

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560299

研究課題名（和文） 純緑色 LED 高効率化のための高品質 ZnTe 系ヘテロ構造の開発

研究課題名（英文） Development of ZnTe based heterostructure for improvement of efficiency of pure green LED

研究代表者

西尾 光弘 (Nishio Mitsuhiro)

佐賀大学・工学系研究科・教授

研究者番号：60109220

研究成果の概要（和文）：

有機金属気相成長法によるp型ドーピング、窒素雰囲気でのアニールなどについてZnTeとともに $Zn_{1-x}Mg_xTe$ について研究した主な成果を以下のように簡単にまとめた。Al拡散制御層を用いた我々のZnTe緑色LEDの最近の成果を論評した。ZnTeについて、電気的光学的性質の原料供給量依存性、VI/II原料供給量比依存性などがアニール処理の有無双方について明らかにされた。ZnTeと同じようにTDMAPを用いるとp型の高キャリア密度の $Zn_{1-x}Mg_xTe$ が得られた。 $Zn_{1-x}Mg_xTe$ においてアニールが効果に作用するのはTe供給不足の成長条件であり、Te供給過剰の成長条件では高い補償を示した。同様な傾向はZnTeにおいても見出された。

研究成果の概要（英文）：

For ZnTe and $Zn_{1-x}Mg_xTe$, the main results on p-type doping by means of metalorganic vapor phase epitaxy, annealing treatment in nitrogen gas flow and so on were briefly summarized as follows. We reviewed our recent research results on the development of ZnTe LEDs. For ZnTe, the electrical and optical properties versus source transport rate, VI/II transport rate ratio and so on have been clarified with and without annealing treatment. P-type doping of $Zn_{1-x}Mg_xTe$ layer with a high carrier concentration has been obtained by using tris-dimethylaminophosphorus, similar to the case of ZnTe layer. The post-annealing is very effective in obtaining p-type conductive $Zn_{1-x}Mg_xTe$ for the layer grown under a Te-poor condition. On the other hand, $Zn_{1-x}Mg_xTe$ layer is characterized by a high compensation ratio for the layer grown under a Te-rich condition, even after annealing treatment. Similar tendencies are also found in P-doped ZnTe layers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：電子, 電気材料工学

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：ZnTe系材料, ヘテロ接合, 純緑色LED, 結晶評価, アニール効果

1. 研究開始当初の背景

光の三原色の内、赤、青においては20%以上のパワー効率のLEDが実現されているが、550nm付近の波長域の純緑色はパワー効率が

0.1%程度のGaPを用いたLEDしかなく、既存のLEDの効率が極めて低いことから、グリーンギャップと呼ばれている。高効率化が実現されれば、通信用光源、検査用光源、液晶バックライトや

屋内外の表示装置、自動車用、交通の照明など様々な応用が期待される。このことから、GaP系に加えて、青緑系で実用化されているInGaN系で取り組みがなされているが、材料固有の問題や発光機構に起因した問題があり、高効率化は実現されていない。即ち、GaPは間接遷移型半導体であるためLED用材料としては不向きであり、一方、InGaNは波長500nm以上を実現するためIn含有量を増加させる必要があるが、これに伴って結晶性が劣化し、波長550nm付近において高効率化は達成できない。また、Ga、In等の原料不足による高騰といった懸念もある。

