

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01904

研究課題名(和文) 強誘電性液晶半導体のバルク光起電力効果を利用した革新的太陽電池の開発

研究課題名(英文) Development of innovative solar cells based on bulk photovoltaic effect of ferroelectric pi-conjugated liquid crystals

研究代表者

舟橋 正浩 (Funahashi, Masahiro)

香川大学・創造工学部・教授

研究者番号：90262287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：拡張 共役強誘電性液晶のバルク光起電力効果を検討した。共役系を拡張したクインケチオフェン骨格を有する強誘電性液晶を合成した。4位に側方メチル基を有する化合物は高次の強誘電相を示し、直流電圧印加により分極を固定できた。可溶性フルーレン誘導体であるPCBMを11mol%添加し室温に冷却したところ、PCBMが相分離・結晶化しバルクヘテロ接合が形成された。白色光を照射すると光起電力が発生した。開放電圧は0.72 Vにとどまったものの、フィルファクターが向上しエネルギー変換効率は0.7%に達した。吸収波長は580 nmにレッドシフトしており、長波長側の可視光を有効利用できたものと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の接合型太陽電池のエネルギー変換効率の理論限界は32%程度と言われている。この値を超えるためには従来の接合型太陽電池とは異なる原理の光起電力素子の開発が必要となる。強誘電体の自発分極を駆動力とするバルク光起電力効果が注目されているが、有機物の例は非常に限られており、室温で $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以上の電流密度と1 V以上の開放電圧を実現した例はない。本研究課題では、強誘電性液晶を用いたバルク光起電力効果を検討し、最大で数百 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ の電流密度、1.2 Vの開放電圧を実現した。拡張 電子共役系を組み込んだ強誘電性液晶の光起電力材料としての有効性を立証することができた。

研究成果の概要(英文)：We studied a bulk photovoltaic effect in ferroelectric liquid crystals based on extended pi-conjugated units. We synthesized ferroelectric liquid crystals bearing a quinquethiophene unit. The quinquethiophene derivative bearing a lateral methyl group at 4-position exhibited an ordered ferroelectric smectic phase in which a polarization can be immobilized by DC bias application. Photovoltaic effect was observed for white light illumination in the liquid crystal doped with PCBM in 11 mol%. The open-circuit voltage was 0.72 V while fill factor exceeded 0.7 and power conversion efficiency was 0.7%. The absorption edge was shifted to 580 nm and visible light energy could be utilized more efficiently than the ferroelectric liquid crystals comprising shorter pi-conjugated units.

研究分野：有機機能化学

キーワード：バルク光起電力効果 有機半導体 強誘電性液晶 キラリティー 液晶製半導体 オリゴチオフェン 乳酸エステル

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

既存の太陽電池では、p-n 接合やショットキー接合界面での局所的な内部電界を利用して光キャリアの生成・輸送を行っているため、開放電圧 (V_{oc}) は半導体のバンドギャップや正負両電極の仕事関数の差に制限され、開放電圧は最大でも 0.8 V 程度である。それに対して、 BiFeO_3 などの強誘電性セラミックスにおいては、自発分極によってバルク全体に発生した電界を駆動力とするバルク光起電力効果が観測されており、バンドギャップを超える数 V の高電圧が発生している (図 1)。しかし、電気抵抗が高く、光吸収帯が紫外域に限定されるため、エネルギー変換効率は 0.1 % に満たない。また、薄膜作成に真空プロセスが必要である。さらに、低温では大きな開放電圧が得られても、室温では低下する。

当研究室では強誘電性液晶に π 電子共役系を組み込んだ「液晶性強誘電半導体」を合成し、強誘電相におけるバルク光起電力効果を見出している。自発分極によって内部電場がバルク全体に発生し、それによって光キャリアの生成・輸送が起こり、光起電力が発生する。そのため、原理的にはバンドギャップをはるかに超える大きな起電力が発生しうる。通常の有機薄膜太陽電池と異なり、正負両電極は同じ ITO 電極を使用でき、ポーリング電界を反転させることにより、電池の極性を反転させることもできる。強誘電性セラミックスと異なり、コーティングや印刷法によるデバイス作製にも適している。

