The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Optimization of Dry Etching Processes and Characterization of Optical Properties on Photonic Crystal Laser with Circular Resonator
Author(s)	張, 秀宇
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69585
rights	Copyright ©2017 IEICE
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（張　秀宇　　）	
論文題名	Optimization of Dry Etching Processes and Characterization of Optical Properties on Photonic Crystal Laser with Circular Resonator （円形共振器を用いたフォトニック結晶レーザにおけるドライエッチングプロセスの最適化と光学特性の評価）

論文内容の要旨

本論文では、フォトニック結晶（PhC）レーザ構造の作製を目指してGaAs/AlGaAs系エピウェハにおけるドライエッチングプロセスの最適化と、円形共振器を用いたPhCレーザの光学評価について検討した。

第1章では、研究の背景を紹介する。本章ではフォトニック結晶構造を利用して量子フォトニックデバイスを実現するための基本的なメカニズムを解説し、近藤研究室が提案する円形共振器を用いたPhCレーザの構造を紹介する。提案されたPhCレーザは、円形欠陥キャビティレーザ(Circular Defect Cavity Laser)の略称であるCirDレーザと呼ばれている。CirDレーザのレージング原理などの基礎は、本章で示した。CirDレーザのレージング原理は、典型的なマイクロディスクレーザと同様で、低閾値動作に適するウィスパリングギャラリーモードでレーザ動作する。次に、電流駆動CirDレーザを実現するために、素子の抵抗率とQ値の要求について議論した。異なる波長を出力するCirDレーザを用いて波長分割多重（WDM）を実現できる構造も提案した。さらに、他のグループが研究するPhCレーザとCirDレーザの特徴を比較した。他のPhCレーザと比べた、CirDレーザの利点は高集積密度を達成することである。これによりチップ内光インターコネクションを実現できる可能性が生まれる。

第2章では、本研究で使用される製造技術と測定技術を紹介する。例えば、電子ビームリソグラフィー、ICP（Inductively Coupled Plasma）ドライエッチング、走査型電子顕微鏡などである。

第3章では、PhC作製のためにCl_2、BCl_3、CH_4混合ガスを用いて$Al_{0.8}Ga_{0.2}As$とGaAs基板のICPドライエッチングについて検討した。本章では、ドライエッチング工程において、窒化シリコン（SiN_x）とシリカ（SiO_2）をマスク層として用いた。ICPドライエッチングのためにSiN_xおよびSiO_2マスクを有するサンプルを作製し、比較した。異なるマスク材料が、入射イオンの軌道に影響を及ぼし、結果としてエッチングされた空気孔のプロファイルが異なることが判った。最終的に、厚さ80nmのSiN_xマスクを用いて、直径が190nmで、深さが1.7μmの空気孔を有するPhC構造を作製できた。次に、GaAsのドライエッチングのプロセスを検討した。最初に、PhC構造内の空気孔のより大きな直径を得るために、EBリソグラフィプロセスを検討した。EBリソグラフィプロセスにおける近接効果によって引き起こされる悪影響を排除するために、PhCパタンーの列数を増加した。最終的にGaAs基板で垂直性が良い空気孔をエッチンできた。

第4章では、レジストマスクを用いてGaAs/AlGaAs系エピウェハをエッチングするためのICPドライエッチングプロセスの最適化について議論した。第2章で最適化したエッチングレシピを使って、GaAs層とAlGaAs層を垂直に掘ることができた。しかし、ヘテロ構造を有するエピウェハでは、スラブ層中のInAs量子ドットが、空気孔における直径の収縮を引き起こした。物理的エッチング効果を高めることによって、空気孔プロファイルの垂直性が大幅に改善された。

第5章では、円形の欠陥共振器を有するPhCレーザの光学測定を行った。このPhCレーザは量子ドットとAlO_xクラッド層を有するエピウェハ上に製造された。異なるパラメータを有するサンプルは、すべてQ値が4000以上で約25μWのほぼ同一の閾値を有した。線欠陥導波路からの出力光のスペクトルを観測することにより、1.3μm帯の室温連続発振レーザ動作を確認した。発振波長は、円形共振器の半径および空気孔の半径に依存した。これにより、レーザ発振モードが予想どおりウィスパリングギャラリーモードであることが判った。

