



MOCVD 装置向け高温原料供給ユニットによる AlYN 成膜の実証 Demonstration of AlYN growth using a high-temperature precursor supply unit for MOCVD equipment

成田 俊*

NARITA Shun

清水 裕大*

SHIMIZU Yudai

池尻 圭太郎*

IKEJIRI Keitaro

1. はじめに

MOCVD (有機金属化学気相成長) 法により成膜された窒化物半導体は、高周波デバイス、LED、レーザー等の幅広い分野で利用されている。近年では、希土類元素を添加した窒化物材料が注目されており、従来材料にはない優れた特性の発現が報告されている。特に AlScN (窒化アルミニウムスカンジウム) は高い圧電性および強誘電性を有し、不揮発メモリや高速通信用デバイス (HEMT: 高電子移動度トランジスタ) 等への応用が期待されている^{1,2)}。

一方、AlYN (窒化アルミニウムイットリウム) は、AlScN と同様に圧電特性および強誘電特性の向上が期待される材料であり、さらに高温安定性や資源・コスト面での優位性から注目を集めている。本稿では、当社 MOCVD 装置を用いて、低蒸気圧原料である (EtCp)₂Y(dbt) [ビス (エチルシクロペンタジエニル) (ジ-tert-ブチルトリアゼニド) イットリウム] を供給し、AlYN 薄膜の成膜を実証した結果について報告する。

2. 低蒸気原料供給の技術的課題

AlYN の成膜方法として MBE 法や MOCVD 法が報告されている¹⁾。中でも MOCVD 法は、結晶品質、成膜速度、膜厚制御性および量産性に優れる。

一方で、MOCVD 法で希土類の供給原料として使用される有機金属希土類化合物は一般に蒸気圧が低く、十分な原料供給が困難であるという課題がある。Y 原料である (EtCp)₂Y(dbt) は、一般的な MO 原料 (TMG, TMA) より蒸気圧が 5~6 桁低い (図 1)。このため、数十℃程度までしか加熱できない従来の原料供給システムでは原料の十分な気化が困難であり、安定供給が課題となっている。

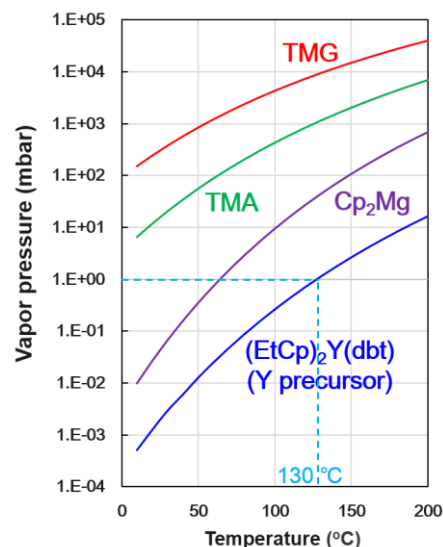


図 1 (EtCp)₂Y(dbt) と一般的な MO 材料の蒸気圧

3. SR4000-HT-LV について

当社 MOCVD 装置である「SR4000-HT」は 4 インチ 1 枚、または 2 インチ 3 枚の窒化物半導体の成膜に対応した装置であり、3 層流ガスノズルを特長とする³⁾。本装置はこれまでに、パワーデバイス向け高 Al 組成 AlGaIn⁴⁾、UV-LED⁵⁾、高効率 InGaIn 発光素子⁶⁾ など次世代の窒化物半導体材料の研究開発に使われており、その有効性も実証されている。

前章の状況を踏まえ、当社では蒸気圧が低い有機金属原料を MOCVD 装置へ供給することを目的とした高温原料供給ユニット⁷⁾を開発した。本ユニットは原料供給システム全体を 150 °C の高温に保持することが可能であり、従来供給が困難であった蒸気圧の低い原料を安定して供給可能である。本ユニットと「SR4000-HT」を統合することで (「SR4000-HT-LV」)、従来供給が困難であった蒸気圧の低い有機金属希土類化合物の供給および希土類添加窒化物半導体の成膜が可能となった。

* イノベーションユニット CSE 事業部 技術部 プロセス課

4. 実証結果

4.1 AIYN 成膜の実証

Al 原料として TMA, Y 原料とし (EtCp)₂Y(dbt), N 原料として NH₃ を使用して, GaN 膜上に約 200 nm の AIYN の成膜を試みた (図 2)。X 線回折 2θ-ω 測定により, GaN の対称面ピーク近傍に AIYN 由来のピークが確認できた (図 3)。加えて, GaN (11̄24) 面の逆格子マッピングにおいては GaN の回折ピークの上部に AIYN のピークがみられ, GaN 上に格子整合した AIYN が堆積されたことが確認できた (図 4)。

