

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	全光型液晶光双安定素子の研究
Title(English)	Study of the All-Optical Bistable Device of Liquid Crystal
著者(和文)	ファンテイエン タイン
Author(English)	Tien Thanh Pham
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9652号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:梶川 浩太郎,半那 純一,渡辺 正裕,宮本 智之,飯野 裕明, 穴戸 厚,藤村 隆史
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9652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： PHAM TIEN THANH
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
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)

光双安定性とは、一つの光入力に対して、二つの安定した光出力状態が存在し、入出力の特性がヒステリシスループを示す。その特性を有する素子を光双安定素子と呼んでいる。光双安定素子を用いて、光メモリや光フリップフロップ回路のような一時記憶などの動作を実現することができる。また、光空間変調器や画像処理、光スイッチングなどにも応用できる。双安定素子を作るには非線形性とフィードバックという二つの要素が必要とされる。光双安定性を動作する際、構造の自由度と外部のバイアスが必要かどうかなどによって、光双安定素子は主に二つの種類に分類される。それは、全光学光双安定素子とハイブリッド型光双安定素子である。電気回路などを必要とするハイブリッド型光双安定素子に比べて、電気回路を必要としない全光型光双安定素子は構造の自由度が高い。そのため、本研究では、全光型光双安定素子に注目して研究を行った。

液晶は液体のような流動性と結晶のような配向性を持ち、非線形光学材料の一つであり、状態によって大きな屈折率の変化を示す。この液晶の特徴を用いた全光型光双安定素子は多く報告されている。これらの素子の特徴は光双安定性を動作させるために、強い励起光パワーが必要であり(数百 W~数百 mW/mm²)、動作が遅い(数百 s~数百 ms)。そこで、本研究では、低パワーでの動作の実現と高速の応答速度を持つ光双安定素子を目指して、金属-誘電体-金属構造(MIM 構造)と液晶を用いて、全光型光双安定素子を開発することを目的とした。さらにその素子を用いた低パワーでの動作と高速のワンビーム光スイッチング素子も検討した。

本研究では、金属に Au と Ag、誘電体層に PMMA と液晶を用いている。この構造は金の蒸着と PMMA 溶液のスピンコートによって簡単に作られる。MIM 構造では、入射角度と誘電体層の膜厚を適切に選択することで、入射光を MIM 構造中で多重反射させることで閉じ込め、電場増強効果を得ることができる。そのため、p、s 偏光でも電場増強効果を得ることができ、表面プラズモン共鳴(SPR)が励起される。MIM 構造での SPR が起こると、光の吸収による MIM 構造内に局所的に温度が上昇するため、液晶の相転移を引き起こすことができる。相転移前後の MIM-LC 構造における反射率や透過率の変化を用いて光双安定性と光スイッチングを実現した。

まず、本研究では、MIM 構造とツイストネマティック液晶セル(TNLC)を用いて、全光型液晶光双安定素子を実現した。トランスファーマトリックス法と 4×4 行列法を用いて MIM-TNLC 構造における透過率、反射率、吸収率を計算した結果から MIM 構造を最適化し、作製した。MIM 構造は銀(100nm)-PMMA(328nm)-Au(30) nm であり、TNLC セルの厚さは 16μm である。この構造を用いて光双安定性を確認することができた。また、0.31mW/mm²の励起光強度で光双安定性を引き起こすことができた。この動作の閾値は、報告された液晶光双安定素子の中に一番小さい値である。また、18.1mW/mm²の励起光強度で素子の ON-OFF 動作時間が約 92ms で

あった。ON-OFF 動作時間を、完全陰解法を用いて MIM-TNLC 構造における熱伝導を計算した結果から見積もることができた。見積もりをした ON-OFF 動作時間は 52ms である。実験の値と見積もった値はほぼ一致することを確認できた。さらに、MIM 構造の銀層を金層に変えることによって、右周りと左周りのヒステリシスを持つ光双安定素子の実現できた。この結果から MIM-TNLC 構造を用いて高速と低パワーでの動作を持つ全光型光双安定素子を実現することができた。