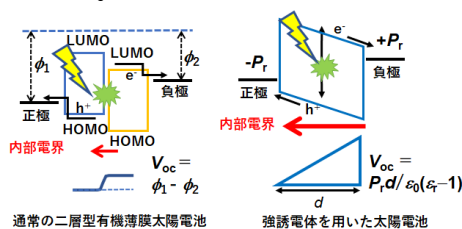


図 1 p-n 接合を用いた太陽電池の原理と強誘電性半導体を用いたバルク光起電力効果の概念図

2. 研究の目的

本研究申請では、バンドギャップ以上の V_{oc} (3 V 以上) を実現し、エネルギー変換効率 (PCE) を飛躍的に向上させるため、分極ソフトクリスタル相に着目し、液晶性強誘電性半導体による太陽電池の基盤原理を確立する。具体的には、下記の 5 項目に取り組む。

1. V_{oc} の増大のため、より大きな自発分極を有する液晶性強誘電半導体を合成する。
2. V_{oc} の増大のため、バルクでの分極緩和の要因の解明と分極ドメインの活用を検討
3. PCE 向上のため、 π 共役系の拡張による移動度の向上と吸収帯の長波長シフト
4. PCE 向上のため、液晶/フラーレン誘導体バルクヘテロ構造の相分離構造の制御
5. V_{oc} の増大のため、分極緩和の要因の解明、構造欠陥・分極ドメインの微細構造の評価

分極を誘起する極性側鎖と、光吸収・電荷輸送を担う拡張 π 共役系をいかにして分子内で統合し、分子間で機能部位を適切に集積して所定の機能を実現するかがカギとなる。また、p 型半導体である拡張 π 共役強誘電性液晶とフラーレンなどの n 型半導体の相分離構造を制御する必要がある。キャリア移動度、誘電特性、光起電力特性の評価に加えて、分子凝集体の微細構造と分極状態を解明しながら、最適な分子構造と相分離構造を探索する。

3. 研究の方法

図 2 に本研究で合成した強誘電性液晶の分子構造を示す。化合物 1 は単独でバルク光起電力効果を示したが、開放電圧は 0.8 V であり、エネルギー変換効率は 0.1 % に満たなかった。それに加えて、吸収端が 480 nm であるため、可視光を利用できない。そこで、フラーレン誘導体を添加し、光キャリア生成効率の向上を検討した。また、 π 電子共役系の延長により吸収端の長波長シフトによるエネルギー変換効率の向上をねらい、化合物 2~4 を合成した。化合物 2 においては、 π 電子共役系の延長に加えて、左右非対称構造になるため、側鎖のキラリティーの分子凝集構造やバルク光起電力効果、電界発光への影響を検討することができる。化合物 3、4 では、吸収端が 580 nm に延長されるため、紫外光・青色光に加えて、黄色・橙色光による励起が可能となり、バルク光起電力効果のエネルギー変換効率の向上が期待できる。また、強誘電相での分極状態は徐々に緩和する。側鎖の運動性の抑制による分極状態の安定化を狙い、化合物 5 を合成した。

合成した化合物の液晶性を示差走査型熱分析 (DSC)、X 線回折、偏光顕微鏡観察により評価した。キャリア移動度を TOF 法、および、空間電荷制限電流法により測定した。自発分極を三角波法、および、Sawyer-Tower 法により評価した。合成した強誘電性液晶を 2 枚の ITO 電極からなる厚さ 2~4 μm の液晶セルに封入し、等方相に加熱後直流電圧を印加して冷却し、分極操作を行った。分極した試料に 20 mW/cm^2 の白色光 (2 WLED) を照射し電流電圧特性を測定した。

