

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	マイクロマシン波長可変面発光レーザの高機能化に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	中濱正統
Author(English)	Masanori Nakahama
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9653号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小山 二三夫,浅田 雅洋,梶川 浩太郎,植之原 裕行,宮本 智之,石井 啓之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9653号, Conferred date:2014/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

# 論文要旨

## THESIS SUMMARY

専攻： 物理電子システム創造 専攻  
Department of  
学生氏名： 中濱 正統  
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員(主)： 小山 二三夫  
Academic Advisor(main)  
指導教員(副)：  
Academic Advisor(sub)

### 要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx. 2000 Japanese Characters)

本論文は、「マイクロマシン波長可変面発光レーザの高機能化に関する研究」と題し、6章から構成されている。

第1章「序論」では、将来の短距離光ネットワーク用光源への要求、およびマイクロマシン面発光レーザの現状を述べ、波長制御技術の重要性と課題を指摘し、本研究の目的と意義を述べている。

第2章「熱駆動のマイクロマシンを集積した面発光レーザの波長及び波長温度係数制御」では、面発光レーザに熱駆動・静電力駆動マイクロマシン反射鏡を集積し、面発光レーザの波長可変動作および波長温度無依存化(アサーマル化)を同時に行う構造を提案した。動作原理と設計方針を明らかにするために、一般化した解析的な数式モデルを導入し、極限性能について議論した。波長温度係数を小さく留めながら得られる波長可変幅(アサーマル波長可変幅)は、マイクロマシンの初期エアギャップ厚さおよび波長可変効率にのみ依存することを明らかにし、最適な初期エアギャップ厚さが存在することを指摘した。そして波長範囲の理論限界はフリースペクトルレンジ(FSR)によりもたらされることを明らかにした。

これに加え、同様の構造を用いて、波長温度無依存・多波長面発光レーザアレイの設計を行なった。片持ち梁の反り返り量はその長さの2乗に比例するので、素子ごとに片持ち梁の長さを変えることで共振器長を制御し、さらに、温度無依存条件に近い片持ち梁の構造にすることで、多波長化と温度無依存化が同時に実現できることを示した。長さ140-154  $\mu\text{m}$ の片持ち梁を集積することで、波長温度係数を通常の1/10以下に抑制しながら、波長を12 nmに渡って素子間で制御できると見積もった。その場合、温度の変化幅を100 Kと仮定すると、10チャンネル集積できると見積もった。

第3章「波長温度無依存・波長可変面発光レーザおよび多波長アレイの製作と評価」では、第2章で設計した静電力型の温度無依存・波長可変面発光レーザの製作と評価を行った。静電力駆動により33.6 nmの連続波長掃引に成功した。更に、異なる長さ126, 160  $\mu\text{m}$ の片持ち梁の素子を測定し、第2章で指摘した、波長温度係数の電圧依存性が実際に観測できることを証明するとともに、120  $\mu\text{m}$ の素子において波長温度係数を通常の1/10に保ったまま、約10 nmに渡って連続波長掃引を行うことに成功した。理論値と実験値の対応関係も良好であった。波長可変特性、波長温度係数の電圧依存性の特性について、理論値と実験値の間で非常に一致が見られた。

温度無依存多波長アレイについても、片持ち梁を70, 80, 86, 94  $\mu\text{m}$ とした4波長の面発光レーザアレイにおいて、絶対波長を約2.5 nm間隔で配置しながら、波長温度係数を通常の1/5以下に抑制できることを実証した。

さらに、片持ち梁型の反射鏡の傾斜が、面発光レーザの閾値には大きな影響を及ぼすことを指摘した。これを改善するため、両持ち梁構造を適用することで波長可変幅を40 nm程度にまで拡大できる可能性を計算により示すとともに、37.7 nmにまでレーザ発振波長範囲を拡大できる可能性を実験的に示した。

第4章「巨大な温度係数を有する熱バイモルフ反射鏡を集積した波長可変面発光レーザ」では、温度係数を巨大化し広い波長可変動作を行う構造を提案した。線膨張係数の大きく異なる金属/半導体バイモルフ反射鏡に微小な金属ヒータを集積し、電氣的に加熱することで波長可変動作を行った。初期構造では波長可変効率は-0.2 nm/mWであった。加熱機構を改善した新構造を製作し、波長可変効率を10倍以上の-2.7 nm/mWに改善することに成功した。

