

機関番号：34315

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760099

研究課題名（和文） 光電気化学プロセスを利用した窒化ガリウム超平坦面作製技術の開発

研究課題名（英文） Development of a novel planarization method for gallium nitride surface using photo-electrochemical treatment.

研究代表者

村田 順二（MURATA JUNJI）

立命館大学・理工学部・助教

研究者番号：70531474

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、短波長発光素子や次世代の高周波パワーデバイス用材料として期待されている窒化ガリウム基板の高精度平坦化加工技術の開発である。窒化ガリウム基板の新しい加工技術として、基板表面に紫外光を照射することにより酸化膜を形成し、その酸化膜を固体酸触媒により除去するプロセスを開発した。開発した加工技術により、市販窒化ガリウム基板の研磨傷を完全に除去し、表面粗さが 0.3nm Ra 以下の平坦な表面を作製することに成功した。また加工後の表面は市販基板表面よりも高い発光特性や電気特性を有していることが確認された。

研究成果の概要（英文）：A novel planarization technique for the GaN (0001) surface has been developed. In this method, the surface is oxidized by a photo-electrochemical reaction and the resulting oxide is removed using a solid acidic/basic catalyst. Smooth surfaces that are free from scratches and etch pits are obtained. Photoluminescence analysis demonstrates that the intensity of the band-edge luminescence markedly increases after the planarization. Furthermore, Current-voltage measurements of Schottky barriers formed using the GaN substrates show that the polished GaN surface has a lower reverse leakage current, and that the barrier height and ideality factor are improved after the polishing treatment.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：窒化ガリウム，光電気化学，固体酸触媒，平坦化加工

## 1. 研究開始当初の背景

窒化ガリウム（GaN）は直接遷移型のワイドギャップ半導体であり、広い禁制帯幅、高い絶縁破壊電界、飽和電子速度などの優れた物性を持つ材料である。これらの特徴から、

GaN は青色 LED などの短波長発光デバイス用材料として既に実用化されている他、次世代の高周波・パワーデバイス用材料としての応用が期待されている。しかしデバイス作動時の発熱が大きいことや寿命が短いなど、材

料の持つ物性を発揮したデバイス性能の実現には至っていない。高性能デバイスの実現のためには、平滑であり結晶の乱れの無い表面が要求される。しかしシリコンなどの半導体材料と比較すると、これらの材料は熱的・化学的に極めて安定であるため、従来の微粒子を用いた研磨技術では要求される平坦な表面の作製が困難であるといった問題がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、従来技術では困難であった GaN 表面のダメージフリー平坦化技術として、光電気化学反応と固体酸触媒を利用した新規加工技術の開発し、高性能 GaN デバイスの開発・普及の実現に貢献することを目的とする。また従来の研磨技術において研磨傷（スクラッチ）や加工後表面汚染の要因となる微粒子を加工系から排除することにより、高品位な表面が得られるだけでなくコストや環境負荷の低減を目指す。

その中で、本研究課題においては、(1)新規加工技術およびそれを実現する加工装置の開発、(2)開発した技術の平坦化性能評価、(3)加工後 GaN 表面の光学的・電気的特性の評価、について検討を行い従来の研磨技術に対する優位性を見出すことを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 加工装置の開発

