

プラズマを用いない 酸化ガリウムの微細加工方法

物質・材料研究機構

電子・光機能材料研究センター

超ワイドギャップ半導体グループ

主任研究員 大島 孝仁

2024年6月18日

β -Ga₂O₃は、有望なパワー半導体

- 次世代パワー半導体 β -Ga₂O₃は、近年急速に研究開発が進む。
- これは、炭化ケイ素や窒化ガリウムに対して、パワー半導体としての基礎物性、ウェハ価格で有意性があるためである。
- β -Ga₂O₃の市場規模は、385億円（2035年）に急拡大すると予想される[1]。

β -Ga₂O₃デバイスの制約

- しかし、 β -Ga₂O₃は、p型伝導性が得られないn型単極性半導体であり、pnホモ接合が形成できない。
- そのため、パワーデバイスに要求される高耐圧化やノーマリーオフ動作を、p層なしで実現するためには、構造的な工夫が必要である。
- それは、フィンやトレンチなどの高アスペクトな微細構造である。

微細加工の効果

- 微細加工デバイスは、既に実証されて、実績がある。
- フィンを利用したFinFETではノーマリオフ動作や耐圧の向上が確認され[2]、トレンチを利用したTrenchSBDでは耐圧の向上が報告されている[3]。

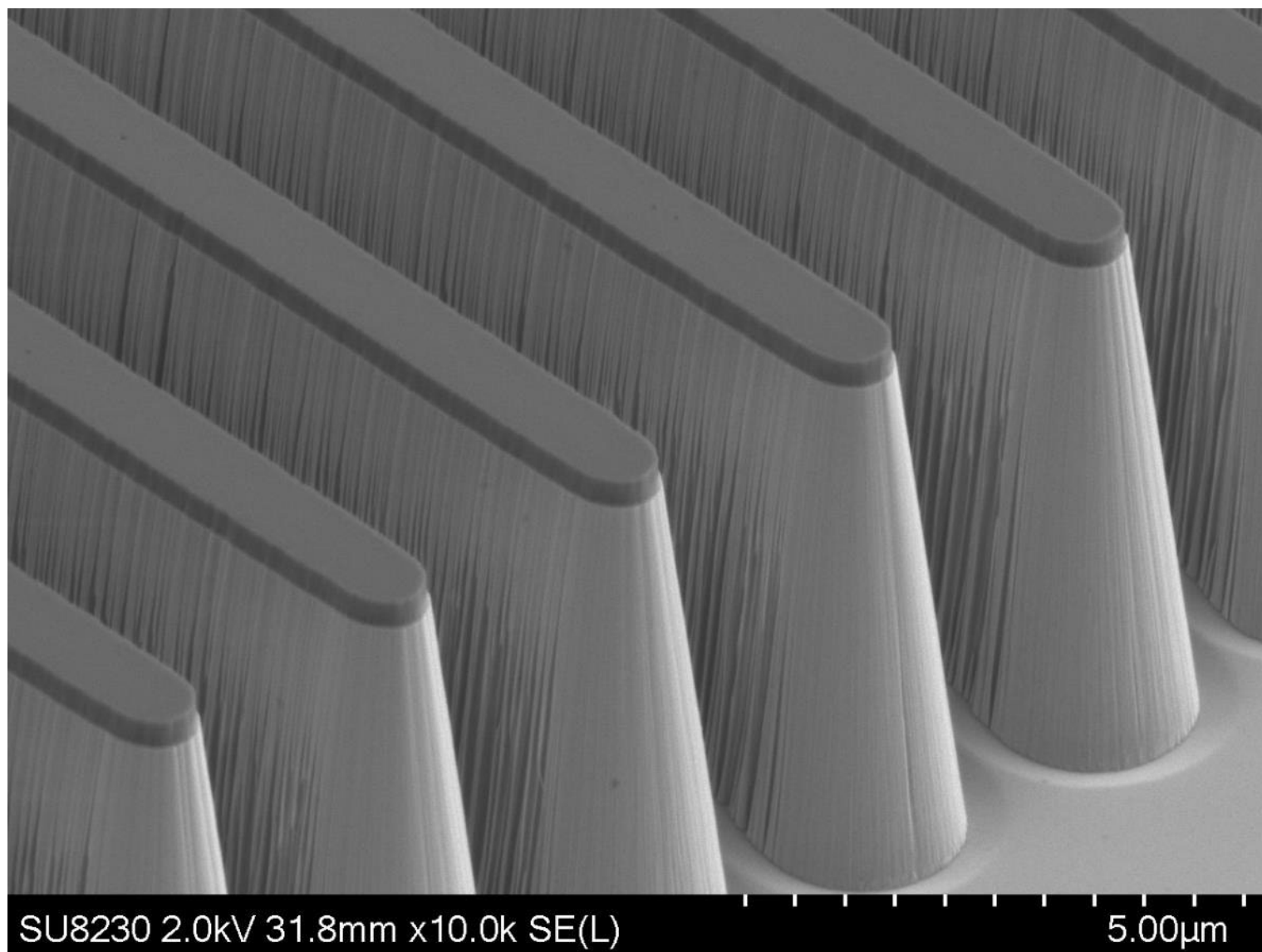
[2] IEEE Int. Electron Devices Meet. (IEEE, 2019), pp. 12.4.1-12.4.4.

[3] Appl. Phys. Express **15**, 016501 (2022).

従来微細加工技術とその問題点

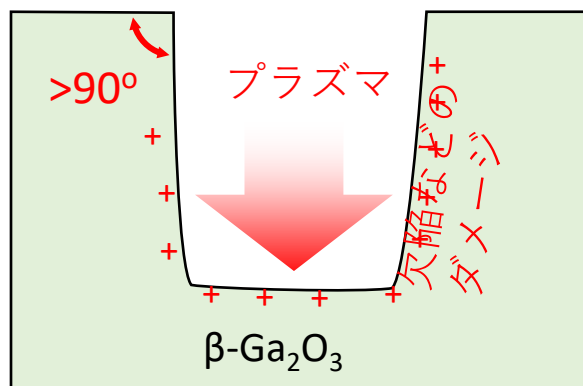
- 現在、一般的に用いられる β -Ga₂O₃微細加工手法は、BCl₃/Cl₂プラズマを用いたドライエッチングである。
- しかし、加工側壁面はややテーパー形状となり、やや荒れている。また、プラズマダメージが導入され、これがトラップや界面準位となり、デバイス特性に影響を与える。
- （ただし、プラズマダメージについてはウェットエッチング等で低減可能）

