

学位論文の要旨

専攻名	材料科学専攻	ふりがな 氏名	ふくよ 文嗣 福世 文嗣
学位論文題目 電子線励起 AlGaN 深紫外ターゲットに関する研究 (英訳 Studies on electron beam pumped AlGaN deep ultraviolet targets)			
<p>本論文は著者が三重大学大学院工学研究科において約7年間に亘って実施した電子線励起光源用深紫外 AlGaN ターゲットの研究開発に関してまとめたものである。</p> <p>可視光より大きな光子エネルギーを持つ紫外光の優れた特徴を活かし、現在、幅広い産業分野で紫外光源が必要不可欠な基盤技術として実用化されている。</p> <p>代表的な紫外光源として水銀ランプ、重水素ランプ、エキシマランプ等のガス放電ランプが挙げられるが、近年、地球環境への配慮やエネルギー資源有効利用の観点から、水銀等の有害な環境規制物質を使用しない高効率な次世代紫外光源に対する市場要求が高くなっており、2013年の水銀に関する水俣条約への各国署名によって、今後、世界規模で水銀使用を規制する動きが加速すると共に地球温暖化問題等への対応から高効率化、低消費電力化に対応した技術革新が加速すると考えられている。</p> <p>このような背景から、次世代紫外光源として電流注入方式の紫外 LED が注目され、その実用化が進展している。その発光材料として使用されている III 族窒化物半導体は室温、大気圧下で物理的、化学的に安定なウルツ鉱型結晶構造で直接遷移型のバンド構造となり、その混晶組成制御により、室温におけるバンドギャップエネルギーを 0.64 eV(InN)から 6.2 eV(AlN)まで変化させることができるため、紫外から可視、赤外波長域まで対応可能な発光デバイス用の材料として幅広く利用されており、本研究の対象となる紫外波長域では GaN のバンドギャップエネルギー(3.4 eV)に対応する波長(365 nm)よりも長い紫外波長域で InGaN 系の高効率で高出力な紫外 LED の実用化が加速的に進展している。</p> <p>しかしながら、上述した GaN のバンドギャップエネルギーに対応する波長よりも短い紫外波長域では、使用する発光材料が InGaN 系から AlGaN 系に変わり、下地材料 AlN の結晶品質や短波長化に伴う AlGaN 高 Al 組成化によるアクセプターの活性化エネルギーの増大により、電気伝導に寄与するホール濃度が低く、低抵抗化が困難になるという p 型層活性の本質的な技術課題が顕著になるため、発光出力、寿命特性、信頼性等の観点から、電流注入方式の LED は実用的な性能が得られていない。最近になって LED 構造の最適化や結晶成長技術の進展に伴う結晶品質の改善により、発光効率の顕著な改善が達成されたが、短波長化に伴う p 型層活性の本質的な技術課題は未解決のままのため、高出力化への対応、高負荷動作時の信頼性及び寿命特性に課題が残り、実用化が進展していない。</p>			

ふりがな 氏名	ふくよ ふみつぐ 福世 文嗣
------------	-------------------

このような技術動向を踏まえ、本研究では低環境負荷で高効率な次世代紫外光源の実現を目指して AlGa_N 系 III 族窒化物半導体を対象材料とし、電子線励起方式の深紫外ターゲットとして必要な要素技術を実験検証と数値解析によって確立し、実証試験によってその有効性を実証することを目的とした。

本研究で対象とした電子線励起方式の場合には動作原理的に p 型層を形成する必要がなく、深紫外波長域において電氣的、光学的に低損失となるため、高効率で信頼性の高いデバイス構造が見込まれ、深紫外波長域への展開が期待されている。

第 1 章では序論として、紫外光源と III 族窒化物半導体の技術動向について述べ、本研究の対象材料となる AlGa_N 系 III 族窒化物半導体の有機金属気相成長(MOVPE)法による作製プロセスについて述べた上で本研究の目的と本論文の構成に関して記述した。

第 2 章では MOVPE 法による AlN エピタキシャル膜上への AlGa_N エピタキシャル成長において、Al 組成制御による発光波長制御、結晶界面制御、不純物ドーピングによる電気伝導性制御、発光層厚の最適化に関する検証を実施し、実験検証により実証したそれぞれの効果に関して明らかにした。

第 3 章では AlGa_N 発光層への多重量子井戸(MQW)構造の導入を検討し、井戸層厚、障壁層厚、電子線侵入長に対応した MQW 層厚の構造最適化により、電子線励起方式における AlGa_N MQW 構造の有効性を実証した。最適化検証で得られた AlGa_N MQW 構造の発光波長において内部吸収損失の極めて低い、高効率発光デバイスとしての優れた特性を確認し、電子線励起方式において MQW 構造の有効性を実証した。

第 4 章では UV ナノインプリント技術とドライエッチング技術により、サファイア大気面に外部光取り出し構造を作製し、実験検証結果と数値解析シミュレーション結果から外部光取り出し効率の向上効果を実証した。

第 5 章では電子線励起 AlGa_N 深紫外ターゲットの発光効率に関して、電力効率をキャリア注入効率、内部量子効率、外部光取り出し効率、電子正孔対形成効率、後方散乱損失を用いて定量的に表現し、実験検証結果、数値解析結果及び文献値により定量化した。

第 6 章では本研究で得られた成果を実証することを目的として作製した深紫外光源デバイスの発光出力特性評価や連続動作試験を実施し、実証試験により電子線励起 AlGa_N 深紫外ターゲットの有効性を明らかにした。

第 7 章では結論として、本研究で得られた成果をまとめ、現状課題と今後の展望について述べた上で本研究を総括した。

以上