

機関番号：34316

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19050012

研究課題名（和文） 光により誘起される超撥水性・超親水性表面

研究課題名（英文） Superhydrophobic and Superhydrophilic Surfaces
Induced by Photoirradiation

研究代表者

内田 欣吾 (UCHIDA KINGO)

龍谷大学・理工学部・教授

研究者番号：70213436

研究成果の概要（和文）：光照射により色の異なる異性体を可逆的に生成するフォトクロミック化合物のうち、熱安定性に優れたジアリールエテンの微結晶薄膜に紫外光と可視光を交互に照射すると二つの異性体に固有な形状のミクロンサイズの結晶が、膜表面に交互に成長することを見出した。この現象を利用して、光により超撥水性、超親水性を制御するシステムを構築した。また温度も同時に制御することにより、結晶サイズもコントロールし、超撥水性とともに水滴の転がるロータス（ハスの葉）効果と、超撥水性を示しながらも水滴がピン止めされたペタル（バラの花弁）効果も光制御できた。

研究成果の概要（英文）：By alternate irradiation with UV and visible light, reversible formation of micrometer sized crystals with different shapes corresponding to open- and closed-ring isomers of photochromic diarylethenes was observed accompanied with superhydrophobic and superhydrophilic property of the surface. Controlling the temperature after UV irradiation enabled the size-control of the crystals, and photo-control of lotus and petal effects of wetting was performed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,900,000	0	8,900,000
2008年度	9,400,000	0	9,400,000
2009年度	9,600,000	0	9,600,000
2010年度	5,700,000	0	5,700,000
年度			
総計	33,600,000	0	33,600,000

研究分野：有機光機能材料

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学、材料化学・有機工業材料

キーワード：フォトクロミズム・ジアリールエテン・表面形状変化・超撥水性・超親水性

1. 研究開始当初の背景

光を照射して表面の極性を制御する研究は、ラフ表面をもつ酸化チタンなどで行われていた。フォトクロミック化合物のうちでも、スピロピランやアゾベンゼン等のように光異性化に伴い極性が変化する分子を用いた研究例も数例報告されていた。濡れ性の評価は、水滴の接触角を測定して行われる。一般に水滴の接触角が 90° 以上の表面は撥水性、90° 以

下の表面は親水性と評価される。平滑な撥水性表面を凸凹にすると撥水性は増し、また親水性の平滑面を凸凹にするとさらに親水性になることから、前述した極性変化の研究は、全て凸凹した固定表面上での光誘起極性変化に基づくものであった。我々は、光異性化に伴う極性変化がほとんどないジアリールエテンというフォトクロミック化合物の中で、誘導体 1 の結晶表面に紫外光を照射すると、平

滑な面に無数の針状結晶が立ち上がり、表面は水滴の接触角が 150° を超える超撥水性を示し、可視光照射により元に戻る現象を見出していた。この現象の理解と、応用の可能性を明らかにする目的で本プロジェクトを開始した。

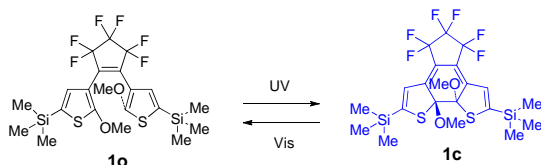


図 1 ジアリールエテン 1 のフォトクロミズム

2. 研究の目的

先に述べた紫外光照射によるジアリールエテン固体表面上の針状結晶の生成と融解の現象を詳しく解析し、この現象の一般性を検討するとともに、結晶の形状、サイズ、分子構造が表面の撥水性、親水性などの物性に及ぼす効果を明らかにする。さらに、細胞の接着性を光で制御する可能性についても検討する。

3. 研究の方法

光誘起結晶成長の現象を理解するために、DSC を測定することで相図を作成し、結晶の成長段階を詳しく解析した。また、結晶の成長過程の活性化エネルギーを求め、自発的にフラクタル界面を形成するアルキルケテンダイマーなどとの比較を行った。光誘起した凹凸表面のフラクタル解析を Box-Counting 法により行った。さらに超撥水性、超親水性を発現する誘導体の探索を行うとともに、複数のジアリールエテンからなる複合膜、ジアリールエテンと他の物質の複合膜などでも超撥水性・超親水性の発現を検討した。