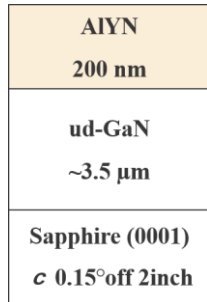


図 2 本実証における膜構造

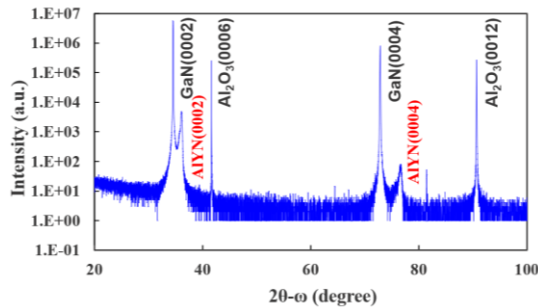


図 3 AIYN 膜の X 線回折 2θ-ω 測定結果

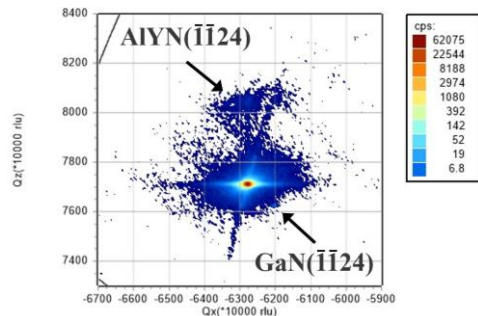


図 4 AIYN 膜の逆格子マッピング像

4.2 AIYN/GaN HEMT の作製とシート抵抗値評価

4.1 の結果に基づき, AIYN/GaN HEMT エピ構造 (図 5) の成膜を行った。HEMT の動作性能向上には, 電子が薄い層状に高密度で集まった電気が流れ

やすい層 (2DEG: 二次元電子ガス) の形成が重要であり, その特性評価指標の一つがシート抵抗である。一般に, この値が低いほど良好な電気的特性を示す。

そこで, 成膜したサンプルを非接触式シート抵抗測定装置で評価したところ, シート抵抗値は 230 Ω/sq であった。この値は, 当社装置で作製した一般的な AlGaIn/GaN HEMT のシート抵抗値 (435 Ω/sq) の約半分であり, 非常に低い値を示した。

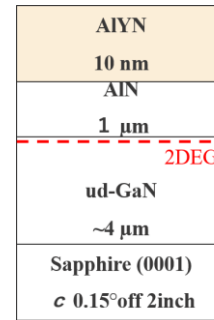


図 5 本実証における AIYN/GaN HEMT エピ構造

5. 結論

SR4000-HT-LV を用いて低蒸気圧原料を用いた AIYN の成膜に成功し, GaN に格子整合した AIYN の形成を確認した。また, AIYN を用いた HEMT エピ構造の成膜にも成功し, シート抵抗値 230 Ω/sq の良好なシート抵抗値を示した。

以上より, これらの結果は, 高温原料供給ユニットによって供給された Y 原料が AIYN/GaN ヘテロ構造の形成に有効に利用されていることを示すとともに, 本装置が先端デバイス応用を見据えた希土類添加窒化物半導体の成膜応用に向けた研究開発に対して利用可能であることを示している。

参考文献

- 1) S. Leone *et al.*, Phys. Status Solidi RRL 14, 1900535 (2020).
- 2) 清水裕大, MOCVD 装置向け高温原料供給ユニットによる AlScN 成膜の実証, 太陽日酸技報, 2024, No.43
- 3) 内藤一樹, 深紫外発光デバイス用 MOCVD 装置 SR4000HT 太陽日酸技報, 2015, No.34
- 4) B. Klein *et al.*, Advanced Materials Interfaces, 12, 2301080 (2025).
- 5) T. Kirihara *et al.*, Journal of Applied Physics, 138(17), 174501 (2025)
- 6) Z. Jamal-Eddine *et al.*, Applied Physics Letters, 118(5), 053503 (2021)
- 7) 池尻圭太郎, MOCVD 装置向け低蒸気圧原料供給ユニット(LV シリーズ). 太陽日酸技報, 2023, No.42