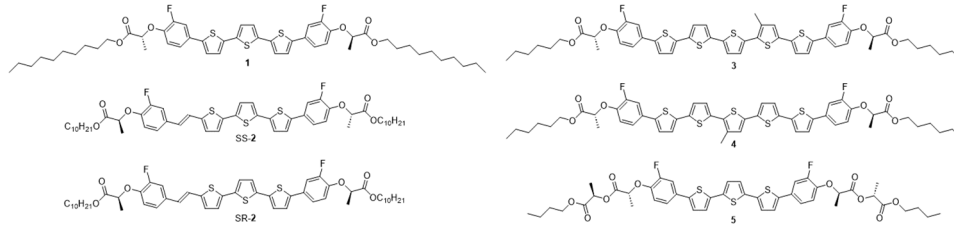


図2 本研究課題において合成した強誘電性液晶

4. 研究成果

4-1 拡張 共役強誘電性液晶/フラーレン誘導体混合物におけるバルクヘテロ接合の形成

これまでの検討から、拡張 共役系に双極子モーメントの大きなフルオロ基やカルボニル基を導入した液晶化合物が強誘電性と光伝導性を示すことが明らかになっていた。より分極率を大きくするため、キラル部位とカルボニル基が隣接している乳酸部位を導入した化合物 1 を合成した。化合物 1 単独でも光起電力効果を示すが、開放電圧・エネルギー変換効率ともに不十分であった。そこで、n 型半導体であるフラーレン誘導体を混合し、バルクヘテロ接合を形成することを考えた。

液晶性强誘電半導体 1 と可溶性フラーレン誘導体 (図 3(a)) の混合物に着目した。高温側の常誘電性の液晶相において直流電圧を印加して強誘電相に冷却すると、分極した強誘電相が出現する。強誘電相では、液晶相中でフラーレン誘導体が数 μm 程度の大きさの微結晶を形成する。非分極状態では構造欠陥が多数形成される (図 2(b))。しかし、分極状態では構造欠陥が少ない均一な光学組織が形成される (図 2(c))。TOF 法で求めたキャリア移動度は、ホール・電子ともに、 $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度であった。ホールは液晶ドメインを輸送される。一方、電子はフラーレン微結晶中を輸送されると考えられる。強誘電相での強い内部電界により、開放電圧は 1.2 V に達する (図 2(d))。液晶/フラーレン微結晶界面で効率的に光キャリアが生成するため、近紫外 - 青色域での外部量子収率は 70% を超える (図 2(e))。フラーレンを添加することにより、純粋な化合物 1 よりも量子効率率は 100 倍に増大した。また、通常の太陽電池と異なり、正負両電極に化学的に安定な ITO 電極を使用でき、不安定な Ca 電極は不要である。その他にも、強誘電相での高い誘電率が光キャリアの生成を促進している可能性、強誘電相での内部電界が電極面でのホール・電子注入障壁を低減している可能性が示唆されている。

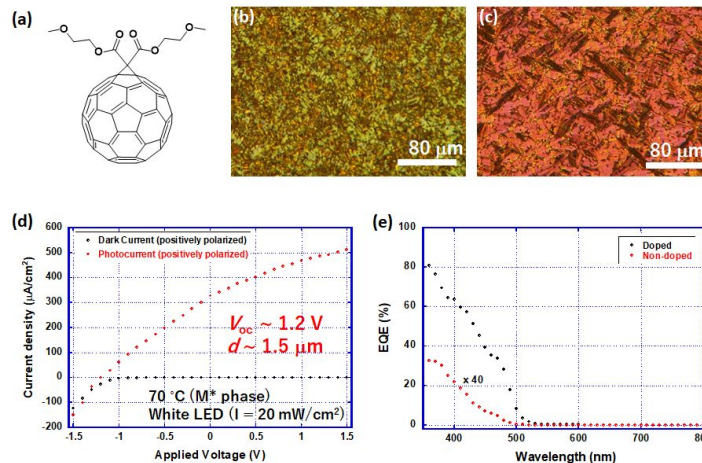


図 3(a) フラーレン誘導体の分子構造 (b) 化合物 1/フラーレン誘導体混合物の 70 °C での偏光顕微鏡写真 (非分極状態) (c) 化合物 1/フラーレン誘導体混合物の 70 °C での偏光顕微鏡写真 (分極状態) (d) 化合物 1/可溶性フラーレン混合物の強誘電相 (70°C) での電流電圧特性 (e) 化合物 1/可溶性フラーレン混合物の強誘電相 (70°C) でのフォトカレントスペクトル

