

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 題目(和文)            | 色素ドーブ液晶における光分子配向の高感度化と調光材料への応用                                                                                                                                                                 |
| Title(English)    | Design of dye-doped liquid crystals showing highly sensitive photoinduced molecular reorientation for optical limiting application                                                             |
| 著者(和文)            | 臼井 鴻志                                                                                                                                                                                          |
| Author(English)   | Koji Usui                                                                                                                                                                                      |
| 出典(和文)            | 学位:博士(工学),<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第11977号,<br>授与年月日:2021年3月26日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:穴戸 厚,芹澤 武,一杉 太郎,稲木 信介,久保 祥一                                                                          |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering),<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第11977号,<br>Conferred date:2021/3/26,<br>Degree Type:Course doctor,<br>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：<br>Department of, Graduate major in | 応用化学<br>エネルギー | 系<br>コース | 申請学位 (専攻分野)：<br>Academic Degree Requested | 博士<br>Doctor of | (工学) |
| 学生氏名：<br>Student's Name                    | 臼井 鴻志         |          | 指導教員 (主)：<br>Academic Supervisor(main)    | 矢戸 厚            |      |
|                                            |               |          | 指導教員 (副)：<br>Academic Supervisor(sub)     | 久保 祥一           |      |

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は、色素を添加した液晶 (色素ドーブ液晶) の光分子配向挙動を高感度化するとともに、分子配向変化を利用した調光材料の創製を目的としている。光分子配向変化におけるトルクバランスに着目することにより、100 mW/cm<sup>2</sup>を下回る低強度光で分子配向変化を誘起することに成功した。また、この分子配向挙動の数値解析により、高感度化のメカニズムを明らかにした。さらに、光分子配向変化を利用した高感度・フレキシブルな光リミッターとして応用できることを明らかにした。

第1章「General introduction (序論)」では、液晶の光分子配向に関する原理と、高感度化の手法について述べ、色素ドーブ液晶の応用について説明するとともに、本研究の意義と目的を述べた。

第2章「Effect of surface treatment on molecular reorientation of polymer-stabilized liquid crystals doped with oligothiophene dye (高分子安定化色素ドーブ液晶の光分子配向における基板表面処理の効果)」では、オリゴチオフェン色素をドーブした高分子安定化液晶において、液晶セルを構成する基板表面処理が光分子配向変化に与える影響について検討した。基板表面処理の際、アルキル部分を有するシランカップリング剤の濃度を低下させると、光分子配向変化が最大で 30%高感度化されることを明らかにした。

第3章「Design of liquid-crystalline materials with an ultra-low threshold intensity based on the torque balance (トルクバランス法に基づく超低閾値液晶材料の設計)」では、トルクバランス法に基づき、液晶セルの構成条件を最適化することで、光分子配向変化の閾値の大幅な低下について検討した。膜厚、外部電圧、入射角度をそれぞれ増大させると、光分子配向の閾値が低下することを明らかにした。これらのパラメーターを組み合わせることにより、本光分子配向法では初めて 100 mW/cm<sup>2</sup>を下回る光強度での分子配向に成功した。トルクバランス法に基づく機能分離による高性能化が、高感度化に非常に有効であることを示した。

第4章「Theoretical calculation of photoinduced molecular reorientation by a torque balance law (トルクバランス法による光分子配向挙動の数値解析)」では、トルクバランス法に基づく理論式から分子配向挙動の数値解析を行い、実験結果と比較した。計算結果はいずれも実験結果と良好に一致し、本光分子配向挙動の数値解析に成功した。この過程で、光重合性モノマーを添加すると、配向規制力が大幅に低下することを明らかにした。さらに、トルクバランス法に影響する各パラメーターの光分子配向への影響を調査し、さらなる高感度化へのアプローチについても提案した。

第5章「Fabrication of the optical limiter using photoinduced molecular reorientation of dye-doped polymer-stabilized liquid crystals (高分子安定化の光分子配向を利用した光リミッターの作製)」では、これまでに検討してきた色素ドーブ液晶の光分子配向を利用した新しい調光機能を持つデバイスへの応用を検討した。この色素ドーブ液晶に光を入射して透過率を測定すると、低強度光では透過率が一定である一方、高強度光では透過率が非線形に低下し、明確な光リミッター挙動を示すことを明らかにした。また、この減光挙動は少なくとも 100 回繰り返して使用できることを見出した。さらに、第3章で検討した外部電圧の影響を組み合わせることで、nW オーダーの光強度を認識して減光することに成功した。