ZnTeは、直接遷移型半導体で純緑色域にあたるバンドギャップをもち、原料不足の問題もなく、結晶育成も容易な材料である。また、従来この材料の難点であったn型化困難という問題も克服されつつあるので、LEDへのZnTeの応用は大いに期待できる。即ち、Alがn型化にとって有用なドーパントであることが、有機金属気相成長法(本研究グループ)、低温熱拡散法(本研究グループ、ジャパンエナジー)、分子線エピタキシャル成長法(東北大学)、レーザードーピング法(ベラルース)などにより示されており、また、AlやBなどによるn型ドーピングに伴う発光スペクトルの挙動や不純物等のエネルギー準位なども明らかとなっている。n型ZnTeが達成されたことから、緑色LEDを試作した研究例(本研究グループ、ジャパンエナジー、ベラルース)が登場したが、性能は市販品に比べるとはるかに劣ったものであった。緑色LEDの性能向上にとって良質なn型ZnTeと密接に関係するAlドーピング量の適切化が重要である。そこで、拡散制御層を用いた熱拡散技術を考案した。その結果、良好なpn接合界面や高品質のn型ZnTeの形成に成功した。また、拡散制御層の材料、厚さなどに注目して、ドライエッチング技術などを用いてpn接合LEDを試作してその性能を評価した。その結果、ホモ接合構造でありながら約0.3%と同波長域の市販品レベルのパワー効率(0.1%)を凌駕する緑色LEDに成功し、純緑色域においてZnTeが他の材料系よりも高いポテンシャルを有する材料であることを示し、広く成果を公表することができた。LEDの高効率化にとって、バルク結晶の代わりに高品質エピタキシャル成長膜の利用やバンドギャップの大きい半導体材料Zn_{1-x}Mg_xTe混晶とZnTeとのシングルヘテロ構造やダブルヘテロ構造によるキャリア閉じ込めなどが有用であるので、主として有機金属化学気相成長法を利用してp型ZnTeの高品質化を進めた。

燐(P)ドーピングしたp型バルク結晶において、 10^{18}cm^{-3} 程度のキャリア密度が発光にとって有用であることを見出しているが、これまで有機金属化学気相成長によるPドーピングエピ膜では 10^{17}cm^{-3} 程度のキャリア密度しか得られていなかった。本グループでは新規のドーパントとしてTDMAP(tris-dimethylaminophosphorus)に注目し、ドーピング条件とフォトルミネッセンス特性、電気的特性との関係を明らかにし、 10^{18}cm^{-3} 程度のキャリア密度が得られた。更に、成長後の窒素雰囲気中でのアニール処理によりエピ膜の光学的電気的特性が改善されることを示し、室温で現れるバンド間遷移に基づくルミネッセンスの強度はバルク結晶をはるかに凌ぐものとなること、高キャリア密度(最大キャリア密度 10^{19}cm^{-3})が得られることなどの成果を得ると共にエピ膜の表面の平坦化条件も探求できた。また、GaAs、Al₂O₃、Zn_{1-x}Mg_xTe上へのヘテロ成長を試み、表面平坦性、結晶性、光の透過性などヘテロ構造にかかわる知見を得た。Zn_{1-x}Mg_xTeは、上述のようにZnTeとのシングルヘテロ構造やダブルヘテロ構造によるキャリア閉じ込めに有望な半導体材料であるが、Zn_{1-x}Mg_xTe自体の研究は非常に少ない状況にあり、デバイス設計の上で有用なMg組成とバンドギャップ、格子定数、結晶性、Pドーピングによる光学的電気的特性への効果などのデータが不十分であったことから、バルク結晶の作製と物性評価やZnTe上へのエピ成長の評価などを行い、X線ロックアップカーブの半値幅が狭く(例えばバルク結晶では50-80arcsec)、またキャリア密度が高い(バルク結晶 10^{17}cm^{-3} 台、エピ膜 10^{18}cm^{-3} 台)と良好なp型Zn_{1-x}Mg_xTe(x<0.3)が得られるようになった。ヘテロ構造に関してZnTeとの格子不整合の影響を軽減化するためにSeを付加したZn_{1-x}Mg_xTe_{1-y}Se_y混晶にも最近注目しており、ガスラインを増設した成長装置の整備、試験が完了した所である。