4-2 共通した 共役系を有するジアステレオマーでの強誘電性とバルク光起電力効果

化合物 SS-2 と SR-2 は同じ π 電子共役系を有するが、側鎖アルキル鎖のキラリティーが異なるジアステレオマーである。これらのジアステレオマーの液晶性と電子物性を比較し、 π 電子共役系の延長のバルク光起電力に対する効果と、強誘電性・バルク光起電力効果に必要な分子構造・分子凝集構造を検討した。二つのジアステレオマーのうち、化合物 SS-2 が強誘電性で、分極誘起電界発光とバルク光起電力効果を示した。化合物 SS-2、SR-2 とともに、常誘電性である高温相から強誘電性である低温相へ転移する際に、層間距離はほとんど変化しない。変更傾向スペクトルより、図 4(a) に示すように、化合物 SR-2 の液晶相ではクロモフォアが層法線に対して平行であるのに対して、化合物 SS-2 は高温相から低温相への転移においてクロモフォアが層法線に対して 45 度傾くことが分かった。SS-2 はジグザグ型のコンフォメーションを取るのに対して、SR-2 は M 字型のコンフォメーションをとるため、相転移の際に層間距離が変化しないものと考えられる。クロモフォアが層法線に対して傾くことと分子のキラリティーによって対称性

が破れるため、強誘電性が発現すると考えられる。化合物 SS-2 において、クロモフォアが一軸配向した試料では偏光電界発光がみられ、ポーリング電圧の極性を反転させると、偏光面が 90 度回転する (図 4(b))。

図 4(c) に示すように、化合物 SS-2 に可溶性フラーレンを添加した試料の分極した強誘電層では、白色光を照射すると光起電力が発生し、開放電圧は 1 V を超える。それに対して、SS-2 の低温相は常誘電相であり、光起電力効果は見られない (図 4(d))。SS-2 の強誘電相と SR-2 の常誘電相は、同じ 電子共役系を有するディアステレオマーであるにもかかわらず、ナノメートルスケールの微細構造は異なっていた。図 4(e) に示す AFM の位相像では、SS-2 の薄膜表面は平坦なドメインから形成され、ドメイン境界が数 nm 盛り上がる特徴的な形状を示した。SR-2 の薄膜表面は、長方形の微細な凝集体から形成されていた。これらの結果は、キラルな分子が傾き相の対称性が破れて分極が発生することを示している。また、バルク光起電力効果と分極誘起電界発光が、拡張 共役系を有する液晶性強誘電半導体に普遍的にみられる現象であることが明らかとなった。

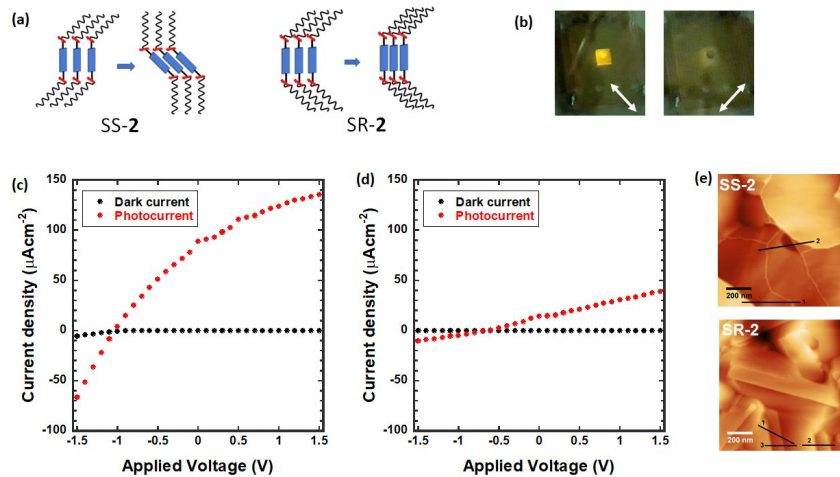


図 4(a) 化合物 SS-2、および、SR-2 の分子凝集構造の模式図。(b) 化合物 SS-2 の偏光電界発光。(c) 化合物 SS-2 の分極した強誘電相での電流 - 電圧特性 (白色光 20 mWcm^{-2})。 (d) 化合物 SR-2 の分極した強誘電相での電流 - 電圧特性 (白色光 20 mWcm^{-2})。 (e) 化合物 SS-2、および、SR-2 のスピコート膜の AFM 位相像。

