非輻射再結合から見たギャップ内発光に関する考察

Study of in-gap luminescence from the evaluation of non-radiative recombination

物材機構 [1], 金沢工大 [2], 工学院大 [3] ◦角谷正友 [1], 森本悠也 [2], 山口敦史 [2], 矢代秀平 [1,3], 本田　徹 [3]
NIMS [1], KIT [2], Kougakuin Univ. [3] ◦M. Sumiya [1], Y. Morimoto [2], A. A. Yamaguchi [2], S.Yashiro [1,3], T. Honda [3]
E-mail: SUMIYA.Masatomo@nims.go.jp

【はじめに】我々は非輻射再結合の際に発生する熱を屈折率変化（光熱偏向分光法（photothermal deflection spectroscopy (PDS[1)])）や音（光音響分光法 (photo acoustic spectroscopy（PAS[2)])）で検出することによって III-V 族窒化物半導体のギャップ内欠陥準位や発光内部量子効率の検討を行ってきた。高品質とされる GaN バルクでも室温での発光効率（低温と室温の PL 強度比）は数%であるので光励起された電子の大部分は非輻射再結合過程で熱となり、ある意味発光よりも多くの情報が含まれると考えられる。今回、PDS によるギャップ内準位の相対強度の観点から GaN 薄膜からの室温でのギャップ内準位に関連する発光について検討を行った。

【実験】c 面サファイア基板上 GaN 低温バッファ層上と AlN テンプレート上に MOCVD 法でさまざまな膜厚の GaN 薄膜を成長した [3)]。それぞれの試料について X 線回折によってロッキングカーブ半値幅を求めた後、室温での発光スペクトル（PL）と時間分解 PL から発光寿命を求めた。また、PDS によって価電子帯上端の傾き（Urbach-like エネルギー）とギャップ内準位を評価し、ギャップ内準位に関連する発光との相関を考察した。

【結果】図 1(a)は GaN 低温バッファ層上（赤）と AlN テンプレート上（青）の膜厚約 0.4 μm の GaN 薄膜の室温での PL スペクトルを示す。室温でのバンド端の発光寿命は 150、140 psec とほぼ同じレベルであり、バンド端での発光強度もほぼ同じであった。一方、ギャップ内準位からの発光は明らかに AlN テンプレート上 GaN の方が強く、Yellow だけでなく Blue も観測されている。低温バッファ層上 GaN 薄膜の（0002）、(10$\bar{1}$4)ロッキングカーブ半値幅は 250、350 arcsec 程度であったのに対して、AlN テンプレート上では向上して 150、200 arcsec であった。結晶学的に良好な GaN からのギャップ内準位内発光がより強いという結果を理解するために PDS 評価を行った。図 1(b)に示すように AlN テンプレート上 GaN はギャップ内の PDS 信号強度が 3.2~1.8 eV の範囲で低く、特に Blue 発光に対応する 3.0~2.6 eV で低い。非輻射再結合が低いために AlN テンプレート上 GaN はギャップ内からの発光が逆に強くなったと説明できるが、Yellow 発光が欠陥や結晶学的な劣化と関連するという理解とは矛盾する。PDS から求めた Urbach-like エネルギーは、AlN テンプレート上 GaN では 32 meV と GaN 低温バッファ層上の 120 meV から大きく改善されている。下地の影響によって GaN の遷移・発光確率が変化することもありうるが、Yellow や Blue 発光が欠陥のみに起因するものではなく、良好な価電子帯上端の構造が GaN 薄膜のギャップ内準位発光とも関連しているのではないかと考えられる。

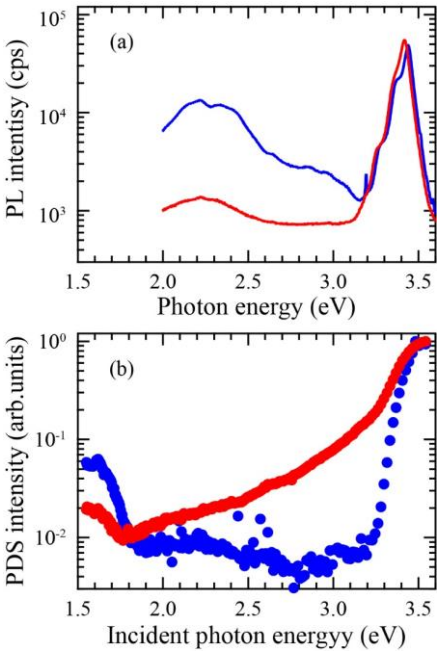

Fig. 1 (a) PDS spectra for GaN (0.42 μm) on AlN template (blue) and on LT-GaN buffer layer/c-sapphire (red). (b) PL spectra measured at room temperature for the same samples.

【謝辞】本研究の一部は、新学術領域「特異構造の結晶科学」(JP16H06424)の支援を受けた。

[1] 角谷　日本結晶成長学会誌 48 巻 4 号（2022 年 1 月発行）[2] 山口　日本結晶成長学会誌 48 巻 4 号（2022 年 1 月発行） [3] M. Sumiya et al., J. Crys. Growth **532**, 125376 (2020).

© 2022年 応用物理学会