以上の研究経緯から、更なる高効率化のための高品質ヘテロ構造の開発準備が整いつつあると言え、本研究では、Zn_{1-x}Mg_xTe混晶やZn_{1-x}Mg_xTe_{1-y}Se_y混晶などを主として有機金属化学気相成長法により作製し、これらのZnTe系材料とZnTeを組み合わせたヘテロ構造の高品質化を目指す。更に、上記のZnTeのデバイス化技術(拡散制御層を用いた熱拡散技術も含む)を適用して、ヘテロ構造を有するZnTe系

緑色 LED の高効率化を果たそうとする。

2. 研究の目的

原料不足による高騰といった懸念がなく、原材料が安価で結晶育成が容易なテルル化亜鉛 (ZnTe) に注目して、緑色に対し透明でかつ高密度でキャリア閉じ込めを可能にする $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ 混晶や格子不整合の影響を軽減化するために Se を付加した $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$ 混晶などを主として有機金属化学気相成長法により作製し、これらの ZnTe 系材料と ZnTe を組み合わせたヘテロ構造の高品化を目指すと共に、独自の熱拡散技術により一部を n 型化することによりヘテロ構造の ZnTe 緑色 LED を試作し、その性能を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

- (1)ブリッジマン法により、Pドープ $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ を作製し、LEDの直列抵抗軽減化のためにキャリア密度の向上をはかる。
- (2)量産化に有利で、高品質エピタキシャル膜の作製に有利な有機金属化学気相成長法を主として用いる。TDMAP を用いた Pドープ $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ の系統的なエピタキシャル成長実験を行い、主としてパウ法、PL、X線回折、SEM/CL像/EDX等の測定により評価する。
- (3) $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$ のエピ成長について有機金属気相成長により成長を試みるが、研究例は殆どないので、成長条件を探ることに重点を置く。例えば、 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ が得られる成長条件に DESe を導入し、 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ と同様な手法で結晶評価することにより格子不整合率を下げた組成を得るための成長条件を探る。
- (4)上記と並行して、分子線エピ成長法により量子井戸構造を作製し、PL評価によりキャリア閉じ込め効果にかかわる知見を得ようとする。
- (5)Pdの無電解鍍金を用いて接触抵抗率の向上をはかる。また、LED化し諸特性を評価することにより構造の最適化を追求する。

4. 研究成果

以下に、得られた主たる成果の概要を列記する。

- (1)ブリッジマン結晶の Mg 組成と電気的性質の関係を明らかにすると共に、電気的性質の測定温度変化とフォトルミネッセンス特性から補償効果について考察し、高品質結晶であることを実証した。
- (2)有機金属気相成長法において、Pドープ

ZnTe エピ膜の電気的性質の測定温度変化の VI/II 供給量比依存性を明らかにでき、エピ層の高品質化のための最適条件が決定できた。

- (3) $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ エピ膜の Mg 組成を制御するための成長条件が確立でき、成長時の Pドープと成長後のアニール処理を併用することにより、 10^{18}cm^{-3} を越える高キャリア密度の p 型 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ エピタキシャル膜を達成すると共にアニール処理効果が掌握できた。

- (4)p 型 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ エピタキシャル膜の表面粗さを従来より 1 桁以上下げることができ、発光特性と合わせて、エピタキシャル膜の品質が大幅に改善できた。

- (5)格子不整合によるヘテロ接合界面での欠陥密度を下げるために ZnTe 活性層の幅を狭くした ZnTe/ $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ 量子井戸構造を作製し、評価したところ、各量子井戸層からの発光エネルギーは井戸層の歪を考慮して求めた計算値と良く一致し、更に、適度な Mg 組成、井戸幅の多重量子井戸構造において、室温発光が得られることを実証した。

- (6) $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ バルク結晶について、結晶性の評価を XRD に加え、ラマン分光法による評価を実施すると共に、ラマンシフトの Mg 組成による振る舞いや半値幅依存性などを明らかにした。

- (7)有機金属気相成長法において、Pドープ ZnTe エピ膜の表面形態、表面粗さ、フォトルミネッセンス特性の各種成長条件依存性を明らかにでき、エピ層の高品質化のための最適条件を明確にできた。