4 - 3 共役系の延長の強誘電性、および、バルク光起電力効果への影響

π 共役系を拡張したクインケチオフェン骨格を有する強誘電性液晶 3、4 を合成した。これらの化合物の液晶性と電子物性を比較した。化合物 3、4 はキラルスメクティック C (SmC^*) 相を示した。図 5(a)(b) に示すように、三角法によって測定した SmC^* 相における自発分極は、化合物 3 については、 $2.9 \mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、化合物 4 については $0.56 \mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ であったが、ITO 電極からのキャリア注入のためベースラインが非線形に増大しており、自発分極を過大評価している可能性がある。化合物 3 は SmC^* 相の低温側に高次の強誘電相を示し、直流電圧を印加しながら冷却することにより電気分極を固定することができた。

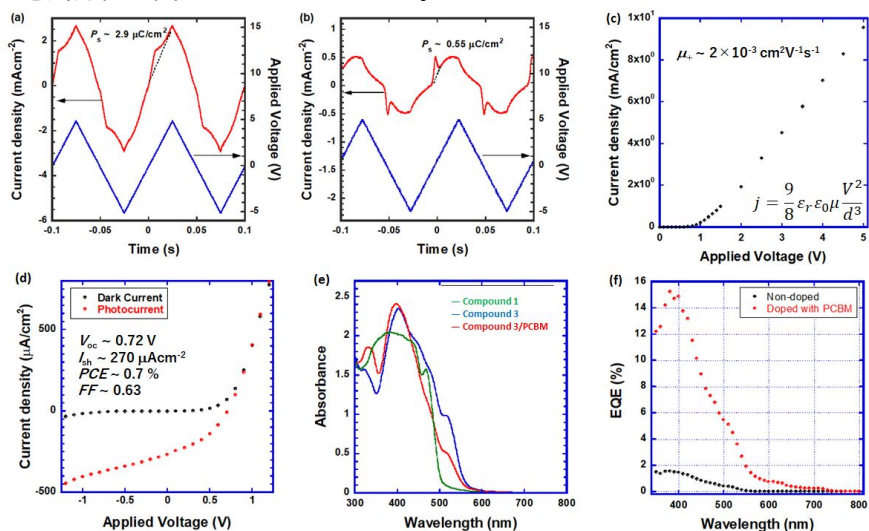


図 5(a) 化合物 3、および (b) 化合物 4 の三角波法により測定した分極反転電流 (c) 化合物 3 の分極した高次相における電流電圧特性 (d) 化合物 3/PCBM 混合物の電流電圧特性 (白色光 20 mWcm^{-2}) (e) 化合物 1、および、化合物 3 の薄膜状態での吸収スペクトル (f) 化合物 3/PCBM 混合物のフォトカレントスペクトル

分極した高次相においては、ITO 電極と液晶層の間にホールに対してオーミックコンタクトが形成されているため、電流電圧特性は空間電荷制限電流となった (図 5(c))。電流電圧特性からホール移動度は $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と見積もられた。可溶性フラーレン誘導体である PCBM を 11mol% 化合物 3 に添加し室温に冷却したところ、PCBM が相分離・結晶化しバルクヘテロ接合が形成された。図 5(d) に化合物 3/PCBM 混合物の電流電圧特性を示す。白色光を照射すると光起電力が発生した。開放電圧は 0.72 V にとどまったものの、フィルファクターが大幅に向上しエネルギー変換効率は 0.7% に達した。図 5(e) に化合物 1、および、3 の薄膜状態での吸収スペクトルを示す。化合物 1 に比べて、化合物 3 では電子系を延長したため、吸収波長は 580 nm にレッドシフトしている。その結果、分光感度も 600 nm 付近に長波長化した。そのため、長波長側の可視光を有効利用できたものと考えられる。

4-4 乳酸ダイマー側鎖の導入

乳酸部位を導入した強誘電性液晶においては、分極状態は徐々に緩和する。室温においても、分極緩和は避けられず、開放電圧は 24 時間で半分以下に低下する。そこで、側鎖部位の運動性の低下を狙い、乳酸ダイマーを側鎖部位に導入した強誘電性液晶 5 を合成した。