プラズマドライエッチングによる加工例



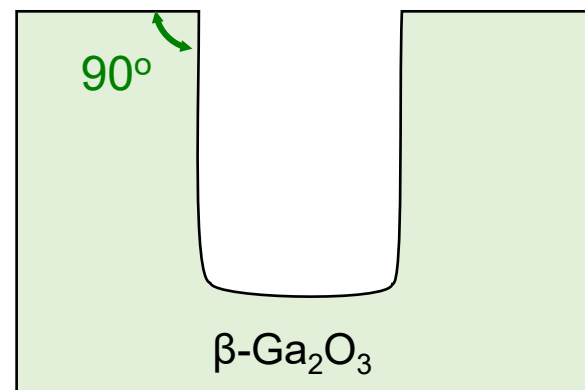
理想の加工形状との対比

プラズマ加工による構造



- 側壁面が傾斜し、荒れている
- 側壁面の表面エネルギーが大きく不安定
- プラズマダメージ有り
- ダメージ除去プロセスが必要

理想の構造



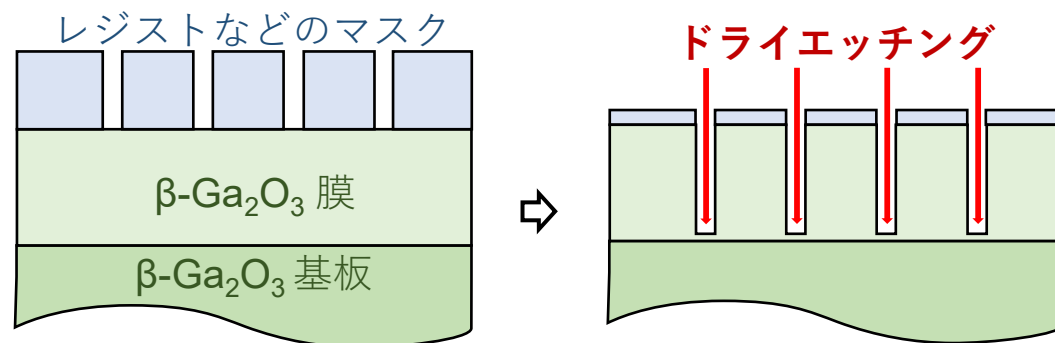
- 側壁面が垂直で平坦
- 側壁面の表面エネルギーが小さく安定
- プラズマダメージ無し

プラズマ非使用微細加工技術の提案

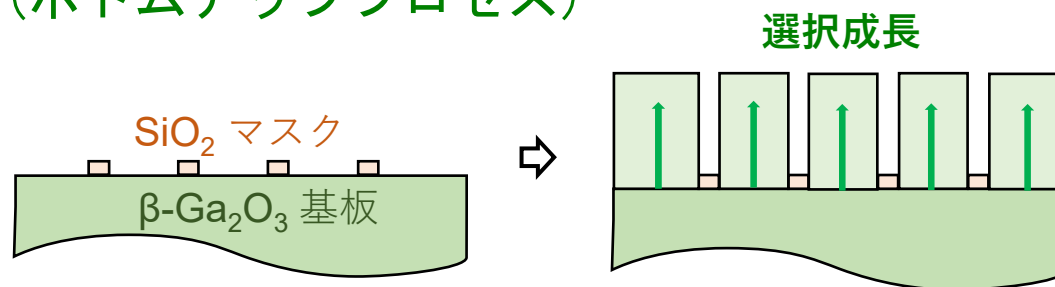
- プラズマを用いなくても、選択成長や選択ガスエッチングにより、結晶のファセット形成を促せば、ファセットの異方性を利用して高アスペクトな微細加工が実現できる。
- 選択成長と選択エッチングの例を示す。