4. 研究成果

(1) まず、この光誘起表面形状変化が一般的な現象であることを確認する目的で、古くから知られている誘導体 2 で、実験を行った。

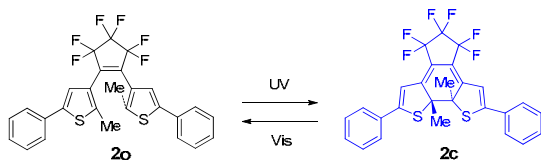


図 2 ジアリールエテン 2 のフォトクロミズム

開環体 2o と閉環体 2c の融点は、それぞれ 140°C と 193°C であり、共融点 115°C での 2o と 2c の組成比は、80 : 20 であった。紫外線照射後、共融点に保ち表面形状変化と水滴の接触角を観測した。

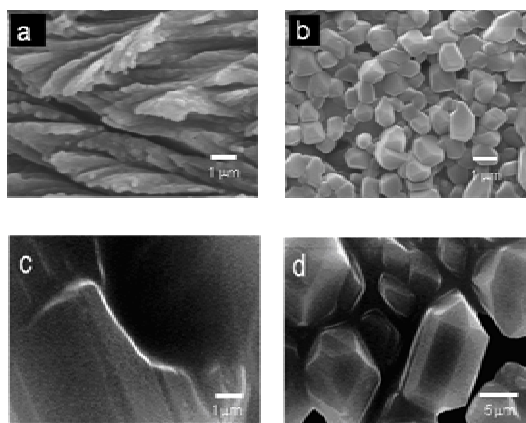


図 3 ジアリールエテン 2 の表面形状変化
開環体 2o をコート直後の表面 SEM 画像(a)、これに紫外光を照射後の SEM 画像(b)、可視光照射で開環体 2o に戻した時の表面(c, d)

さらに可視光照射後も同様な操作を行った。紫外線照射後の膜表面は閉環体 2c の結晶に覆われており(図 3b)、その接触角は、 136° であり、可視光照射により生成した開環体 1c の微結晶に覆われた膜(図 3c,d)での接触角は、 118° であった。この結果は、ジアリールエテンの熱安定性と、その誘導体が結晶フォトクロミック反応性をもつ前提のもとに、光照射により共融状態を経てそれぞれの異性体の結晶形に応じた表面形状変化をすることが一般的であることが明らかになった。また、結晶形が針状結晶でないと大きな接触角変化が起きないことも示された。

(2) ジアリールエテン 1o の微結晶表面に紫外光を照射してできる表面は、接触角 163° の超撥水性を示した。表面を傾けて、何度傾けた時に水滴が転落するか(転落角)を測定すると、 2° 以下であることが分かった。偶然にも、この接触角と転落角は、ハスの葉の表面と全く一致した。この膜は、紫外線照射後、暗所化 30 で 24 時間保存して作成した。温度を 50, 70, 90 としたときの接触角変化を測定すると、50, 70 では紫外線照射後 1 時間以内に超撥水性を示すことが分かったが、その後、接触角は減少した。また、90 に保存した場合には、接触角は 130° 以下に止まった。これは、Ostwald-ripening により小さな針状結晶が大きな柱状結晶に飲み込まれていくためであることが判明した。小さな針状結晶が成長するときの活性化エネルギーと Ostwald-ripening の活性化エネルギーは、それぞれ 143, 162 kJ/mol であることが、温度を変えて接触角が上昇し 150° に到達する時間と下降して 150° に戻る時間の測定から求められた。これらは、自発的にフラクタル表面を形成するアルキルケテンダイマーの活性化エ

