



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Formation and Device Application of III-V Semiconductor-based Functional Microstructures Achieved by Electrochemical Process [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	熊崎, 祐介
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12628号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65493
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yusuke_Kumazaki_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 熊崎 祐介

審査担当者 主 査 教 授 葛西 誠也

副 査 教 授 橋詰 保

副 査 教 授 本久 順一

副 査 准教授 赤澤 正道

学位論文題名

Formation and Device Application of III-V Semiconductor-based Functional Microstructures

Achieved by Electrochemical Process

(電気化学的制御に基づく III-V 族化合物半導体の微細加工と機能素子応用に関する研究)

エネルギー環境問題への関心が急速に高まるなか、革新的な創エネルギー・省エネルギー技術の創出が求められている。なかでも化石燃料に代わるエネルギー源として期待されている太陽電池の高効率化や電力変換用トランジスタの低損失化など、半導体エレクトロニクス分野への期待は大きい。しかし、これらの機能素子の多くはシリコン (Si) で構成されているため、材料物性値に起因する素子性能の限界が迫っている。

Si に置き換わる材料として III-V 族化合物半導体が期待されているが、現状では、材料物性値から予想されるほどの性能が得られていない。その要因の一つとして、素子製造工程で導入される加工損傷の影響が挙げられる。III-V 化合物半導体の微細加工や絶縁膜の形成などには、一般にプラズマプロセスが用いられるが、高エネルギー反応を利用するため結晶欠陥などの加工損傷を誘発する。このような加工面やその近傍には、禁制帯中に高密度の表面・界面準位やキャリアを捕獲するトラップ準位が生成され、これが素子の性能や動作安定性を損なう大きな要因と考えられている。

このような背景のもと、本論文は、従来の半導体加工技術と比較してより反応エネルギーの低い「電気化学加工技術」に注目し、III-V 族化合物半導体の微細加工と機能素子応用に取り組んだ。創エネルギーの観点から、太陽光スペクトルと整合性のよい吸収波長帯をもつ燐化インジウム (InP)、省エネルギーの観点から、パワートランジスタ材料として期待されている窒化ガリウム (GaN) とその混晶である窒化アルミニウムガリウム (AlGaN) を研究対象とし、電気化学酸化・溶解反応を基盤とする「多孔質構造形成技術」、「p 型ゲート形成技術」、「ゲートリセス加工技術」を確立した。特に、結晶面方位や材料の伝導性の違いを利用する従来の選択エッチングに加えて、半導体ヘテロ界面の分極に由来する「エッチング自己停止機構」を新たに見だし、プラズマプロセスを上回る高い加工制御性を達成した。さらに開発した技術を、光電変換素子および高電子移動度トランジスタ (HEMT: High Electron Mobility Transistor) の作製に適用し、その有用性を明らかにした。

本論文は全 8 章で構成されている。第 1 章は序論である。第 2 章では、電解液/半導体界面にみられる電気化学的特性の基礎をまとめている。続いて、本研究で開発した電気化学加工法の原理について述べている。第 3 章では、電気化学加工装置のセットアップと実験手法について述べている。また、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述べている。

第4章では、InP に対して、直径数 10 から数 100nm の細孔を高密度に配列した多孔質構造を電気化学的に形成するとともに、その光学的特性およびショットキー接合光電変換素子の特性について示している。無加工の InP 試料と比較して、多孔質 InP 試料では、光吸収係数が増大すること、光反射率が低下することを示し、光電変換材料としての多孔質構造の優位性を明らかにしている。

第5章では、GaN 表面に形成される多孔質構造の形状と、光電気化学特性の相関性について示している。孔の形成に重要な役割を担う「正孔」が n 型半導体に対し少数キャリアであることに着目して、「バンド端光吸収」、「Franz-Keldysh 効果」、「アバランシェ効果」が関与する種々のキャリアの生成手法と、その供給過程の違いが孔の形状に与える影響を明らかにしている。これに基づき、孔の径と深さを精密に制御する手法を確立するとともに、数ナノメートルの形状の違いが光電気化学特性に大きな影響を与えることを示している。

第6章では、パワーデバイス应用到有望視されている AlGaIn/GaN ヘテロ構造とその上面に形成した p-GaN 層に対し、伝導型の違いによる電気化学反応の選択性を利用した選択エッチングについて示している。反応電流を供給するための電圧とその印加方法の最適化により、上部の p-GaN を選択的に除去し、下地の AlGaIn 層でエッチングを自己停止させることに成功している。また、従来のプラズマ加工技術と比較して、エッチング面の平坦性および電気的特性が良好であることを実験的に明らかにしている。

第7章では、電気化学加工法を用いて AlGaIn/GaN リセスゲート構造を形成するとともに、作製した AlGaIn/GaN HEMT の電気測定結果を示している。入射光波長を変えて測定した電気化学反応電流の電圧依存性と、AlGaIn/GaN ヘテロ構造のエネルギーバンド計算により得られた知見に基づき、上部の AlGaIn 層に対し 0.1-0.2nm/min の精密なエッチング深さ制御を達成している。また、AlGaIn/GaN ヘテロ界面の分極効果に起因するエッチングの自己停止機構を明らかにし、従来のプラズマ加工技術と比較して平坦な加工表面を実現している。さらに、本手法を用いてリセスゲート AlGaIn/GaN HEMT を試作し、相互コンダクタンスの向上と閾値電圧の正方向シフトを実証している。

第8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、電気化学反応を利用した III-V 族化合物半導体微細加工技術を提案し、それにより光電変換素子および高電子移動度トランジスタ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、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。