化合物 5 は室温で高次のスメクティック相を示す。図 6(a) に示すように、等方相からスメクティック相に冷却すると、構造欠陥の多い光学組織が形成されるが、直流電圧を印加しながら等方相から冷却すると構造欠陥が少ない均一な光学組織が形成される。これは高次相で分極が固定されていることを示している。

分極した高次相ではホールと電子が効率的に輸送される。図 6(b)、および、(c) にホール、および、電子の過渡光電流を示す。ホールに対しては非分散型の、電子に対しては分散型波形が得られ、ホール、および、電子の移動度は $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった。高次相では高粘性のため、分極反転が起こらないので、通常の三角波法や Sawyer-Tower 法では自発分極を評価できない。そこで、熱刺激電流により自発分極を評価した (図 6(d))。電流値の積分値から、自発分極 $3 \mu\text{C} \cdot \text{cm}^{-2}$ が得られた。ただし、この値は強誘電体としての分極値に加えて、不純物や局在準位に捕捉された電荷によるものも含まれているので、過大評価の可能性はある。

図 6(e) に化合物 5 の高次相での電流電圧特性を示す。開放電圧は 1 V を超える。アクセプターを添加していないにもかかわらず、 20 mWcm^{-2} の白色光照射に対して短絡電流は $40 \mu\text{Acm}^{-2}$ であった。特徴的なのはフィルファクターで、0.74 に達した。これは、界面に強い電界が発生しているため、ホール・電子の再結合が抑制されていることを示している。図 6(f) に化合物 5 にフラーレン誘導体 PCBM を添加した試料の電流電圧特性を示す。フィルファクターは 0.63 に低下するものの、開放電圧は 1.0 V を超え、光電流は大幅に増大し、エネルギー変換効率は 0.5% であった。また、分極状態は 1 か月後もほとんど低下しなかった。側鎖を乳酸ダイマーにすることにより、側鎖の運動性が抑制されたためと考えられる。