製作した構造は巨大な温度係数を有しているので、温度変化に対する波長シフトの特性を測定する

ことで、アサーマル動作のために極めて重要である AR 層の特性評価ができることを明らかにした。測定結果と理論計算との比較から、AR 層の挿入により空気/半導体界面における反射を 1.5%以下にまで低減できていることを明らかにした。

第 5 章「マイクロマシン面発光レーザと Bragg 反射鏡スローライト導波路の平面集積」では、MEMS VCSEL の高出力化を目的として、Bragg 反射鏡スローライト導波路と MEMS VCSEL の平面集積構造を提案した。

解析により、FSR 全域にわたって両者間の光結合効率は 40-60%であり、導波路のスローライト導波モードを MEMS VCSEL から励振できることを確認した。また、スローライト導波路の活性領域での損失補償により得られる出力光の積分強度を解析した。50  $\mu\text{m}$  の短い SOA であっても 10 dB 以上の線形利得が得られ、かつ線形利得は SOA の長さに比例して大きな値が得られることを明らかにした。たとえば、長さ 1,000  $\mu\text{m}$  の SOA では、24 dB の線形利得が得られ、MEMS VCSEL から結合するエネルギーがごくわずかであっても大きな増幅が得られることを確認した。

また Bragg 反射鏡スローライト導波路の別の機能として、波長可変光源としての MEMS VCSEL をこれに集積し、出力ビームの角度を連続的に変化させる、オンチップ・ビームスキャナを提案した。24 nm の波長変化により、30°以上の大きなビーム偏向角が得られると見積もった。また、放射されるビームの広がり角は SOA の長尺化によって小さくできることを利用して、長さ 1,000  $\mu\text{m}$  の SOA の場合、300 以上の解像点数が得られると見積もった。

第 6 章「結論」では、本研究で得られた成果を総括している。

以上を要するに、本論文は MEMS VCSEL の高機能化を目的として、面発光レーザにマイクロマシン反射鏡を集積した構造により、温度無依存と波長可変動作の両立、波長温度係数制御による広帯域波長可変動作、MEMS VCSEL の高出力化/新機能創出に取り組んだものである。その設計指針を確立するとともに、その有効性を実証している。いずれもこれまで未検討であった課題に取り組んだものであり、MEMS VCSEL の実用化に向け、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

## 論文要旨

### THESIS SUMMARY

専攻：物理電子システム創造 専攻  
Department of  
学生氏名：中濱 正統  
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員(主)：小山 二三夫  
Academic Advisor(main)  
指導教員(副)：  
Academic Advisor(sub)

### 要旨(英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis titled “Study on functional,” is organized into six chapters.

The first chapter summarizes the increasing demands and potential challenges for the high-capacity short reach optical networks, which will be adopted to the large-scale data centers and high performance computers in the future. The requirements for the MEMS VCSEL are described.

In the second chapter, the operation principle and design for the wavelength athermalization and wavelength tuning was described. The general design rule was developed as a simple analytical formula. In addition, the theoretical limit was discussed, clarifying that there is the optimum design for the initial air gap thickness. An athermal and tunable VCSEL employing thermally and electrostatically actuated micromachined mirror (A&T MEMS VCSEL) was proposed and its modeling was carried out following the design rule. In addition, athermal multiple wavelength VCSEL array (athermal MW-VCSEL array) was proposed and designed.

The third chapter gives the fabrication process and measurement results of the A&T MEMS VCSEL. The athermal wavelength range of around 10 nm with more than 10 times smaller temperature coefficients was obtained, which is the first demonstration of the electrostatic A&T VCSEL. The analytical model developed in the Chapter 2 well explains the experiment. Four-channel athermal MW-VCSEL array was also fabricated and evaluated. All the devices exhibited more than 4 times smaller temperature coefficients with maintaining a channel spacing of around 2.5 nm, which is also the first demonstration.

In the fourth chapter, a concept of increasing the thermal actuation for wavelength tuning is proposed and demonstrated. A thermal wavelength tuning efficiency of as large as -2.7 nm/mW was obtained. Besides, the optical quality of the oxide anti-reflection (AR) layer was evaluated, confirming the sufficient quality of the AR layer.

In the fifth chapter, the monolithic integration structure of MEMS VCSEL and slow-light functional devices based on the Bragg reflector waveguide was proposed. The modeling predicted a single-mode output more than 10 mW for the MEMS VCSEL integrated with an SOA. The structure is suitable for overcoming the weak output of VCSELs. Also, number of resolution points more than 300 was predicted for the on-chip beam scanner device.

The final chapter summarizes this study.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).