ネルギー(158 kJ/mol)と近い値であった。

(3) 同一のジアリールエテンを用いて、異なる濡れ性をもつ表面を可逆的に作成することを試みた。ジアリールエテン 1o の微結晶表面に紫外光を照射後、30 °C で 24 時間放置すると図 4c のように表面が直径 1-2 μm、長さ 10 μm の針状結晶で覆われ、水滴を弾くロータス効果を示す膜が作成できた。一方、紫外線照射後 70 °C で 3 時間保存すると図 4 の d) e) f) のように Ostwald- ripening が起こり、針状結晶が直径 5-10 μm、長さ 20-30 μm の柱状結晶に変換された。この表面の SEM で観察すると柱状結晶の根元は、開環体 1o の立方晶で覆われていた(図 4i,j)。この表面に再度、紫外線照射することで立方晶の 1o を 1c に変換し、柱状結晶の間に針状結晶を生やすことに成功した(図 4h,k)。Fig. 4c と 4h で示した膜の SEM 画像を図 5 に同倍率で示した。接触角と転落角の測定は mL の体積の水滴を用いた。a) がロータス効果を示した膜であり、水滴の接触角は 163°、転落角は 2°であった。一方、b) はペタル効果を示した膜だが、水滴の接触角は 154° と超撥水性を示すにもかかわらず、水滴はピン止めされて面を逆さにしても落ちなかった。

f) のように Ostwald- ripening が起こり、針状結晶が直径 5-10 μm、長さ 20-30 μm の柱状結晶に変換された。この表面の SEM で観察すると柱状結晶の根元は、開環体 1o の立方晶で覆われていた(図 4i,j)。この表面に再度、紫外線照射することで立方晶の 1o を 1c に変換し、柱状結晶の間に針状結晶を生やすことに成功した(図 4h,k)。Fig. 4c と 4h で示した膜の SEM 画像を図 5 に同倍率で示した。接触角と転落角の測定は mL の体積の水滴を用いた。a) がロータス効果を示した膜であり、水滴の接触角は 163°、転落角は 2°であった。一方、b) はペタル効果を示した膜だが、水滴の接触角は 154° と超撥水性を示すにもかかわらず、水滴はピン止めされて面を逆さにしても落ちなかった。

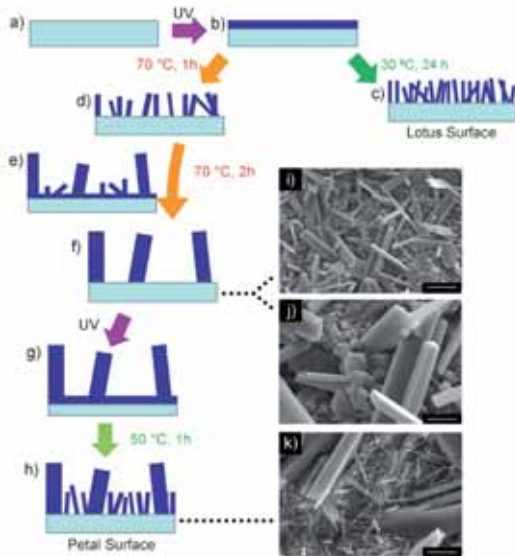


図 4 ロータス効果とペタル効果を示す微結晶膜の作成スキームと表面の SEM 画像

a) 1o の膜に紫外線を照射すると表面が開環体 1c に変換し b)、30 °C で保持すると 1c の針状結晶で覆われた膜 c) となる。一方、70 °C で 3 時間保持すると柱状結晶で覆われた膜 f) ができる。これに 2 回目の紫外線照射を行い(g)、50 °C で 1 時間保持すると 2 種類のサイズの結晶で覆われた膜となる(h)。(スケールバーは、20 μm)

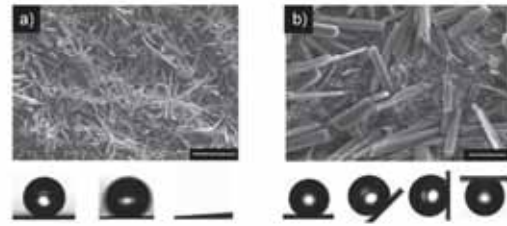


図 5 a) 紫外線照射後 30°C, 24 時間加熱して生成したロータス効果を示す膜の表面と b) 図 4k の膜上での水滴の挙動と SEM 画像(スケールバー: 20 μm)

(4) このような膜の形状と水滴の挙動の関係は、Wenzel らや Cassie らの理論式と比較すると理解できる。Young の式は平滑な表面に対する式であるが、ジアリールエテン 1 の表面に紫外光を照射直後に表面が溶融した平滑な時の接触角は 92°であった。このことから、この化合物の表面を凸凹にしても、超撥水性は示すが超親水性は示さないことがわかる。ロータス効果を示した表面は、針状結晶に覆われており、それらの間の空間に空気を取り込んだために、ハスの葉と同じ性質をもつに至ったと考えられた。Ostwald- ripening が起こり柱状結晶で覆われた膜は、その大きな空孔に水が入り込めたために Wenzel の理論に合う状態になり、ペタル効果を示した針状結晶と柱状結晶をとともにもつ表面は、それらの中間状態となり、上半分の大きな空孔には水が入り込めるが、下半分の針状結晶間の小さな空孔には入り込めなかったと考えられる。その結果、L. Jiang らの報告(Langmuir, 2008, 24, 4114-4119.)にあるバラの花びらの表面構造と同じになり、ペタル効果が微結晶表面でも再現できたと考えられる。