- (8) $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ エピ膜については、Mg 組成を制御するための成長条件 (Mg 原料などの原料供給量や基板温度) に加え、P 供給量に注目して、表面形態、フォトルミネッセンス特性および電気的性質の成長条件依存性などを明らかにした。

- (9)成長後のアニール処理による高キャリア密度化に関して、アニール処理前後の電気的性質、フォトルミネッセンス特性の変化と成長条件との関連を探ることによりアニール処理の効果的な成長条件を明らかにした。

- (10)ヘテロ接合構造の改良と共に Al 膜の極薄膜化による発光取出し構造の改善も試みた。これにより自己吸収効果軽減による純緑色化につなげた。

- (11) $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ に Se を付加して ZnTe と格子整合させることを試み、格子整合させることに成功した。

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 15 件)

1. Hajime Akiyama, Hiroyuki Hirano, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, Mitsuhiro Nishio, and Qixin Guo, Epitaxial Growth of ZnTe Layers on ZnO Bulk Substrates by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.52, pp.40206, 2013. 査読有
2. Tooru Tanaka, Masaki Miyabara, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Mitsuhiro Nishio, Kin M. Yu, and Wladek Walukiewicz, Development of ZnTe-based solar cells, Materials Science Forum, Vol.750, pp.80-83, 2013. 査読有
3. Mitsuhiro Nishio, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, Qixin Guo, Surface morphologies and photoluminescence properties of undoped and P-doped ZnTe layers grown by metalorganic vapor phase epitaxy, J. Crystal Growth, Vol.370, pp.348-352, 2013. 査読有
4. Mitsuhiro Nishio, Keita Kai, Ryota Fujiki, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, Qixin Guo, Effects of annealing treatment upon electrical and photoluminescence properties of phosphorus-doped ZnMgTe epilayers grown by metalorganic vapor phase epitaxy, J. Crystal Growth, Vol.370, pp.342-347, 2013. 査読有
5. Nishio, Mitsuhiro, Han, Xiuxun, Saito, Katsuhiko, Tanaka, Tooru, Guo, Qixin, Influence of source transport rate upon phosphorus doping of ZnTe layers grown by MOVPE method, physica status solidi (c), Vol.9, pp.1732-1735, 2012. 査読有
6. Saito, K., Saeki, T., Tanaka, T., Guo, Q.X., Nishio, M. Influence of dopant transport rate upon photoluminescence and electrical properties of phosphorus-doped ZnMgTe layers grown by MOVPE, physica status solidi (c), Vol.9, pp.1736-1739, 2012. 査読有
7. Qixin Guo, Hajime Akiyama, Yuta Mikuriya, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, and Mitsuhiro Nishio, Growth of ZnTe layers on (111) GaAs substrates by metalorganic vapor phase epitaxy, Journal of Crystal Growth, Vol.341, pp.7-11, 2012. 査読有
8. K. Saito, Y. Inoue, Y. Hayashida, T. Tanaka, Q.X. Guo, M. Nishio, Effects of substrate temperature upon the properties of ZnMgTe layer grown by MOVPE, Applied Surface Science, Vol.258, pp.2137-2140, 2012. 査読有
9. Saito, K., Saeki, T., Han, X., Tanaka, T., Guo, Q., Nishio, M., Estimation of donor and acceptor levels in Al-doped ZnTe layers from

photoluminescence measurement, Proceedings of SPIE, no.79950I, 2011. 査読有

10. Nishio, M., Hiwatashi, K., Saito, K., Tanaka, T., Guo, Q., Temperature dependence of electrical properties for P-doped ZnMgTe bulk crystals of high quality grown by Bridgman method, Journal of Crystal Growth, Vol.318, pp.524-527, 2011. 査読有