提案した加工法による GaN 表面の高精度平坦化を実現するため加工装置の開発を行った。

### (2) 加工条件の最適化と平坦化性能の評価

開発した加工装置を用い、GaN 基板表面の平坦化性能を評価した。照射する光の強度、加工液の成分などの加工条件を検討し、平坦な表面を得るための最適化を行った。

### (3) 加工後表面の光学的・電気的特性の評価

加工後 GaN 表面の発光特性を室温フォトルミネッセンスにより評価した。また、加工後

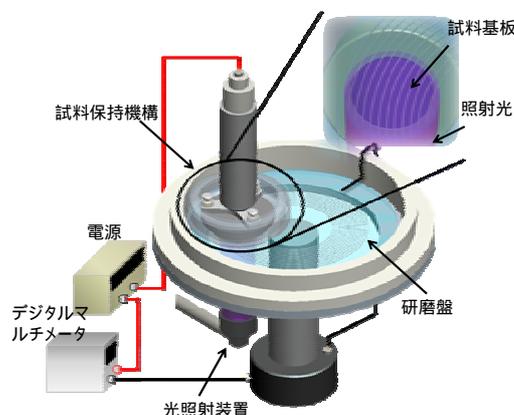


図1 開発した平坦化加工装置の模式図

表面に直接形成したショットキー構造を用い電気特性を評価した。

## 4. 研究成果

(1) 図1に開発した加工装置の模式図を示す。本装置は GaN 基板表面に透明な研磨盤を通し紫外線を照射することが可能となっている。同時に研磨盤に溝加工を施しそこに白金ワイヤーの電極を配置することで基板-白金電極間に電圧を印加することが可能である。さらに研磨盤の表面には触媒機能を持たせており、GaN 表面に生成した酸化膜を除去する役割を持つ。

(2) 平坦な表面を得るために、各加工条件を検討した。加工液に酸性や塩基性溶液を用いると粗さが悪化したが、中性の pH 緩衝溶液を含む溶液を用いることで平坦な表面が得られることを見出した。加工前後の GaN 表面を原子間力顕微鏡により観察した結果を図2に示す。加工前の市販基板表面には機械研磨によるスクラッチが多数存在することがわかる。このようなスクラッチは本加工法により完全に除去された。また表面粗さも 3nm Ra 程度から 0.3nm Ra 以下にまで低減することに成功した。また紫外光照射のみによる加工では加工能率が低く、市販基板表面のダメージ層を除去するのに 30 時間程度要することが判明した。そこでバイアスを印加す