これらの図 4c, 4h の表面は、ジアリールエテンのフォトクロミズムの特性を生かし、可視光を照射すると元の開環体の膜(図 4a)に戻すことができた。この光可逆性を利用して、一枚の膜を図 4a の状態から 図 4c 図 4a 図 4f 図 4h 図 4a というサイクルを少なくとも 3 回繰り返せることを示した。(Angew. Chem. Int. Ed., 2010, 49, 5942-5944)

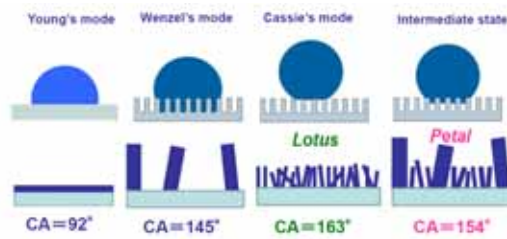


図 6 ジアリールエテン 1 の微結晶膜上のできる 4 つの表面状態の比較

この結果は、研究開始当初の背景で述べた従来の光誘起極性変化と異なり、表面の構造を可逆的に変える点で画期的なものであった。また、結晶サイズが濡れの性質を変えることも確認できた。

(5) 以上述べたジアリールエテンでは、親水性を達成できないため、極性構造を導入した非対称ジアリールエテン 3 を新たに合成し、その表面形状と接触角変化を観察した。

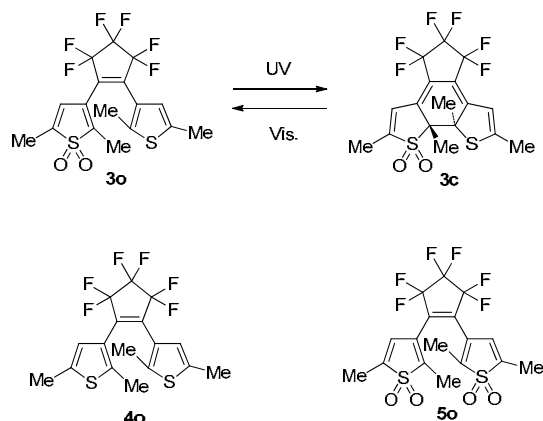


図 7 非対称ジアリールエテン 3 の分子設計

合成した 3 の融点は、93 とそれぞれの対称型 4, 5 の融点より低く、共融点も 67 となった。この誘導体は、閉環反応の量子収率が 0.35 とやや低いこともあり、紫外光を照射しても共融状態までしか 3c の含有率が増えず、膜は平滑になった。この時の接触角は 80°で、可視光照射すると開環体 3o の針状結晶が成長し超撥水性を示すことが分かった。この時の表面は、ペタル効果を示した。

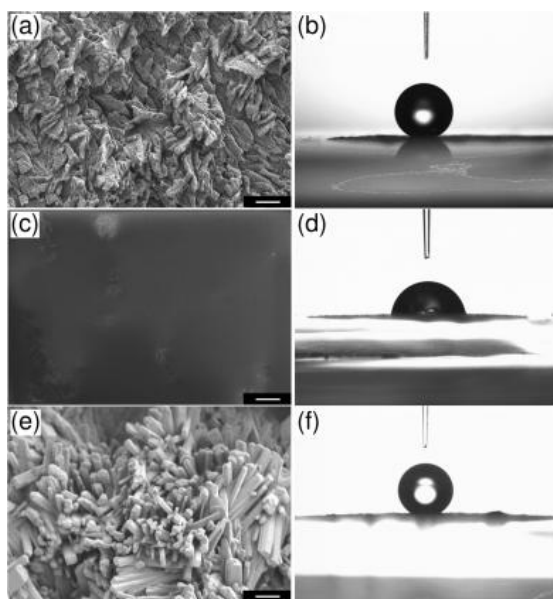


図 8 ジアリールエテン 3 の表面形状変化 SEM 画像のスケールバー：10 μm

特筆すべきは、この系では可視光を照射した際に表面にできる 3o の針状結晶は、下層に残る 3o の結晶を種として成長するため、成長速度が速く、2 時間で超撥水表面と親水表面を一往復させることができた (*Langmuir*, 2011, 27, 6395-6400.)。なお、この膜表面でラット細胞の光による選択的脱離ができた。

