

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006-2008

課題番号：18560344

研究課題名（和文）集積化 GaN 系面発光素子の基礎検討

研究課題名（英文）Fundamental Study on GaN-based Surface emitting devices and their integration

研究代表者 本田 徹 (HONDA TOHRU)

工学院大学・工学部・教授

研究者番号：20251671

研究成果の概要：

高効率発光ダイオードがダブルヘテロ構造および量子井戸、pn 接合により実現されているが、マイクロディスプレイ応用の観点から、製作コストの点からデバイス構造の抜本的改革が必要とされている。本研究ではショットキー型発光ダイオードに着目し、低コスト集積化応用およびその発光効率向上を検討してきた。本素子は、逆方向リーク電流が少ないことが、素子の動作原理上要求される。窒化物上に蒸着したアルミニウム薄膜の大気中酸化およびその大気中エッチングにより低リーク電流を実現した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：窒化物、半導体、発光素子、面発光、集積

1. 研究開始当初の背景

窒化ガリウム(GaN)を代表とする III-V 窒化物半導体は、青色・緑色・白色発光ダイオード(LEDs)、400nm 帯半導体レーザー(LDs)に応用されるとともに、電子デバイスへの応用研究も活発に行われている。これら III-V 族窒化物半導体は、近未来の主力半導体となる可能性を秘めている。このような観点から、III-V 窒化物材料の応用の裾野を広げるため、研究代表者らは、III-V 族窒化物半導体を利用した面発光レーザー[1]の製作研究を行ってきた。面発光レーザーは、集積化が容易な半導体レーザー

の一形式であり、その製作プロセスは発光ダイオード等の集積化技術と重なるところが大きい。一方、フラットパネル・ディスプレイ(FPDs)の研究・実用化は、近年著しい進展があり、液晶ディスプレイのみならず、プラズマ・ディスプレイ、有機 EL など非常に多様にわたる方式が市場に出ている。屋外大型ディスプレイの分野では、窒化物半導体を利用した発光ダイオードによる方法が、大きな市場を獲得している。これは、III-V 族窒化物半導体がディスプレイ応用に適していることを意味する。本研究は、2 インチ程度の家

庭・ビジネス用 III-V 族窒化物半導体発光素子を集積利用した FDPs(本申請ではマイクロディスプレイと称する)を実現することが最終目的である。

2. 研究の目的

フラット・ディスプレイパネルに要求される GaN 系発光素子は、大面積に配置することが必要であることが不可欠であると共に大幅な低価格化が要求される。そこで、本研究では、シンプルな製作プロセスによる製作が容易であり、集積化しやすいショットキー型発光素子の製作をする。この発光素子実現のためには、接合特性の向上、特に逆方向リーク電流の低減が不可欠であり、その低減に主眼をおいて研究を行った。

3. 研究の方法

ショットキー接合および素子製作に使用した $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ および GaN 薄膜は、分子線エピタキシャル成長法(MBE)および有機金属気相成長法(MOVPE)によって(0001)サファイア基板上に製作したものである。Ga および Al 金属および RF ラジカル窒素源を使用した。成長には AlN バッファ層を使用し、膜厚は、約 $1\ \mu\text{m}$ である。Si ドープ n 型の薄膜であり、キャリア濃度は $1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ である。

この薄膜を使用してショットキー接合および

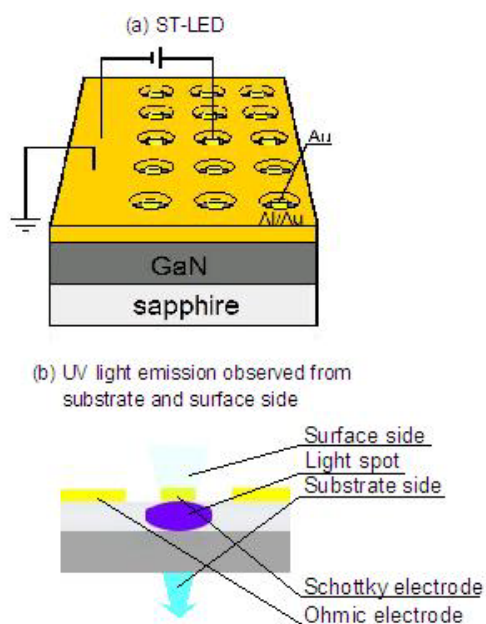


図 1 (a) ST-LED 構造図 (b) 発光の模式図。

び ST-LED の製作を行った。まず、GaN 表面の大面積にオーミック電極として Al/Au を蒸着した。このとき、スクリーン印刷法およびリフトオフ法によって直径 $1\ \text{mm}$ の窓を形成した。次に窓の内側にショットキー電極として Au を直径 $300\ \mu\text{m}$ のドット状に形成した。