選択成長で加工の意味

プラズマエッチング（トップダウンプロセス）

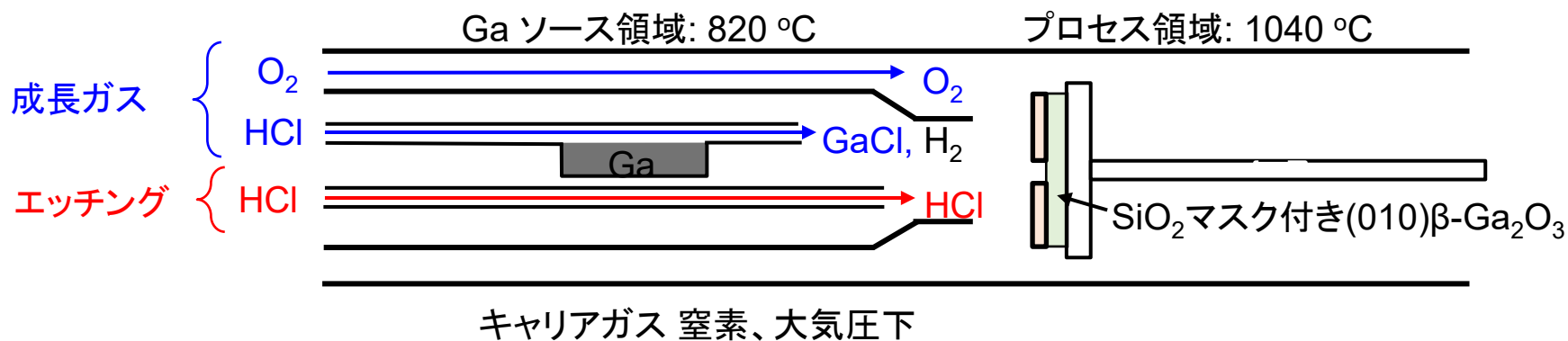


選択成長（ボトムアッププロセス）



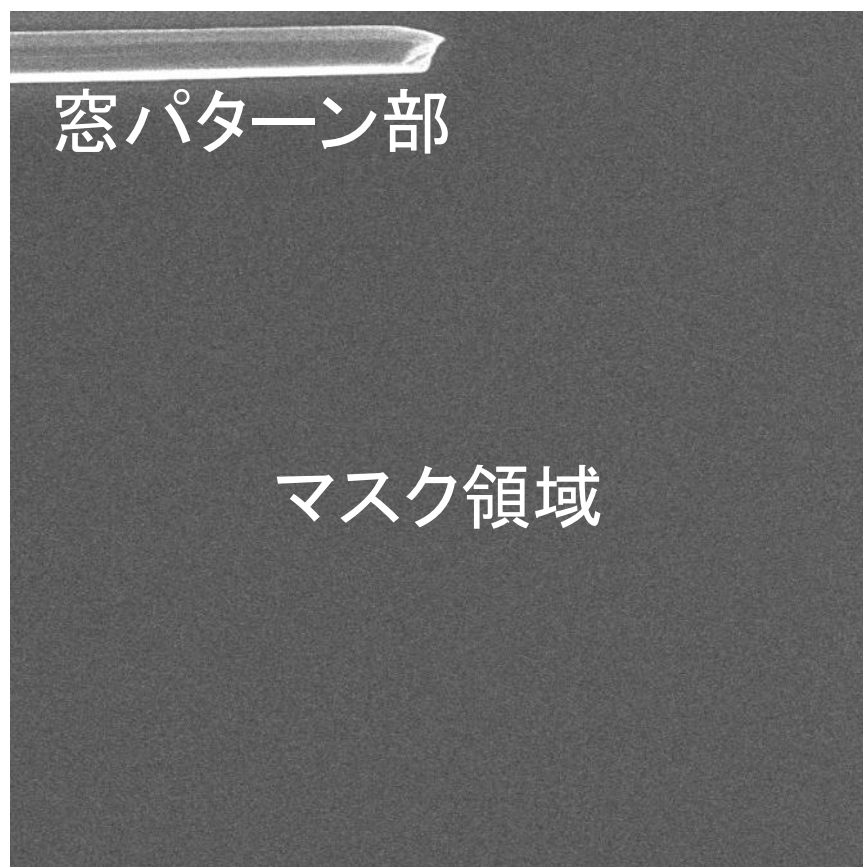
膜形成とプラズマフリー加工が同時に行なわれる

ハライド気相成長法による選択成長



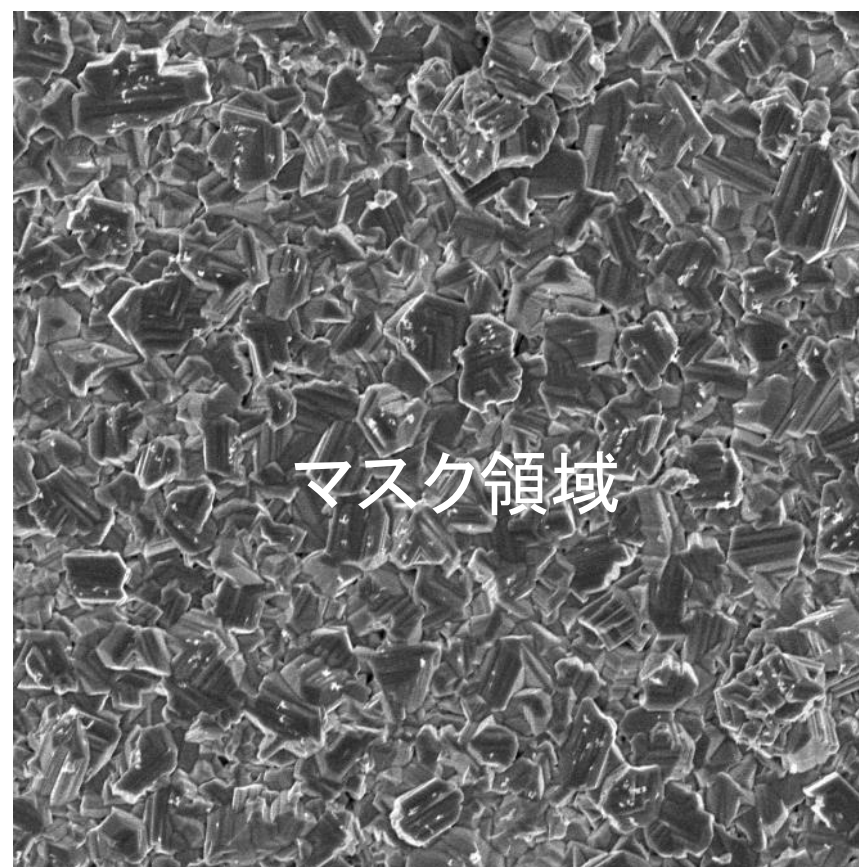
HClエッチングガス導入による選択性発現

