

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18069009

研究課題名（和文）高品質 AlGaIn 結晶の成長と紫外・深紫外発光デバイス

研究課題名（英文）Epitaxial Growth of High-Quality AlGaIn and Its Application to UV and Deep-UV Light Emitters

研究代表者

川西 英雄 (KAWANISHI HIDEO)

工学院大学 工学部

研究者番号：70016658

研究分野：光エレクトロニクス

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：深紫外半導体レーザー、量子井戸、窒化物半導体、ワイドギャップ、エピタキシャル成長

1. 研究計画の概要

本研究では、ワイドバンドギャップ半導体である AlGaIn 窒化物半導体の結晶品質を格段に向上させ、それを利用する事で、世界的なレベルにおいても未開拓な紫外から深紫外域で効率よく動作する光半導体デバイス、特に、本研究では「紫外から深紫外域の半導体レーザー」に焦点を絞り、それを開拓するための基礎を固めることを目的とする。

2. 研究の進捗状況

本研究を開始した時点では、我々の先導的研究成果である「ASFE (交互供給法) 法」と「AlN/GaN 多重バッファ層構造」、及び「高温 AlN テンプレート層構造」を利用し、らせん転位密度が約 10^7 [cm⁻²] 程度 ((0002)面 ω スキャン半値幅で 80～90 arcsec)、刃状転位密度は約 10^{10} [cm⁻²] ((10-12)面 ϕ スキャン半値幅で 800～1000 arcsec) であった。最新の本研究の成果として、らせん転位密度約 5×10^7 まで低下、一方、刃状転位密度は約 3×10^7 cm⁻² ((10-12)面 ϕ スキャン半値幅で 60arcsec (最も良いもので 34arcsec) を達成した。この値は、バルク結晶の値に近い値であり、ヘテロエピタキシャル成長層としては、トップレベルの値である。また、ASFE 法により「点欠陥」を低減できる可能性を初めて指摘した。

3. 現在までの達成度

本研究の目的である AlGaIn 半導体結晶の高品質化に関しては、当初の計画を越えた新しい発想を積極的に工夫し、想定

以上の成果を得た。現在、本研究の最も挑戦的な研究課題である「電流注入型 AlGaIn 深紫外半導体レーザー」の実現に向け、研究を進めている。

4. 今後の研究の推進方策

半導体レーザーの発光領域である「活性層」及び「その近傍領域」での歪み制御に関する知見を更に深める。現時点で、主として用いられている簡便な手法は、活性層である量子井戸層の厚さを実験的に調整するものであった。ここでは、テンプレートの AlN 結晶、活性層を包む n 及び p クラッド層及びガイド層の AlGaIn 結晶の、熱歪み、格子歪みを考慮しながら「総合的歪みマネジメント」を実施、半導体レーザーの構造を設計し、電流注入型半導体レーザーを試作する。尚、現時点で注入型半導体レーザーの最短波長は、浜松ホトニクス (株) の発表した 342nm であり、先ず、本研究は、それを凌ぐ短波長の実現を目指す。

その為には、当初の研究計画通り、高品質化を実現した AlGaIn 結晶、特に、高 Al 組成 AlGaIn の電気伝導性に関わる制御技術を確立する。特に、p 型不純物である Mg の添加では、Mg の活性化率及び空間的な不均一な添加 (欠陥点に Mg が偏析しダイオード特性を劣化させる。この解析には、連携研究者 (工学院大学) の有する Micro-SIMS 解析が有効であ

る)等々解決しなければならない課題が多い。最高レベルにまで高品質化したAlGa_N結晶が本研究により得られたことで、この難題に挑戦する。

5. 代表的な研究成果

(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 10 件)