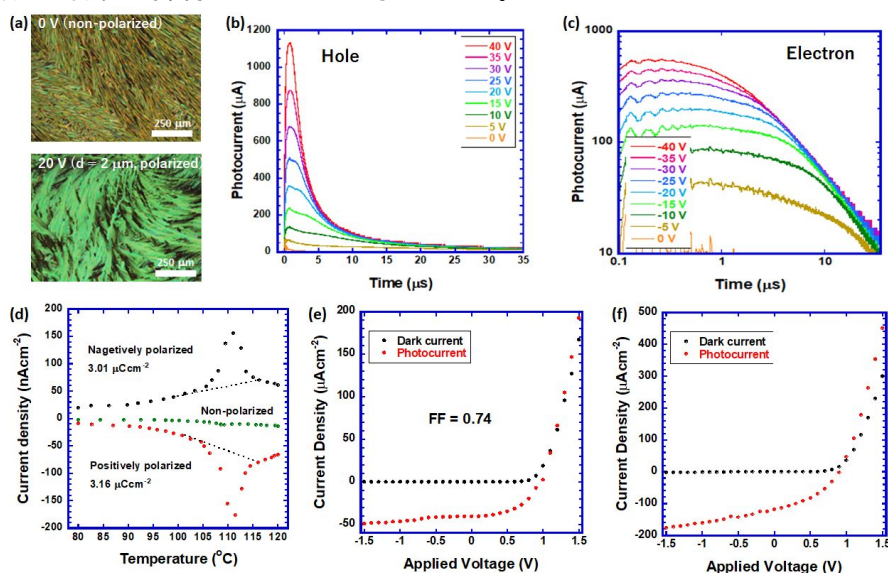


図 6(a) 化合物 5 の非分極、および、分極したスメクティック相の偏光顕微鏡写真。(b) 化合物 5 の分極したスメクティック相でのホール、および、(c) 電子に対する過渡光電流波形 (試料厚さ 4 μm 、70 nm)。 (d) 化合物 5 の熱刺激電流。(e) 化合物 5 の分極したスメクティック相 (室温) での電流電圧特性。(f) 化合物 5/PCBM 混合物の分極状態 (室温) での電流電圧特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Taga Taiki, Takaoka Shunsuke, Uemura Shinobu, Funahashi Masahiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Liquid-crystalline perylene bisimide derivatives bearing an azacrown ether ring complexing with alkaline metal ions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 880 ~ 890
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1QM01542G	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shimaoka Eigo, Kunihiro Masaki, Funahashi Masahiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Glass-Forming Chiral Liquid Crystalline Dimers Based on an Oligo(phenylenevinylene) Unit Exhibiting Circularly Polarized Photoluminescence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 565 ~ 574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.1c01448	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kunihiro Masaki, Shimaoka Eigo, Morishita Shuhei, Tsurumachi Noriaki, Funahashi Masahiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Carrier transport characteristics of glass-forming chiral liquid crystalline dimers based on oligo(phenylenevinylene) units	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 8428 ~ 8437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2ma00899h	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Matoba Yuji, Uemura Shinobu, Funahashi Masahiro	4. 巻 96
2. 論文標題 Diastereomeric Effect on Bulk Photovoltaic Property and Polarized Electroluminescence in Ferroelectric Liquid Crystals Containing an Extended π -Conjugated Unit	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 247 ~ 256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20230011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 舟橋正浩	4. 巻 27
2. 論文標題 拡張 電子共役系を組み込んだ強誘電性液晶のバルク光起電力効果と分極誘起電界発光	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 液晶	6. 最初と最後の頁 56-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Funahashi Masahiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Chiral Liquid Crystalline Electronic Systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 672 ~ 672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym13040672	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Funahashi Masahiro	4. 巻 5
2. 論文標題 High open-circuit voltage under the bulk photovoltaic effect for the chiral smectic crystal phase of a double chiral ferroelectric liquid crystal doped with a fullerene derivative	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 8265 ~ 8274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1QM01143J	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Taga Taiki, Takaoka Shunsuke, Uemura Shinobu, Funahashi Masahiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Liquid-crystalline perylene bisimide derivatives bearing an azacrown ether ring complexing with alkaline metal ions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 880 ~ 890
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1QM01542G	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimaoka Eigo, Kunihiro Masaki, Funahashi Masahiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Glass-Forming Chiral Liquid Crystalline Dimers Based on an Oligo(phenylenevinylene) Unit Exhibiting Circularly Polarized Photoluminescence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 565 ~ 574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.1c01448	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Seki Atsushi, Funahashi Masahiro, Aoki Ken'ichi	4. 巻 96
2. 論文標題 Ferroelectric Photovoltaic Effect in the Ordered Smectic Phases of Chiral π -Conjugated Liquid Crystals: Improved Current-Voltage Characteristics by Efficient Fixation of Polar Structure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1224 ~ 1233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20230185	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Funahashi Masahiro	4. 巻 122
2. 論文標題 Bulk photovoltaic effect in ferroelectric liquid crystals comprising of quinquethiophene and lactic ester units	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 106911 ~ 106911
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2023.106911	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Morishita Shuhei, Kunihiro Masaki, Funahashi Masahiro, Tsurumachi Noriaki	4. 巻 263