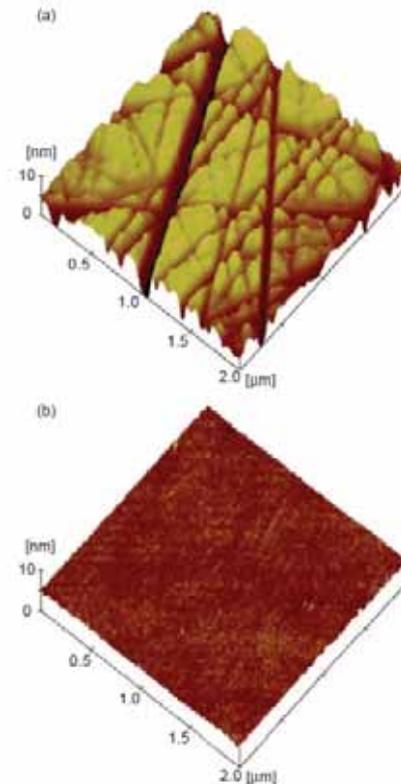


図2 加工前後 GaN 表面の原子間力顕微鏡像 (a)加工前, (b)加工後

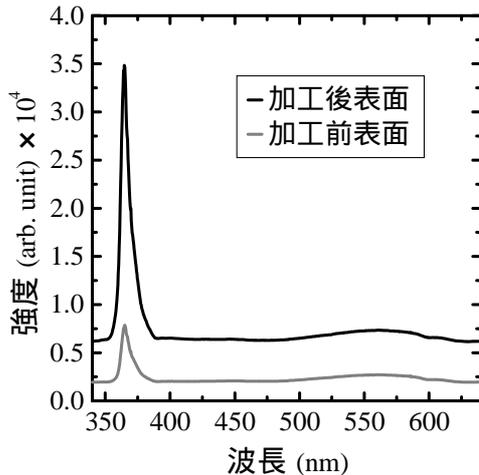


図3 加工前後 GaN 表面のフォトルミネッセンススペクトル

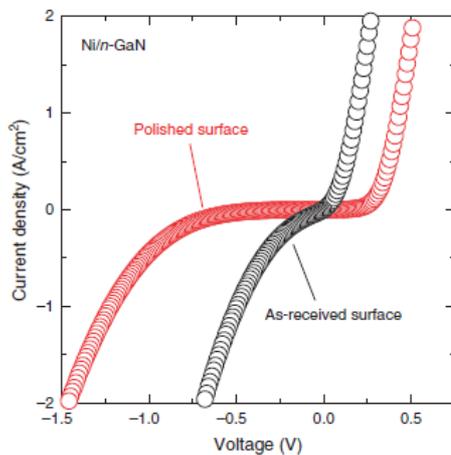


図4 加工前後 GaN 表面の I-V 特性

るプロセスを導入することによりトータルプロセスを 30 分にまで短縮することが可能となった。

(3) 図3に加工前後 GaN 表面のフォトルミネッセンススペクトルを示す。励起光には波長 325nm の He-Cd レーザーを用いた。加工前の市販 GaN 基板表面からは微弱なバンド端発光(波長 365nm)が確認された。一方加工後 GaN 表面からは加工前よりも 8 倍程度バンド端発光が増強された。この結果は、本加工法により GaN 系発光デバイスの強度の増加を示唆する結果である。

さらに、GaN 表面にショットキー電極(Ni)を真空蒸着し電気特性の評価を行った。図4に加工前後 GaN 表面上に作製した電極の電流電圧特性を示す。市販基板表面と比較して逆方向の電流電圧特性が改善し、リーク電流の低減が確認された。また順方向の電流電圧特性から算出した理想化係数が平坦化加工を行うことにより理想値の 1 に近づき、また各電極間のバラつきも低減され、電気特性が大

幅に向上することがわかった。

以上の結果は本研究課題において開発した加工技術によりダメージがなく高い平坦性を持つ GaN 表面を高能率に作製できることを示すものである。また加工後の GaN 表面は従来技術で研磨した表面よりも高い発光特性や電気特性を持つことが示されている。今後、加工後 GaN 表面に発光デバイスや電子デバイスを作製しその性能を評価することが課題である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

著者名: J. Murata, Y. Shirasawa, Y. Sano, S. Sadakuni, K. Yagi, T. Okamoto, A. N. Hattori, K. Arima and K. Yamauchi, 論文タイトル: Improved Optical and Electrical Characteristics of Free-standing GaN substrates by Chemical Polishing Utilizing Photo-Electrochemical Method, 雑誌名: Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 査読: 有, 巻: 11, 発行年: 2011, ページ: 2882-2885.

著者名: S. Sadakuni, J. Murata, K. Yagi, Y. Sano, K. Arima, A. N. Hattori, T. Okamoto and K. Yamauchi, 論文タイトル: Efficient wet etching of GaN (0001) substrate with subsurface damage layer, 雑誌名: Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 査読: 有, 巻: 11, 発行年: 2011, ページ: 2979-2982.

著者名: S. Sadakuni, J. Murata, K. Yagi, Y. Sano, K. Arima, T. Okamoto and K. Yamauchi, 論文タイトル: Influence of gallium additives on surface roughness for photoelectrochemical planarization of GaN, 雑誌名: Physica Status Solidi (C), 査読: 有, 巻: 未定, 発行年: 2011, ページ: 印刷中.

著者名: J. Murata, S. Sadakuni, K. Yagi, Y. Sano, T. Okamoto, K. Arima, A. N. Hattori, H. Mimura, and K. Yamauchi, 論文タイトル: Planarization of GaN (0001) Surface by Photo-Electrochemical Method with Solid Acidic or Basic Catalys, 雑誌名: Japanese Journal of Applied Physics, 査読: 有, 巻: 48, 発行年: 2010, ページ: 121001 01-04.