HClガス導入あり



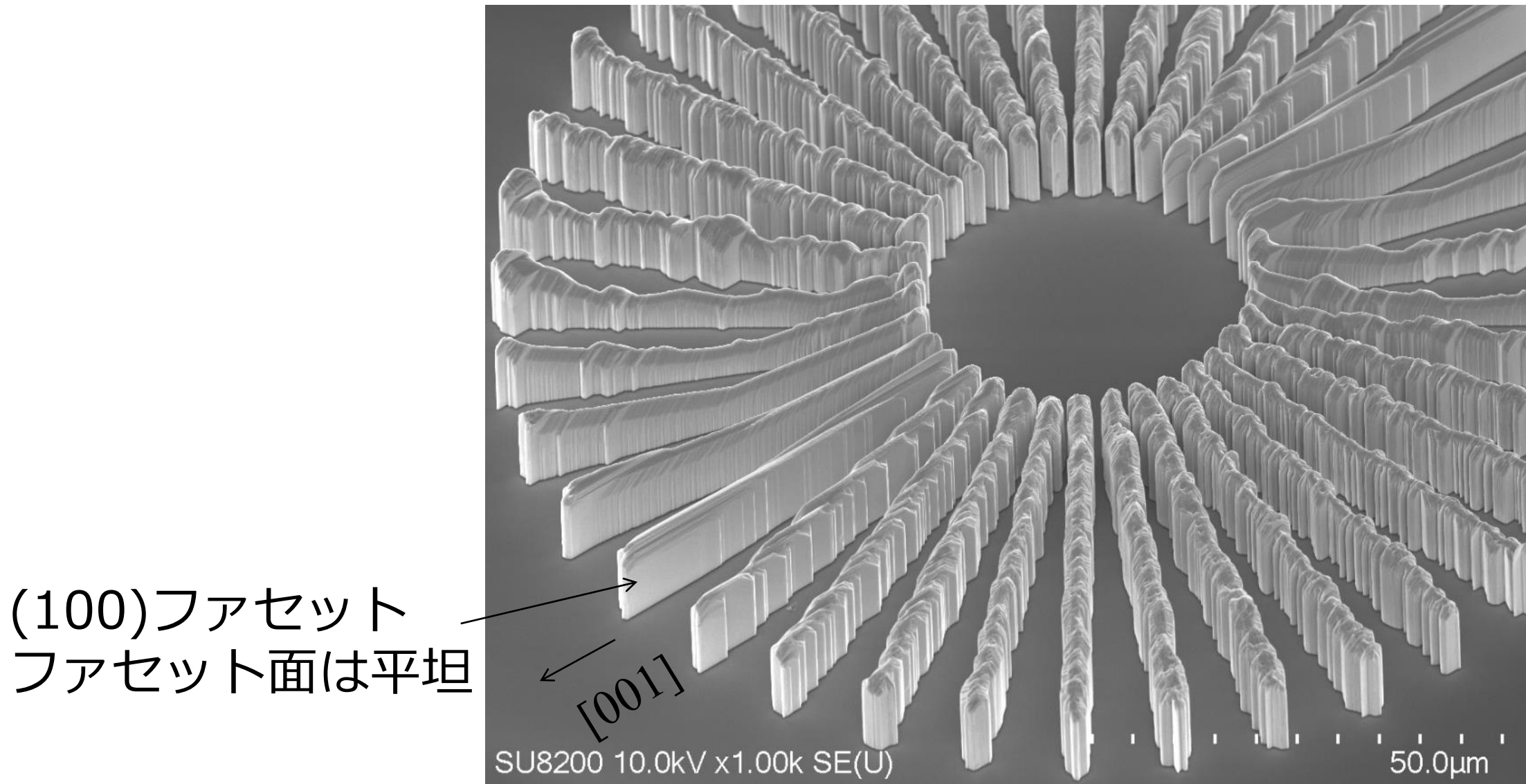
20 μm

HClガス導入なし

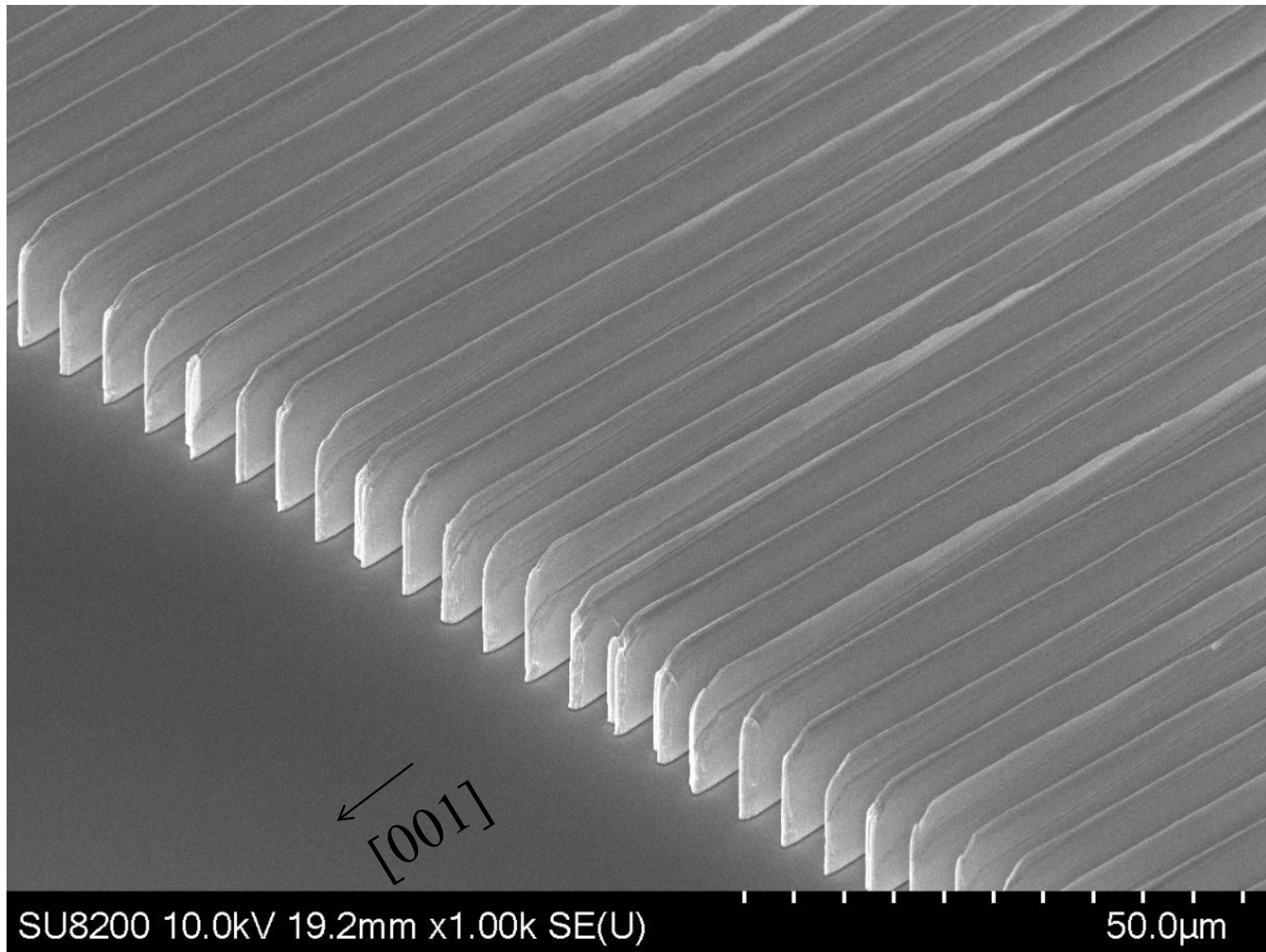


20 μm

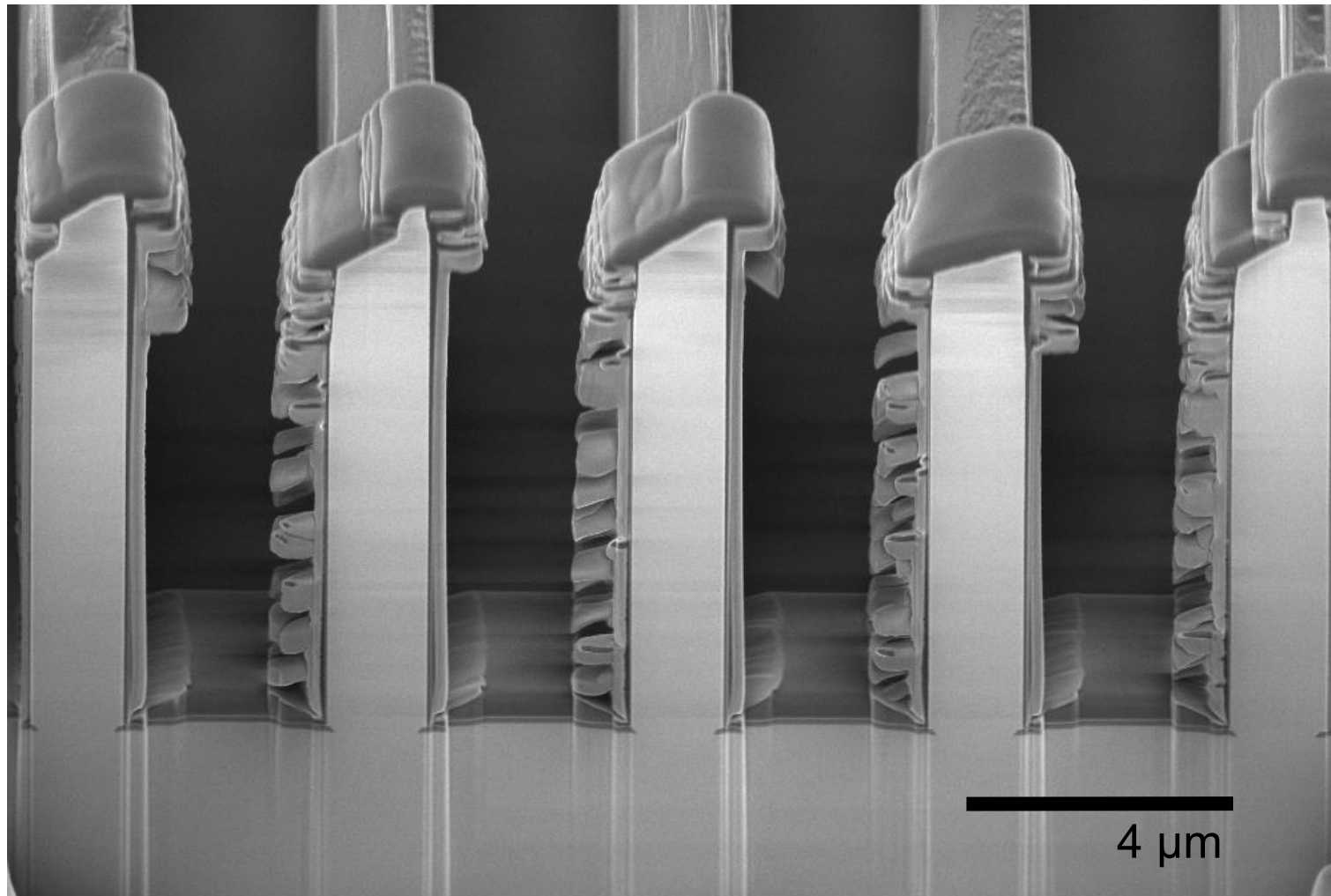
結晶異方性を反映したファセット構造



(100)ファセットを側壁としたフィン



(100)ファセットを側壁としたフィン



高アスペクトで垂直な微細構造の形成が可能