図 1(a)に ST-LED の構造図を示す。また、ST-LED の金属・半導体界面に酸化 Al (AlO_x) を導入することにより MOS-LED の製作を行った。蒸着した Al を大気中、 450°C において 30 分間アニールすることにより酸化 Al の製作を行った。

今回、提案する「Al フェイスパック法」は、上記酸化物を一度、BHF を利用して酸化層を剥離してショットキー電極を形成する方法である。MOS 構造製作時には、さらにその後、Al を再蒸着、再酸化させ、酸化層の形成を行った。

4. 研究成果

通常のダブルヘテロ(DH)型では、発光した光が伝搬し、各素子間に広がるクロストークが集積時に問題となるが、素子製作検討の結果、図 1 (b)に示すように、ショットキー型発光ダイオードを採用することにより、電極吸収によるクロストークが減少することがわかった。X 線光電子分光法 (XPS: X-ray photoelectron spectroscopy) により大気中でのアニール後に Al_2O_3 のピークを確認した。このときの酸化 Al の膜厚は $20\ \text{nm}$ 、アニール前後で抵抗率は $13\ \text{n}\Omega$ から $1.2\ \text{K}\Omega$ に変化した。このプロセスを利用して MOS-LED の製作を行った。このとき、室温以上の温度領域での測定を行った。EL 測定を行った。逆バイアス、パルス波 ($-26\ \text{V}$, パルス幅 $25\ \text{ms}$) を印加することで素子を駆動させた。駆動条件一定の下で MOS-LED および ST-LED の EL 測定を行った。同様に図 1(b)に示すように基板側から発光を観測した。

図 2 に AlGaN(Al 組成 10%)MOS-LED の室温における電流電圧特性を示す。Al フェイス

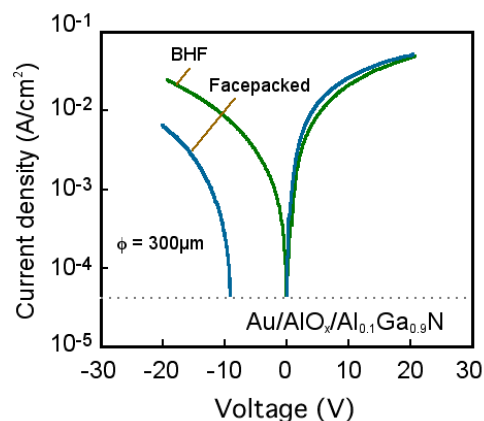


図 2 AlGaN を用いた MOS-LED の室温における電流電圧特性。

パックを施すことにより、逆方向リーク電流が $1/10$ 程度に減少していることがわかる。Au/AlGaN ショットキー接合の場合も同様な傾向が観測された。この様子を図 3 に示す。MBE および MOVPE 成長した GaN 薄膜を利

用したショットキー接合でも同様に逆方向リーク電流の低減が観測された。

Al フェイスパック処理による逆方向リーク電流の低減の結果、AlGa_N 薄膜を用いた MOS-LED の EL 発光強度が飛躍的に改善した。Al フェイスパック処理の有無に対する EL スペクトルの変化を図 4 に示す。Ga_N 薄膜を用いた MOS-LED においてもフェイスパック処理によるリーク電流の低減と発光効率の向上がみられた。

5. 主な発表論文等

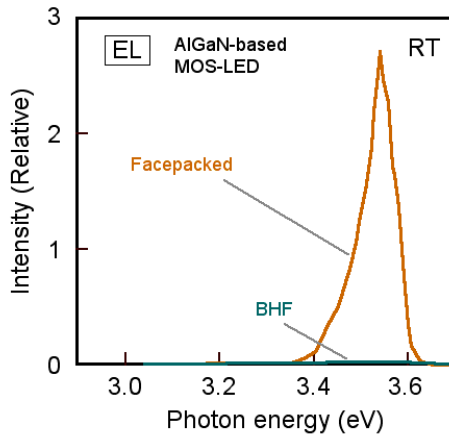


図 4 AlGa_N系 MOS-LED の EL スペクトル。

〔雑誌論文〕 (計 20 件)

