アニール処理されたスパッタ AIN テンプレート上 AIGaN 多重量子井戸に おける内部量子効率の c 面サファイア m 軸オフ角依存性

Dependence of internal quantum efficiency on miscut angle toward *m*-axis of *c*-plane sapphire in AlGaN multiple quantum wells on annealed sputtered AlN templates

山口大工¹,山口大院·創成科学²,徳山高専³,

三重大・地域創生戦略企画室4,三重大院・地域イノベ5

⁰押村遼太¹, 赤松勇紀², 藤井厚志², 倉井 聡², 室谷英彰³, 上杉謙次郎⁴, 三宅秀人⁵, 山田陽一² Yamaguchi Univ.^{1,2}, NIT, Tokuyama Coll.³, Mie Univ.^{4,5}

^oR. Oshimura¹, Y. Akamatsu², A. Fujii², S. Kurai², H. Murotani³, K. Uesugi⁴, H. Miyake⁵, and Y. Yamada² E-mail: v012fe@yamaguchi-u.ac.jp

AlGaN 系深紫外発光デバイスの開発が進んでいるが依然としてその外部量子効率は低い。これ に対して、基板オフ角が異なる c 面サファイア基板上に成長された深紫外 AlGaN 系 LED におい て、外部量子効率の改善が報告されている[1]。また、スパッタ成膜 AlN 層をアニール処理するこ とにより極めて低転位密度な AlN テンプレート基板が実現されている[2]。今回我々は、オフ角の 異なる低転位密度アニール処理スパッタ AlN テンプレート基板上に成長された AlGaN 多重量子井 戸(MQW)構造の内部量子効率(IQE)を評価し、オフ角が IQE に与える影響について考察した。

測定に用いた試料は、アニール処理された c 面サファイア基板上スパッタ成膜 AlN 層をテンプ レートとし、有機金属気相成長法を用いて AlN 層、Al_{0.85}Ga_{0.15}N 層、Si-dope Al_{0.74}Ga_{0.26}N 層、AlGaN MQW 構造の順に成膜した。サファイア基板の m 軸方向にオフ角 0.2°から 1.0°まで変化させた 5 試料を準備した。IQE は、励起強度依存フォトルミネッセンス(PL)において、積分発光強度を励 起パワー密度で割ったものを発光効率とし、極低温下における最大発光効率を IQE100%と仮定し て評価した[3]。励起光源として色素レーザの第 2 高調波(励起波長 235 nm)を用い、測定温度は低 温(10 K)および室温(295 K)で行った。

顕微鏡像から、オフ角が小さい試料表面には高密度の成長ヒロックが生じるが、オフ角の増加 に伴い表面の平坦化が促進されることが観察された。これら試料の室温における発光スペクトル を図1に示す。オフ角の増加に伴い、発光スペクトルピークが一旦短波長化するとともに発光強 度が増大し(図1(a))、オフ角0.6°を超えると再び長波長化するとともに発光強度が減少する(図1(b)) ことがわかった。図2にこれらの試料について評価したIQEのオフ角依存性を示す。オフ角増大 とともにIQEは上昇し、オフ角0.6°を超えると再び減少に転じる傾向が確認された。このような オフ角依存性について、ヒロック部でGa原子の取り込みが促進されることが知られており[4]、 オフ角増大に伴う短波長化はヒロック抑制によるGa取り込み領域の減少を反映していると考え られる。他方、オフ角の過度な増大はステップバンチング形成を促進することが予想される。ス テップ端部ではGa原子の取り込みが促進されるため[5]、再び長波長化に転じると考えれば発光 波長のシフトを説明できる。さらに、IQEの改善はヒロックおよびステップバンチングの抑制に より表面平坦性が向上した影響が支配的と考えられる。しかしながら、ステップバンチング構造 端部に自己形成されたGa-rich AlGaN領域が効率改善に寄与するとの報告[5]もあり、微細構造と の関連性も含めた議論が必要である。

[1] M. Kaneda *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 061022 (2017)., [2] H. Miyake *et al.*, J. Cryst. Growth **456**, 155 (2016)., [3] S. Watanabe *et al.*, Appl. Phys. Lett. **83**, 4906 (2003)., [4] S. Kurai *et al.*, J. Appl. Phys. **115**, 053509 (2014)., [5] M. Hayakawa *et al.*, Proc of SPIE **9926**, 99260S-1 (2016).

[謝辞]本研究は JSPS 科研費 JP16H06428, JP16H06415 および JP19K04490 の助成を受けて行われた。





Fig. 1. RT-PL spectra of AlGaN MQWs on annealed sputtered-AlN templates with miscut angle toward m-axis of *c*-plane sapphire substrates (a) from 0.2 to 0.6° , and (b) from 0.6 to 1.0° .

Fig. 2. Dependence of internal quantum efficiency on miscut angle toward *m*-axis of *c*-plane sapphire substrates.