Applied Physics Express **15**, 075503 (2022)

<https://doi.org/10.35848/1882-0786/ac75c8>

LETTER

Selective area growth of β -Ga₂O₃ by HCl-based halide vapor phase epitaxy

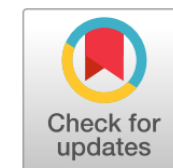
Takayoshi Oshima*  and Yuichi Oshima 

Research Center for Functional Materials, National Institute for Materials Science, Tsukuba, Ibaraki 305-0044, Japan

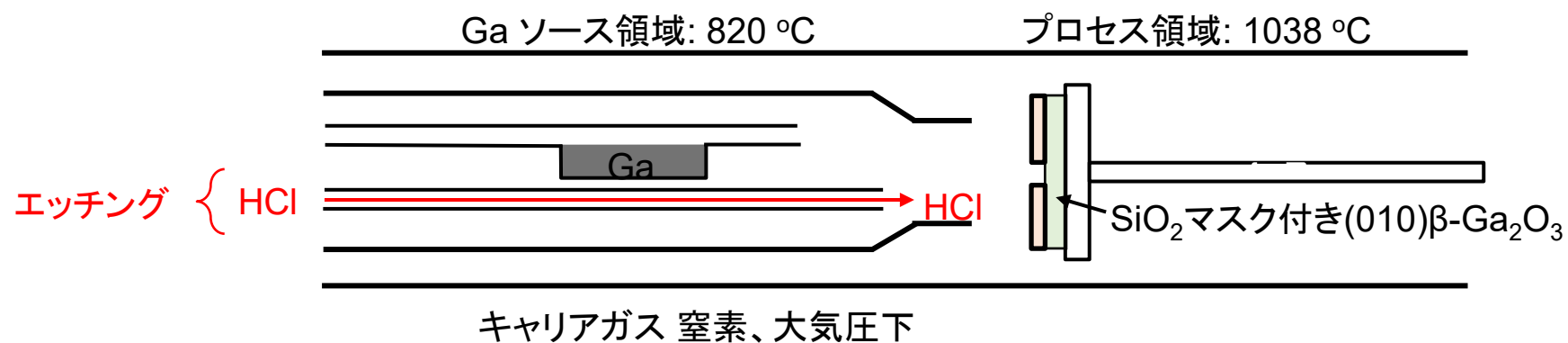
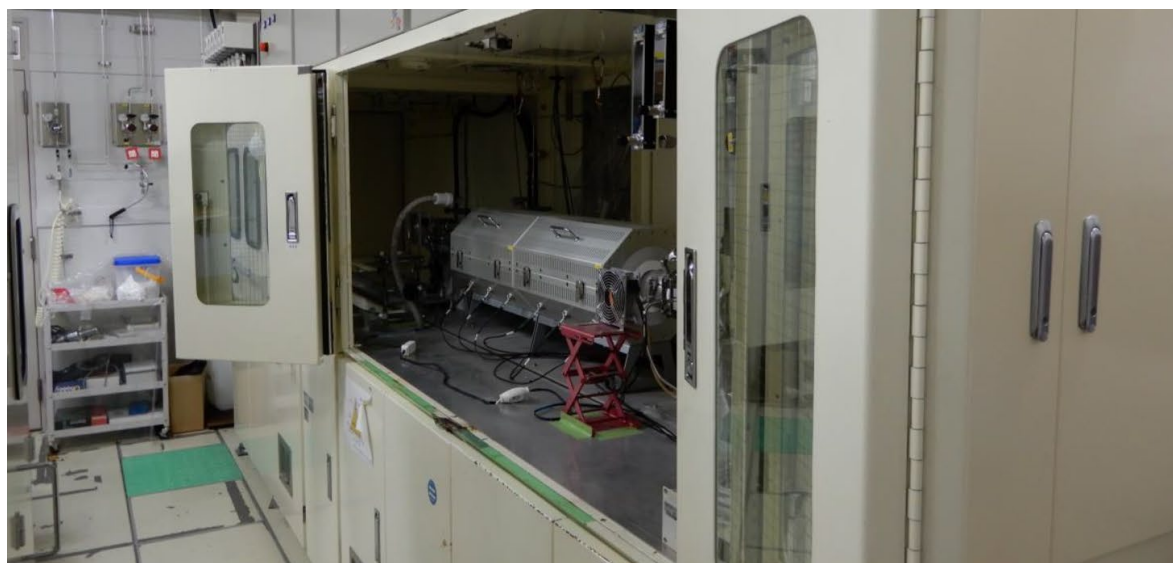
*E-mail: OSHIMA.Takayoshi@nims.go.jp

