

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：82108

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24655129

研究課題名(和文)円筒状タンパク質を用いた低閾値円偏光レーザーの創成

研究課題名(英文)Development of Low-barrier Circularly Polarized Laser using Tubular Proteins

研究代表者

内藤 昌信 (NAITO, Masanobu)

独立行政法人物質・材料研究機構・環境再生材料ユニット・主幹研究員

研究者番号：30346316

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：ナノチューブや、ナノロッド、ナノワイヤなどの1次元集合体は、様々なナノデバイスを構成するビルディングブロックとして盛んに研究されている。中でもタバコモザイクウイルス(TMV)は、長さ300nm、直径18nm、内径4nmの均一なチューブ構造を持つナノ材料である。そのアスペクト比を利用した、1次元配向ナノアレイ作製のため、リソグラフィーマスクパターンを利用したTMVの1次元配向技術について研究した。

研究成果の概要(英文)：One-dimensionally assembled nanostructures, such as nanotubes, nanorods and nanowires, have been attractively studied to offer substantial potential as building blocks in functional electronic and photonic devices. Tobacco Mosaic Virus (TMV) is a rigid rod-like biomolecule with 300 nm in length, 18 nm in diameter and 4 nm in internal diameter. Owing to its high aspect ratio, TMV exhibits excellent orientation ability derived from liquid crystallinity. Furthermore, an inner cavity of TMV has been utilized as nonreactors for nanowires or solar cells. In this work, aiming to facilitate preparation of one-dimensionally oriented nanoarrays with TMV, we prepared large amount of TMV, and its control in orientation on polymer-derived line-patterned surfaces.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：円偏光発光 タンパク質 キラリティー バイオミネラリゼーション

1. 研究開始当初の背景

円偏光レーザーは、量子暗号通信に必要な円偏光光源、3次元ディスプレイなど、次々世代の光情報プロセッシングの主力として注目されている。中でも、可視光の波長と同程度のらせん周期構造を有するコレステリック液晶に色素を導入した液晶レーザーは、液晶のらせん周期とらせん掌性に応じて、光の閉じ込めと増幅が起こり、円偏光のレーザーを発振する¹⁾。この液晶レーザーをディスプレイに応用すれば、従来の液晶ディスプレイに比べて、色再現性や視野角特性がよく、優れた色彩表現が可能な究極のディスプレイが実現できる。優れた加工性、波長可変性、フレキシブル性も、無機半導体レーザーにはない大きなメリットである。この円偏光有機レーザーを実用するには、低エネルギーでの連続発振が不可避である。しかし、添加するレーザー色素の濃度を上げれば、自己消光や、液晶構造が崩壊するというジレンマがある。レイジング可能な色素濃度の上限はわずか2%程度である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、コレステリック液晶を用いた円偏光レーザーの致命的欠点である、レーザー色素の高密度化に伴う自己消光、会合体形成、相分離のジレンマを克服し、従来の液晶レーザーの未踏課題“連続発振”を実現することである。特に、本提案の成否の鍵となる最重要課題2点を集中突破することで、次々世代有機レーザーディスプレイのブレイクスルーを拓く。

(1) タバコモザイクウイルス (TMV) が形成する円筒状カプシドタンパク質内部に、レーザー色素を定量的に内包する手法の確立

(2) レーザー色素内包 TMV を用いた液晶レーザーデバイスの創成と低エネルギー発振の実証

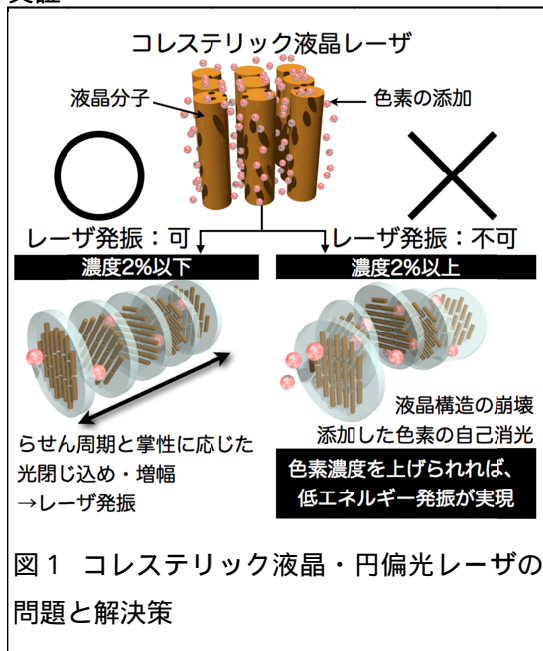


図1 コレステリック液晶・円偏光レーザーの問題と解決策

3. 研究の方法

本研究の目的は、TMV 円筒状カプシドタンパク質内部に、レーザー色素を定量的に固定化する手法の確立と、レーザー色素内包 TMV を用いた液晶レーザーデバイスの創成と低エネルギー発振の実証である。具体的には、次の4つの研究を行う。

