

水素雰囲気異方性熱エッチング (HEATE) 法による β -Ga₂O₃ の高アスペクトナノ構造の作製

High aspect nano structure by Hydrogen environment anisotropic thermal etching of β -Ga₂O₃

上智大理工¹, 上智大フォトニクス研究センター², 上智大半導体研究所³

○山崎 裕貴¹, 木下 堅太郎¹, 今田 陵斗¹, 相川 健喜¹, 門馬 智亮¹, 菊池 昭彦^{1,2,3}

Sophia Univ.¹, Sophia Photonics Research Center.², Sophia Semiconductor Research Institute.³

○Yuki Yamazaki¹, Kentaro Kinoshita¹, Ryoto Konda¹, Takeki Aikawa¹,
Tomoaki Monma¹, Akihiko Kikuchi^{1,2,3}

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

はじめに：酸化ガリウム(Ga₂O₃)は、約 4.5eV の大きなバンドギャップと良好な電気特性を有し、電子デバイス等への応用が期待されている[1]。近年ではトレンチ加工を利用した MOS 型ショットキーバリアダイオードや縦型トランジスタ等も報告され、デバイス応用の多様性と性能向上に向け低損傷で高アスペクト構造を形成できるエッチング技術が重要になっている。我々は、減圧水素雰囲気中での熱分解反応を利用した水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法[2]を提案し、 β -Ga₂O₃のエッチング特性[3]や超薄膜高アスペクトナノウォールアレイ[4]について報告してきた。Fig. 1 は、HEATE 法による単結晶 β -Ga₂O₃のエッチング速度の面方位依存性であり、代表的な結晶面では(010), {101}, {10 $\bar{1}$ }, {100}の順に早いことを見出している。本研究では、 β -Ga₂O₃のデバイス応用の例として、エッチング速度が最も遅い(100)面を用いる光集積回路用ブラッグ反射鏡 (DBR) 構造の試作を行ったので報告する。

実験：ノンドープ(010)面 β -Ga₂O₃単結晶ウェハ表面に、原子層堆積法で厚さ 15nm の SiO₂ 膜を成膜し、電子線描画と CF₄/O₂ 混合ガスによるドライエッチングを用いて SiO₂ マスクを形成した。エッチング領域として、600 μ m $\times$ 600 μ m の正方形領域や可視領域に対応する一次と二次の複合型 Ga₂O₃/空気 DBR 構造、ナノトレンチ等を設計した。この試料を減圧水素雰囲気の石英管状炉内で加熱して HEATE を行った。作製した試料を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察してエッチング状態や構造体の形状等を評価した。

結果：Fig. 2 は水素圧力 100Pa、温度 900 $^{\circ}$ C、25min の HEATE 条件でエッチングした正方形領域角部の鳥瞰 SEM 像である。形成された(100)面は垂直で平坦であり、直交する面はマスク下のサイドエッチングが大きく、特定の面方位の微細筋状ファセットで形成されていた。Fig. 3 は同じ HEATE 条件で作製した複合 DBR 構造の鳥瞰 SEM 像である。Ga₂O₃層の最小幅約 45nm、空気層の最小幅約 165nm、深さ約 1.1 μ m で垂直かつ平坦な(100)面を有する高アスペクト周期構造の作製に成功した。

謝辞：本研究は JST CREST JPMJCR18T4、JSPS 科研費 JP17H02747、JP19K22147、上智大学理工学部申請型研究費の援助を受けて実施された。

参考文献：[1] M. Higashiwaki et al. J. Phys. D, Appl. Phys. 50 (2017) 333002. [2] R. Kita et al. Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015) 046501. [3] 大江 他, 第66回応用物理学会春季学術講演会(2019) 11a-S011-9. [4] 大江 他, 第80回応用物理学会秋季学術講演会(2019) 21p-B31-6.

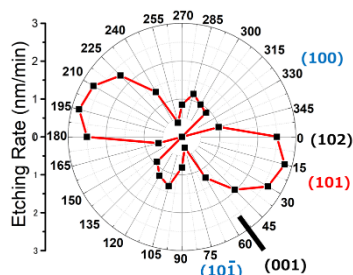


Fig. 1. Angular dependency of lateral etching rate of (010) β -Ga₂O₃ by HEATE.

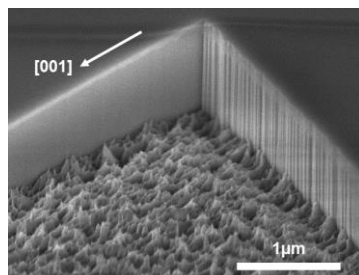


Fig. 2. Bird's-eye view SEM image of the corner of the rectangular area formed by HEATE on the surface of (010) β -Ga₂O₃ wafer.

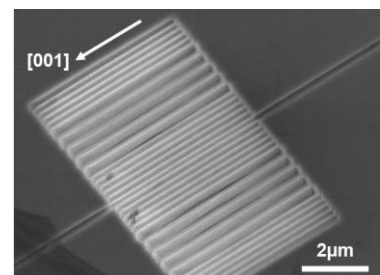


Fig. 3. Bird's-eye view SEM image of 1st and 2nd order hybrid DBR structure formed by HEATE on the surface of (010) β -Ga₂O₃ wafer.