11. Qixin Guo, Masaki Nada, Yaliu Ding, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, Mitsuhiro Nishio, Effect of gas flow rate on surface morphology and crystal quality of ZnTe epilayers grown on GaAs substrates, Materials Research Bulletin, Vol.46, pp.551-554, 2011. 査読有

12. Mitsuhiro Nishio, Kyosuke Hiwatashi, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, Qixin Guo, Effect of gas flow rate on surface morphology and crystal quality of ZnTe epilayers grown on GaAs substrates, J. Crystal Growth Vol.318, pp.524-527, 2011. 査読有

13. M. Nishio, K. Kai, K. Saito, T. Tanaka, Q. Guo, Effect of VI/II ratio upon photoluminescence and electrical properties of phosphorus-doped ZnTe films grown by metalorganic vapor phase epitaxy, Thin Solid Films, Vol.520, pp.743-746, 2011. 査読有

14. Tooru Tanaka, Kin M. Yu, Peter R. Stone, Jeffrey W. Beeman, Oscar D. Dubon, Lothar A. Reichertz, Vincent M. Kao, Mitsuhiro Nishio, and Wladek Walukiewicz, Demonstration of homojunction ZnTe solar cells, Journal of Applied Physics, Vol.108, pp.024502- 1-3, 2010. 査読有

15. Qixin Guo, Masaki Nada, Yaliu Ding, Tooru Tanaka, and Mitsuhiro Nishio, Low-temperature buffer layer effects on the quality of ZnTe epilayers grown on sapphire substrates, Journal of Applied Physics, Vol.107, pp.123525- 1-5, 2010. 査読有

〔学会発表〕(計 28 件)

1. 田中健人, 藤木良太, 齋藤勝彦, 田中徹, 郭其新, 西尾光弘, 有機金属気相エピタキシャル法で成長されたZnTe膜の燐ドーピングに及ぼす原料供給量の影響, 平成24年度応用物理学会九州支部学術講演会, 2012年12月01日~2012年12月02日, 佐賀大学.

2. 藤木良太, 伊藤綾祐, 田中健人, 齋藤勝彦, 田中徹, 郭其新, 西尾光弘, MOVPE法により成長されたPドーピングZn_{1-x}Mg_xTeエピ膜の電気的性質及びフォトルミネッセンス特性に及

ぼすアニール処理効果, 平成24年度応用物理学会九州支部学術講演会, 2012年12月01日~2012年12月02日, 佐賀大学.

3. 丸山祐一, 山下純司, 齋藤勝彦, 田中徹, 郭其新, 西尾光弘, ZnTe緑色LEDの為のAl電極のエッチング, 平成24年度応用物理学会九州支部学術講演会, 2012年12月01日~2012年12月02日, 佐賀大学.

4. Katsuhiko Saito, Keita Sekioka, Tooru Tanaka, Qixin Guo, and Mitsuhiro Nishio, Influence of (MeCp)₂Mg Transport Rate upon Growth of Phosphorus-doped ZnMgTe Layers by MOVPE, 16th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, 2012年05月20日~2012年05月25日, Busan, Korea.

5. Mitsuhiro Nishio, Yuji Hayashida, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, and Qixin Guo. Surface Morphologies and Photoluminescence Properties of Undoped and P-doped ZnTe Layers Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, 2012年05月20日~2012年05月25日, Busan, Korea.

6. Mitsuhiro Nishio, Keita Kai, Ryota Fujiki, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, and Qixin Guo Effects of Annealing Treatment upon Electrical and Photoluminescence Properties of Phosphorus-Doped ZnMgTe Epilayers Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, 2012年05月20日~2012年05月25日, Busan, Korea.

7. 持永智洋, 田中徹, 齋藤勝彦, 郭其新, 西尾光弘, MBE法によるZnCdTe成長と物性評価, 平成23年度応用物理学会九州支部学術講演会, 鹿児島大学, 平成23年11月26-27日, 26Dp-3.

