

### 酸化亜鉛ランダムレーザーの液晶分子による 電気的制御

HARA, Naoto / 原, 直斗

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

64

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

3

(発行年 / Year)

2023-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00026370>

# 酸化亜鉛ランダムレーザーの液晶分子による電氣的制御

Electrical control of ZnO random lasing characteristics by liquid crystals

原 直斗

Naoto HARA

指導教員 中村 俊博

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

Randomly shaped luminescent materials such as semiconductor powder can act as a component of random laser. Because of the simplicity of the semiconductor powder random laser, it is a promising candidate for an inexpensive laser light source. In this thesis, we investigated the electrical controllability of lasing characteristics in random laser consisting of zinc oxide and liquid crystal hybrid thin films.

**Key Words** :Semiconductor laser, Zinc Oxide

## 1. はじめに

ランダムレーザーは散乱体と光利得媒質で構成される簡易なレーザー源である[1]。利得媒質は色素分子や半導体などが用いられ[2]、とくに半導体は電氣的励起を行えるメリットがある。酸化亜鉛(zinc oxide : ZnO)は簡易に良質な結晶が成長可能なため有望なレーザー材料であり、ランダムレーザーにも良く用いられる[3]。ところで色素分子有機膜に散乱体として液晶分子を混合した系で電圧印加によるランダムレーザー発振特性の制御が報告がされている[4]。そこで本研究では酸化亜鉛ランダムレーザー特性の液晶分子による電氣的制御を試みた。

## 2. 実験方法

### (1) 試料

PMMA 媒体中に酸化亜鉛粉末(平均粒径 200 nm)と液晶分子 E7 を分散させ ITO ガラスで挟み込んだ薄膜試料(A30)と酸化亜鉛を均一に広げるために PMMA ではなく PVA を用いた薄膜試料(B30)の2つを作製した。A30は E763%,PMMA7%,ZnO30%で作製されており試料図を Fig.1 に示す。B30は E728%, PVA42%, ZnO30%で作製されており試料図を Fig.2 に示す。

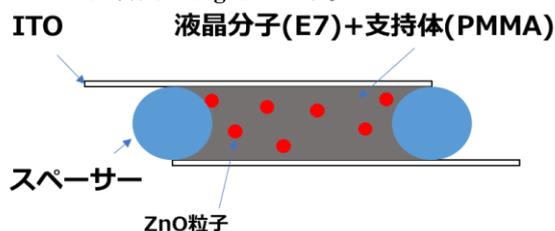


Fig.1 A30 の試料構造図

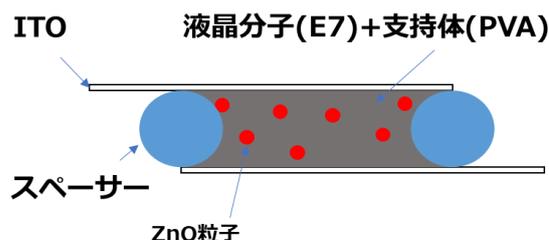


Fig.2 B30 の試料構造図

### (2) 実験方法

試料に対し矩形交流電圧(周波数 1.85kHz)を印加し、励起レーザー光(波長 355nm, パルス幅 200 ps)を照射し特性の評価を行った。

## 3. 実験結果と考察

### (1) 電圧印加によるスペクトル変化特性

Fig.3 にレーザー発振時の電圧印加(ON)及び未印加(OFF)によるスペクトルを示す。Fig.4 に自然放出光での電圧印加によるスペクトルを示す。

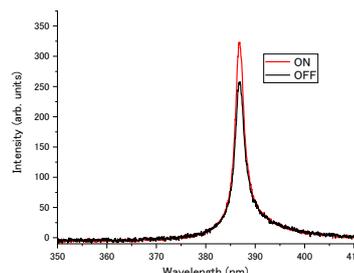


Fig.3 レーザー発振時の電圧印加スペクトル

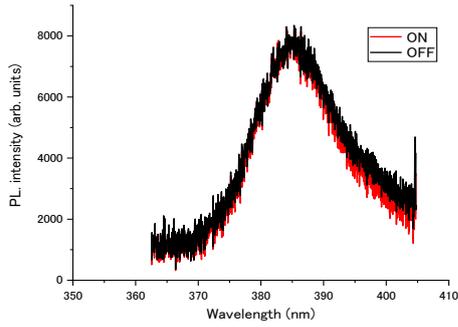


Fig. 4 自然放出光での電圧印加スペクトル

Fig. 3 と Fig. 4 よりレーザー発振時には電圧印加により発振ピーク強度が上がっているのに対して自然放出光ではスペクトルに変化はほとんど見られなかった。また、387 nm 付近に酸化亜鉛からのランダムレーザー発振が観測されていることが分かる。レーザー発振時と自然放出光でのレーザー強度変化の程度は測定点により異なるため、Fig. 4 に A30 の試料で種々の測定点で得たレーザー発振時の光強度と自然放出光の強度を、未印加のそれぞれの強度で規格化した結果を示す。また発光強度を規格化した増幅度の定義を以下に示す。

増幅度 = (電圧印加 ON の光強度) / (電圧印加 OFF の光強度)

