

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608
 研究種目：基盤研究(B) (一般)
 研究期間：2017～2019
 課題番号：17H03112
 研究課題名(和文) 極めて大きなストークスシフトを有するスペクトル変換用・耐熱発光ポリマーの実証研究

 研究課題名(英文) Experimental study of heat-resistant and photoluminescent polymers exhibiting extremely large Stokes shift for spectral conversion

 研究代表者
 安藤 慎治 (Ando, Shinji)

 東京工業大学・物質理工学院・教授

 研究者番号：00272667
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,250,000円

研究成果の概要(和文)：高発光性ポリイミド(HLPI)の分子設計とその光学特性の知見を基盤とし、太陽光波長変換膜として優れた特性を示すポリイミド共重合体を選定して、実用的な波長変換膜として使用できる大面積HLPI膜の合成・製膜・特性評価技術の確立を行った。具体的には、高効率発光を示す青蛍光性酸無水物に少量の励起状態プロトン移動を生ずる酸無水物を混合した新規のポリイミド共重合体を合成し、両者の間で効率的な励起エネルギー移動を生じさせることで、ほぼ完全に無色透明、かつ極めて大きなストークスシフトを有し、紫外光変換効率約23%を示す赤橙色発光のHLPI膜を6インチ径の光学ガラス基板上に均一製膜することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発された高発光性ポリイミド(HLPI)膜は、合成と製膜が容易な点に加え、350以上の耐熱性、高い耐光性と耐環境性、柔軟性と軽量性、十分な機械強度を有し、無色透明かつ高効率の赤橙色発光を示す初めての高分子膜であり、その学術的意義は極めて高い。このHLPI膜を太陽光波長変換膜として利用することで、Si系やペロブスカイト型太陽電池の変換効率向上が可能であり、再生可能エネルギーの加速に資することができる。

研究成果の概要(英文)：Based on the knowledge of molecular design and optical properties of highly luminescent polyimides (HLPI), we designed and selected polyimide copolymers with excellent properties for solar wavelength conversion membranes and established the synthesis, film formation, and characterization techniques for large-area HLPI membranes that can be used as practical wavelength conversion membranes. Specifically, a new polyimide copolymer was synthesized by mixing a highly efficient blue-fluorescent acid dianhydride and a small amount of a red-orange luminescent acid dianhydride undergoing excited-state proton transfer. An HLPI film thus obtained is almost completely transparent and has an extremely large Stokes shift ($>11,000\text{ cm}^{-1}$) through an efficient excitation energy transfer between the two polymers with a ultraviolet conversion efficiency of up to 23%. The HLPI film was uniformly deposited on a 6-inch-diameter optical glass substrate.

研究分野：光機能性高分子

キーワード：高分子機能材料 光波長変換材料 高発光性ポリイミド 室温燐光 励起状態プロトン移動 ドナー・アクセプター

1. 研究開始当初の背景

(1) 太陽光の未利用資源である近紫外線 (UV-A 光) を、太陽光発電や農業用途等で応用範囲の広い可視・長波長光に高い効率で変換するため、大きなストークスシフト (SS, 吸収波長と発光波長のエネルギー差) と高いエネルギー変換効率 (発光量子収率) を有する「高分子系波長変換膜」(ダウンコンバータ) の開発が望まれている [図 1] 従来の波長変換膜は、低分子系の有機色素や量子ドットと呼ばれる無機ナノ粒子を、高分子マトリックスや無機ガラスに分散させたものが主流であったが、これらは時間経過にともなう色素の劣化 (耐光性の不足) や色素・ナノ粒子の凝集体発生に問題があり、また単体の変換効率は高くとも高濃度分散ができないため、波長変換膜としての特性が十分でなかった。加えて、重金属 (特に希土類元素) やカルコゲナイト系元素 (Se, Te など) を使用する発光材料は、毒性や廃棄困難性の問題も有していた。

(2) そこで、重金属や毒性元素のみならず、既存の蛍光・燐光色素も含まず、かつ波長 320 ~ 500 nm の励起光を 400 ~ 630 nm の可視光に高効率で変換でき、高耐熱性・高透明性・柔軟性・耐光性・耐環境性を有する「高分子系波長変換膜」の開発が求められてきた [図 2] 既存の蛍光発光性高分子は、高透明性・柔軟性には優れたものの、耐熱性・耐光性・耐環境性などの点で十分な特性を有しておらず、これらの点を改善するためには、高分子主鎖をポリイミドのような高耐熱性高分子で形成した材料が必要となるが、従来そのような検討はなされてこなかった。