次に、MIM 構造の誘電体層である PMMA 層を液晶層に変えて金属—液晶—金属構造 (MLCM 構造) を作製した。液晶の誘電体層が直接に金属層に挟まれているので、液晶層の状態が MLCM 構造での SPR による発生する熱により敏感である。そのため、高速の光双安定素子と光スイッチング素子を実現することができる。MIM-TNLC 構造と同様、MLCM 構造における透過率と吸収率を計算した結果から MLCM 構造を最適化し、作製した MLCM 構造は金 (23nm) —LC (420nm) —Au (23) nm である。この構造を用いて光双安定性を確認することができた。4.2mW/mm² の励起光強度で光双安定性を引き起こすことができた。また、この素子の応答速度は MIM 構造を用いた MIM-TNLC 素子より高速化できた。68.2mW/mm² の励起光強度で素子の応答速度が約 10ms である。さらに双安定性を持たない MLCM 構造を作製し、ワンビームの光スイッチング素子を実現した。その MLCM 構造は金 (21nm) —LC (850nm) —Au (21) nm である。この構造を用いて、81.5mW/mm² の励起光強度で 6ms の ON-OFF 応答時間を持つ光スイッチング素子を実現することができた。既存のワンビームの光スイッチング素子に比べて、本研究で実現できた光スイッチング素子は比較的低パワーで高速の動作を示した。

結論として、本研究では、今までの方法と異なって新しい手法で MIM-TNLC 構造と MLCM 構造を用いて光双安定素子と光スイッチングを実現することができた。既存の方法と比べて、比較的低パワーで光双安定性の実現でき、また高速の ON-OFF 応答時間を持つ光スイッチングも実現できた。本研究で作製した素子は空間光変調や画像処理などへの応用が可能である。

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： PHAM TIEN THANH
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
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)

Optical bistability is the phenomenon, which has two output states for one input state. Optical bistability is a nonlinear optical (NLO) phenomenon that is applicable to optical signal processing, and optical memories. There are two types of optical bistable devices: have to electrical bias and non-electrical devices. Electrical bias optical bistable devices require electrical circuits to support the bistability by applying a bias voltage. Therefore, this type of device called not purely optical. Purely optical bistable devices called all-optical bistable devices. A number of all-optical bistable devices have been reported. These are based on the Fabri-Perot cavity, in which a NLO medium layer is sandwiched between a pair of half mirrors. Such materials have fast response, but strong illumination ($\sim 1 \text{ kW /mm}^2$) is necessary because the optical nonlinearity of the NLO materials is usually weak. In some recent studies, all-optical bistable devices of photonic crystals were reported. Even in this type of all-optical bistable device, however, the illumination is still high (a few W /mm^2).

Liquid crystals (LCs) are materials with high anisotropy, and their refractive index can be controlled by a static electric field, an optical electric field, a magnetic field or by temperature. This feature produces a large optical nonlinearity. Some papers have appeared on the optical bistability in nematic or cholesteric LCs, operating at low illumination ($\sim 1 \text{ W/mm}^2$). These studies used a Fabri-Perot cavity, the selective reflection in chiral LCs, or surface plasmons (SPs) in the attenuated total reflection configuration. In this study, we show all-optical bistable devices of twisted-nematic LCs (TNLC) realized by the SPs in a metal-insulator-metal (MIM) coupled to the incident light. This device is simple structure and low-power operation. The lowest threshold switching illumination was 0.3 mW /mm^2 , which is comparatively lower than the threshold switching previously reported for a similar all-optical TNLC device. With illumination of 18 mW /mm^2 , the on-off switching time was measured to be 94 ms. I also report low-power all-optical bistable with counterclockwise hysteresis and clockwise hysteresis by using MIM structure and TNLC. Furthermore, I report low-power all optical bistable device of MIM structure in which the insulator layer is composed LCs, henceforth denoted as metal-liquid crystal-Metal (MLCM). The MLCM optical bistable device allows us to use illumination at normal incidence, whereas above devices can be used only at oblique incidence. The on-off switching time was measured 10 ms with illumination of 68.2 mW /mm^2 . Finally, I also report all optical switching by using MLCM structure. With illumination of 81.5 mW /mm^2 , the response time of this all-optical switching was

measured to be 6 ms. All-optical bistable device was reported in study is promising for two-dimensional optical memories or spatial light modulators because the structure is simple and free from electronic circuits.

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).