

技術紹介

MOCVD による窒化物系電子デバイス構造の大口徑 Si 基板上への高速成長

High Speed Growth of Nitride-Based Electronic Device Structure
on Large Diameter Silicon Substrate with MOCVD

矢野 良樹*

YANO Yoshiki

田 渕 俊 也*

TABUCHI Toshiya

松本 功*

MATSUMOTO Koh

1. はじめに

近年シリコン (Si) 基板上に高品質の GaN 結晶を成長する技術が急速に進歩し、世界各地で窒化物系電子デバイスの研究や生産が活発化してきている。当社ではこのような電子デバイスの需要に対応した大口徑量産型 MOCVD 装置を開発し、6 インチ基板 7 枚あるいは 8 インチ基板 6 枚を 1 バッチで薄膜成長できる UR25K および UR26K を販売している¹⁾。

Si 基板上に窒化物系電子デバイス構造を成長するためには AlN や AlGaIn 等による多層構造のバッファ層が必須で、高耐圧化には厚膜化を要求される。しかし Al を含む結晶成長の際には有機金属のトリメチルアルミニウム (TMA) やトリメチルガリウム (TMG) とアンモニアの過激な気相反応により粒子を形成しやすいため、結晶品質の低下や均一性の悪化、成長速度低下といった問題がある。生産性向上のためには結晶品質と均一性を維持しながら高速で成長し、成長時間を短縮できる技術と装置を求められる²⁾。GaN の高速成長についてはすでに実証し、報告している³⁾。今回我々は Si 基板上に AlN と AlGaIn 薄膜を高速成長し、その成長速度を確認した。またこの結果を元に AlGaIn/GaN 高電子移動度トランジスタ (HEMT) 構造を作製し、通常速度で成長したものの品質と比べて遜色ない結果を得られたので報告する。

2. AlN と AlGaIn 薄膜の高速成長

AlN と AlGaIn 薄膜成長の際に使用した MOCVD 装置は当社製 MOCVD 装置 UR25K である。成長した基板は 6 インチ Si (111) 基板、原料として当社製高純度アンモニアガス (99.999%) と TMA, TMG を用いた。キャリアガスとして精製水素と精製窒素を用い、リアクタ内の圧力は 13kPa とした。原料供給量を増加しキャリアガス供給量を調整しながら高速成長を試みた。AlN

は Si 基板上に 130nm 厚を直接成長し、AlGaIn は Si 上に 130nm 厚の AlN を成長した後 250nm 程度成長した。成長時の基板温度は AlN で 1050°C、AlGaIn で 1000°C とした。

図 1 に TMA の供給濃度と AlN 成長速度の関係を、図 2 に TMA と TMG 合計の供給濃度と AlGaIn 成長速度の関係を示す。AlN、AlGaIn ともに成長速度は線形に増加していることがわかる。AlN は最速で 3.8 $\mu\text{m}/\text{h}$ 、AlGaIn は最速で 11.4 $\mu\text{m}/\text{h}$ を達成した。有機金属を増加するにつれてアンモニアとの気相反応が過激になると成長速度は極端に低下してしまうが、AlN も AlGaIn もそのような傾向は見られず、過激な気相反応は十分に抑制されていると判断できる。一般的な装置では両膜とも 1~3 $\mu\text{m}/\text{h}$ 程度で成長されていることから、この結果は当社装置の設計と成長条件の最適化による成果である。当実験では原料供給量の制限によりこれ以上の成長速度を確認できなかったが、さらなる高速化は十分可能であると考えられる。

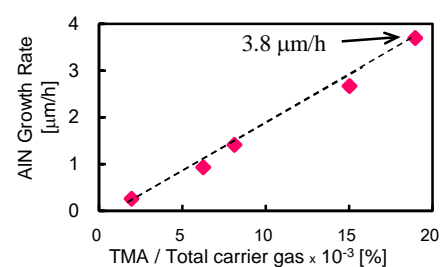


図 1 TMA 供給濃度と AlN 成長速度

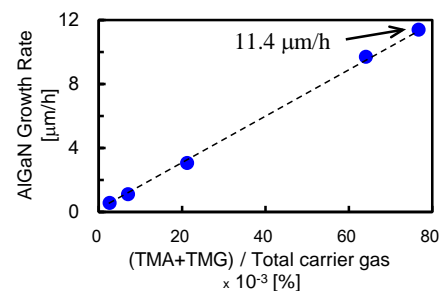


図 2 TMA+TMG 供給濃度と AlGaIn 成長速度

* 電子機材事業本部 化合物事業部

3. AlGaIn/GaN HEMT 構造の高速成長

今回成長した HEMT 構造は 6 インチ Si(111) 基板上に AlN(130nm 厚), Al_{0.5}Ga_{0.5}N(270nm 厚), AlGaIn/AlN 52 周期の超格子構造(SLS 構造, 1.5 μ m 厚), ノンドープ GaN(ud-GaN, 1.1 μ m 厚), AlN(1nm 厚), Al_{0.22}Ga_{0.78}N(25nm 厚)の順に成長したものである。通常の方法で成長したもの(サンプル A)と, SLS 構造と ud-GaN を高速成長したもの(サンプル B)を作製し結晶評価の比較を行った。SLS を構成する AlN と AlGaIn の成長条件は前項で得られた結果を元に設定した。表 1 に両サンプルの成長速度と, 基板温度昇降にかかる時間を除いた全層の実成長時間を示す。サンプル A の 88 分に対しサンプル B は 41 分と, 50%以下に短縮された。このときの成長速度は SLS が 8.5 μ m/h, ud-GaN が 7.5 μ m/h であった。