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)

[雑誌論文](計 19 件)

N. Nishikawa, A. Uyama, T. Kamitanaka, H. Mayama, Y. Kojima, S. Yokojima, S. Nakamura, K. Tsujii, K. Uchida, Photoinduced Reversible Topographical Changes on Diarylethene Microcrystalline Surface with Bio-mimetic Wetting Properties, *Chem. Asian J.*, 査読有, Vol. 6, 2011, in press.

A. Uyama, S. Yamazoe, S. Shigematsu, M. Morimoto, S. Yokojima, H. Mayama, Y. Kojima, S. Nakamura, K. Uchida, Reversible Photocontrol of Surface Wettability between Hydrophilic and Superhydrophobic Surfaces on an Asymmetric Diarylethene Solid Surface, *Langmuir*, 査読有, Vol. 27, No. 10, 2011, pp. 6395-6400.

K. Mori, Y. Ishibashi, H. Matsuda, S. Ito, Y. Nagasawa, H. Nakagawa, K. Uchida, S. Yokojima, S. Nakamura, M. Irie, H. Miyasaka, One-Color Reversible Control of Photochromic Reactions in a Diarylethene Derivative: Three-photon Cyclization and Two-photon Cycloreversion by Near IR Femtosecond Laser Pulse at 1.28 μm, *J. Am. Chem. Soc.*, 査読有, Vol. 133, No. 8, 2011, pp. 2621-2625.

K. Uchida, N. Nishikawa, N. Izumi, S. Yamazoe, H. Mayama, Y. Kojima, S. Yokojima, S. Nakamura, K. Tsujii, M. Irie, Phototunable Diarylethene Microcrystalline Surfaces: Lotus and Petal Effects upon Wetting, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 査読有, Vol. 49, No. 34, 2010, pp. 5942-5944.

Y. Sesumi, S. Yokojima, S. Nakamura, K. Uchida, T. Tsujioka, Light-controlled Selective Metal Deposition on a Photochromic Diarylethene Film -Toward New Applications in Electronics and Photonics, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 査読有, Vol. 83, No. 7, 2010, pp. 756-761. (Selected as "BCSJ Award Article")

K. Uchida, H. Sumino, Y. Shimobayashi, Y. Ushioji, A. Takata, Y. Kojima, S. Yokojima,

S. Kobatake, S. Nakamura, Unusual Photochromic Behavior of C3-Methoxy-Substituted Bis(2-thienyl)-perfluorocyclopentene, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 査読有, Vol. 82, No. 11, 2009, pp. 1441-1446.

K. Uchida, S. Yamaguchi, H. Yamada, M. Akazawa, T. Katayama, Y. Ishibashi, H. Miyasaka, Photoisomerization of Azobenzene Gel by Pulsed Laser Irradiation, *Chem. Commun.*, 査読有, No. 29, 2009, pp. 4420-4422.

N. Izumi, N. Nishikawa, S. Yokojima, Y. Kojima, S. Nakamura, S. Kobatake, M. Irie, K. Uchida, Photo-induced Reversible Topographical Changes of Photochromic Diarylethene Microcrystalline Surfaces, *New J. Chem.*, 査読有, Vol. 33, No. 6, 2009, pp. 1324-1326.

T. Tsujioka, Y. Sesumi, S. Yokojima, S. Nakamura, K. Uchida, Metal Atom Behavior on Photochromic Diarylethene Surfaces - Deposition Rate Dependence of Selective Mg Deposition, *New J. Chem.*, 査読有, Vol. 33, No. 6, 2009, pp. 1335-1338.