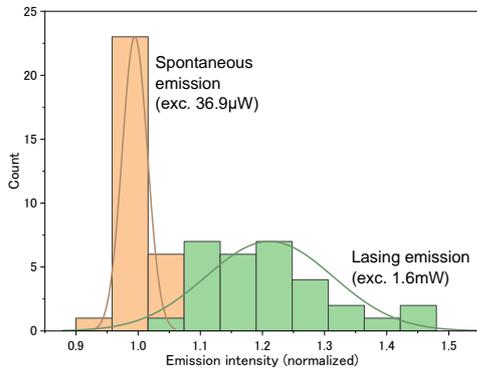


Fig. 5 規格化された電圧印加時の自然放出光およびレーザー光強度の測定点毎のヒストグラム

Fig. 5 より自然放出光に比べてレーザー発振の電圧印加による強度増加は有意に大きく、電圧印加によるレーザー発振強度の制御が確認できた。また、B30 の試料では電圧印加をしても発光スペクトルに変化はほとんど見られなかった。これは B30 で PVA が散乱体として作用したため電圧印加時の散乱強度の変化の程度が小さくなったためか、液晶分子 E7 の比率が A30 の試料より低いいため電圧印加時の効果が弱くなってしまったと考えられる。

## (2) 電圧印加による閾値変化と共振器性能の解析

Fig. 6 に A30 の電圧印加時 (40 V) および未印加 (0 V) での A30 からの光強度の励起強度依存性を示す。励起強度依存性より、矢印の励起しきい値強度が電圧印加によ

り低下していることがわかる。そこで、共振器性能が電圧を印加することによって増加しているか調べるために Fig. 7 と Fig. 8 に Fig. 6 の励起強度依存グラフから  $\beta$  ファクター[5]を算出しレート方程式[6]を用いたフィッティングパラメータを示す。フィッティングパラメータからは共振器減衰率  $\gamma_{cav}$  が算出でき、 $\frac{\gamma_{cav}^{on}}{\gamma_{cav}^{off}} = 0.76$  という結果になった。これは共振器効率の増大を意味している。電圧を印加することで屈折率分布が変化し、それによって膜方向への光閉じ込め効率が増大し共振器の散乱損失が軽減したためと考えられる。

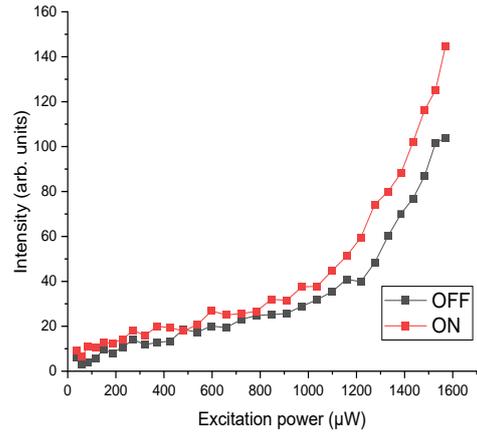


Fig. 6 出力光強度の励起強度依存性

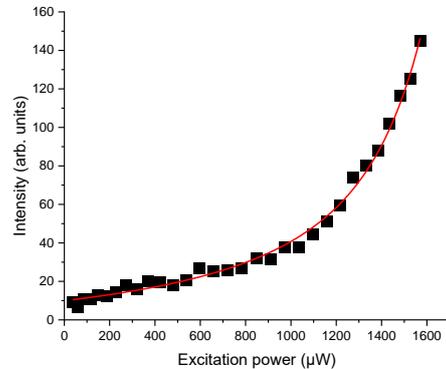


Fig. 7 電圧印加 OFF のフィッティングパラメータ

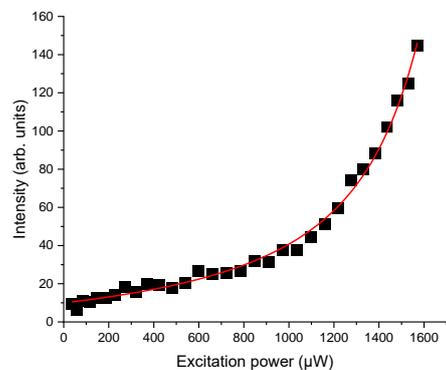


Fig. 8 電圧印加 ON のフィッティングパラメータ

#### 4. 結論

試作した液晶と ZnO のハイブリット薄膜でのランダムレーザーの特性の解析を行った。そして、励起強度依存性へのレート方程式解析から電圧を印加することによって共振器効率が增大することが分かった。このことによりランダムレーザー発振は電圧印加によりそれぞれの ZnO ナノ粒子周辺の局所的な屈折率変化による散乱効率が増大し、ランダム共振器（多重散乱フィードバック）効率が改善したためレーザー強度が増幅していることが示唆される。

#### 謝辞

本研究にあたりご指導ご鞭撻を賜りました中村俊博教授をはじめ、ご協力やご助言をいただきました長岡技術科学大学の佐々木友之先生に深く感謝いたします。また、同じ研究室の鈴木涼太氏、山本仁視氏、佐藤翔悟氏をはじめとした中村俊博研究室の皆様にも研究活動と私生活の両面にわたり大変お世話になりました。心よりお礼申し上げます。ここに書ききれなかった方々含めまして、私の学生生活を支えてくださったすべての方々から感謝の気持ちと御礼を申し上げます、謝辞とさせていただきます。

#### 参考文献

- 1) Lawandy et al., *Nature* 368, 436 (1994)
- 2) Wiersma, *Nature* 414, 708 (2001)
- 3) Cao et al. *Phys. Rev. Lett.* **82**, 2278 (1999).
- 4) Morris et al., *Appl. Phys. Lett.* **86**, 141103 (2005).
- 5) Soest et al., *Phys. Rev. E* 65, 047601 (2002)
- 6) T.Nakamura et al., *Optics Express*, Vol. 23,248099(2015)