

サイクロトロン共鳴に向けた AlN テンプレート上 AlGaN/InGaN ヘテロ構造の成長

Growth of AlGaN/InGaN hetero structure grown on AlN template for cyclotron resonance measurement

物材機構¹, 工学院大², 北大理³ °角谷 正友¹, 福田 清貴^{1,2}, 矢代 秀平^{1,2}, 本田 徹²,

(D3) Dickson Kindole^{1,3}, 竹端 寛治¹, 今中 康貴^{1,3},

NIMS¹, Kogakuin Univ.², Hokkaido Univ.³ °M. Sumiya¹, K. Fukuda^{1,2}, S. Yashiro^{1,2}, T. Honda²,

(D3) Dickson Kindole^{1,3}, K. Takehana¹, and Y. Imanaka^{1,3}

E-mail: SUMIYA.Masatomo@nims.go.jp

【はじめに】InGaN 薄膜は電子デバイスとしても有望な材料であるが、その移動度は GaN よりも減少する傾向にある。InGaN の移動度を向上させるために、In 組成と有効質量や alloy scattering の関係など電子輸送に関する実験的な知見が必要である。直接的に有効質量を決定する方法であるサイクロトロン共鳴 [1] を行うには、基板を含め、ヘテロ界面以外に残留するキャリア濃度を極力低減するとともに移動度を高くする必要がある。そこで、我々はサファイア基板/AlN テンプレート上に InGaN 薄膜を成長し、結晶性や alloy scattering の観点から膜厚依存性を検討したところ、シュブニコフドハース振動が観測できるほど良好な InGaN 薄膜と AlGaN/InGaN/GaN ヘテロ構造を作製することができたので報告する。

【実験】MOCVD で AlN テンプレート (サイオクス社) 上に低温バッファ層なしで GaN (0.84 μm) を直接成長した後に、基板温度を下げて N_2 雰囲気中で $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 薄膜 (0.54 $\mu\text{m}/\text{h}$) を成長した。AFM および XRD で表面形状や結晶性は評価した。また、光熱偏向分光法 (Photothermal Deflection Spectroscopy (PDS)) [2] でも InGaN 薄膜試料を評価した。PDS はバンドギャップエネルギー付近に相当する分光した光を試料に照射し非輻射によって発生する熱を検出する方法なので、価電子帯上端部の Urbach energy に関する情報を含む。そして、Urbach energy は結合長や角度の揺らぎを反映するので [3]、InGaN 薄膜の alloy scattering の指標とした。

【結果】AlN テンプレート上の GaN 表面を AFM で観察したところ、転位密度に相当するとも考えられる $5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ のピットが見られた。サファイア基板上の転位密度より約 1 桁減少し、AlN テンプレートの効果と思われる。その上の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ は成長初期より GaN 表面を覆いスパイラル成長をしていた。 $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ の AFM 観察から得られた表面ラフネスは 1.0~2.2 nm であった。Fig. 1(a) はバンド端付近の PDS スペクトル (挿入図) から求めた Urbach energy と InGaN 成長時間の関係を示す。成長が進むとともに Urbach energy が減少して 10 分で最小値を示し、その後増加傾向にあることがわかる。最も alloy scattering が小さい 10 分成長した InGaN (90nm) 上に $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ を 8 nm 成長したところ、Fig. 1(b) に示すように各層で回折の干渉が見られるほど良好なヘテロ界面が形成された。また、強磁場中の電子輸送特性を観測したところ、AlGaN/InGaN 界面で形成された 2 次元電子による明瞭なシュブニコフドハース振動を観測することができた。In 組成 4%, 7% でも同様な XRD と振動を確認できており、InGaN の輸送特性を議論できる程良質な InGaN 薄膜と AlGaN/InGaN ヘテロ構造がキャリア濃度の低い AlN テンプレート上にできた。

【謝辞】本研究の一部は、新学術領域「特異構造の結晶科学」(JP16H06424) と文科省「次世代半導体」の支援を受けた。[1] Y. Imanaka, J. Low Temp. Phys. **170**, 389-396 (2013). [2] M. Sumiya *et al.*, Appl. Phys. Express **11**, 021002 (2018). [3] G. D. Cody, J. Nov-Crys. Solid **141**, 3 (1992).

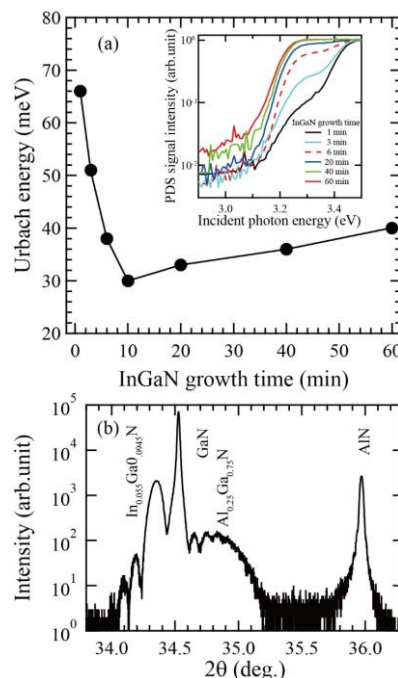


図 1 (a) AlN テンプレート上に成長した InGaN の Urbach energy の膜厚依存性. 挿入図は Urbach energy を求めた PDS スペクトル. (b) 最適化した膜厚 InGaN を含むヘテロ構造の XRD の ω -2 θ スキャン.