J. J. D. de Jong, P. van Rijn, T. D. Tiemersma-Wegeman, L. N. Lucas, W. R. Browne, R. M. Kellogg, K. Uchida, J. H. van Esch, B. L. Feringa, Dynamic Chirality, Chirality Transfer and Aggregation Behavior of Dithienylethene Switches, *Tetrahedron*, 査読有, Vol. 64, No. 36, 2008, pp. 8324-8335.

S. Nakamura, S. Yokojima, K. Uchida, T. Tsujioka, A. Goldberg, A. Murakami, K. Shinoda, M. Mikami, T. Kobayashi, S. Kobatake, K. Matsuda, M. Irie, Theoretical Investigation on Photochromic Diarylethene; A Short Review, *J. Photochem. Photobiol. A, Chem.*, 査読有, Vol. 200, 2008, pp. 10-18.

T. Tsujioka, Y. Sesumi, R. Takagi, K. Masui, S. Yokojima, K. Uchida, S. Nakamura, Selective Metal Deposition on Photoswitchable Molecular Surfaces, *J. Am. Chem. Soc.*, 査読有, Vol. 130, No. 32, 2008, pp. 10740-10747.

N. Izumi, T. Minami, H. Mayama, A. Takata, S. Nakamura, S. Yokojima, K. Tsujii, K. Uchida, Super Water-Repellent Fractal Surfaces of a Photochromic Diarylethene Induced by UV Light, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, Vol. 47, No. 9, 2008, pp. 7298-7302.

T. Yamaguchi, K. Uchida, M. Irie, Photochromic Properties of Diarylethene Derivatives Having Benzofuran and Benzothiophene Rings Based on Regioisomers, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 査読

有, Vol. 81, No. 5, 2008, pp. 644-652.

M. Akazawa, K. Uchida, J. J. D. de Jong, J. Areephong, M. Stuart, G. Caroli, W. R. Browne, B. L. Feringa, Photoresponsive Dithienylethene-urea Based Organogels with "Reversed" Behavior, *Org. Biomol. Chem.*, 査読有, Vol. 6, No. 9, 2008, pp. 1544-1547.

K. Uchida, S. Sukata, Y. Matsuzawa, M. Akazawa, J. J. D. de Jong, N. Katsonis, Y. Kojima, S. Nakamura, J. Areephong, A. Meetsma, B. L. Feringa, Photoresponsive Rolling and Bending of Thin Crystals of Chiral Diarylethenes, *Chem. Commun.*, 査読有, No. 3, 2008, pp. 326-328. (Selected as "Hot Article")

T. Yamaguchi, K. Uchida, M. Irie, Photochromism of 1,2-Bis(3-*n*-alkyl-1-benzothiophen-2-yl)perfluorocyclopentene Derivatives, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 査読有, Vol. 474, 2007, pp. 111-118.

S. Nakamura, T. Kobayashi, A. Takata, K. Uchida, Y. Asano, A. Murakami, A. Goldberg, D. Guillaumont, S. Yokojima, S. Kobatake, M. Irie, Quantum Yields and Potential Energy Surfaces: a Theoretical Study, *J. Phys. Org. Chem.*, 査読有, Vol. 20, No. 11, 2007, pp. 821-829.

A. Takata, S. Yokojima, H. Nakagawa, Y. Matsuzawa, A. Murakami, S. Nakamura, M. Irie, K. Uchida, *J. Phys. Org. Chem.*, 査読有, Vol. 20, No. 11, 2007, pp. 998-1006.

[学会発表] (計 79 件)

S. Sakiyama (K. Uchida), Photoisomerization of an Azobenzene Gel by Pulsed Laser Irradiation, ChemComm International Symposium in Kyoto, 2011年5月16日、京都市、京都大学

D. Tanaka (K. Uchida), Photoinduced Isothermal Phase Changes of Triphenylene Derivatives Having Six Azobenzene Mesogens, ChemComm International Symposium in Kyoto, 2011年5月16日、京都市、京都大学

A. Uyama (K. Uchida), Photoresponsive Bending of Thin Crystals of Chiral Diarylethenes, ChemComm International Symposium in Kyoto, 2011年5月16日、京都市、京都大学

K. Uchida, Photo-induced Isothermal Phase Changes of Star-Shaped Azobenzenoid Triphenylenes between Col_h and SmA LC Phases, 3rd Japanese-French Joint Seminar on Organic Photochromism, 2010年10月21日、横浜市、Nisseki Yokohama Hall