表 1 サンプル A と B の成長速度と実成長時間

サンプル No.	成長速度 [μ m/h]		全層の実成長時間 [min]
	SLS	ud-GaN	
A	3.2	1.6	88
B	8.5	7.5	41

図 3 にサンプル B の外観写真と光学的測定による総膜厚マッピングデータを示す。サンプル B は A と同様に基板全面鏡面で比較的平坦な表面となり, クラックフリーを得られた。サンプル B の平均膜厚は 3.0 μ m で分布は 1 σ =0.64%であった。サンプル A は 1 σ =0.52%であったことから, 高速成長でも良好な膜厚均一性を得られることがわかった。図 4 にサンプル B の断面 SEM 像を示す。高速成長においても SLS の界面は良好に形成されていることが確認された。X 線回折による GaN ロッキングカーブ半値幅はサンプル A の(002)方向=520arcsec, (102)方向=1100arcsec に対し, サンプル B は(002)方向=520arcsec, (102)方向=1300arcsec となった。高速成長での結晶品質が若干悪化したことを示唆する結果だが, SLS 成長条件の最適化によりさらなる改善は可能であると考えられる。

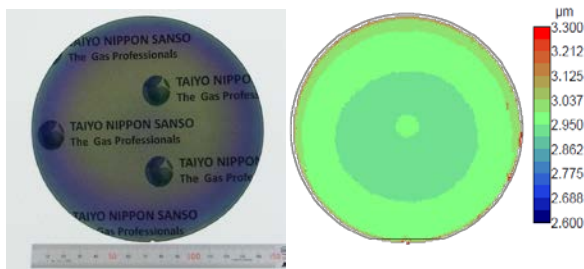


図 3 サンプル B の外観写真(左)と総膜厚マッピングデータ(右)

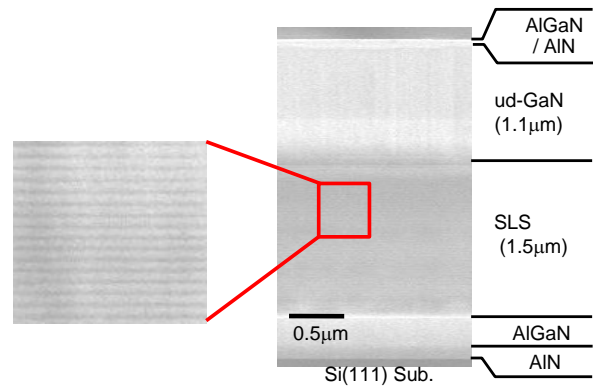


図 4 サンプル B の断面 SEM 像

両サンプルの HEMT としての基本的電気特性を調べるためにホール効果測定を行った。結果を表 2 に示す。高速成長のサンプル B でシートキャリア密度はやや低下したものの, ホール移動度は 1530cm²/Vs と標準的な数値を得られた。この結果から, 2次元電子ガスが発生している ud-GaN と Al_{0.22}Ga_{0.78}N の間の界面の平坦性が高速成長により若干劣化したと考えられる。高速成長後の表面平坦化が最適化の課題である。

表 2 サンプル A と B のホール効果測定結果

サンプル No.	シートキャリア密度 [cm ⁻²]	ホール移動度 [cm ² /Vs]
A	1.2 × 10 ¹³	1670
B	8.9 × 10 ¹²	1530

4. まとめ

当社製 MOCVD 装置 UR25K を使用して 6 インチ Si 基板上に HEMT 構造の高速成長を行った。AlGaIn/AlN SLS の成長速度 8.5 μ m/h, ud-GaN は 7.5 μ m/h の条件下で, 膜厚均一性や結晶品質, 電気特性において通常成長速度の HEMT と比べて遜色ない結果を得ることができた。全層の実成長時間は従来比 50%以下であり, この結果は電子デバイス生産性向上の観点で当社製 MOCVD 装置の優位性を示すものと言える。今後の課題は, 成長条件の最適化により高速成長での HEMT 構造の結晶品質をさらに改善することである。

参考文献

- 1) Yano, Y.; Tokunaga, H.; Shimamura, H.; Yamaoka, Y.; Ubukata, A.; Tabuchi, T.; Matsumoto, K. Jpn. J. Appl. Phys. 52, 08JB06 (2013).
- 2) Matsumoto, K.; Ubukata, A.; Ikenaga, K.; Naito, K.; Yamamoto, J.; Yano, Y.; Tabuchi, T.; Yamaguchi, A.; Ban, Y.; Uchiyama, K. Proc. SPIE. 8262, 826202 1-7 (2012).
- 3) 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).