Received May 12, 2022; revised May 29, 2022; accepted June 3, 2022; published online June 14, 2022

We demonstrated selective area growth of β -Ga₂O₃ by HCl-based halide vapor phase epitaxy on SiO₂-masked (001) and (010) β -Ga₂O₃ substrates. Perfect growth selectivity was achieved under the presence of HCl etching gas in addition to the growth precursors. In both substrate cases, (100) facet dominated the grown shapes owing to their smallest surface energy density. High-aspect-ratio structures having (100) sidewall facets were observed for the stripe windows along [010] and [001] directions on the (001) and (010) substrates, respectively. These structures may be applicable to trenches and fins used for β -Ga₂O₃-based power devices. © 2022 The Japan Society of Applied Physics

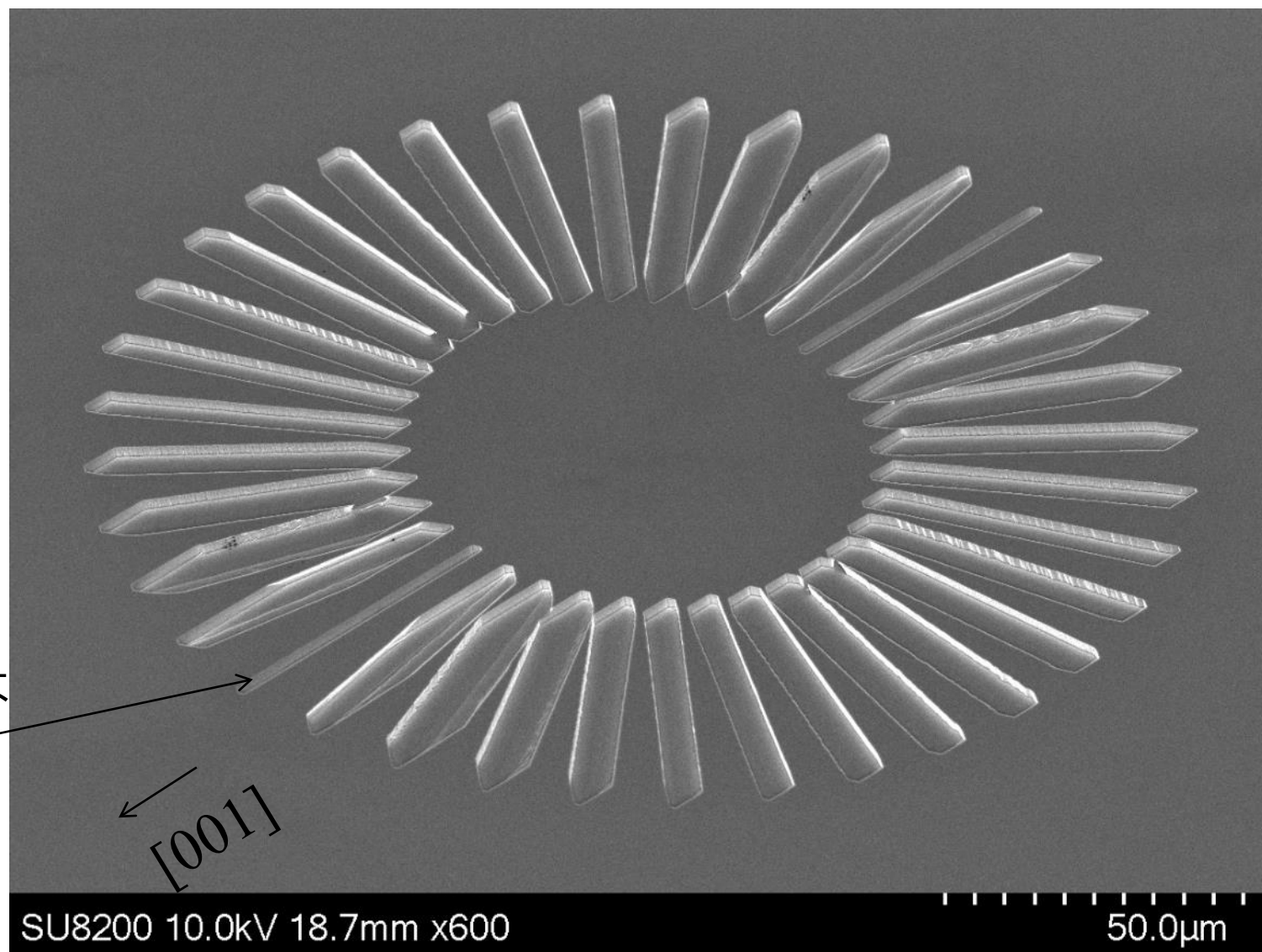


HClガスをを用いた選択ガスエッチング

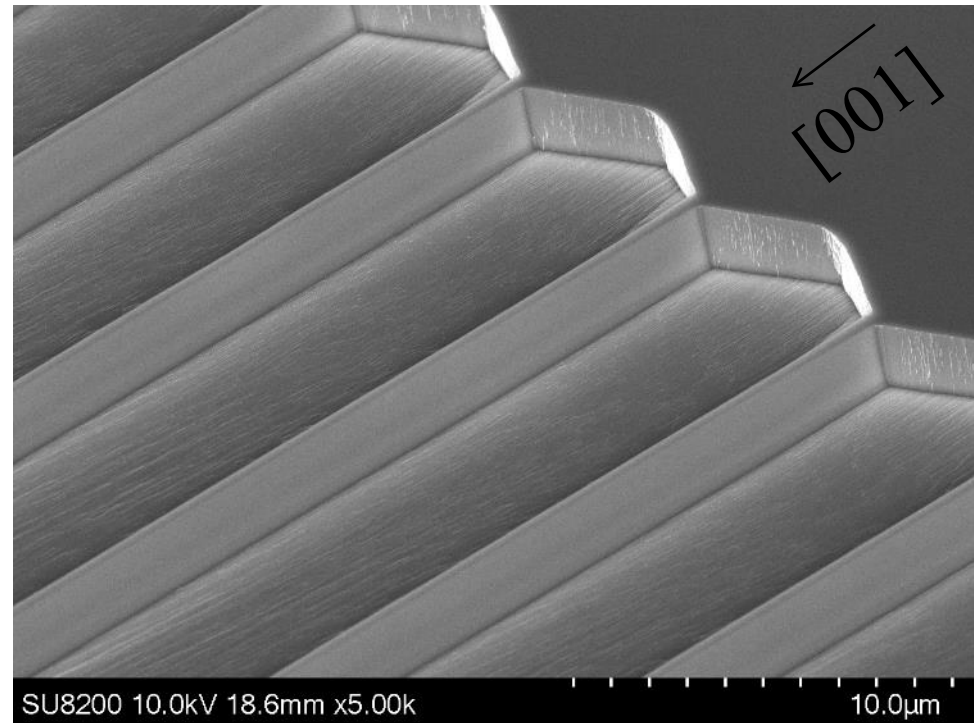
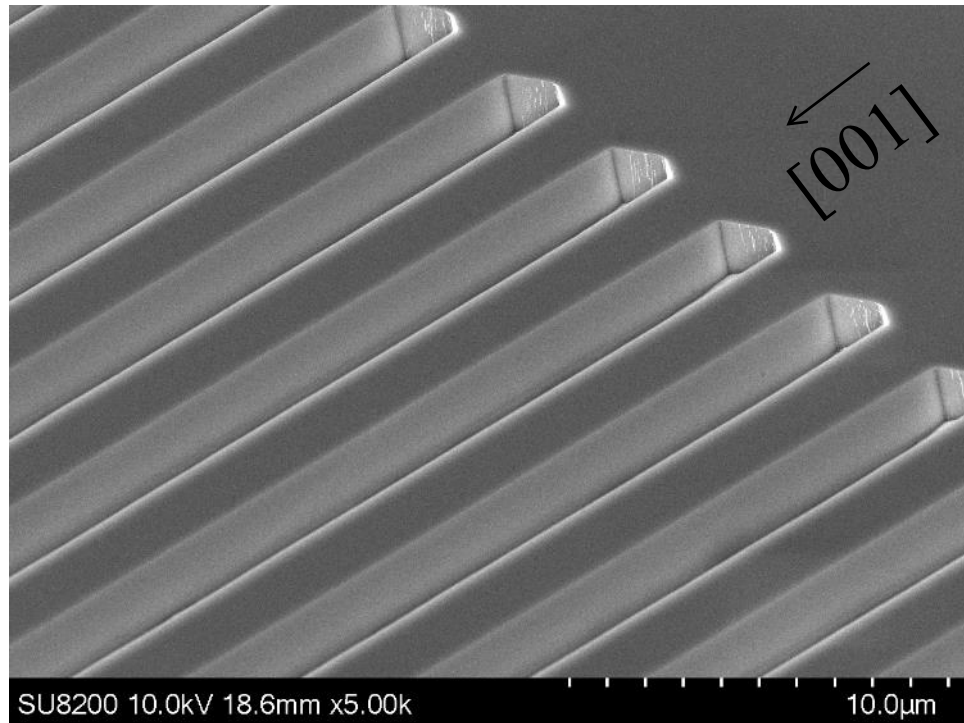


