



Title	Study on Semiconductor Lasers of Circular Structures Fabricated by EB Lithography
Author(s)	Saha, Ashim Kumar
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/53986
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (ASHIM KUMAR SAHA)

Title	Study on Semiconductor Lasers of Circular Structures Fabricated by EB Lithography (電子ビーム描画作製による円形構造半導体レーザに関する研究)
-------	---

Abstract of Thesis

This dissertation addressed the design, fabrication and characterization of semiconductor lasers having circular geometry. The electron beam (EB) writing system with special pattern generator (SPG), designed for writing arbitrarily curved lines was used to define the circular geometries of the lasers.

Chapter 2 reported the design, fabrication and characterization of circular-grating-coupled surface emitting lasers (CGCSELs) with focusing function. Circular distributed Bragg reflector (DBR) and circular grating coupler (GC) were designed by using the coupled mode theory. Third order DBR was employed for its easier fabrication. DBR was designed for Bragg wavelength of 980 nm close to the gain peak of InGaAs quantum-well was. Distance of the grating surface from the QW active layer, groove depth and duty ratio of the DBR grating were optimized to obtain a large coupling coefficient with minimized total radiation decay factor. First-order chirped GC was designed for focusing the emitted light at a distance of 3.0 mm above the laser surface. Circular gratings were fabricated by EB lithography employing smooth circular scanning of e-beam and two step reactive ion etching (RIE). Single mode lasing was accomplished under pulse operation. Focusing of the surface emitted light was confirmed from the emission patterns.

Chapter 3 discussed the theoretical analysis and design considerations of a novel and simple all-active circular ring / Fabry-Perot (RFP) composite cavity laser. The lasing condition was derived by equating the complex round trip gain between the facet mirrors of the RFP laser to unity. Considering the mode frequencies of the ring and FP cavities, it was shown that the RFP laser can realize quasi single mode lasing with a side-mode suppression ratio (SMSR) higher than that of an ordinary FP laser. It was also discussed that two-wavelength lasing with nearly equal output powers can be accomplished in a RFP laser by controlling the currents injection to the ring and FP sections independently. Design parameters of the RFP laser were estimated by effective index method, finite element method (FEM), and beam propagation method (BPM) simulation.

Chapter 4 reported the fabrication and characterization of a simple all-active RFP composite cavity semiconductor laser. The laser having a ring radius of 400 μm and an FP cavity length of 950 μm was fabricated using a GaAsP tensile strained single-quantum-well (SQW) in a separate confinement heterostructure (SCH). The RFP laser was fabricated by EB lithography and RIE processes. Lasing was accomplished under continuous wave (CW) operation. Threshold current was 140 mA and an output power of 12 mW was obtained at an injection current of 250 mA. Stable single-longitudinal-mode operation with an SMSR higher than 25 dB was achieved. The shift of the lasing wavelength was explained by considering the temperature coefficient of the bandgap energy of the QW.

Chapter 5 reported the fabrication and demonstration of two-wavelength lasing of a RFP laser fabricated with two electrodes. Two separate p-electrodes were used to control the injection currents to the ring and straight sections independently. The ring radius and the FP cavity length were 395 μm and 1090 μm , respectively. Currents were injected into the ring and straight waveguide sections by using two probes and two independent current sources. Two-wavelength lasing of almost equal power with 3.3~7.5 mW total output power under CW operation was accomplished by keeping the current injected into the FP section at a constant value and fine controlling the current injected into the ring section. Discrete sets of wavelength separations in 1.0~4.3 nm in the 800 nm band were obtained.