第6章「Fabrication of deformable liquid-crystalline optical limiters and effect of deformation on the photoinduced molecular reorientation (変形可能な液晶性光リミッターの作製と光分子配向への影響)」では、この液晶材料を高分子フィルムに封入して変形可能な光リミッターを作製し、湾曲変形が光分子配向変化に与える影響について検討した。作製した液晶フィルムを湾曲しても光分子配向挙動を示し、変形可能な光リミッターの作製に成功した。また、液晶フィルムを湾曲させると光分子配向挙動が変化し、湾曲による力学刺激が光分子配向挙動に影響を与えることを見出した。

第7章「Summary (総括)」では、本論文で得られた研究成果を総括するとともに、今後の課題と研究展望を述べた。本論文では、高分子安定化色素ドーブ液晶の光分子配向変化の高感度化およびその数値解析に成功し、材料応用に欠かせない高感度化を実験的・理論的に実証した成果について述べた。さらに、本材料の光分子配向挙動を応用することで、変形可能な光リミッターの作製にも成功した。本研究で得られた光リミッターは、報告されている材料と比較してもトップクラスの光感度を示し、太陽光のような低強度光源にも応用できると期待できる。高い汎用性を有する色素ドーブ液晶の設計・数値解析・光学応用を包括的に検討した本研究により、新規光機能性ソフトマテリアルの創製が期待できる。

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).

## 論文要旨

### THESIS SUMMARY

|                                            |               |          |
|--------------------------------------------|---------------|----------|
| 系・コース：<br>Department of, Graduate major in | 応用化学<br>エネルギー | 系<br>コース |
| 学生氏名：<br>Student's Name                    | 臼井 鴻志         |          |

|                                           |                 |        |
|-------------------------------------------|-----------------|--------|
| 申請学位 (専攻分野)：<br>Academic Degree Requested | 博士<br>Doctor of | ( 工学 ) |
| 指導教員 (主)：<br>Academic Supervisor(main)    | 宍戸 厚            |        |
| 指導教員 (副)：<br>Academic Supervisor(sub)     | 久保 祥一           |        |

#### 要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

The purpose of this thesis is to enhance the sensitivity of the nonlinear photoinduced molecular reorientation of polymer-stabilized oligothiophene-doped liquid crystals (LCs) and demonstrate that this LC material enables the application of an optical limiter using such molecular reorientation. Here, the author focused on the torque balance in the LC molecular reorientation, and investigated the effects of various parameters of the LC cell on the photoinduced molecular reorientation.

In Chapter 2, the author investigated the effect of surface treatment of the glass substrates constituting the polymer-stabilized dye-doped LC cell on the photoinduced molecular reorientation. The incident light intensity needed for the molecular reorientation decreased by 30 % due to the decrease in the concentration of silane coupler with an alkyl moiety.

In Chapter 3, the author designed the highly sensitive LC material with optimized the cell configuration conditions based on the torque balance. Increasing the cell thickness, applied voltage and tilt angle decreased the threshold intensity for photoinduced molecular reorientation. By combination of these factors, the author successfully lowered the threshold intensity below 100 mW/cm<sup>2</sup>.

In Chapter 4, the author numerically analyzed the photoinduced molecular reorientational behavior by using the torque balance law and compared with the experimental results. All the calculation results were in good agreement with the experimental reorientational behavior. Furthermore, the effects of each parameter affecting the torque balance method on the molecular reorientation were investigated, and an approach to further increasing sensitivity was proposed.

In Chapter 5, the author applied the photoinduced molecular reorientation of the oligothiophene-doped LC material to an optical limiter that attenuated a high-intensity light automatically. The transmittance was unchanged under an irradiation with low-intensity light, whereas the incident light with high intensity was attenuated nonlinearly, showing a clear optical limiting behavior. Such optical limiting can be appeared repeatedly at least 100 cycles. Furthermore, by combining the applied voltage, the LC material successfully attenuated the light intensity on the order of nW.

In Chapter 6, the author fabricated the oligothiophene-doped LC film with flexible polymer substrates, and evaluated the effect of bending on the photoinduced molecular reorientation. Even if the prepared LC film is deformed, the molecular reorientation occurred, leading to the fabrication of the highly sensitive and deformable optical limiter.

In Chapter 7, the author summarized the obtained results. In this study, the author comprehensively investigated the photoinduced molecular reorientation of oligothiophene-doped LCs. The author elucidated the photoinduced molecular reorientational behavior of this LC material and showed that it has great potential for applications such as optical limiters.

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).