微傾斜 *c*-AlN 基板上 AlGaN 量子井戸における マクロステップを利用した高効率発光

Highly efficient emission due to macrosteps of AlGaN quantum wells grown on AlN (0001) vicinal substrates

京大院・工，○早川 峰洋, 市川 修平，船戸 充，川上 養一
Kyoto Univ., ○M. Hayakawa, S. Ichikawa, M. Funato, and Y. Kawakami
E-mail: kawakami@kuee.kyoto-u.ac.jp

【はじめに】近年 AlGaN 系量子井戸を用いた深紫外 LED の開発が活発である．しかし，高 Al 組成においては依然として非輻射再結合確率が大きく，内部量子効率が低下してしまう問題がある．我々はこれまで，微傾斜サファイア基板上にマクロステップを有する AlGaN 量子井戸[1，2]を作製し，ステップ端において発光効率が向上することを見出している[2]．今回，結晶性向上および基板からの不純物拡散の低減を目的に，微傾斜 AlN 基板を用いて同様の構造を作製したところ，従来構造よりも大幅に長い室温 PL 寿命と発光強度の増大が得られたので報告する．

【試料作製と光学評価】m 軸方向に 3°傾斜した *c* 面 AlN 基板を用い，有機金属気相成長法で成長した．[謝辞：基板ご提供 JFE ミネラル(株)] 初めにホモエピタキシャル AlN を成長した． 図 1 は，バンチングした原子ステップによるマクロステップの様子を示した AFM 像である．ステップ高さは約 8 nm である．次いで AlGaN 層(単層)および AlN キャップ層を作製した．AlGaN 層の設計は，テラス部において 1.5 nm 幅，Al 組成 80%としたが，ステップ端ではテラス上よりも Ga リッチになることが分かっている[2]．また CL マッピングから，室温での巨視的な発光スペクトルは，Ga リッチなステップ端からの発光に支配されていることがわかっている．本試料に対して室温で時間分解 PL 測定を行った．励起光源には Ti:sapphire レーザの 4 倍高調波(波長: 210 nm)を用い AlGaN 層のみを選択励起した．初期キャリア密度は~5×10^{14} cm^{-3} とし弱励起下で測定を行った．

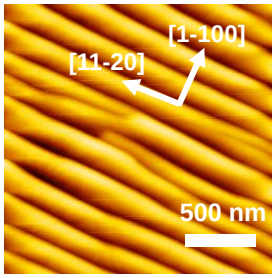

図 1: 下地 AlN ホモエピタキシャル膜の表面 AFM 像

【結果】図 2(a)に室温 PL スペクトルを，微傾斜サファイア基板(オフ角:3°)を用いて同様に成長したマクロステップを持つ AlGaN 単一量子井戸(MS-QW)，および平たんな *c*-AlGaN/AlN 多重量子井戸(膜厚 1.5 nm，5 周期)と比較した．微傾斜サファイア基板上 MS-QW の発光強度が，単層にもかかわらず 5 周期の多重量子井戸と同程度であること，さらに，今回作製した微傾斜 AlN 基板上 MS-QW の発光は，それよりも 5 倍程度強いことが分かる．図 2(b)に，室温におけるそれぞれの時間分解 PL 減衰曲線を示す．二つの MS-QW では，従来の量子井戸よりもキャリア寿命の方が長いことが分かる．室温においては非輻射再結合が支配的であることを考えると，本結果はマクロステップ端における非輻射再結合過程の抑制を示唆している．さらに，微傾斜サファイア基板と AlN 基板を比較すると， AlN 基板上 MS-QW は，1ns 超と 5 倍程度長い寿命を有しており，図 2(a)の強度比とも首尾一貫している．これは，AlN 基板を用いることで貫通転位が減少したことに加え，基板由来の不純物の拡散が低減され，さらなる非輻射再結合中心の減少に有効に働いていることを示唆している．[1] M. Funato *et al*., J. Appl. Phys. **115**, 103518 (2014) . [2] M.Hayakawa *et al*., Proc. SPIE **9926**, 99260S (2016).

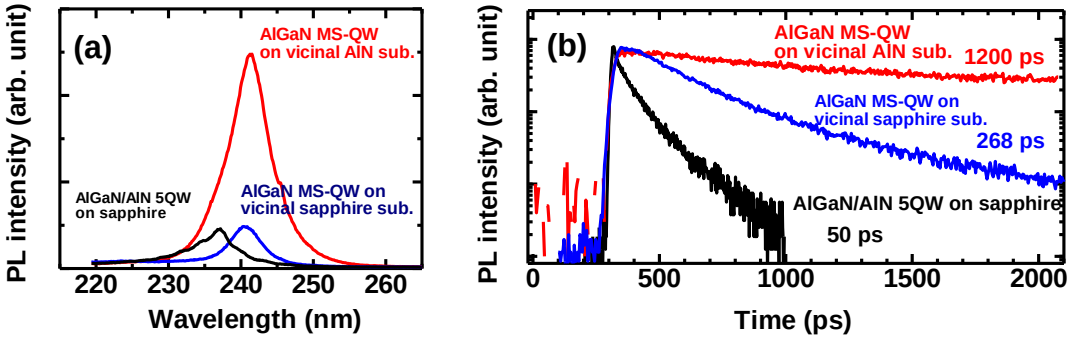

図 2:微傾斜 AlN 基板上および微傾斜サファイア基板上 AlGaN MS-QW および平たんな AlGaN/AlN 量子井戸の室温における PL スペクトル(a)と時間分解 PL 減衰曲線(b).

© 2018年 応用物理学会