



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Photo-electrochemical Etching of Nitride Semiconductors for Electron Device Application [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	渡久地, 政周
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15073号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/85215">https://hdl.handle.net/2115/85215</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Masachika_Toguchi_review.pdf, 審査の要旨



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 渡久地 政周

審査担当者 主査 教授 本久 順一  
副査 教授 葛西 誠也  
副査 特任教授 橋詰 保

## 学位論文題名

### Photo-electrochemical Etching of Nitride Semiconductors for Electron Device Application

(窒化物半導体に対する光電気化学エッチングと電子デバイス応用)

本論文は、高周波パワーデバイス材料として有望な窒化物半導体に対して従来のドライエッチング法に代わる加工損傷の少ない光電気化学(PEC)エッチング法を開発することを目的とし、光電気化学反応の理解に基づくエッチング反応制御、既存のデバイスプロセスに適合するエッチング液および装置の開発と、作製した電子デバイスの電気的特性から効果検証を行なったものである。

窒化ガリウム(GaN)をはじめとする窒化物半導体は、材料の持つ高い耐圧とヘテロ界面に蓄積する高密度の2次元電子ガスを利用できることから、シリコンに代わる次世代の高周波パワーデバイス材料として有望視されている。しかし、窒化物半導体はデバイス作製時のエッチング技術に大きな課題を抱えている。化学的耐性の高い窒化物半導体の加工には、プラズマを利用したドライエッチングが用いられるのが一般的であるが、プラズマの物理的衝突により半導体表面に欠陥などのダメージが導入され、それがデバイス特性劣化の要因となることが報告されている。また、加工深さについてナノメートルオーダーの精密な制御が難しい点も課題であり、窒化物半導体デバイスの性能を最大限に活かすには、反応制御性に優れており、かつ加工損傷の導入が少ないエッチング技術の開発が求められている。

本論文は、ドライエッチングに代わる新たな低損傷エッチング技術として、「光電気化学(PEC)エッチング」に着目し、エッチング液および装置の開発と、リセスゲート AlGaIn/GaN 高電子移動度トランジスタ(HEMT)の作製プロセスに適用した研究成果をまとめている。

本論文は全7章で構成されている。

第1章では、本研究の背景を紹介し、研究目的と論文構成を示している。

第2章では、本研究の基本となる電解液/半導体界面の電気化学的特性について述べている。

第3章では、本研究で開発したPECエッチング法の原理、装置セットアップと実験手法について述べている。また、エッチング加工した試料の構造、光学的特性、および電気的特性の評価法と測定原理についてまとめている。

第4章では、GaN/電解液界面における電界吸収効果に関する理論的解析と、局所的電界集中効果を利用したGaNの異方性エッチングについて述べている。GaN/電解液界面に大きな内部電界が発生すると、Franz-Keldysh(F-K)効果が発現し基礎吸収端が長波長側へシフトすることを実験および理論的解析から明らかにした。また、局所電界が発生しやすい凹溝加工したGaN試料に対して、F-K効果を利用した局所的異方性エッチング法を開発し、従来のドライエッチング法と比較して高いアスペクト比のトレンチ加工を実現した。

第5章では、硫酸ラジカルを含む酸性水溶液を使ったコンタクトレス PEC(CL-PEC) エッチング法を開発し、これを GaN のエッチングに適用した結果について述べている。外部回路への配線が必要であった従来の PEC エッチングと比べて、装置の大幅な簡略化に成功した。また、酸系溶液の開発により、ポジ型フォトリソグラフィを直接エッチングマスクとして利用できることを示し、既存の半導体デバイスプロセスへの適合性が飛躍的に高まることを実証した。

第6章では、CL-PEC エッチング法により AlGaIn/GaN ヘテロ構造に対してリセス加工を行い、エッチング後の表面状態およびリセス加工を施した後に作製した各種デバイスの電気的特性について述べている。CL-PEC エッチングによるリセス加工時に、AlGaIn 上層の途中でエッチングが停止する現象(自己停止現象)を見だし、その時の AlGaIn 残存膜厚が試料面内において高い均一性を示すことを明らかにした。また、リセス加工後に作製した Schottky-Barrier diodes, MIS-capacitors, Schottky-HEMTs および MIS-HEMTs は、加工なしのデバイス特性と比較して設計通りに閾値電圧が正方向へシフトすることを示し、試料面内においてデバイス特性の均一性が向上することを示した。

第7章では、本論文の結論をまとめている。

これを要するに、本論文は、既存の窒化物半導体デバイスプロセスへ高い適合性を示す光電気化学エッチング法を開発するとともに、難エッチング材料である窒化物半導体に対してエッチング深さの精密な制御と高い均一性を実現し電子デバイスの性能向上を実証したものであり、ここで得られた知見は半導体工学の進歩に貢献するところ大である。よって著者は、博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。