

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 24 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560369

研究課題名(和文)化合物半導体のヘテロ成長及びナノ構造の作製に関する研究

研究課題名(英文)Study on heteroepitaxial growth of compound semiconductor and nanostructures

研究代表者

郭 其新 (GUO, Qixin)

佐賀大学・シンクロトロン光応用研究センター・教授

研究者番号：60243995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：ZnTeは優れた高輝度純緑色発光ダイオード用の材料として期待されている。本研究では、p型ZnTe/n型ZnOのヘテロエピタキシャル成長特性の解明を目的とした。n型ZnO基板上に有機金属気相成長法を用いて、ZnTeの薄膜成長を行い、X線回折法、ラマン分光法、フォトルミネッセンス法等により評価した結果、p型のZnTe(111)のエピタキシャル膜が得られていることが明らかとなった。また、ヘテロ接合ダイオードの電圧電流特性を測定し、ダイオードの整流特性が観測された。これらの研究成果は、Applied Physics Letters等の国際学術論文誌に公表した。

研究成果の概要(英文)：ZnTe is a promising material for high efficiency pure green LED. In this study, we investigated p-type ZnTe heteroepitaxial growth on n-type ZnO. X-ray diffraction, Raman spectroscopy and photoluminescence analysis revealed that p-type ZnTe(111) epitaxial films are obtained. Diode rectification was clearly observed from the current-voltage (I-V) characteristics of the ZnTe/ZnO hetero structure. These results and achievements were published on international journals such as Applied Physics Letters.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：化合物 半導体 ヘテロ成長 光学特性 電気特性

1. 研究開始当初の背景

(1) 光デバイスの白熱球、蛍光灯などは、変換効率が低く、エネルギーの大部分が熱として無駄に消費されている。光と電子との相互作用が大きい半導体材料を用いれば、その変換効率は飛躍的に高まる。半導体材料を用いた発光デバイスとして光の三原色である赤色、緑色、青色発光ダイオードが既に開発され市販されている。既に InGaN を用いた高輝度青緑発光ダイオードが市販されてきたが、これは基板としてサファイアを使用していることから、そのコストの低減化に大きな問題が残されている。

(2) 本研究で取上げる ZnTe は、閃亜鉛鉱構造を有しており、直接遷移型のバンド構造を持ち、バンドギャップが 2.26eV であり、従来よりも優れた高輝度純緑色発光ダイオード用の材料として期待されている。しかし、ZnTe は、p 型伝導しやすく、n 型 ZnTe を得ることが困難であるという問題を抱えている。一方、ワイドギャップ酸化物半導体材料として酸化亜鉛(ZnO)が注目を浴びている。ZnO は、バンドギャップが 3.2eV であり、束縛励起子の結合エネルギーが 60meV と大きいので、高効率の発光ダイオードや紫外線レーザーとして期待される材料である。しかしながら ZnO は、n 型伝導しやすく、p 型 ZnO 作製が困難であるため高効率の発光素子は実現されていないのが研究開始当初の現状であった。

2. 研究の目的

本研究では、これらの ZnO 及び ZnTe の伝導特性を積極的に活用し、n 型 ZnO と p 型 ZnTe を組合せることにより、新規高効率発光デバイスの基盤技術を開拓しようとしており、n 型 ZnO/p 型 ZnTe のヘテロエピタキシャル成長特性をを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 有機金属気相成長法を用いて、n 型 ZnO(0001)基板の上に p 型 ZnTe 薄膜を成長させた。原料には DMZn 及び DETe を用いた。

(2) 成長された薄膜は、X 線回折法、電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、フォトルミネッセンス法及びラマン分光法により、基板温度をはじめとする各種成長条件と成長膜の結晶性及び光学特性との相関を調べた。

(3) ヘテロ接合を作製し、半導体パラメータアナライザを用いてダイオードの電気特性を評価した。

4. 研究成果

(1) 基板温度を変化させ、n 型 ZnO(0001)基板の上に ZnTe の結晶成長を行った。X 線回折方法を用いて評価したところ、ZnTe(111),

(222),(333)面に伴う回折ピークが観測されたことにより、ZnTe エピタキシャル成長が可能であることが分かった。

(2) 成長された膜のラマンスペクトルに 205、410 cm^{-1} の位置に明瞭なピークが認められた。これらは縦型光学フォノン LO と 2LO に対応しており、ZnTe エピタキシャル膜が閃亜鉛鉱型の結晶構造であることが確認された。

(3) 室温でのフォトルミネッセンススペクトルから、全ての基板温度で成長された膜において 550nm 付近にピークが観測され、ZnTe のエネルギーバンドギャップ 2.26eV に一致することが判明された。また、基板温度 460,480 で成長されたサンプルにおいては 690nm 近傍を中心として幅約 100nm にわたるブロードなピークが現れた。これはエピタキシャル膜内に発生した欠陥(Y 発光中心)に起因することが明らかとなった。

(4) 低温フォトルミネッセンススペクトルより、ZnO(0001)基板の上に成長させた ZnTe 膜のバンドギャップ温度依存性が GaAs(111)基板の上に成長された ZnTe 膜と異なり、ヘテロ界面に異なる応力が存在することが分かった。

(5) シンクロトロン光による X 線トポグラフィを用いた ZnTe/ZnO サンプルの ZnO 基板(0001)面からの回折像観察を通して基板側の応力について評価できることを判明した。

(6) p 型 ZnTe 側及び n 型 ZnO 側表面に金(Au)の膜をスパッタ法により成膜してヘテロダイオードを作製し、半導体パラメータアナライザを用いて電流・電圧(I-V)特性を評価した結果、明確な整流特性が確認された。

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 6 件)

Fabrication of ZnO/ZnTe heterojunction by using a room temperature direct bonding technology, Hajime Akiyama, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, Mitsuhiro Nishio, and Qixin Guo, Phys. Status Solidi C, 査読有、2014, pp. 1-3

DOI 10.1002/pssc.201300642.