8. 山下純司, 齋藤勝彦, 田中徹, 郭其新, 西尾光弘, ZnTe緑色LEDのAl電極透明化の為のAlエッチング特性, 第64回電気関係学会九州支部連合大会 9月26日、27日 佐賀大学 2011年.

9. 藤木良太, 齋藤勝彦, 田中徹, 郭其新, 西尾光弘, PドープZnMgTeエピ膜のフォトルミネッセンスに及ぼすアニール時の温度、時間、雰囲気ガスの効果, 第64回電気関係学会九州支部連合大会 9月26日、27日 佐賀大学 2011年.

10. 林田裕次, 齋藤勝彦, 田中徹, 郭其新, 西尾光弘, PドープZnMgTeエピ膜の成長特性に及ぼすDET供給量依存性, 第64回電気関係学会九州支部連合大会 9月26日、27

日 佐賀大学 2011年

11. 関岡敬太, 齋藤勝彦, 西尾光弘, 田中徹, 郭其新, PドープZnMgTeエピ膜の電気的性質に及ぼすTDMA供給量効果, 第64回電気関係学会九州支部連合大会 9月26日、27日 佐賀大学 2011年.

12. 樋渡恭佑, 齋藤勝彦, 田中徹, 郭其新, 西尾光弘, ブリッジマン法によるPドープZn_{1-x}Mg_xTeバルク結晶の電気的特性の温度依存性, 平成22年度応用物理学会九州支部学術講演会, 平成22年11月27日, 九州大学.

13. 持永智洋, 大下裕史, 田中徹, 齋藤勝彦, 郭其新, 西尾光弘, MBE-VLS成長によるZnTeナノワイヤの特性評価, 平成22年度応用物理学会九州支部学術講演会, 平成22年11月27日, 九州大学.

14. 御厨雄大, 灘真輝, 齋藤勝彦, 西尾光弘, 郭其新, (111)GaAs基板上ZnTeへテロエピタキシャル薄膜の作製及び特性評価, 平成22年度応用物理学会九州支部学術講演会, 平成22年11月27日, 九州大学.

15. 大下裕史, 田中徹, 齋藤勝彦, 郭其新, 西尾光弘, MBE法により作製したZnTe/ZnMgTe量子井戸構造の光学特性, 平成22年度応用物理学会九州支部学術講演会, 平成22年11月27日, 九州大学.

16. 林田裕次, 齋藤勝彦, 田中徹, 郭其新, 西尾光弘, 有機金属気相成長法により異なる基板温度で作製されたZnMgTeエピ膜の特性評価, 平成22年度応用物理学会九州支部学術講演会, 平成22年11月27日, 九州大学.

17. 草場修平, 田中徹, 齋藤勝彦, 郭其新, 西尾光弘, Kin Man Yu, Wladek Walukiewicz, ZnTeホモ接合太陽電池の作製と評価, 平成22年11月27日, 九州大学.

18. 関岡敬太, 齋藤勝彦, 田中徹, 郭其新, 西尾光弘, 反射スペクトル法による2インチ径ZnMgTe膜の膜厚および組成面内分布評価, 平成22年11月27日, 九州大学.

19. K. Saito, T. Saeki, X. Han, T. Tanaka, Q. Guo, and M. Nishio, Estimation of donor and acceptor levels in Al-doped ZnTe from photoluminescence measurement, 7th International conference on Thin Film Physics and Applications, Sep. 24-27, 2010, Shanghai, China.

20. K. Saito, K. Sekioka, T. Tanaka, Q. Guo, and M. Nishio, Estimation of in-plane profiles in thickness and composition for ZnMgTe layers by optical methods, 7th International conference on Thin Film Physics and Applications, Sep. 24-27, 2010, Shanghai, China.

21. 灘真輝, 御厨雄大, 齋藤勝彦, 田中徹, 西尾光弘, 郭其新, MOVPE法によるGaAs基板上ZnTeエピタキシャル成長膜のバッファ層効果, 第63回電気関係学会九州支部連合大会, 平成22年9月26日, 九州産業大学.

