

GaN の光電気化学 (PEC) エッチング機構

The mechanism of GaN photoelectrochemical (PEC) etching

サイオクス 堀切 文正、成田 好伸、吉田 文洋

SCIOCS Co. Ltd. F. Horikiri, Y. Narita, T. Yoshida

E-mail: horikirif@sc.sumitomo-chem.co.jp

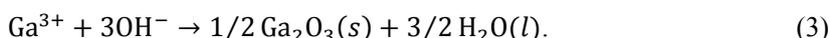
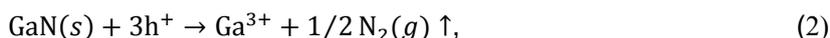
1. はじめに GaN は安定な材料であるが、光電気化学(PEC)エッチングにより、深さ 10 μm 以上の加工においても低ダメージかつ平坦なエッチングができる事を前回の報告で示した[1]。本報告では、制御性良くデバイスプロセスに応用するために、PEC エッチング機構の考察を進めた。

2. 実験 試料として、n 型 GaN 基板上に、MOVPE 法により成長した標準的なショットキーバリアダイオード構造エピを使用した。電気化学セルの構成には市販の電気化学エッチング CV プロファイラー(Nanometrics, ECVPro)を用い、電解液は 0.01 M の NaOH 水溶液、UV 光源として Hg-Xe ランプを用いた。エッチング電圧、UV 照射強度、攪拌の有無、の条件を変えて PEC エッチングを行い、段差計で測定したエッチング深さ、AFM で求めた表面粗さ、電流電圧測定、および、アノード電極(GaN エピ表面)での気泡の発生量からエッチング機構について考察した。

3. 結果および考察 エッチング深さ W_r と PEC エッチングで消費した電流密度 J の関係は、式(1)で示すファラデーの法則に従う。

$$W_r = M/zF\rho \int J dt, \quad (1)$$

ただし、 M は GaN の分子量、 z は陽極酸化に必要な価数、 F はファラデー定数、 ρ は GaN の密度である。式(1)より、1 mol の GaN を陽極酸化するために必要なホールの価数を求めることができる。また、Anode 電極における反応は、式(2)-(4)で示す GaN の陽極酸化および O_2 生成反応である。



式(2)(3)と(4)の反応速度定数比を求めると、水のイオン積と N_2 , O_2 分圧を用いて式(5)で表される。

$$K_{\text{N}_1}K_{\text{N}_2}/K_{\text{O}_2} = [\text{h}^+][\text{OH}^-](K_w)^2(P_{\text{O}_2})^{0.5}/(P_{\text{N}_2})^{0.5}, \quad (5)$$

式(5)より、明らかな様に、十分な UV 照射強度下においては、高いエッチング電圧および強攪拌ほど電解液中の $[\text{OH}^-]$ がアノード界面に供給され、 N_2 発生割合が増えるため価数 z は低くなる。図 1 に PEC ステップにおける攪拌の有無を変化させた結果を示すが、表 1 にまとめる通り価数 z の依存性は式(5)からの予想と一致した。また、平坦なエッチング面を得るためには、十分な UV 照射強度下で $[\text{OH}^-]$ 供給律速とし、 N_2 および O_2 発生による溶液攪拌を抑えた低エッチング電圧の条件が好ましいが、この点も実験結果と良い一致を示した。この様に、GaN の PEC エッチングは、反応速度論から予想される挙動を示し、十分な制御性を有している事が示された。

なお、本研究は環境省「未来のあるべき社会・ライフスタイルを創造する技術イノベーション事業」の委託を受けてなされた。

[1] F. Horikiri et al., *Jpn. J. Appl. Phys. in press* (2018).

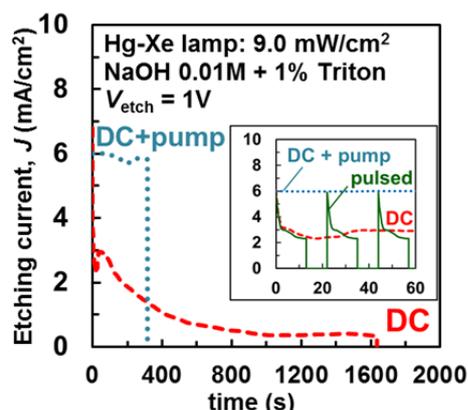


Fig. 1. Time chart of the etching current density [1].

Table I. Summary of PEC etching results.

| V_{etch} (V) | Stirring | Valence z | Rate (nm min ⁻¹) | Note |
|-----------------------|----------|-------------|------------------------------|----------------|
| 3 | static | 5.29 | 68.1* | |
| 2 | static | 6.51 | 41.3* | pulsed |
| 1 | static | 6.96 | 24.9* | |
| 1 | static | 7.11 | 31.0 | DC mode |
| 1 | pump | 6.52 | 175.5 | DC mode + pump |
| 0 | static | 6.79 | 15.5* | pulsed |

* Equivalent etching rate

** 9.0 mW cm⁻²