

III 族原料流量変調エピタキシによる窒素極性 GaN(000-1) 薄膜成長機構

Growth mechanism of N-face GaN(000-1) films

by group-III-source flow-rate modulation epitaxy

日本電信電話㈱ NTT 物性科学基礎研 ○赤坂 哲也, G. H. Lin, 山本 秀樹

NTT Corp. NTT Basic Research Labs., ○T. Akasaka, C. H. Lin, and H. Yamamoto

E-mail: akasaka.tetsuya@lab.ntt.co.jp

【はじめに】窒化物半導体では、類似の表面構造を持つ成長基板が入手しやすく、成長条件の最適な範囲が比較的広い III 族極性(0001)面の成長が盛んに行われてきた。一方、窒素極性(000-1)面では、窒素のバックボンドが多いため In(Ga)N の高温成長が可能であったり、分極の方向が III 族極性(0001)面とは逆のため電界効果トランジスタの enhancement mode 動作が容易であったりするので最近注目を集めている。ところが、窒素極性(000-1)面の最適な成長条件の範囲は狭く、高品質結晶を得るのが難しい。特に、表面にヒルロックが多数形成されて平坦性が悪いのが大きな問題となっている。我々は、III 族原料の流量を周期的に変調する III 族原料流量変調エピタキシ (III 族原料 FME) を用いて、GaN(000-1)薄膜のヒルロック密度を大幅に低減した[1, 2]。今回は、III 族原料 FME におけるヒルロックの低減機構を中心とした成長機構について検討する。

【実験】III 族原料 FME により、オフ角 $\sim 0.3^\circ$ の GaN(000-1)バルク基板上に窒素極性 GaN(000-1)薄膜を成長した。基板温度は約 1015°C である。原料ガスの NH_3 は連続的に供給する一方、III 族原料のトリメチルガリウム、または、トリエチルガリウムの流量を変調した。すなわち、大流量の III 族原料($21 \mu\text{mol}/\text{min}$)を 1 秒間、および、小流量の III 族原料 ($10 \mu\text{mol}/\text{min}$)を t 秒間($t: 0\sim 10$)交互に供給した。小流量の III 族原料供給中には、Ga の成長表面への吸着と再脱離がバランスしており、GaN の成長もエッチングも起こらず、Ga の表面拡散のみが促進される[1]。この交互供給を 1800 サイクル繰り返し、約 900nm の厚さの GaN(000-1)薄膜を成長した。

【結果と考察】図 1 (a)に示したように、 $t=0$ (流量変調なし)では、GaN(000-1)薄膜の表面には多数のヒルロックがある。一方、図 1 (b)に示した $t=3\text{s}$ の III 族原料 FME では、サンプル全体にわたりヒルロックの発生が抑えられていることが分かる。ひとつのヒルロックの中心付近の原子間力顕微鏡像を図 2 に示す。1 \sim 2 分子層の高さの螺旋状ステップが観察された。また、成長螺旋の中心には大きさ $1\mu\text{m}$ 程度のピットが見られ、micro-pipe が存在する。GaN の micro-pipe は、c 軸方向に格子定数以上の大きな Burgers vector 成分を持つ super screw-dislocation (SSD)であることが知られている。BCF 理論によれば、成長螺旋のステップ間隔 λ 、ステップの本数 m 、および、表面過飽和度 σ の間には、 $\lambda \propto 1/(m \cdot \sigma)$ の関係がある。SSD は多数のステップを供給するので λ が小さくなり (成長螺旋のステップが密になり)、通常の成長ではヒルロックが発達しやすい。一方、III 族原料 FME では、小流量の III 族原料を供給する (σ が小さい) 間に Ga の表面拡散を促進させるので、 λ が大きくなり (成長螺旋のステップが疎になり)、螺旋成長よりもステップフロー成長が支配的になる結果、ヒルロック形成が抑制されるものと考えられる。

[1] C. H. Lin, T. Akasaka, and H. Yamamoto: Jpn. J. Appl. Phys. **53**, 11RC01 (2014).

[2] 赤坂哲也, 林家弘, 山本秀樹: 2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-C5-3.

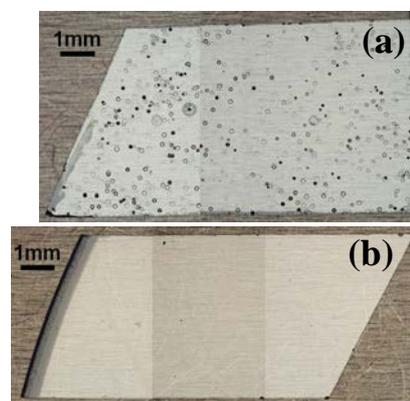


Fig. 1: Optical micrographs of N-face GaN(000-1) surfaces grown by (a) continuous growth ($t=0$) and (b) group-III-source FME ($t=3\text{s}$).

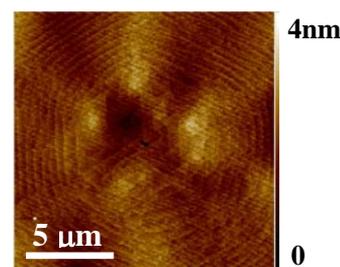


Fig. 2: AFM image around the center of the hillock.