- (1) TMV 大量 & 高速精製手法の確立。
- (2) TMV タンパク質内部への色素固定化量の制御と、最大発光効率となる色素量の決定。
- (3) TMV 内包タンパク質による相図と発光特性相関の解明。

TMV による円偏光液晶レーザー発振の検証。

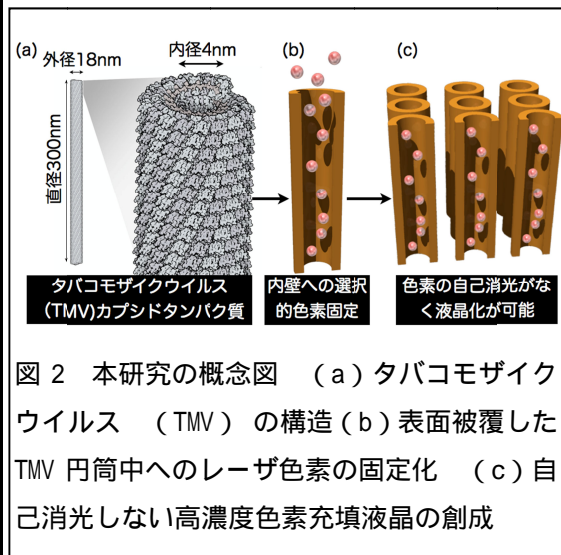


図2 本研究の概念図 (a) タバコモザイクウイルス (TMV) の構造 (b) 表面被覆した TMV 円筒中へのレーザー色素の固定化 (c) 自己消光しない高濃度色素充填液晶の創成

4. 研究成果

(1) TMV 大量 & 高速精製手法の確立

TMV を材料化するためにはそれを大量に発現させ、かつ、高速に精製する必要がある。そこで、感染させるタバコの品種候補として、Nicotiana Benthamiana(高感染率、低収量) SR1 を用いた。SR1 は、全体感染型かつ大型のタバコであるため、大量に TMV を発現させることができる。しかし、これまで TMV の精製用としては報告例がない。そこで、本研究では、感染条件等の最適化を行い、TMV の大量発現を試みた。次に、精製にかかる時間の高速化を試みた。ここでは、振とうによる発熱から TMV の損傷を防ぐため、凍結乾燥型ボールミルによる粉碎・精製方法を検討した。また、簡便かつ大量精製に向けて、食品用ミキサーでも検証した。いずれの方法においても、TMV は損傷なく精製することが可能であった。また、単離できる TMV についても一回に数 100mg までスケールアップすることができた。

(2) ラインパターンを利用した TMV の配向制御

タバコモザイクウイルス (TMV) は、同一のアミノ酸残基からなるサブユニットが、らせ

ん状に一周あたり 16.3 個積み重なったチューブ構造を形成している。そのサブユニットの規則正しい配列を利用した機能性分子の精密・階層的配置制御や、外表面・内空間への金属ナノロッド生成反応等、近年ナノ構造作製のテンプレートとして様々な研究がなされている。一方、TMV のような剛直棒状分子は、ある一定のアスペクト比になると、濃度に依存して液晶性を示すことが知られており、例えば Lin らは TMV の自己組織能を利用し、キャピラリーフォースを用いて一軸配向性を向上させる技術を提案している。すなわち、本研究の最終的な狙いである TMV の自己組織化能を利用した光デバイス作成においては、TMV 自身の配向を簡便かつ精密に一軸配向する必要がある。そこで本研究では、大量かつ簡便に TMV を一軸配向させる方法として、リソグラフィの凸部を利用した配向技術を開発した。本手法のように、微細なリソグラフィパターンを自己組織化の足場とするアプローチは、より大面積かつ簡便な塗布法を利用できる優位性のみならず、パターンの形状や構成素材の性質により、発現する自己組織体の組織構造に特異性を見いだせる利点がある。そこで本研究では、TMV の自己組織化の場として種々のリソグラフィ微細パターン基板を用い、パターン上における TMV の吸着挙動、組織性の発現を検討し、その配向メカニズムの解析を試みた。その結果、TMV 水溶液を、凹凸ラインパター

