

課題番号 : F-18-KT-0028
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 微小周期構造を持つクラッド層を用いたレーザ構造に関する研究
Program Title(English) : Development of laser structures with cladding layers having periodic microstructures
利用者名(日本語) : 船戸充、上本晃司
Username(English) : M. Funato, K. Uemoto
所属名(日本語) : 京都大学大学院工学研究科
Affiliation(English) : Graduate School of Eng., Kyoto University
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、レーザダイオード、クラッド層、微細構造、電子ビーム描画

1. 概要(Summary)

窒化物半導体 InGaN を用いたレーザダイオードが、近紫外から緑色波長域で実現されている。これを緑色からさらに長波長化することができれば、ディスプレイなどマンマシンインターフェイスを構成する重要なデバイスになると期待されている。しかしながら現状では、長波長化するに従い発振閾値の上昇や出力パワーの低下が顕著になる。いくつか複合的な要因があるが、その中でも、ガイド層への光閉じ込めが、長発振波長化に伴い弱まることが重要な課題の一つである [1]。これは、ガイド層とクラッド層間の屈折率コントラストが原理的に減少することに起因している。

そこで本研究では、屈折率の小さな SiO₂ で構成した微細構造を、クラッド層下部に埋め込むことを提案し、実際に素子を作製してその効果を検証した。SiO₂ 微細構造の作製には、京都大学 学際融合研究教育推進センター ナノテクノロジーハブ拠点の設備を使用し、結晶の成長と光学的評価は自研究室で行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

大面積超高速電子ビーム描画装置、磁気中性線放電ドライエッチング装置、プラズマ CVD 装置

【実験方法】

GaN 基板の上に、プラズマ CVD 装置により SiO₂ 薄膜を 50 nm 堆積したのち、レジストを塗布し、電子ビーム描画装置でストライプパターンをレジストに描画した。ストライプのサイズとしては、対象とする光の波長と同程度になるよう 200~400 nm 程度とした。また電子線のドーズ量は、近接効果を考慮しつつ、ストライプパターンを SiO₂ に転写するために、フッ素系ガスによりドライエッチングを行っ

た。フッ素系ガスは、SiO₂ を化学的にもエッチングするため、SiO₂ の面直方向と面内方向で同時にエッチングが進行する。したがって、例えば、エッチング膜厚の制御性を高めるために面直のエッチング速度を遅くすると、エッチングに時間がかかるため、その間に面内のエッチングが進行し、ストライプパターンが所望の形状からずれてくるようなことが起こりえる。そこで、いくつかのバイアス電圧条件を検討し、最適化を図った。

以上の微細加工をプラットフォーム支援機関(京大ナノハブ)で実施したのち、自研究室にて有機金属気相成長法にて GaN を結晶成長し、SiO₂ が GaN 中に埋め込まれるかどうかを検討した。さらに、その埋め込んだ SiO₂ が、実効的に低屈折率な層として機能しているかどうかを光学的に評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 は、得られた GaN 上 SiO₂ ストライプパターンを走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した例である。200 nm 程度のストライプが、約 400 nm の周期で形成されていることが確認できる。なお、電子線のドーズ量やドライエッチングのバイアス電圧が適切に設定されていない場合は、ストライプが全く形成されないこともあった。逆に、さらに条件を検討すれば、ストライプエッジの直線性の改善なども将来的には可能であると期待される。

この SiO₂ 周期的微細構造の上に GaN を有機金属気相成長法で約 2 μm 成長した。SiO₂ 上には結晶成長が起きないことから[2]、マスク開口部から成長が起こる。横方向成長により、最終的には SiO₂ が GaN 中に埋め込まれると期待される。実際に、作製した結晶の断面を SEM 観察したところ、SiO₂ の埋め込みと、埋め込んだ GaN 結晶の表面が平坦になっていることが確認できた。

この埋め込まれた SiO₂ ストライプが、等価的に低屈折な層とみなすことができるかどうかを検討するために、面直に白色光を入射してその反射光を観察した。SiO₂ がない場合(つまり、GaN 結晶のみの場合)、結晶の厚みが 500 μm 程度あるので、結晶表裏での反射光の干渉効果は観察されなかった。一方、SiO₂ を埋め込んだ場合には、明確な干渉縞が観察され、その間隔と振幅を解析したところ、SiO₂ を含む層は、波長 500 nm 近傍でおおよそ 2.3 の等価屈折率をもつことがわかった。仮にこの層をレーザ構造に用いることができれば、光閉じ込め係数は、用いない場合の 0.56%から 0.96%に改善することがシミュレーションによって示された。期待通りの効果が得られたと考えている。

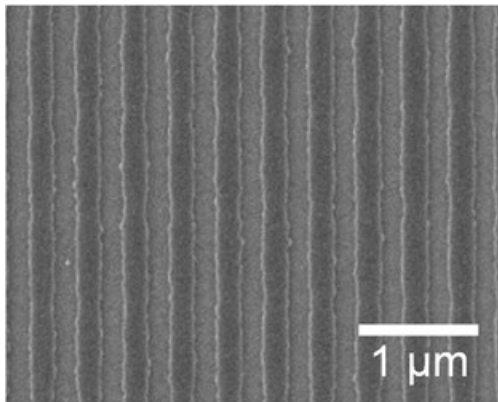


Fig. 1 Surface SEM image of a fabricated SiO₂ periodic stripe pattern. The stripe width is ~200nm, and the period is ~400 nm.

4. その他・特記事項 (Others)

・参考文献

[1] 例えば、西中淳一、京都大学博士論文 (2014).

[2] K. Hiramatsu, et al., J. Crystal Growth 221 (2000) 316.

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許 (Patent)

なし。