Effect of reactor pressure upon photoluminescence properties of ZnTe homoepitaxial layer, SHULAI HUANG, ZIWU JI, LEI ZHANG, MINGSHENG XU, SHUANG QU, XIANGANG XU, QIXIN GUO, OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS - RAPID COMMUNICATIONS, 査読有、Vol. 7, 2013, p. 730 - 733.

Effect of substrate temperature on optical

properties and strain distribution of ZnTe epilayer on (100) GaAs substrates, Lei Zhang, Ziwu Ji, Shulai Huang, Huining Wang, Hongdi Xiao, Yujun Zheng, Xiangang Xu, Yun Lu, Qixin Guo, Thin Solid Films, 査読有、536, 2013, pp. 240-243.

Epitaxial Growth of ZnTe Layers on ZnO Bulk Substrates by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, Hajime AKIYAMA, Hiroyuki HIRANO, Katsuhiko SAITO, Tooru TANAKA, Mitsuhiko NISHIO, and Qixin GUO, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有、52, 2013, 040206.

Growth of ZnTe layers on (111) GaAs substrates by metalorganic vapor phase epitaxy, Qixin Guo, Hajime Akiyama, Yuta Mikuriya, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, and Mitsuhiko Nishio, Journal of Crystal Growth, 査読有、341, 2012, pp. 7-11.

Band alignment of ZnTe/GaAs heterointerface investigated by synchrotron radiation photoemission spectroscopy, Qixin Guo, Kazutoshi Takahashi, Katsuhiko Saito, Hajime Akiyama, Tooru Tanaka, and Mitsuhiko Nishio, Applied Physics Letters, 査読有、102, 2013, 092107.

〔学会発表〕(計 9 件)

Growth and characterization of ZnTe thin films (Invited Talk), Qixin Guo, Hajime Akiyama, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, and Mitsuhiko Nishio, The 8th International Conference on THIN FILM PHYSICS AND APPLICATIONS, Shanghai, China, September 20-23, 2013.

Fabrication of ZnO/ZnTe Heterojunction by Using a Room Temperature Direct Bonding Technology, Hajime Akiyama, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, Mitsuhiko Nishio, and Qixin Guo, The 16th International Conference on II-VI Compounds and Related Materials, Nagahama Royal Hotel, Nagahama, Japan, September 9 - 13, 2013. We-P10.

Characterization of ZnTe layers on (0001) ZnO substrates by metalorganic vapor phase epitaxy, Hajime Akiyama, Tooru Idekoba, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, Mitsuhiko Nishio, and Qixin Guo, The 40th International Symposium on Compound Semiconductors, May 19-23, 2013, Kobe Convention Center, Kobe, Japan, MoPC-01-09.

Growth of ZnTe layers on (0001) ZnO substrates by metalorganic vapor phase epitaxy, H. Akiyama, H. Hirano, T. Konomi,

K. Saito, T. Tanaka, M. Nishio, and Q.X. Guo, The 8th International Forum on Advanced Materials Science and Technology, Fukuoka, Japan, August 1-4, 2012, 3A-OS01-06.

Heteroepitaxial growth of ZnTe layers by MOVPE (Invited Talk), Qixin Guo, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, and Mitsuhiko Nishio, The Collaborative Conference on Crystal Growth 2012, A23, December 12, 2012, Doubletree by Hilton Orlando at SeaWorld, Orlando, FL, USA.

Synchrotron Light Applications for Characterizing Advanced Thin Films (Invited Talk), Qixin Guo, The 6th International Conference on Technological Advances of Thin Films & Surface Coatings, FPT 2060, 14-17 July, 2012, Singapore Management University, Singapore

Characterization of ZnTe Epilayers on GaAs (111) Substrates by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, Qixin Guo, Hajime Akiyama, Hiroyuki Hirano, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, and Mitsuhiko Nishio, The Sixteenth International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, May 20-25, 2012, Paradise Hotel Busan, Busan, Korea, TuP-59.

Synchrotron light applications for characterizing novel photonic materials (Invited Talk), Qixin Guo, International Photonics Conference 2011, December 8-10, 2011, Tainan, E-SA-V6.

Synchrotron Light Applications for Characterizing Novel Functional Materials (Invited Talk), Qixin GUO, The 1st Annual World Congress of Nano-S& T, Tract 3-16, Oct. 25, World EXPO Center, Dalian, China.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.slc.saga-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

郭 其新 (GUO, Qixin)

佐賀大学・シンクロトロン光応用研究センター・教授

研究者番号：6 0 2 4 3 9 9 5

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：