

RF-MBE 法による AlGa_xN/AlN ヘテロ構造と量子井戸構造の成長と評価

RF-MBE Growths of AlGa_xN/AlN Hetero and Quantum Well Structures and Their Evaluation

早崎 真洸¹⁾

指導教員 尾沼 猛儀^{1,2)}

研究協力者 山口 朋也¹⁾, 山口 智広²⁾, 本田 徹²⁾

1) 工学院大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻 固体物性研究室

2) 工学院大学 先進工学部 応用物理学科

キーワード：窒化アルミニウムガリウム, 結晶成長, 窒化物半導体, MBE

1. 背景

深紫外線光源は殺菌、医療、分析など幅広い分野に応用されている。最近では 220 nm 付近の深紫外域が人体にやさしい UV-C 光源として注目を集めている[1]。窒化アルミニウムガリウム(Al_xGa_{1-x}N)は直接遷移型半導体であり、組成を変化させることで 3.4 から 6.0 eV までのバンドギャップを持つ。Al_xGa_{1-x}N は発光層として用いられるが、RF プラズマ援用分子線エピタキシー(RF-MBE)法による成長では、Al-N と Ga-N の結合エネルギーの違いから、組成制御が困難であることが問題となる[2]。このことから、結晶成長に関する基礎検討が求められている。本研究では、III 族と V 族の供給比を変化させた高 Al 組成 Al_xGa_{1-x}N 薄膜と、Al_xGa_{1-x}N/AlN(x>0.7)量子井戸構造を RF-MBE 法により成膜した。結晶性、光学特性を評価し、組成分布が発光特性に与える影響について調査した。

2. 実験

c 面サファイア上にハライド気相成長法により成膜された 400 nm の AlN テンプレート[3]を基板として用いた。図 1 に示すように RF-MBE により 75~555 nm 厚の Al_xGa_{1-x}N 薄膜を 1~2 時間成長した。また、量子井戸成長では、100~200 nm 厚の AlN を 1 時間成長した後、5 または 10 周期の Al_xGa_{1-x}N/AlN 量子井戸を成長した。障壁層厚は 10 nm で固定し、井戸層厚は 2, 4 nm とした。RF 出力を 150 W、窒素ガス流量を 0.3

sccm、成長温度を 775°C で固定した。III 族供給量により V/III 比を変化させた。III 族原料は、Al のビーム等価圧力(BEP: Beam Equivalent Pressure)を 4.0×10^{-8} Torr、Ga の BEP を 3.0×10^{-8} Torr とした試料はストイキオメトリ条件に近いと Near-stoichi. と表記し、Al の BEP を 8.0×10^{-8} Torr、Ga の BEP を 6.0×10^{-8} Torr とした試料は III-rich と表記する。成膜した Al_xGa_{1-x}N 薄膜の Al 組成は逆格子空間マッピングから求めた。膜厚は分光エリプソメトリーより算出した。発光特性の評価には顕微フォトルミネセンス(PL)システム(LabRAM HR800)を用い、YAG:Nd パルスレーザー(213 nm)を励起源とした。また、波長 420 nm 以上の測定では 2 次光を除くためカラーフィルターを使用した。

3. 結果

Near-stoichi. と III-rich な条件で成長した Al_xGa_{1-x}N 薄膜の 0002 回折ピーク付近の XRD θ -2 θ パターンを図 2 の下段に示す。双方ともに回折ピークが観測されたが、III-rich な条件で成長した薄膜のピークはブロードになった。量子井戸構造の 0002 回折ピーク付近の XRD θ -2 θ パターンを図 2 の上段に示す。超格子構造によるサテライトピークが観察され、周期の変化に伴うピーク間隔の変化が観測された。図 3 に室温での PL スペクトルを示す。300 nm 以下の波長域には、AlN テンプレート由来の発光が観測された。Al_xGa_{1-x}N 薄膜の結果を比較すると、Near-stoichi. な条件ではバン

ド端付近の発光が観測されなかったが、III-rich な条件では、4.7 eV にバンド端付近の発光が観測された。量子井戸は 4.7~4.8 eV にバンド端付近の発光が観測され、井戸幅減少に伴う高エネルギーシフトが観測された。これらもまた、Near-stoichi.な条件では強度が小さく、III-rich とすることで強度増加し、井戸幅 2 nm では約 3 倍となった。