ン上に流すだけで、ある条件下では TMV が一軸に配向することを見出した。さらに、ラインの幅と間隔が等しいパターン基板を用いた場合、TMV 溶液を凹凸パターン基板に塗布するだけで、凸ライン上に、ラインに対してほぼ垂直に TMV が自己組織化する現象を見出した(図3)。これまで、凹部を利用して棒状分子を配向化させるという技術は知られていた。その際、棒状分子はライン方向と同じ方向に並ぶというのが常識であった。今回の知見では、凸部において棒状分子 TMV がライン方向に対して垂直に並ぶという特異な現象を見出した。現在、TMV のらせん構造と配向についての相関を明らかにするため、検討を続けている。本研究で得られた TMV の簡便配向技術は、TMV を光機能素子として用いる際の大面積化・塗布化などの問題を克服する手法として非常に重要な知見であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 3件)

中村裕亮、信澤和行、内藤昌信、小林未明、凹凸ライン基板上における棒状分子の配向制御、日本化学会第 93 回春季年会、2013 年 3 月 23 日(立命館大学びわこ・くさつキャンパス)

Masanobu Naito, Kazuyuki Nobusawa, and Yuusuke Nakamura, Template-Assisted Assembly of Tubular Virus Protein Rods, 2013JSAP-MRS Joint Symposia, 2013 年 10 月 16 日(同志社大学京田辺キャンパス)

中村裕亮、信澤和行、内藤昌信、International Symposium on Green Photon Harvesting Materials and Reactions、Template-Assisted Assembly of Tubular Virus Protein Rods、2012 年 11 月 16 日(奈良先端科学技術大学院大学、奈良)

[産業財産権]

出願状況(計 2 件)

名称: 棒状分子を表面に備える基板及びその製造方法

発明者: 内藤昌信、中村 裕亮、緒方 寿幸、高山 寿一、細野 隆之

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 公開 2013 - 184863

出願年月日: 24 年 3 月 8 日

国内外の別: 国内

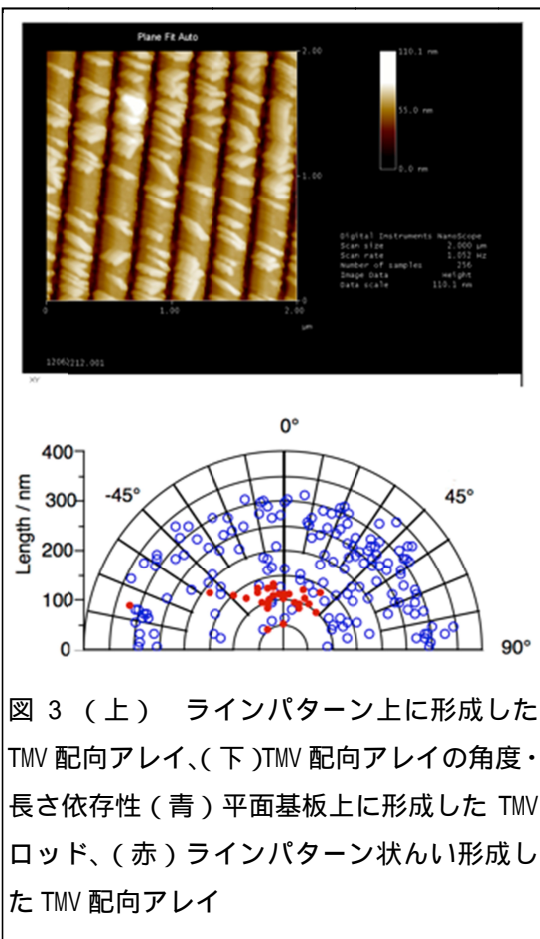


図 3 (上) ラインパターン上に形成した TMV 配向アレイ、(下) TMV 配向アレイの角度・長さ依存性 (青) 平面基板上に形成した TMV ロッド、(赤) ラインパターン状に形成した TMV 配向アレイ

名称：棒状分子を表面に備える基板及びその
製造方法
発明者：内藤昌信、中村 裕亮、緒方 寿幸、
高山 寿一、細野 隆之
権利者：同上
種類：特許
番号：出願 13/786989
出願年月日：25 年 3 月 6 日
国内外の別： 米国

6 . 研究組織

(1)研究代表者

内藤昌信 (NAITO, Masanobu)

物質・材料研究機構・環境再生材料ユニッ
ト・主幹研究員

研究者番号：30346316

(2)研究協力者

信澤和行 (NOBUSAWA, Kazuyuki)

奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科
学研究科 特任助教

研究者番号：40600474