- (1) T. Honda, K. Watanabe, K. Sugimoto, M. Arai and K. Takeda, "Fabrication of AlN films at low temperature by CS-MBE technique," *Physica Status Solidi (c)*, vol. 5, no. 9, pp. 3026 – 3028 (2008).
- (2) T. Honda, T. Kobayashi, S. Komiyama, Y. Mashiyama, M. Arai and K. Yoshioka, "Fabrication of GaN-based Schottky-type light-emitting diodes for micropixels in flat-panel displays," *Physica Status Solidi (c)*, vol. 5, no. 6, pp. 2225 – 2227 (2008).
- (3) M. Arai, K. Sugimoto, S. Egawa, T. Honda, "Fabrication of GaN-based UV TF-ELDs by CS-MBE technique and their application to RGB light-emitting pixels," *Physica Status Solidi (c)*, vol. 5, no. 6, pp. 2176 – 2178 (2008).
- (4) T. Honda, M. Sawadaishi, H. Yamamoto, M. Arai, K. Yoshioka and T. Okuhata, "Introduction of preheated ammonia during GaN growth on Si by compound-source MBE at low temperature," *Journal of Crystal Growth*, vol. 310, pp. 1781 – 1784 (2008).
- (5) T. Honda, T. Kobayashi, S. Komiyama and Y. Mashiyama, "Fabrication of GaN-based metal-oxide-semiconductor light-emitting diodes operating in ultraviolet spectral region," *Journal*

of Vacuum Science and Technology B, vol. 25, no.4, pp. 1529-1532 (2007).

(6) T. Honda, T. Baba, M. Watanabe and T. Okuhata, "Fabrication of surface-oxidized GaN crystallites for UV electroluminescent devices," *Physica Status Solidi (a)*, vol. 204, no. 6, pp. 1982-1986 (2007).

(7) M. Sawada, M. Sawadaishi, H. Yamamoto, M. Arai and T. Honda, "Compound-source molecular beam epitaxy of GaN using GaN powder and ammonia as sources," *Journal of Crystal Growth*, vol. 301-302, pp. 67-70 (2007).

(8) T. Honda, S. Egawa, K. Sugimoto and M. Arai, "Low-temperature deposition of hexagonal GaN films for UV electroluminescent devices by CS-MBE technique," *Journal of Crystal Growth*, vol. 301-302, pp. 424-428 (2007).

(9) M. Arai, K. Sugimoto, S. Egawa, T. Baba and T. Honda, "Ga_N films deposited on (111)Si by CS-MBD with re-evaporation enhancement technique for UV light-emitting devices," *Physica Status Solidi (c)*, vol. 4, no. 5, pp. 1719-1722 (2007).

(10) T. Honda, M. Sawada, H. Yamamoto and M. Sawadaishi, "Compound-source molecular beam epitaxy of GaN on Si at low temperature using GaN powder and ammonia as sources," *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **955E**, Warrendale, PA, 107-23 (2007).

(11) T. Honda, T. Kobayashi, S. Egawa, M. Sawada, K. Sugimoto and T. Baba, "Thermal effects on light-emission properties of GaN LEDs grown by metal-organic vapor phase epitaxy," *Journal of Crystal Growth*, vol. 300, pp. 90 - 93, (2007).

(12) K. Sugimoto, S. Egawa, M. Arai and T. Honda, "Fabrication of GaN-based electroluminescent devices on Al substrates and their application to red, green and blue pixels for flat-panel displays," *Physica Status Solidi (c)*, vol. 4, no. 1, pp. 53 – 56 (2007).

(13) T. Kobayashi, S. Egawa, M. Sawada and T. Honda, "GaN-based Schottky-type UV light-emitting diodes and their integration for flat-panel displays," *Physica Status Solidi (c)*, vol. 4, no. 1, pp. 61 – 64 (2007).

(14) K. Yoshioka, S. Egawa, T. Kobayashi, T. Baba, K. Sugimoto, M. Arai, H. Nomura, M. Sato and T. Honda, "ZnO films fabricated by spin coating and their application to UV electroluminescent devices," *Physica Status Solidi (c)*, vol. 4, no. 1, pp. 162 – 165 (2007).

