

# パワー半導体薄膜の低温・低毒性微細加工技術の開発

塩尻大士，三橋雅彦，安井学，黒内正仁，金子智（電子技術部電子材料グループ）

## 1. はじめに

本研究は、次世代高耐压デバイスを担うウルトラワイドギャップ半導体に向け、腐食性ガスや高温プロセスを使用しない環境低負荷な新規表面微細加工技術の開発を目的としている。著者らは、これまでに酸化ガリウムについて深紫外レーザー照射による位置選択的な固相結晶化と低毒性溶液によるウェットエッチングを組み合わせた手法を開発しており<sup>[1-3]</sup>、本研究では本技術を大面積処理が可能な微細加工技術への拡張を試みたので報告する。

## 2. 実験及び結果

高耐压デバイス応用に向けて、パワー半導体薄膜の組成の高純度化と大面積化は避けて通ることができない課題である。しかし、酸化ガリウム粉末や熔融結晶を原料とした成膜では、原料由来の不純物により原理上 99.9% を超える純度の薄膜を作製することは困難である。本研究では、まず、純度 7N (99.99999%) のガリウム金属原料と G1 グレード相当の高純度酸素ガスとの反応性成膜により、高純度な非晶質酸化ガリウム前駆体薄膜の作製を試みた。

成膜には大面積・高速成膜に適したイオンプレーティング法を採用した。薄膜堆積用の基板として、n-type Si(111)基板と 1000°C の熱処理を行った  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0001) 基板を使用した。作製した薄膜の組成については X 線光電子分光法 (XPS) により調べ、原料であるガリウムと酸素を由来とするピークを除いて不純物に由来するピークは観察されなかった。続いて、成膜時の酸素ガスのプラズマ化出力に対する薄膜の酸素比率を図 1(a) に示す。30 W 以上の出力において薄膜中の酸素比率は 53% 程度で飽和に達した。また、薄膜の表面形状を原子間力顕微鏡により調べた結果を図 1(b) に示す。図 1(b) から、作製した薄膜の平均二乗粗さは 1.13 nm であり、ナノメートルオーダーで平滑な高純度前駆体薄膜が得られた。

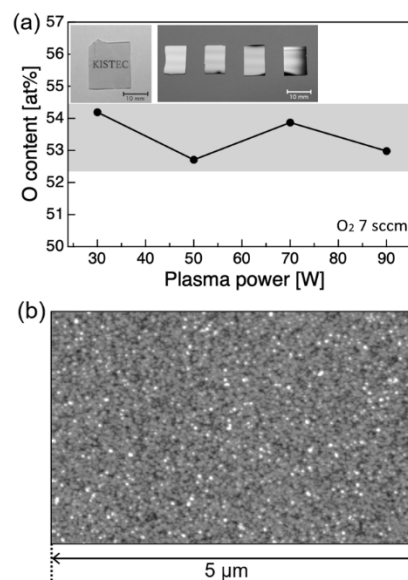


図 1. (a) XPS による非晶質酸化ガリウム前駆体薄膜の酸素組成解析結果. (b) 成膜直後の薄膜表面形状.

非晶質酸化ガリウム前駆体薄膜 (膜厚 80 nm から 400 nm) へ深紫外ナノ秒パルスレーザー ( $\lambda$ : 248 nm, laser fluence: 50 mJ/cm<sup>2</sup> から 110 mJ/cm<sup>2</sup>) を照射した後、X 線回折法により固相結晶化条件について調べた。その結果、プラズマ化出力は 30 W、成膜中の酸素流量は 7 sccm の条件で成膜した薄膜がレーザー照射条件や膜厚に対して、n-type Si(111) 基板上、及び  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0001) 基板上で最もロバストに固相結晶成長したことが明らかとなった。

次に、大面積微細加工技術への拡張を試みた。膜厚 ~80 nm の非晶質酸化ガリウム前駆体薄膜上へ、アルミニウム薄膜を熱蒸着法で成膜した。成膜後、ポジ型フォトリソレジスト OFPR-800LB (東京応化社製) によりレジストパターンを図 2(a) に示すように作製した。リン酸・氷酢酸・硝酸・超純水から調整したアルミニウムエッチャーによりアルミニウム薄膜をパターニングし、ST-120 剥離液 (東京応化社製) により図 2(b) の通りレジスト残渣を除去した。

