

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	色素添加ネマチック液晶レーザー
Title(English)	
著者(和文)	長井悠佑
Author(English)	Yusuke Nagai
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10659号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:梶川 浩太郎,岡本 隆之,伊藤 治彦,宮本 智之,飯野 裕明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10659号, Conferred date:2017/9/20, 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： 長井悠佑
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)： 梶川浩太郎 教授
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)

指向性や単色性など、光源として特異な性質を有するレーザーは、様々な発振方法が提案され、通信や加工、分析など多くの分野で活用されている。その中の一つに、液晶レーザーがある。色素レーザーの一種である液晶レーザーは、レーザー色素を添加した液晶を利得媒質として用いている。液晶は、高屈折率、レーザー色素が可溶、化学的安定性など、レーザーマトリックスとして優れた特徴を有する。有機材料である液晶を用いたレーザーは、無機材料を用いたレーザーと比較して、波長可変性や共振器の自由度が高い。こうした特徴を生かし、液晶レーザーをディスプレイ光源やセンサなどへ応用することが期待され、近年、研究報告が増加している。

本研究では、レーザーマトリックスとしての液晶の優れた特徴の新しい利用方法を検討することで、新しい4つの液晶レーザーを実現した。

1 つは、コア共振型液晶ウィスパリングギャラリモード(WGM)レーザーである。コア共振型 WGM レーザーは、作製の簡易さや波長可変性に優れており、 μ -TAS 用光源などへの応用が期待されている。コア部分には、高屈折率液体が必要とされる。これまで、キノリン(屈折率 ~ 1.69) などの高屈折率溶液をコア材料として用いた報告例がある。しかし、キノリンなどの高屈折率溶液は、毒性が高く扱いにくい上、化学的に安定でない。本研究では、その代替材料としてネマチック液晶(5CB)を提案した。5CB は、高屈折率(1.52 $\sim$ 1.72)を有する上に、レーザー色素(DCM など)も可溶である。DCM を添加した 5CB をガラス製キャピラリーに封入し、レーザー発振実験をしたところ、コア共振型 WGM レーザー発振を観測できた。

2 つめは、色素添加液晶含浸チューブを用いたリング共振型 WGM レーザーである。従来のリング共振器は、色素添加樹脂を調製した上で、成型・作製するため、異なる発振波長のリング共振器を集積することが困難だった。本研究では、色素を含まない樹脂(アクリル酸)チューブに、後から任意の箇所に DCM を含浸させることでリング共振器を作製し、リング共振型 WGM レーザー発振に成功した。また DCM を含浸する際、5CB も併せて含浸してアクリル酸チューブの屈折率を制御することで、レーザー発振しきい値を変えることにも成功した。樹脂チューブのフレキシブルな性質を有し、かつチューブに液体を流すことができる状態でレーザー発振できる点が、本研究の特徴である。チューブに液体を流しながらレーザー発振させることでセンシングに使用するなど、 μ -TAS 用光源への応用できる。

3 つめは、液晶エマルジョンを用いたランダムレーザーである。不規則な屈折率分布を持つ利得媒質中に励起光を入射すると、内部で光が多重散乱し、増幅、レーザー発振する。これをランダムレーザーと呼ぶ。本研究では、水中に色素添加 5CB 粒子が分散する液晶エマルジョンを用いた。液晶粒子は高屈折率のため、水中に分散させることで強い散乱が生じる。通常、利得媒質は

散乱体の外側に配置されるが、本研究では散乱体内部に配置した。ガラスセルに液晶エマルジョンを封入して励起したところ、ランダムレーザー発振を確認することができた。液晶エマルジョンの濃度を変えることで、レーザー発振状態が変わり、散乱体の濃度が非常に高い場合、利得媒質を散乱体内部に配置した方が利得を得やすいということがわかった。エマルジョンを用いた共鳴型ランダムレーザーはこれまで報告がなく、本研究の成果は、液体のような流動性を持つ光液体デバイス実現のための知見となった。

4 つめは、色素添加液晶充填フォトニック結晶ファイバ(PCF)を用いた共鳴型ランダムレーザーである。PCF とは、シリカファイバのコアの周辺に、直径数 μm の穴が周期的に並んでいる構造を有するものがある。本研究ではこの穴を、色素添加 5CB を充填する容器として使用した。色素添加液晶を充填した PCF の側面から励起光を照射すると、液晶の高い屈折率による強い散乱が生じ、共鳴型ランダムレーザー発振した。液晶分子は、異方性を有するので、長軸方向の屈折率(1.72)は短軸方向の屈折率(1.52)よりも大きい。PCF 長軸方向に振動する光(TM)で励起し、TM 方向の放射光を測定する場合(TMTM)、閾値が最も低くなった。一方、TETE の場合は、レーザー発振しなかった。この結果は、5CB 分子は PCF の長軸方向に配向しており、より強い光散乱が生じやすい条件のため、しきい値が低くなったことを示唆している。この結果は、試料の偏光顕微鏡像とも一致した。また等方相で同様の実験をすると、レーザー発振しなかった。これは、DCM の蛍光強度が温度と反比例していること、等方相になったことで 5CB の屈折率が下がり(1.59)、光散乱が生じにくくなったことによるものと考えられる。

本研究では、色素添加ネマチック液晶を用いた、4 種類の新しいレーザーを提案し、いずれもレーザー発振に成功した。液晶の性質(高屈折率、相転移が可能など)を利用することで、他にないレーザーを実現することができた。本研究の成果は、 μ -TAS などの微細流路デバイスに使用する光源や形状自由なフレキシブル光源の実用化に向けた重要な知見となる。

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 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).

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： 長井悠佑
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)： 梶川浩太郎 教授
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)

Liquid crystal (LC) laser belongs to one types of dye lasers. The laser dye-doped LC is used as a gain medium in LC lasers. LC is an organic substance which has plenty of outstanding features such as high refractive index (RI, ~ 1.7), phase transition and so on. In this research, we investigate four new LC lasers.

1. Core resonance whispering gallery mode (WGM) lasers using dye-doped nematic LC (NLC)
We measured the WGM laser using dye-doped NLC filled in a glass capillary. This laser runs on the basis of the properties that NLC has an extraordinary RI much higher than that of a glass. The conditions of the WGM lasing are investigated on the basis of gain and loss of the core medium.
2. WGM laser using polymer tubing including dye-doped NLC
We succeeded in fabricating WGM laser using the free-standing dye-doped polymer tubing. Total reflections are repeated at the tubing and air interface to form a WGM resonator. We succeeded to have lower threshold and change the lasing wavelength by adding NLC to the tubing.
3. Coherent random laser emission from dye-doped NLC emulsions
We investigated a coherent random laser fluid of NLC emulsion, which has a low viscosity like a usual liquid. The NLC emulsion is a useful system to reveal the mechanism of the random laser action because it is a fluid and can successively change the scatterer density.
4. Coherent random lasing in photonic crystal fiber (PCF) filled with dye-doped NLC
We succeeded in fabricating the coherent random lasing in the PCF using the dye-doped NLC. This strong scattering occurs between the columnar structures made of the high RI NLC. Furthermore, we demonstrated the ON-OFF switching on the random laser oscillation by utilizing phase transition of the NLC.

In conclusion, we demonstrated LC laser oscillation using dye-doped NLC as a scattering medium or gain medium. Our results are important for the realization of new fluidic and flexible light sources.

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).