K. Uchida, Phototunable Diarylethene Microcrystalline Surfaces: Lotus and Petal

Effects upon Wetting, 6th International Symposium on Organic Photochromism, 2010年10月20日、横浜市、Nisseki Yokohama Hall

D. Tanaka (K. Uchida), Calamitic and Discotic Mesophases Formed by Kinetically Controlled Rod-Disc Alternation of Molecular Shape, 6th International Symposium on Organic Photochromism, 2010年10月18日、横浜市、Nisseki Yokohama Hall

K. Uchida, Photo-induced Reversible Topographical Changes on Diarylethene Microcrystalline Surfaces Showing Lotus and Petal Effects upon Wetting, The 27th European Conference on Surface Science, 2010年9月2日、オランダ王国、Groningen 市

A. Uyama (K. Uchida), Reversible Topographical Changes on Microcrystalline Surface of 1,2-Bis(2-methyl-5-phenylthien-3-yl)perfluorocyclopentene by Alternate UV and Visible Light Irradiation, The 27th European Conference on Surface Science, 2010年9月1日、オランダ王国、Groningen 市

K. Uchida, Photoisomerization of Azobenzene Gel by Pulsed Laser Irradiation, XXIII IUPAC Symposium on Photochemistry, 2010年7月14日、イタリア、Ferrara 市

K. Uchida, Different Photochromic Property in Two types of Diarylethenes, IKCOC-11 (The Eleventh International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry), 2009年11月11日、京都市、Rihga Royal Hotel Kyoto

内田欣吾, 光により有機される超撥水性・超親水性表面、フォトクロミズムの攻究とメカニカル機能の創出 第4回公開シンポジウム(依頼公演)、2009年9月1日、北海道札幌市、北海道大学

K. Uchida, Photo-induced Reversible Topographical Changes of Photochromic Diarylethene Microcrystalline Surface, New Horizons of Photochromism – From Design of Molecules to Applications –, 2008年10月13日、フランス、Arras 市

Y. Matsuzawa (K. Uchida), Photo-responsive Bending of Tiny Crystals of Diarylethenes with Hydrogen Bonding Networks, F π 8, the 8th International Symposium on Functional π -Electron Systems, 2008年7月23日、オーストリア、Graz 市、Graz University of Technology

Y. Chaki (K. Uchida), Vapor Deposited Crystalline Patterning of Diarylethenes on

Some Substrates, F π 8, the 8th International Symposium on Functional π -Electron Systems, 2008年7月23日、オーストリア、Graz 市、Graz University of Technology

K. Uchida, Photoinduced Reversible Surface Morphology Changes of Photochromic Diarylethene Coating Films, F π 8, the 8th International Symposium on Functional π -Electron Systems, 2008年7月22日、オーストリア、Graz 市、Graz University of Technology

K. Uchida, Photoresponsive Rolling and Bending of Thin Crystals of Chiral Diarylethenes, Fifth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments, 2008年6月10日、滋賀県草津市、立命館大学

M. Akazawa (K. Uchida), Photoresponsive Dithienylethene-urea-based Organogels with Reversed Behavior, Fifth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments, 2008年6月10日、滋賀県草津市、立命館大学
K. Uchida, Photoinduced Morphology Changes of Diarylethene Thin Film Surfaces, International Symposium on Photochromism (ISOP-07), 2007年10月8日、カナダ Vancouver 市

H. Ishiguro (K. Uchida), Photo-induced Phase Changes of Triphenylene Derivatives Connected Azobenzene Mesogens and Triphenylene Core by Ether Linkage, International Symposium on Photochromism (ISOP-07), 2007年10月7日、カナダ Vancouver 市

Y. Matsuzawa (K. Uchida), Photochromism of Vapor Deposited Crystalline Film of Diarylethenes having Chiral Substituents, International Symposium on Photochromism (ISOP-07), 2007年10月7日、カナダ Vancouver 市

〔図書〕(計1件)

内田欣吾(市村國宏) シーエムシー出版、
光機能性高分子材料の新たな潮流 最新技術とその展望、2008、357 (pp. 85-96).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.chem.ryukoku.ac.jp/uchida/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 欣吾 (UCHIDA KINGO)

龍谷大学・理工学部・教授

研究者番号：70213436