

技術紹介

大気圧 MOCVD 装置による窒化ガリウムの高速成長

High Rate Growth of GaN with Atmospheric Pressure MOCVD

矢野 良樹*
YANO Yoshiki

生方 映徳*
UBUKATA Akinori

田 渕 俊 也*
TABUCHI Toshiya

1. はじめに

1993年に窒化ガリウム (GaN) を用いた高輝度青色発光ダイオード (LED) が開発され¹⁾, それ以降 GaN 系半導体デバイスは急速な進歩を遂げた。現在は大量生産の時代を迎えており, 当社のような MOCVD 装置メーカーにとって大幅なコストダウンや生産性向上は大きな課題である。

GaN 系デバイスに使用される高品質 GaN バッファ層の膜厚は 3~10 μm が一般的である。MOCVD 法で高品質 GaN を成長するための最適な成長速度は数 μm/h であり, バッファ層成長に長時間を要している。結晶品質を損なうことなく高速成長が可能となれば, 成長時間が大幅に短縮され, 生産性の向上につながる。

以前, 我々は当社製 MOCVD 装置で GaN の高速成長を試みた結果, 28 μm/h まで可能であることを報告した^{2,3)}。図1にこのときの GaN 成長速度と XRD ロッキングカーブ半値幅の関係を示す。一般的に半値幅が狭いほど欠陥が少なく品質が高いと言える。12 μm/h 以上で成長したサンプルはそれ以下の速度で成長したサンプルと比較して半値幅は広く, 低品質であった。今回高速成長前の初期段階で GaN を低速で成長することで結晶品質改善を試み, 一定の成果を得たので報

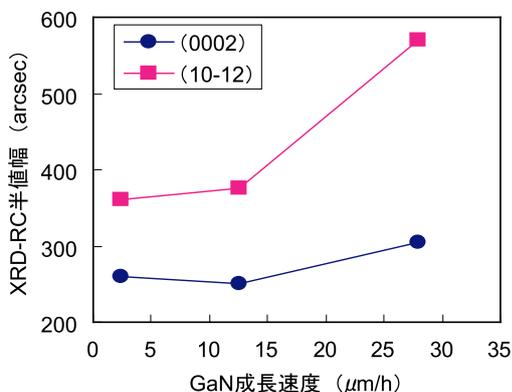


図1 従来条件での GaN 成長速度と XRD-RC 半値幅の関係^{2,3)}

*電子機材事業本部事業戦略推進部先端技術開発部

告する。

2. 実験

今回 GaN 成膜に使用した装置は当社製 MOCVD 装置 SR4000 で, 1 バッチで 2 インチサイズウェハ 3 枚に成長することが可能である。成長基板として 2 インチサファイア基板を, 原料として当社製高純度 NH₃ ガス (99.999%) とトリメチルガリウム (TMG) を用いた。また, キャリアガスとして精製水素 (99.99999%) と精製窒素 (99.99995%) を用い, リアクタ内の圧力は大気圧に保持した。図2に今回検討した GaN の構造と成長速度について示す。左のサンプル A は従来の標準的な条件で成長したサンプルで, サファイア上に 450℃ の低温で 30 nm 厚の GaN を成長後 1125℃ に昇温して 3 μm/h の速度で 80 分成長した。右のサンプル B は, 450℃ の低温で 30 nm 厚の GaN を成長後 1125℃ に昇温し, 3 μm/h 以下の低速で 20 分間成長 (第 1 ステップ GaN) 後, 5 分間スロープ状に TMG 供給量を増加させて成長速度を上げていき, 19 μm/h に達したところから一定速度で 6 分間成長した。今回は第 1 ステップ GaN の成長速度を 1.5~3.0 μm/h の範囲で変化させたサンプルを 4 種類作製し, サンプル A と B の結晶品質の比較を行った。

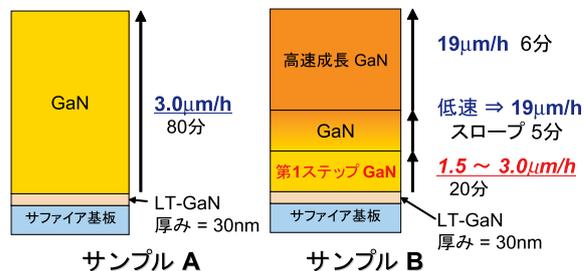


図2 検討した GaN の構造と成長速度

3. 実験結果と考察

図3は SR4000 で成長した GaN の TMG 供給量に対する成長速度を示したものである。これを見ると, TMG 供給量に対して成長速度はほぼ線形的に増加し

ていることがわかる。このことから、 $19\mu\text{m/h}$ のような高速条件下においても結晶品質に悪影響を及ぼすような原料ガスの過激な気相反応は十分抑制されていると考えられる。

図4に各サンプルのXRD ロッキングカーブ(0002)方向と(10-12)方向の半値幅を示す。サンプルBの横軸は第1ステップ GaN の成長速度を表している。これを見ると、サンプルBのいずれのサンプルもサンプルAに対して約20秒広い程度に収まっており、高速成長でも GaN の結晶品質を維持できることが分かった。図1の結果と比較しても品質が向上していることは明らかである。