[学会発表](計9件)

発表者名: S. Sadakuni, J. Murata, K. Yagi, Y. Sano, K. Arima, T. Okamoto, K. Tachibana and K. Yamauchi, 発表タイトル: Improvement of the Removal Rate of Planarization

Technique for GaN by Applying Bias , 学会名 : 3rd International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology , 発表年月日:2010年11月24日 , 発表場所 : 大阪大学 (大阪)

発表者名:S. Sadakuni , J. Murata , K. Yagi , K. Arima , Y. Sano , T. Okamoto , K. Tachibana , and K. Yamauchi , 発表標題 : Abrasive-free planarization of GaN using photo electrochemical reaction , 学会名 : International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2010) , 発表年月日:2010年9月22日 , 発表場所 : Tampa , USA .

発表者名 : 定国峻 , 村田順二 , 八木圭太 , 佐野泰久 , 有馬健太 , 岡本武志 , 橋一真 , 山内和人 , 発表標題 : 化学エッチングを用いた GaN 基板の高効率平坦化加工 , 学会名 : 2010年度秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会 , 発表年月日 : 2010年9月14日 , 発表場所 : 長崎大学 (長崎) .

発表者名 : J. Murata , Y. Shirasawa , Y. Sano , S. Sadakuni , K. Yagi , T. Okamoto , and K. Yamauchi , 発表標題 : Improvement of Schottky Diode Properties on GaN(0001) Surface Using Damage-free Planarization , 学会名 : 2nd International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology , 発表年月日:2009年11月25日 , 発表場所 : 大阪大学 (大阪) .

発表者名 : S. Sadakuni , J. Murata , K. Yagi , T. Okamoto , K. Arima , H. Mimura , and K. Yamauchi , 発表標題 : Planarization of GaN using photoelectrochemical process and solid catalyst , 学会名 : International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2009 , 発表年月日 : 2009年10月11日 , 発表場所 : Nurnberg , Germany .

発表者名 : S. Sadakuni , J. Murata , K. Yagi , Y. Sano , K. Arima , A. Hattori , T. Okamoto , H. Mimura and K. Yamauchi , 発表標題 : Development of planarization method for gallium nitride using photo electrochemical process , 学会名 : 2nd International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology , 発表年月日 : 2009年11月25日 , 発表場所 : 大阪大学 (大阪) .

発表者名 : S. Sadakuni , J. Murata , K. Yagi , K. Arima , Y. Sano , T. Okamoto , H. Mimura and K. Yamauchi , 発表標題 : Planarization of GaN Surface using Photo-electro Chemical Process and Solid Acid Catalyst , 学会名 : 3rd International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology , 発表年月日 : 2009年11月11日 , 発表場所 : 小倉ステーションホテル (福岡)

発表者名 : 定国峻 , 村田順二 , 八木圭太 , 佐野泰久 , 有馬健太 , 岡本武志 , 三村秀和 , 山内和人 , 発表標題 : 光電気化学プロセス及び固体酸触媒を用いた GaN 基板平坦化技術の開発 , 学会名 : 2009年度精密工学会秋季大会 , 発表年月日 : 2009年9月10日 , 発表場所 : 神戸大学 (兵庫) .

発表者名 : 山内和人 , 佐野泰久 , 村田順二 , 定国峻 , 発表標題 : GaN 結晶表面加工技術の新展開 (招待講演) , 学会名 : 第 70 回応用物理学会学術講演会 , 発表年月日 : 2009年9月8日 , 発表場所 : 富山大学 (富山)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 1 件)

名称 : 研磨方法及び研磨装置  
発明者 : 佐野泰久 , 山内和人 , 村田順二 , 定国峻 , 八木圭太  
権利者 : 大阪大学 , 荏原製作所  
種類 : 特許  
番号 : 特開 2010 - 251699  
出願年月日 : 平成 21 年 12 月 15 日  
国内外の別 : 国内

〔その他〕  
ホームページ等

6 . 研究組織  
(1) 研究代表者  
村田順二 (MURATA JUNJI )  
立命館大学・理工学部・助教  
研究者番号 : 70531474