HClガスを用いた選択ガスエッチング

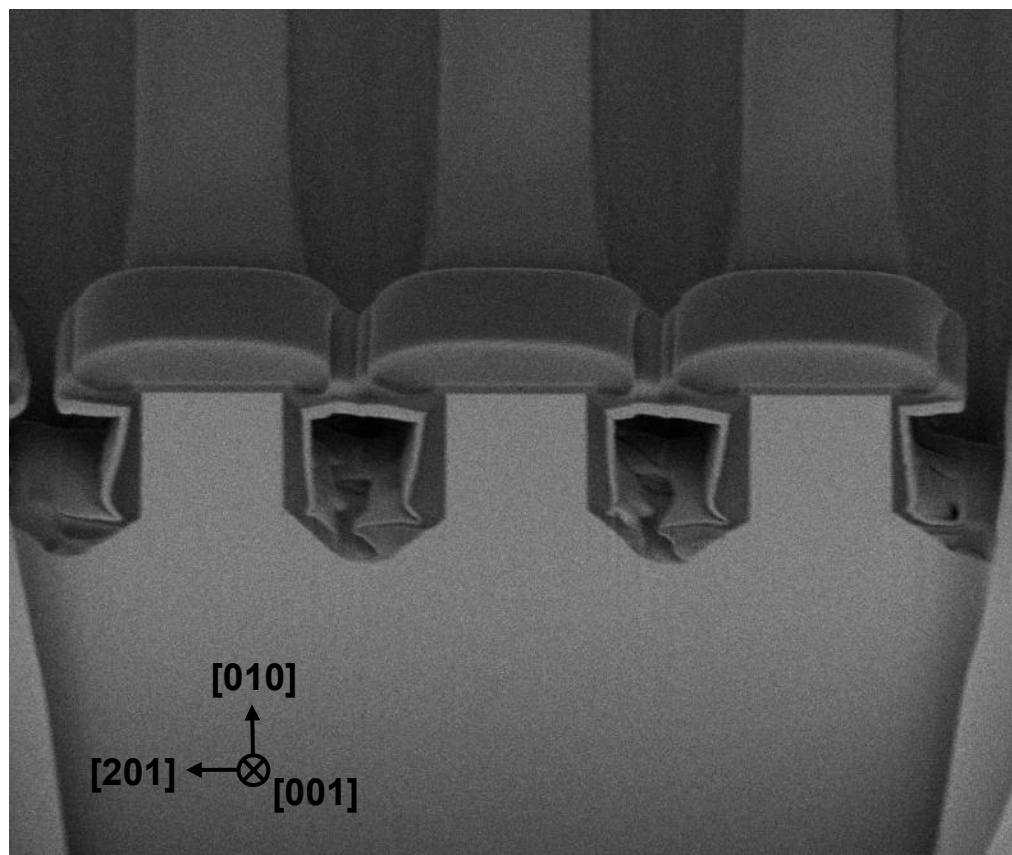
(100)ファセット形成によりサイドエッチングが最小



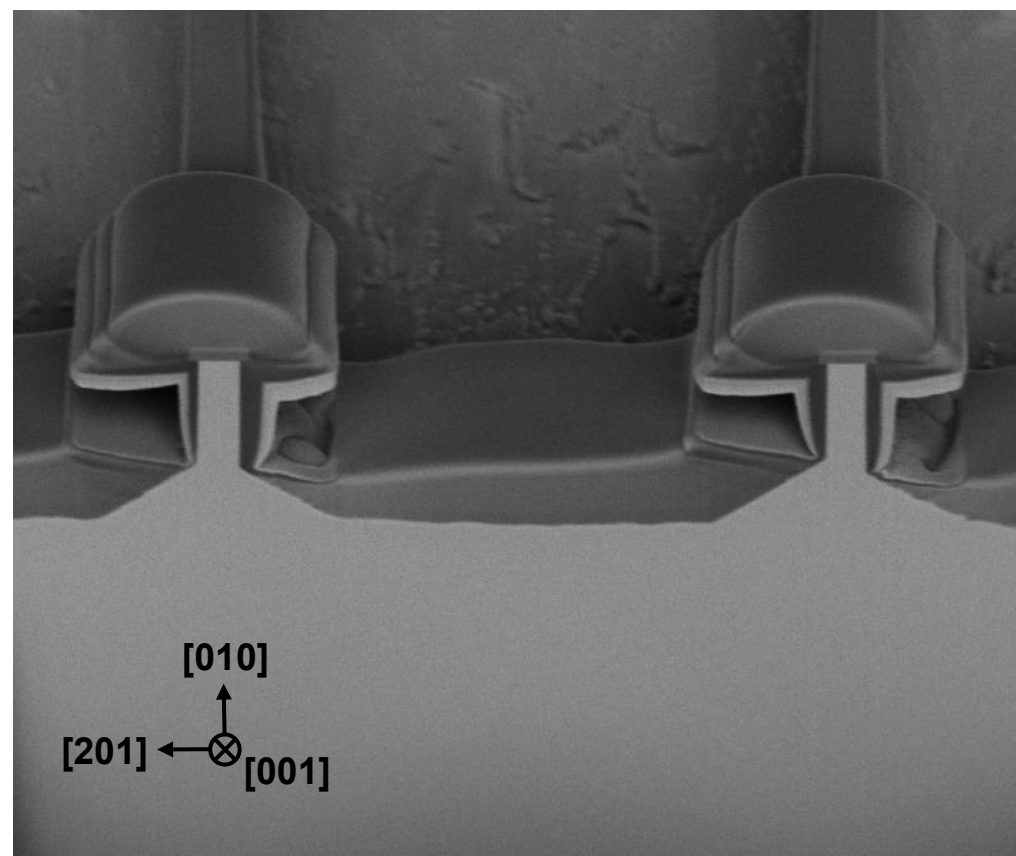
(100)ファセット側壁のトレンチ & フィン



(100)ファセット側壁のトレンチ & フィン



4 μm

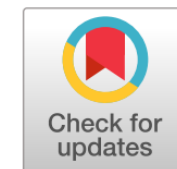


4 μm

高アスペクトで垂直な微細構造の形成が可能

Applied Physics Express **16**, 066501 (2023)

<https://doi.org/10.35848/1882-0786/acdbb7>



Anisotropic non-plasma HCl gas etching of a (010) β -Ga₂O₃ substrate

Takayoshi Oshima*  and Yuichi Oshima 

Research Center for Electronic and Optical Materials, National Institute for Materials Science, Tsukuba, Ibaraki 305-0044, Japan

*E-mail: OSHIMA.Takayoshi@nims.go.jp

Received May 10, 2023; accepted June 4, 2023; published online June 15, 2023

We demonstrated the effectiveness of plasma-free HCl gas etching on a SiO₂-masked (010) β -Ga₂O₃ substrate. The etching process proceeded anisotropically in the window areas, resulting in the fabrication of holes or trenches that were surrounded by etching-resistant (100)- and ($\bar{1}01$)-faceted sidewalls. When we etched in the striped windows along [001], we were able to create fins and trenches with flat (100)-faceted vertical sidewalls and slightly rough {310}-faceted inclined bottom corners. The vertical-to-horizontal etching ratio was as high as ~ 11 –14. Our findings indicate that HCl etching is a promising method for fabricating high-aspect-ratio fins/trenches on (010) substrates without causing plasma damage.

© 2023 The Japan Society of Applied Physics

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来プラズマ加工技術の問題点であった、加工側壁面の傾斜、荒れ、プラズマダメージを、選択成長、選択ガスエッチング技術で改善（垂直、平坦、プラズマダメージ無）できた。
- 本技術の適用により、フィンやトレンチを用いた β -Ga₂O₃デバイスの性能向上が期待される。

想定される用途

- 本技術は、 β -Ga₂O₃デバイスプロセスの微細加工に適用することで、デバイスの性能向上が期待される。
- 上記以外に、 β -Ga₂O₃で平坦で垂直な構造が必要とされる光学、MEMS分野にも応用が期待される。

実用化に向けた課題

- 指向性プラズマの加工とは異なり、本技術は、ガスの局所的な濃度差により、局所的な加工量が異なる。例えば、マスク領域近傍では、マスク上で消費されなかったガスがより多く到達するため、加工量が大きくなる。そのため、均一な加工を実現するため、窓パターンはダミー導入も含めて設計する必要がある。

企業への期待

- デバイス開発を実際に行なっている、企業との共同研究により、本技術の実用性を検証したい。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術はNIMS内で実施可能であるため、初期検討をNIMSで行うことで企業に貢献できると考えている。
- 本格導入にあたっての技術指導も可能である。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 半導体装置、その用途、およびその製造方法
- 出願番号 : 特願2022-206599
- 出願人 : 国立研究開発法人物質・材料研究機構
- 発明者 : 大島孝仁、大島祐一

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 半導体装置およびその製造方法
- 出願番号 : 特願2022-203816
- 出願人 : 国立研究開発法人物質・材料研究機構
- 発明者 : 大島孝仁、大島祐一

お問い合わせ先

**国立研究開発法人物質・材料研究機構
外部連携部門 企業連携室**

企業様向け総合窓口HP(スマホ対応)

<https://technology-transfer.nims.go.jp/>