22. 大下裕史, 田中徹, 齋藤勝彦, 郭其新, 西尾光弘, ZnTe/ZnMgTe量子井戸構造のMBE成長と評価, 2010年秋季第71回応用物理学関係連合講演会, 平成22年9月14日, 長崎大学.

23. 持永智洋, 大下裕史, 田中徹, 齋藤勝彦, 郭其新, 西尾光弘, ZnTe基板上へのZnTeナノワイヤのMBE-VLS成長, 2010年秋季第71回応用物理学関係連合講演会, 平成22年9月14日, 長崎大学.

24. M. Nishio, K. Saito, T. Tanaka, Q. Guo, Effect of VI/II ratio upon photoluminescence and electrical properties of phosphorus-doped ZnTe films grown by MOVPE, The 18th International Vacuum Congress, August 23-27, 2010, Beijing, China.

25. K. Saito, Y. Inoue, Y. Hayashida, T. Tanaka, Q.X. Guo, M. Nishio, Effects of substrate temperature upon the properties of ZnMgTe layer grown by MOVPE, The 18th International Vacuum Congress, August 23-27, 2010, Beijing, China.

26. Mitsuhiro Nishio, Kyosuke Hiwatashi, Keita Kai, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, Qixin Guo, Temperature Dependence of Electrical Properties from P-Doped ZnMgTe Bulk Crystals Grown by Bridgman Method, The 16th International Conference on Crystal Growth, 8-13 August, 2010, Beijing, China.

27. Qixin Guo, Masaki Nada, Yaliu Ding, Katsuhiko Saito, Tooru Tanaka, Mitsuhiro Nishio, Effects of Total Flow Rate on ZnTe Growth on GaAs Substrate by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, The 16th International Conference on Crystal Growth, 8-13 August, 2010, Beijing, China.

28. T. Tanaka, K.M. Yu, P.R. Stone, J.W. Beeman, O.D. Dubon, L.A. Reichertz, V.M. Kao, M. Nishio, and W. Walukiewicz, Development of ZnTe_{1-x}O_x intermediate band solar cells, 35th IEEE

Photovoltaic Specialists Conference, June 20-25, 2010, Hawaii.

〔図書〕 (計2件)

1. 田中徹, 齋藤勝彦, 西尾光弘, 郭其新 2013 化合物半導体技術大全第2編 第7章 第6節 ZnTe基板とLEDへの応用, 株式会社電子ジャーナル, 2013. 6ページ

2. Tooru Tanaka, Katsuhiko Saito, Qixin Guo, Mitsuhiro Nishio, Light-Emitting Diodes and Optoelectronics: New Research Enhanced Efficiency of ZnTe-Based Green Light-Emitting Diodes, Nova Science Publishers, Inc. New York, 2012. 22ページ

〔その他〕

研究内容又は研究成果に関する Web ページ等
光半導体研究室

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

光半導体研究室 研究業績

<http://www.sc.ec.saga-u.ac.jp/publication.html>

光半導体研究室 研究内容

<http://www.sc.ec.saga-u.ac.jp/research.html>

佐賀大学研究業績目録検索 西尾光弘

http://research.dl.saga-u.ac.jp/ra/search.html#/cgi-bin/ra/ra-search.cgi?lang=jp&searchType=openUrl¢er_id=nishiom

光半導体研究室の研究内容を pdf でダウンロードできるようにしている。

6. 研究組織

(1)研究代表者

西尾 光弘 (Nishio Mitsuhiro)

佐賀大学・工学系研究科・教授

研究者番号：60109220

(2)研究分担者

田中 徹 (Tanaka Tooru)

佐賀大学・工学系研究科・准教授

研究者番号：20325591

齋藤 勝彦 (Saito Katsuhiko)

佐賀大学・シンクロトン応用研究センター・助教

研究者番号：40380795