4. 考察

図 2 の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 薄膜の XRD 測定の結果から、ストイキオメトリ条件に近い条件で成長させた方が組成は均一となることが分かる。一方、図 3 に示すように III-rich な条件で成長することでバンド端付近の発光が得られ易くなる。しかし、その発光ピークは組成不均一を反映し、低エネルギー側にショルダーが観測され、半値全幅は 480 meV と大きかった。III-rich な条件で成長した量子井戸は、量子サイズ効果を反映した PL ピークの高エネルギーシフトが観測された。しかし、半値全幅は 250~320 meV と大きく、井戸幅 2 nm の試料では、高エネルギー側にショルダーが観測されたことから、超薄膜でも、III-rich な条件では組成不均一が顕著に現れることが分かった。

5. 結論

ハライド気層成長された c 面 AlN テンプレート上に、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 薄膜、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{AlN}(x>0.7)$ 量子井戸構造を RF-MBE により成長した。III 族供給量により V/III 比を変化させ、組成分布が結晶性・光学特性に与える影響を調査した。III-rich な条件では組成が不均一となったが、バンド端付近の発光が明瞭に観測された。量子井戸では、バンド端付近の発光に量子サイズ効果による高エネルギーシフトが観測された。しかし、半値全幅が大きく、ショルダーも観測されたことから、超薄膜においても、III-rich な条件では組成が不均一となることが分かった。

謝辞

本研究に用いた RF-MBE 装置を提供頂いた千葉大学吉川明彦名誉教授に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] D. Welch *et al.*, Sci. Rep. **8**, 2752 (2018).
- [2] E. Iliopoulos and T. D. Moustakas, Appl. Phys. Lett. **81**, 295 (2002).
- [3] H. Fujikura *et al.*, Appl. Phys. Express **13**, 025506 (2020).

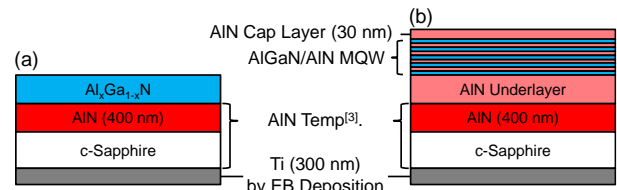


図1. (a) AlGaIn 薄膜と (b) 量子井戸構造の模式図

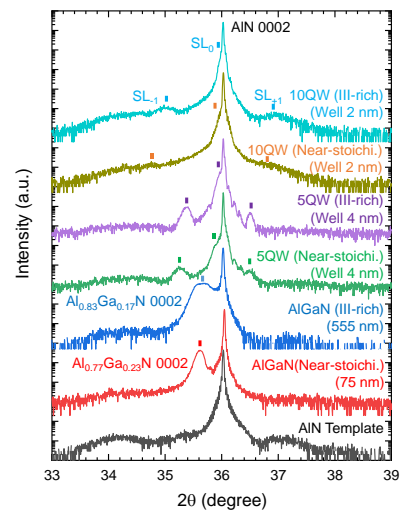


図2. 0002回折ピーク付近のXRD θ -2 θ パターン

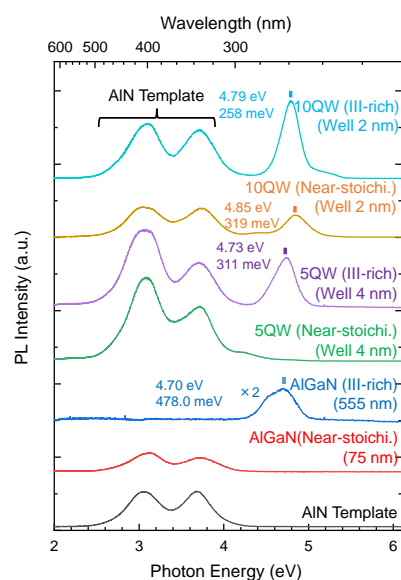


図 3. 室温の PL スペクトル