For the first time, I fabricated the stitching error free CGCSELs by using the unique technique of EB writing with circular scanning of e-beam. This unique fabrication technique would further accelerate the research on this type of lasers. Single mode lasing of a novel RFP composite cavity laser was accomplished under CW

operation at room temperature. Simple fabrication process is one of the key advantages of this laser. I also demonstrated the two-wavelength lasing with almost equal powers from a single RFP laser for the first time. This laser could be promising candidate as a source for THz wave generation by photomixing process.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (ASHIM KUMAR SAHA)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主査 教授 栖原 敏明
	副査 教授 近藤 正彦
	副査 教授 森 伸也
	副査 教授 渡部 平司

論文審査の結果の要旨

最も重要な光エレクトロニクスデバイスの一つである半導体レーザは長年の歴史を有し、既に光ディスク装置や光通信を含めた多くの分野で広く実用されている。現在実用されている半導体レーザの多くは半導体基板表面近傍のチャネル状または帯状の活性領域をもち、その端面から基板面に沿った方向にレーザ光を出力するストライプ型端面発光レーザであるが、機能や応用をさらに拡大するため、多くの他の形式の半導体レーザの研究開発が進められている。そのうち、ディスク状やリング状の活性領域や円形グレーティングを有する円形構造半導体レーザは、表面発光特性制御や発振スペクトル制御など多くの機能・特性を実現できる可能性があるが、その具体的構成法や設計法については必ずしも十分に研究されておらず、作製技術についてもサブミクロン領域の微細曲線構造とミリ領域の広がり面積を持つパターンの電子ビーム描画精密形成が従来法では困難であったなど、課題が残されている。

本論文の研究はこの分野の新たな展開のため、新規な円形構造半導体レーザのデバイス構成を提案して設計し、電子ビーム描画による作製技術を改良し、実際に試作して実現可能性を実証することを目的としたものであり、理論的実験的検討を行って以下のような成果を得ている。

- (1) InGaAs 歪量子井戸を用いた円形活性領域とその外周に配置した円形グレーティング分布プラグ反射器 (DBR) からなる円形 DBR レーザと、さらにその外周に配置した集光機能を持つ円形グレーティング出力結合器を集積した円形グレーティング結合表面発光レーザを設計し、電子ビーム連続円形走査による描画技術を活用して従来法の難点であったパターン接続誤差の問題を克服して作製し、パルス駆動による DBR レーザ発振と結合器による垂直放射への結合および集光の機能を実験により実証している。
- (2) 簡単な構造をもち比較的単純な工程で作製でき、かつ種々の発振スペクトル制御を実現できる可能性がある半導体レーザとして、円形活性導波路とこれに接する直線状活性導波路からなるリング/ファブリ-ペロー複合共振器型半導体レーザの構造を提案し、導波路構造と接線結合器を設計するとともに発振条件を理論的に考察することにより、設計指針と特性予測を示している。
- (3) GaAsP 歪量子井戸を用いたリング/ファブリ-ペロー複合共振器型半導体レーザを電子ビーム連続円形走査による描画技術で作製し、連続駆動による発振の特性を実験的に調べ、10mW 以上の出力光パワー、25dB 以上のサイドモード抑圧比の安定な単一モード発振を達成し、発振波長温度依存性についても考察を加えて特性を解明している。
- (4) リング部と直線部で独立した 2 つの電極を持つ GaAsP 歪量子井戸リング/ファブリ-ペロー複合共振器型半導体レーザを電子ビーム連続円形走査による描画技術で作製し、連続駆動による発振の特性を実験的に調べ、注入電流の独立調整により総合出力 5mW 以上の等強度 2 波長同時発振動作を達成し、その動作と特性を解明している。

以上のように、本論文の研究は III-V 族化合物半導体量子井戸を用いた円形構造を有する 2、3 の半導体レーザの具

体的な構成を提案し、その設計および電子ビーム直接描画技術による作製と測定実験を行い、これらの円形構造半導体レーザの実現可能性を実証しその特性を明らかにしたものである。半導体量子井戸を用いた円形構造を有する半導体レーザの設計と作製に関して多くの有用な知見を得るとともに今後の課題を明らかにしており、半導体レーザ工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。

最終試験の結果の要旨及び担当者

氏 名 (ASHIM KUMAR SAHA)			
	職 名		氏 名
最終試験担当者	主査	教 授	栖原 敏明
	副査	教 授	近藤 正彦
	副査	教 授	森 伸也
	副査	教 授	渡部 平司
最終試験の結果の要旨			
本学学位規程第10条の規定により、学位申請者に対して学位論文を中心とし、論文内容及びこれに関連のある科目について試問を行い、審査委員全員の協議の結果、			
平成 27 年 7 月 24 日合格と判定した。			