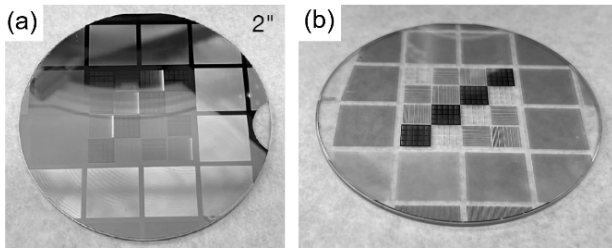


図2. リフトオフにより作製したアルミニウムパターン。

その後、作製したアルミニウムパターン上から深紫外パルスレーザーを照射し、位置選択的に非晶質酸化ガリウム前駆体薄膜を固相結晶成長させた。非結晶箇所とアルミニウムパターンは希薄リン酸溶液により同時除去した。

除去後に得られた結晶化酸化ガリウムパターンについて原子間力顕微鏡により表面形状の評価を行い、アルミニウムマスクパターンの形状と結晶化酸化ガリウムの微細構造を図3に示す通り比較した。その結果、 $6\ \mu\text{m}$ 程度のサイズまで酸化ガリウムの微細構造が作製された。また、図4の断面プロファイルに示す通りパターンの高さ(約  $80\ \text{nm}$ )や側壁角度( $\theta$ )等の加工精度を確認した。その結果、 $\theta=40\text{--}50^\circ$ 程度となり、今後はアルミニウムパターンの膜厚やエッジの形状、酸化ガリウム前駆体薄膜へのレーザー照射角度精度等の複数のパラメータ調整により急峻化を試みる。

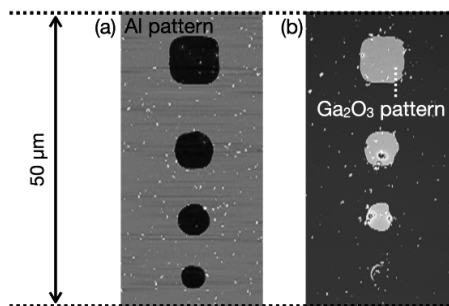


図3. Al マスクパターンと作製した  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  微細構造。

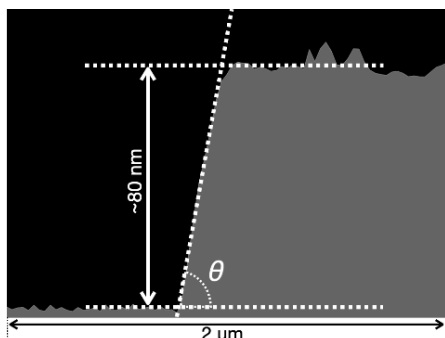


図4. 作製された  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  微細構造の側壁角度評価。

### 3. 今後の展開

本研究では、非晶質酸化ガリウム前駆体薄膜をサファイア基板上へ室温で堆積した後、レーザー反射用のアルミニウムパターンをリフトオフプロセスにより形成した。その後、波長  $248\ \text{nm}$  のパルスレーザーを照射して非晶質前駆体薄膜を位置選択的に結晶化させた後、低毒性溶液を用いたウエットエッチングプロセスで未照射部と金属マスクを常温近傍で同時除去し微細構造を作製した。

以上より、結晶化酸化ガリウムの低温・低毒性な大面積微細加工が可能となり、今後は、微細加工条件の最適化を進めるとともにデバイス構築プロセスへと展開す。

#### 【特許申請】

特願 2025-146113, (地独) 神奈川県立産業技術総合研究所・株式会社ノベルクリスタルテクノロジー。

(パワー半導体基板メーカーとの優先権主張出願)

#### 【参考文献】

1. D. Shiojiri, *et al.*, “Surface patterning of wide-gap semiconducting  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  thin films by area selective crystallization via room-temperature excimer laser annealing and low toxic wet-etching processes,” *Applied Physics Express* **18(1)** (2024) 015501.
2. 特願 2024-15286, 塩尻大士, 金子智, 「13 族元素の酸化物又は窒化物からなる結晶性薄膜の製造方法、及びその結晶性微細凹凸構造を表面に有する構造体」, 神奈川県立産業技術総合研究所。
3. 特願 2024-15296, 塩尻大士, 佐々木公平, 三橋雅彦, 金子智, 黒内正仁, 安井学, 「13 族元素の酸化物又は窒化物からなる結晶性薄膜の製造方法、及びその結晶性薄膜が積層された積層体」, 神奈川県立産業技術総合研究所・株式会社ノベルクリスタルテクノロジー。