1. Hideo Kawanishi, "Structure and Properties of Deep-UV AlGa_N MQW Laser", Proceedings of i-NOW2008, (印刷中)
2. Yuu Wakamiya*, Fumio Hasegawa, Hideo Kawanishi, "Investigation on Conductivity at the GaN/AlN/SiC Substrate interface for Vertical Nitride Power FETs", Physica Status Solidi (to be published).
3. Ken-ichi Isono*, Eiichiro Niikura, Koichi Murakawa, Fumio Hasegawa, and Hideo Kawanishi, "Improvement of Crystal Quality of n-AlGa_N by Alternate-Source-Feeding Metal Organic Vapor Phase Epitaxy", Japan J. Appl. Phys., Vol. 46, 5711-5714 (2007. 09)
4. Kouichi Murakawa*, Eiichiro Niikura, Fumio Hasegawa, and Hideo Kawanishi, "Reduction of Threading Dislocations in AlGa_N/AlN/SiC Epitaxial Layers by Controlled Strain with (AlN) Yuu Wakamiya*, Fumio Hasegawa, /Ga_N) Multi-buffer-layer Structure", Japan. J. Appl. Phys., Vol. 46, 3301-3304 (2007. 06)
5. Hideo Kawanishi*, Masanori Senuma, and Takeaki Nukui, "Tm-mode lasing and anisotropic polarization properties of AlGa_N multiple quantum well lasers in deep-ultraviolet spectral region, Proceeding of SPIE Photonics West 2007, Vol. 6473, 64731D (2007. 2)
6. Eiichiro Niikura*, Kouichi Murakawa, Fumio Hasegawa, and Hideo Kawanishi, "Improvement of crystal quality of AlN and AlGa_N epitaxial layers by controlling the strain with the (AlN/GaN) multi-buffer layer", Journal of Crystal Growth, Vol. 298, 345-348 (2007. 01)
7. Hideo Kawanishi*, Eiichiro Niikura, Mao Yamamoto, and Shoichiro Takeda, "Experimental energy difference between heavy- or light-hole valence band and crystal-field split-off-hole valence band in Al_xGa_{1-x}N", Appl. Phys. Lett., Vol. 89, 251107-1-251107-3 (2006. 12)
8. Hideo Kawanishi*, Masanori Senuma, Mao Yamamoto, Eiichiro Niikura, and Takeaki Nukui, "Extremely weak surface emission from (0001) c-plane AlGa_N multiple quantum well structure in deep-ultraviolet spectral region", Appl. Phys. Lett., Vol. 89, 081121-1-081121-3 (2006. 08)
9. Hideo Kawanishi*, Masanori Senuma,

and Takeaki Nukui, "Anisotropic polarization characteristics of lasing and spontaneous surface and edge emissions from deep-ultraviolet ($\lambda \approx 240$ nm) AlGa_N multiple-quantum-well lasers", Appl. Phys. Lett., Vol. 89, 041126-1-041126-3 (2006. 7)

10. 川西英雄*, 瀬沼正憲、貫井猛晶、「深紫外 AlGa_N 多重量子井戸半導体レーザー光の光学的異方特性」、日本光学会 (応用物理学会) 光学, 35 巻、265-267 (2006. 05)

[学会発表] (計 32 件)

国際会議 : (小計 20 件)

- ① Hideo Kawanishi, "Extremely Small Edge Dislocation Density of AlN Template Grown on 4H-SiC Substrate by ASFE-MOVPE with (AlN/GaN) MBL Structure", IC-MOVPE2008、フランス、Metz、2008年6月開催、他19件。

国内会議 : (小計 12 件)

- ① 武田、薦川、安斉、川西「AlN テンプレートの高品質化」2008 年秋季応用物理学会 他 11 件。

[図書] (計 2 件)

- ① 「ワイドギャップ半導体光・電子デバイス」(第二章編集、2.2.4節、5.2.7節執筆) 監修・高橋清、森北出版 2006年
- ② "Wide Bandgap Semiconductors", K. Takahashi他、(第二章、第6章執筆) 2007年、Springer.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

[その他]