図5に各サンプルの微分干渉顕微鏡による表面モフォロジ写真を示す。(a)はサンプルA, (b) (c) (d) (e)はサンプルBで、それぞれ第1ステップ GaN 成長速度が $1.5\mu\text{m/h}$, $2.0\mu\text{m/h}$, $2.5\mu\text{m/h}$, $3.0\mu\text{m/h}$ の表面写真である。これを見ると、(b), (c)では(a)に近いモフォロジでストリークかつ平坦性が保たれているが、(d), (e)では表面に凸凹ができ始めており平坦性がやや損なわれていることがわかる。このことから、初期段階に $2.0\mu\text{m/h}$ 程度の低速で GaN を成長する方法が平坦な GaN の高速成長に有用であることがわかった。

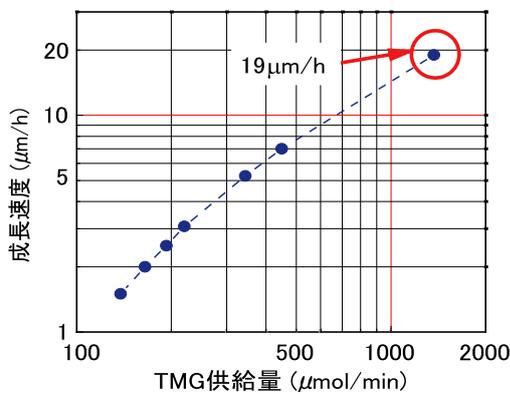


図3 GaN の TMG 供給量に対する GaN の成長速度

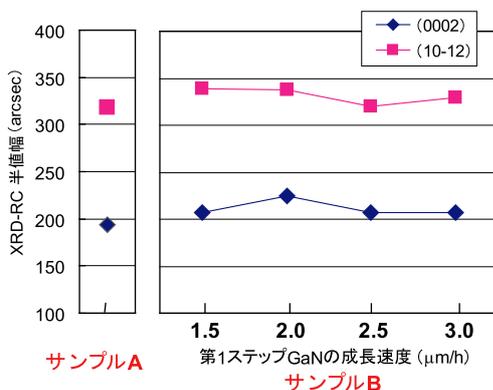
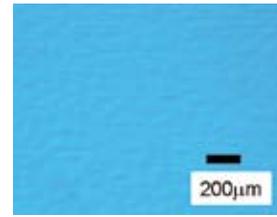
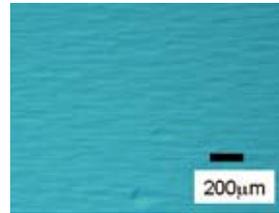


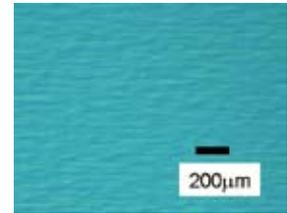
図4 各サンプルのXRD ロッキングカーブ半値幅



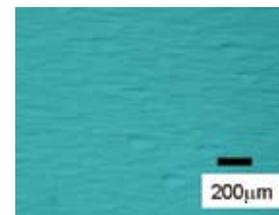
(a) サンプル A



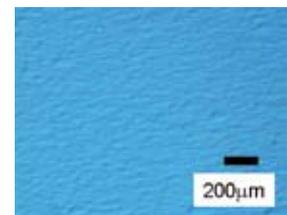
(b) サンプル B
第1ステップ: $1.5\mu\text{m/h}$



(c) サンプル B
第1ステップ: $2.0\mu\text{m/h}$



(d) サンプル B
第1ステップ: $2.5\mu\text{m/h}$



(e) サンプル B
第1ステップ: $3.0\mu\text{m/h}$

図5 各サンプルの表面モフォロジ写真

4. まとめ

当社製 MOCVD 装置 SR4000 で GaN を成長した結果、GaN 成長速度は TMG 供給量に対して線形的に増加し、最大で $19\mu\text{m/h}$ を得られた。また、成長初期に $2.0\mu\text{m/h}$ 以下の低速で GaN を成長後、TMG 供給量を増加させて高速で GaN を成長したところ、標準条件で成長したサンプルと同等の結晶品質と表面平坦性を持った GaN 結晶を得ることができた。

当社製 MOCVD 装置は大気圧成長においても過激な気相反応が抑制される設計となっており、成長速度は $19\mu\text{m/h}$ が限界値ではなく更に伸ばせる可能性があると考えている。高品質で厚い GaN バッファ層を短時間で成長できるのは生産性向上という点で大きなメリットである。

参考文献

- 1) Nakamura, S.; Mukai, T.; Senoh, M. *Appl. Phys. Lett.* 64, 1687 (1994).
- 2) Tokunaga, H.; Fukuda, Y.; Ubukata, A.; Ikenaga, K.; Inaishi, Y.; Orita, T.; Hasaka, S.; Kitamura, Y.; Yamaguchi, A.; Koseki, S.; Uematsu, K.; Tomita, N.; Akutsu, N.; Matsumoto, K. *Phys. Stat. Sol.* 5 (9), 3017-3019 (2008).
- 3) Matsumoto, K.; Tokunaga, H.; Ubukata, A.; Ikenaga, K.; Fukuda, Y.; Tabuchi, T.; Kitamura, Y.; Koseki, S.; Yamaguchi, A.; Uematsu, K. *J. Crystal Growth.* 310, 3950-3952 (2008).