第6章では、本研究で得られた結果をまとめて示す。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（張　秀宇　）	
論文審査担当者	（職）　氏　名 主 査　教授　近藤　正彦 副 査　教授　伊藤　利道 副 査　教授　斗内　政吉 副 査　教授　森　勇介 副 査　教授　片山　光浩 副 査　教授　尾崎　雅則 副 査　教授　片山　竜二 副 査　教授　森　伸也 副 査　教授　八木　哲也

論文審査の結果の要旨

本論文では、フォトニック結晶（PhC）レーザ構造の作製を目指してGaAs/AlGaAs系エピウェハにおけるドライエッチングプロセスの最適化と、円形共振器を用いたPhCレーザの光学評価について検討した。

第1章では、研究の背景を紹介する。本章ではフォトニック結晶構造を利用して量子フォトニックデバイスを実現するための基本的なメカニズムを解説し、近藤研究室が提案する円形共振器を用いたPhCレーザの構造を紹介する。提案されたPhCレーザは、円形欠陥キャビティレーザ(Circular Defect Cavity Laser)の略称であるCirDレーザと呼ばれている。CirDレーザのレージング原理などの基礎は、本章で示した。CirDレーザのレージング原理は、典型的なマイクロディスクレーザと同様で、低閾値動作に適するウィスパリングギャラリーモードでレーザ動作する。次に、電流駆動CirDレーザを実現するために、素子の抵抗率とQ値の要求について議論した。異なる波長を出力するCirDレーザを用いて波長分割多重（WDM）を実現できる構造も提案した。さらに、他のグループが研究するPhCレーザとCirDレーザの特徴を比較した。他のPhCレーザと比べた、CirDレーザの利点は高集積密度を達成することである。これによりチップ内光インターコネクションを実現できる可能性が生まれる。

第2章では、本研究で使用される製造技術と測定技術を紹介する。例えば、電子ビームリソグラフィー、ICP（Inductively Coupled Plasma）ドライエッチング、走査型電子顕微鏡などである。

第3章では、PhC作製のためにCl_2、BCl_3、CH_4混合ガスを用いて$Al_{0.8}Ga_{0.2}As$とGaAs基板のICPドライエッチングについて検討した。本章では、ドライエッチング工程において、窒化シリコン（SiN_x）とシリカ（SiO_2）をマスク層として用いた。ICPドライエッチングのためにSiN_xおよびSiO_2マスクを有するサンプルを作製し、比較した。異なるマスク材料が、入射イオンの軌道に影響を及ぼし、結果としてエッチングされた空気孔のプロファイルが異なることが判った。最終的に、厚さ80nmのSiN_xマスクを用いて、直径が190nmで、深さが1.7μmの空気孔を有するPhC構造を作製できた。次に、GaAsのドライエッチングのプロセスを検討した。最初に、PhC構造内の空気孔のより大きな直径を得るために、EBリソグラフィプロセスを検討した。EBリソグラフィプロセスにおける近接効果によって引き起こされる悪影響を排除するために、PhCパタンーの列数を増加した。最終的にGaAs基板で垂直性がいい空気孔をエッチンできた。

第4章では、レジストマスクを用いてGaAs/AlGaAs系エピウェハをエッチングするためのICPドライエッチングプロセスの最適化について議論した。第2章で最適化したエッチングレシピを使って、GaAs層とAlGaAs層を垂直に掘ることができた。しかし、ヘテロ構造を有するエピウェハでは、スラブ層中のInAs量子ドットが、空気孔における直径の収縮を引き起こした。物理的エッチング効果を高めることによって、空気孔プロファイルの垂直性が大幅に改

善された。

第5章では、円形の欠陥共振器を有するPhCレーザの光学測定を行った。このPhCレーザは量子ドットとAlO_xクラッド層を有するエピウェハ上に製造された。異なるパラメータを有するサンプルは、すべてQ値が4000以上で約25μWのほぼ同一の閾値を有した。線欠陥導波路からの出力光のスペクトルを観測することにより、1.3μm帯の室温連続発振レーザ動作を確認した。発振波長は、円形共振器の半径および空気孔の半径に依存した。これにより、レーザ発振モードが予想どおりウィスパリングギャラリーモードであることが判った。

第6章では、第2章から第5章まで得られた研究成果を総括し、本論文の結論としている。

以上のように、本論文は新型フォトニック結晶レーザを開発するために、円形共振器を用いたフォトニック結晶レーザにおけるドライエッチングプロセスの最適化と光学特性の評価することを行った。このことは、研究したPhC結晶レーザのチップ内光通信への応用性を示すものであり、電気電子情報工学に寄与することが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。