(15) T. Honda, T. Kobayashi, S. Egawa, M. Sawada, K. Sugimoto and T. Baba, "Integrated light-emitting diodes grown by MOVPE for flat panel displays," *Journal of Crystal Growth*, vol. 298, pp. 736 – 739 (2007). 他

〔学会発表〕（計 9 1 件）

- (1) T. Honda, H. Yamamoto, M. Sawadaishi, S. Taguchi and K. Sasaya, "Formation of AlN layer on (111)Al substrate by ammonia nitridation," Second international Symposium on growth of III-Nitrides (ISGN-2), Laforet Shuzenji, Izu, Japan, July 6-9, 2008, Mo-42.
- (2) Y. Mashiyama, K. Yoshioka, S. Komiyama, S. Adachi, M. Sato and T. Honda, "Fabrication of MgZnO Films by Molecular Precursor Method and Its Application to UV-Transparent Electrodes," International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices (ISSLED2008), Phoenix, Arizona, USA, April 27- May 2 (2007).
- (3) S. Komiyama, K. Noguchi, S. Suzuki and T. Honda, "Excitonic absorption in GaN layers of GaN-based UV Schottky-type light-emitting diodes grown by metal-organic vapor phase epitaxy," 14th International Conference of Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (ICMOVPE-14), June 2nd-6th 2008, Metz, France, We-P. 69.
- (4) M. Sawadaishi, S. Taguchi, K. Sasaya and T. Honda, "Nitridation of (111)Al substrates for GaN growth by molecular beam epitaxy," The 15th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (ICMBE-15), Vancouver, Canada, August 3-8, 2008, Tu-16-18.
- (5) T. Honda, S. Komiyama, S. Suzuki and T. Okuhata, "Fabrication of AlGaIn-based UV MOS LEDs grown by MBE," 35th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS-2008), Europa-Park, Rust, Germany, September 21-24 2008, Mo-1.6.
- (6) T. Okuhata, K. Tomioka, M. Sawadaishi, S. Taguchi and T. Honda, "Fabrication of surface-coated GaN crystallites deposited on Si substrate," IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference 2008, Kyoto University, Kyoto, Japan, October 20-23, 2008, Tu P43.
- (7) T. Honda, Y. Mashiyama, S. Komiyama and M. Sato, "Fabrication of Ga-doped MgZnO-based Transparent Electrodes by Molecular Precursor Method for GaN-based UV LED," Materials Research Society (MRS) 2008 fall meeting, Boston, USA, December 1-4, 2008, B9.10.
- (8) T. Honda, S. Komiyama, T. Sakka and K. Noguchi, "36th Conference on the physics and chemistry of semiconductor interfaces (PCSI-36), Hotel Mar Monte, Santa Barbara, CA, U. S. A., 11 - 15 January, 2009, Mo1155.
- (9) T. Okuhata, K. Tomioka, M. Sawada, M. Sawadaishi, and T. Honda, "Surface recombination of the GaN crystallites at low

temperature," 27th Electronic Materials Symposium (EMS-27), Laforet Shuzenji, Izu, Japan, July 9-11, 2008, A-10.

(10) S. Taguchi, M. Sawadaishi, K. Sasaya, H. Yamamoto and T. Honda, "Surface-oxide etching on Al substrates for the formation of AlN," 27th Electronic Materials Symposium (EMS-27), Laforet Shuzenji, Izu, Japan, July 9-11, 2008, E-1

(11) T. Sakka, M. Arai, S. Egawa and T. Honda, "XPS spectra of GaN layers grown by compound-source MBE with RF-plasma assisted N₂ supply," 27th Electronic Materials Symposium (EMS-27), Laforet Shuzenji, Izu, Japan, July 9-11, 2008, A-8.

(12) K. Noguchi, S. Komiyama and T. Honda, "Absorption loss in GaN-based Schottky-type UV-LEDs," 27th Electronic Materials Symposium (EMS-27), Laforet Shuzenji, Izu, Japan, July 9-11, 2008, H-9.

(13) 本田 徹、小宮山 重利、増山 佳宏、渡邊 謙二, "GaN 系 MOS 型紫外発光ダイオードの逆方向電流の低減," 電子通信情報学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会(LQE), 名古屋工業大学, 名古屋市, 2008.11.28-29, (8) .他

〔図書〕（計 0 件）
なし

〔産業財産権〕
○出願状況（計 0 件）
なし

○取得状況（計 0 件）
なし

〔その他〕
とくになし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本田 徹 (HONDA TOHRU)
工学院大学・工学部・教授
研究者番号: 20251671

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし