

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高出力VCSELビームスキャナに関する研究
Title(English)	Study on high-power VCSEL-based beam scanners
著者(和文)	許在旭
Author(English)	Zeuku Ho
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11928号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小山 二三夫,浅田 雅洋,植之原 裕行,中村 健太郎,宮本 智之,森戸 健
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11928号, Conferred date:2021/3/26, 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

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 電気電子	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	許 在旭		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main) 小山 二三夫
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は高出力化と高ビーム品質化の両立を可能にする VCSEL ビームスキャナに関してその研究成果を報告するものである。論文は以下の 8 章から構成されている。

第 1 章では本研究の背景および目的について述べた。近年 AI や IoT の発展により自動車の自動運転技術が注目されており、高出力と高ビーム品質を両立した高性能な小型光源が求められている。これの実現のために本研究では長尺な VCSEL 増幅器を用いたビーム掃引デバイスを提案した。

第 2 章では VCSEL 増幅器の動作原理および、高出力化・高ビーム品質化のための VCSEL ウェハの構造設計について述べた。本研究で提案する VCSEL 増幅器は素子長を長尺化することで出力とビーム品質が向上する。一方長尺化によって活性層内で導波モードとして発生する増幅自然放光(ASE)の成長が支配的になり、増幅器が飽和する。これを抑圧する手法として量子井戸近傍の SCH 層の屈折率を下げることで導波モードをカットオフにする手法を提案した。AlGaAs で形成される SCH 層は Al 組成を上げることで屈折率が下がり、導波モードの光閉じ込めが弱くなる。850nm 帯および 980nm 帯 VCSEL ウェハにおいて SCH 層の屈折率を下げることで導波モードがカットオフになることをシミュレーションで示した。また実際に製作した素子の端面出射出力を測定することで実験的に実証し、長尺な VCSEL 増幅器が実現できる可能性を示した。

第 3 章では長尺 VCSEL 増幅器による高ビーム品質化について述べた。1~6mm の素子長の異なる VCSEL 増幅器の遠視野像を測定し、素子長が長くなるほどビーム拡がり角が狭くなることを示した。またビーム品質を改善するためにワイヤボンディング構造による注入電流・発熱の均一化を検討し、6mm 長の増幅器においてビーム拡がり角を回折限界の 1.25 倍の 0.015° まで狭窄化することに成功した。

第 4 章では長尺 VCSEL 増幅器によるビーム掃引について述べた。本提案の VCSEL 増幅器は結合光波長を変えることで増幅器内での伝搬角度が変わり、出射光の角度を変えることができる。6mm 長素子では結合光波長を 837nm ~843.5nm まで振ることで 11° の偏向角を得られ、解像点数は約 600 点を得られた。

第 5 章では長尺 VCSEL 増幅器による高出力動作について述べた。本提案素子は素子長に比例して光出力が増加し、850nm 帯および 980nm 帯それぞれの素子において光出力のスケールリングを示した。CW 動作時では熱飽和によって光出力が制限されるが、スロープ効率 0.65 と最大出力 390mW が得られた。またパルス動作により発熱の影響を抑えることができ、10mm 長の素子で最大 9.7W の光出力が得られ、VCSEL 増幅器で初めてワットクラスの高出力化を実現した。同時にスペクトルの測定結果より高出力 VCSEL ビームスキャナの新たな課題を抽出した。

第 6 章では VCSEL 増幅器の性能を改善するための検討について述べた。第 3 章~第 5 章の実験結果より今後の課題としてビーム偏向角の拡大とスローライトモード ASE の抑圧を挙げ、改善策として利得平坦化を提案した。半導体 DBR 上に $\lambda/2$ 光学厚の位相シフタを含む誘電体多層膜を成膜することにより中心波長で反射率のディップが生じる。反射率のディップで利得ピークを相殺することで利得スペクトルを平坦化することができ、約 20nm の平坦化の可能性を示した。

第 7 章では将来展望について述べた。本研究の成果は従来の非機械式光偏向器では達成できていない 0.02° 以下の狭いビーム出射およびワットクラスの高出力化を達成しており、次世代の高解像ビームスキャナの実現が期待できる。今後の展開として 2 次元構造による高出力化、VCSEL 光源との集積化、DOE を用いた偏向角の拡大を述べた。

第 8 章では本研究で得られた成果を総括した。

本論文で述べた以上の成果は、従来の光偏向器では実現が難しい非常に狭いビーム出射・高解像ビームスキャナと、アレイ化を用いることなく VCSEL の限界を打破した高出力化を示しており、これは次世代の高性能ビームスキャナの実現に大きく貢献する可能性を示している。

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).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 電気電子 系
Department of Graduate major in 電気電子 コース
学生氏名： 許 在旭
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 Supervisor(main)
指導教員 (副)：
Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In this paper, the author proposes a non-mechanical beam steering device based on a VCSEL amplifier that achieves both high power and high beam quality simultaneously for next generation beam scanners.

In section 1, the author explained the research background and the need for a high-performance beam scanner. The author proposed a long VCSEL amplifier to realize this scanner.

In section 2, the author designed a VCSEL epitaxial wafer removes ASE to realize a long VCSEL amplifier. The growth of ASE can be avoided by decreasing the refractive index of the SCH layer formed of AlGaAs, then cutoff of ASE has been shown theoretically and experimentally. The VCSEL wafer designed in this section made it possible to realize a VCSEL amplifier of over 6 mm long.

In sections 3-5, the author demonstrated high power and high beam quality operation of the VCSEL amplifier. Beam quality improved as the amplifier length increase, in addition, uniformization of injection current by multi-point contact narrowed beam divergence angle to 0.015° , which is close to the diffraction limit. The 6 mm long amplifier obtained a beam deflection of 11° by changing the input light wavelength, and showed resolution points of 600. The output power was measured under both CW and pulsed operation. Under pulsed operations, the author achieved amplification characteristics with a slope efficiency of 0.65 W/A and maximum power of 9.7 W with a quasi-single mode for 10 mm long amplifier.

In section 6, the author investigated gain equalization of a VCSEL amplifier to improve the characteristics. The author proposed a method to control the reflectivity by depositing the dielectric DBR having a phase shifter on a VCSEL wafer composed of the semiconductor DBR. This method showed the possibility of gain equalization of around 20 nm.

Finally, the author described the prospects and conclusions.

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 1 copy 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).