N_2雰囲気中、920℃の条件で30秒間RTAを施した。サンプル構造とSRIM [2]を用いた陽子線照射による空孔生成密度のシミュレーション結果を図 1 に示す。GaPN層には、おおよそ10^{15} cm^{-3}台の空孔を導入することを想定した。

図2に20 K におけるGaPNのPL スペクトルを示す。1.9 eV付近のピークはGaPNのバンド端近傍発光である。また、バンド端近傍における低エネルギー側の傾きはN組成の均一性を表しており、傾きが大きいほどN組成が均一である。図2より、熱処理を施したサンプル(RTA only、proton+RTA)では熱処理を施さなかったサンプル(As grown、proton only)の約1.6倍の発光強度が測定できた。また、熱処理を施したサンプルのピークは熱処理を施さなかったサンプルに比べて70 meVブルーシフトしており、低エネルギー側の傾きが大きくなっている。As grownに対するRTA onlyのスペクトルの変化は先行研究[3]と傾向は同様であり、Nクラスタの解消と非発光再結合中心の低減を示唆する結果となっている。RTAのみとproton+RTAのスペクトルを比べると、ピークエネルギーはほとんど変わらず、発光強度が増加している。以上のことから、陽子線照射サンプルに対するRTAには、非発光再結合中心の低減を促進する効果が明らかになった。

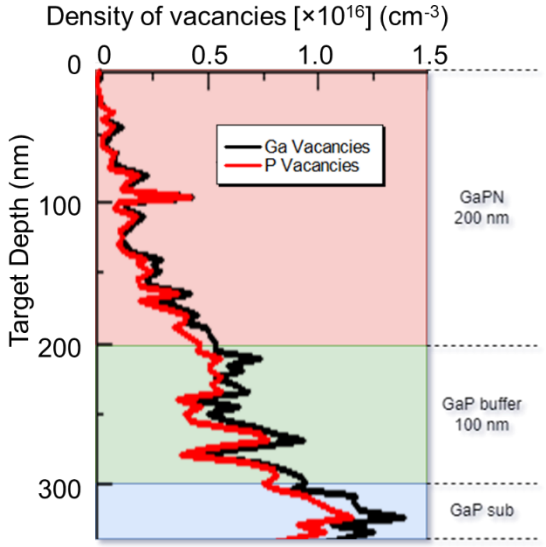

図 1 空孔生成密度の SRIM シミュレーション結

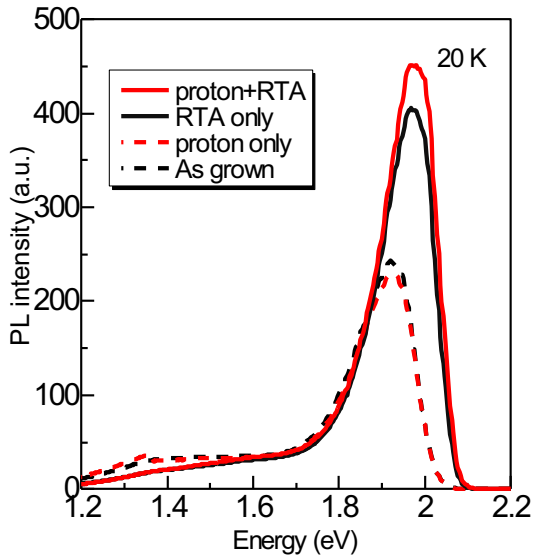

図 2 GaPN の低温 PL スペクトル（P_{ex}=2mW, 512 nm）

謝辞: 本研究は、日東学術振興財団、岩谷直治記念財団および科研費（基盤C:19K04488)の援助を得て行われた。

[1] D. Hamamoto, et al., JSAP Spring 68th (2021). [2] </http://www.srim.org/S>
[3] W.Li, M.Pessa, J.Toivonen, and H.Lipsanen, Phys. Rev. B 64, 113308 (2001).