急速熱アニールした GaAs 中のエピタキシャル窒素膜の輻射再結合寿命

Radiative recombination lifetime of thermally-annealed epitaxial nitrogen atomic sheet in GaAs

°小川 泰弘、原田 幸弘、海津 利行、喜多 隆（神戸大院工）

°Yasuhiro Ogawa, Yukihiro Harada, Toshiyuki Kaizu, and Takashi Kita (Kobe Univ.)

E-mail: 150t216t@stu.kobe-u.ac.jp

【はじめに】近年、グラフェンに代表される 2 次元機能性原子膜はその特異な物性から次世代の省エネルギー材料として注目を集めている。我々は GaAs(001)面に高濃度の窒素をデルタドーピングすることで GaAs 中に埋め込まれたエピタキシャル 2 次元窒素膜を作製し、その光学特性を明らかにしてきた[1,2]。これまでに 650 ºC で急速熱アニール(RTA)を行った 2 次元窒素膜において、零磁場領域近傍から始まるフォトルミネッセンス(PL)スペクトルのランダウシフトを観測し、RTA によって電子状態が 4.4 K においても非局在化することを明らかにした[2]。本研究では時間分解 PL 測定を行い、PL 減衰プロファイルからエピタキシャル 2 次元窒素膜における RTA の効果を解明することを目的とした。

【実験方法】試料は分子線エピタキシー法を用いて作製した。まず、undoped GaAs(001)基板上に GaAs バッファ層、$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ バリア層 300 nm、GaAs 活性層 50 nm を成長した。その後、基板温度 550 ºC で(2×4)β2 再構成構造を示す表面に高周波プラズマソースを用いて 2000 s の原子層窒化を行った。そして 120 s の成長中断後に GaAs 活性層 50 nm、$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ バリア層 100 nm、GaAs キャップ層 10 nm を成長した。結晶成長には As_2 分子線を用い、As_2 圧は 1.33×10^{-3} Pa とした。RTA は窒素雰囲気下 650 ºC で 60 s 行った。時間分解 PL 測定では波長 750 nm、繰り返し周波数 4 MHz、パルス幅約 140 fs のパルス光を励起光源に用い、PL 信号をストリークカメラで検出した。1 パルスあたりの励起エネルギーは 0.13 nJ であった。

【結果と考察】図 1(a)はエピタキシャル 2 次元窒素膜の 3.3 K における PL スペクトルである。青線が RTA 無、赤線が RTA 有の試料における結果である。RTA によって PL 強度が増加している 1.48–1.49 eV の発光は、第 4 近接窒素ペア間の相互作用に由来するエピタキシャル 2 次元窒素膜からの発光である[1]。図 1(b)は PL 積分強度の温度依存性から得られたアウレニウスプロットの結果である。活性化エネルギー(E_a)は RTA によって 11 meV から 24 meV へ増加したため、RTA による無輻射再結合中心の減少が示唆される。図 2 は RTA 無と有の試料における PL 強度の減衰プロファイルである。どちらの試料においても 2 重指数関数的な減衰を示しており、速い減衰成分は非局在電子状態、遅い減衰成分は局在電子状態に起因する。3.7 K における速い減衰成分の寿命は RTA 無と有の試料でそれぞれ 0.31 ns と 0.40 ns であった。また RTA 有の試料では速い減衰成分が支配的となっており、RTA による電子状態の非局在化の増大を反映していると考えられる。また、30 K における無輻射再結合過程を考慮した速い減衰成分の輻射再結合寿命は、RTA 無と有の試料でそれぞれ 0.40 ns と 0.43 ns であった。温度上昇に伴う輻射再結合寿命の増加は、2 次元窒素膜におけるエネルギーバンド分散の形成を示唆している。

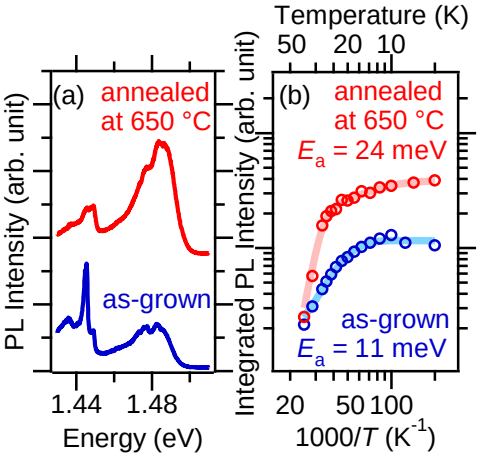

Fig. 1 : (a) Typical PL spectra and (b) Arrhenius plots of PL integrated intensity of epitaxial nitrogen atomic sheet.

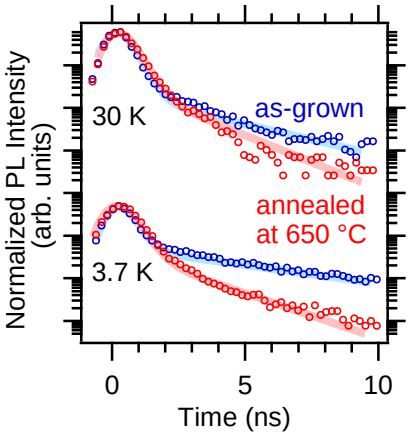

Fig. 2 : PL decay dynamics of epitaxial nitrogen atomic sheet at 3.7 and 30 K.

【参考文献】

[1] Y. Harada *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104**, 041907 (2014).
[2] 原田他、第 62 回応用物理学会春季学術講演会、13p-D4-3 (2015).

© 2016年 応用物理学会