2. 論文標題 Differences between one- and two-photon excited circularly polarized light emission processes in cholesteric liquid-crystalline semiconductors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 120068 ~ 120068
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2023.120068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 10件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Masahiro Funahashi
2. 発表標題 Polarized light emission from ferroelectric liquid crystals with extended π -conjugated systems
3. 学会等名 OLC2021-SWS2022 (19th International Conference on Optics of Liquid Crystals, Satellite Workshops 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 舟橋正浩
2. 発表標題 拡張 電子共役系を導入した強誘電性液晶におけるバルク光起電力効果
3. 学会等名 第7回材料相模セミナー 相模中央化学研究所 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 舟橋正浩、的場祐二
2. 発表標題 拡張 電子共役系を有する強誘電性液晶におけるバルク光起電力効果
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 舟橋正浩、的場祐二
2. 発表標題 共役強誘電性液晶のバルク光起電力効果と偏光電界発光に対する 立体異性の影響
3. 学会等名 2022年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新原正隆、國廣誠貴、舟橋正浩
2. 発表標題 側方置換基による液晶性オリゴ(p-フェニレンビニレン)誘導体の相転移挙動への影響
3. 学会等名 2022年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahiro Funahashi
2. 発表標題 Bulk photovoltaic effect and electroluminescence with a rotatable polarized plane in chiral ferroelectric π -conjugated liquid crystals
3. 学会等名 PacifiChem2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Funahashi
2. 発表標題 High open circuit voltage in double chiral ferroelectric liquid crystals comprising an extended π -conjugated unit
3. 学会等名 OLC2021 (19th International Conference on Optics of Liquid Crystals) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 舟橋正浩
2. 発表標題 化学センサーの基礎 繰り返し使える表示物質等について
3. 学会等名 日本作業環境測定協会ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kurumi Suemoto, Masahiro Funahashi
2. 発表標題 Thin film preparation of liquid crystalline mixed conductors bearing three cyclotetrasiloxane rings and their stabilization by cross-linking
3. 学会等名 Pacifichem2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Funahashi
2. 発表標題 High open circuit voltage in double chiral ferroelectric liquid crystals comprising an extended π -conjugated unit
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 舟橋正浩
2. 発表標題 フラーレン誘導体を添加した乳酸エステルを導入した 共役強誘電性液晶 のバルク光起電力効果
3. 学会等名 2021年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 的場祐二、舟橋正浩
2. 発表標題 乳酸エステルを導入した強誘電性 共役液晶の π -電子系の拡張とバルク光起電力効果
3. 学会等名 2021年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 舟橋正浩
2. 発表標題 強誘電性オリゴチオフェン/フラレン誘導体混合系 でのバルク光起電力効果
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Funahashi
2. 発表標題 Bulk photovoltaic effect and electroluminescence with a rotatable polarized plane in chiral ferroelectric π -conjugated liquid crystals
3. 学会等名 IUPAC-CCCE2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國廣誠貴、舟橋正浩
2. 発表標題 電界発光素子への応用に向けたキラルオリゴ(p-フェニレン ビニレン)誘導体の合成と特性評価
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 的場祐二、舟橋正浩
2. 発表標題 乳酸エステルを導入した強誘電性液晶の π -電子系の拡張とバルク光起電力効果
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 舟橋正浩
2. 発表標題 拡張 電子共役系を導入した強誘電性液晶におけるバルク光起電力効果
3. 学会等名 第7回材料相模セミナー（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 舟橋正浩
2. 発表標題 拡張 共役液晶における分極場と電子伝導のカップリングによる新機能発現 - 強誘電性液晶におけるバルク光起電力効果
3. 学会等名 新化学技術推進協会（JACI）ナノフォトニクスエレクトロニクス交流会勉強会 新化学発展協会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 舟橋正浩
2. 発表標題 ゆるさを活かした自発分極～液晶性強誘電半導体の設計とその光起電力効果～
3. 学会等名 第13回CSJ化学フェスタ 船堀タワーホール（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 舟橋正浩
2. 発表標題 オリゴチオフェン部位に乳酸エステルを導入した強誘電性液晶のバルク光起電力効果
3. 学会等名 第32回ポリマー材料フォーラム 名古屋国際会議場（名古屋）（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 舟橋正浩
2. 発表標題 液晶における分極場の形成と光電子・電気化学機能
3. 学会等名 香川大学幸町キャンパス（高松）2024（招待講演）
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>香川大学プレスリリース</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新しい原理の光発電に関する論文を発表 https://www.kagawa-u.ac.jp/files/1816/3824/9321/20211130_hunahasi.pdf ・強誘電性液晶のバルク光起電力効果と分極誘起電界発光 https://www.kagawa-u.ac.jp/files/2216/8050/6368/2023press002_Web.pdf <p>2022年度日本液晶学会論文賞A受賞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Materials Chemistry Frontiers, 5, 8265-8274 (2021). <p>Cover Picture採択</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Materials Chemistry Frontiers, 5, 8265-8274 (2021). ・Bull. Chem. Soc. Jpn., 96, 247&#8211;256 (2023).(Inside Cover, Selected Paper)
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	上村 忍 (Uemura Shinobu) (60423498)	香川大学・創造工学部・教授 (16201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
南アフリカ	Rhodes University		