2. 研究の目的

スーパーエンブレである「全芳香族ポリイミド (PI) は、紫外線照射により蛍光発光を示すものの、電荷移動 (CT) 遷移のため量子収率が一般に極めて低いことから、発光特性は注目されてこなかった。しかし、われわれは 共役を有する酸二無水物と 共役を有しない脂環式構造をもつジアミンから合成される「高発光性ポリイミド」(HLPI) が、分子内電荷移動の抑制により飛躍的に高い量子収率 (>0.11) の青色蛍光を示すことを初めて見出し [図 3]¹、その後、種々の新規酸無水物の合成と量子化学計算を行って、広範囲の発光波長を示す新たな蛍光材料群としての基礎検討を重ねてきた²⁻⁶。HLPI の特長として、PI 膜が自発的に蛍光・燐光発光するため、透明な高分子系マトリックスが不要で、軽量・柔軟・易加工性を有し、非晶質のために高透明・低着色である、高耐熱 (熱分解開始温度 >400 , ガラス転移温度 >250)・耐環境・高機械強度を有するため、宇宙空間 (真空条件, 強い紫外線, 大きな温度差) や高温・多湿のような極端条件下での使用が可能である、分子内に重金属や希土類元素, 毒性元素を含まない、既存の PI 膜製造プロセスにより大量生産が可能であり、原料も比較的安価である、などの優れた特長を持ち、太陽光や紫外 LED を光源とする波長変換膜への応用が強く期待される。そこで本研究では、上記の基盤技術に基づき、Si 系太陽電池や高付加価値農業に適した太陽光波長変換膜、すなわち波長 320 ~ 500 nm の太陽光を高い効率で 400 ~ 630 nm の可視長波長に変換し、かつ高い耐熱性と長期耐久性 (環境安定性)、大面積化が可能、そして高い光取出し効率を有する透明 PI 系波長変換膜 (スペクトルコンバータ) の開発・実証化を目指した。

3. 研究の方法

(1) 蛍光量子収率 (Φ) のさらなる向上のためには、まず発光性 PI の励起状態における光物理過程を詳細に解明し、それらを精密に制御する必要がある。そこで各世代の HLPI のモデル化合物と薄膜の発光寿命を、本研究経費で導入した「蛍光寿命測定装置」により室温 ~ 極低温また大気中 / 真空下で測定し、発光過程と無輻射遷移の速度定数から光物理過程を解析して、無輻射遷移を引き起こす機構を特定した。

(2) 次いで、HLPI のさらなる無色透明化を目指し、新規の脂環式ジアミン構造を導入した。モデル化合物は無色透明であるが、対応する構造の PI は凝集体由来の薄黄色を呈し、青色光を吸収する場合がある。そこで、ジアミンの骨格に 2 つの $-\text{CH}_3$ 基や $-\text{CF}_3$ 基を導入し、立体効果の有効性を検証した。また Trögers Base と呼ばれる、かさ高くかつ剛直な構造を主鎖に含む PI を合成し、凝集の阻害効果とともに蛍光発光特性について考察した。

(3) HLPI の SS を拡大する「第 1 の方策」として、励起状態プロトン移動 (ESIPT) を引き起こ

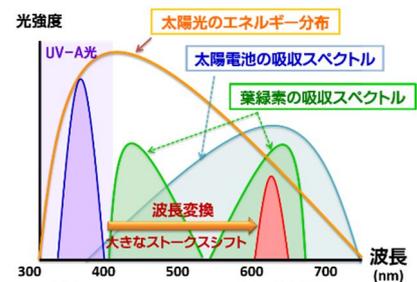


図 1. 太陽光波長変換のコンセプト

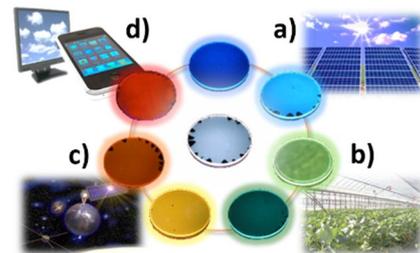


図 2. 多波長変換膜の応用分野。a) Si 系太陽電池, b) 農作物 (果樹) のグリーンハウス, c) 宇宙空間での発電, d) LCD バックライト

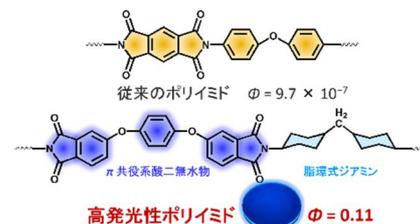


図 3. 高発光性ポリイミドの分子設計指針。脂環式ジアミンで電荷移動 (CT) を抑制

す原料物質（水酸基を有する酸無水物）を設計・合成し、その蛍光特性とともに、波長変換膜としての特性を評価した。分子内水素結合を形成する PHDA 酸無水物からなる HLPI は $10,000\text{ cm}^{-1}$ を越える大きな SS と強い橙色蛍光を示すが、凝集体由来の薄黄色を呈し、青色光を吸収する。そこで、無色透明の青色蛍光 PI との共重合により、無色透明性と分子内エネルギー移動による高効率・高 SS 発光を示す新規の PI 共重合体（CoPI）を合成して、その蛍光発光特性について考察した。

(4) HLPI の SS を拡大する「第 2 の方策」として、燐光による発光を検討した。分子内の立体障害を引き起こす位置に臭素原子を導入することで、共役を遮断して無色透明性を誘起するとともに、「重原子効果」によりスピン軌道相互作用を強化し項間交差を誘導することで、燐光発光性とする分子設計を採用した。さらに、上記の蛍光寿命測定装置に「りん光計測補助ユニット」を装着することで、燐光 / 遅延蛍光の確証を得ることができる。

(5) 擬似的な太陽光として高輝度の Xe 光源を用い「波長変換スペクトル」を計測した。(3)で合成した CoPI において、UV-A 光をほぼ吸収し、赤色光を 23% 増強させる効果が確認された。この HLPI 膜が 350 以上の耐熱性と約 1 ヶ月の太陽光下によっても光学特性が劣化しない耐光性を確認した。この HLPI 膜を Si 型太陽電池の前面に装着し、疑似太陽光として Xe ランプ光を照射し、波長変換膜としての実用特性を評価した。

4. 研究成果

(1) 蛍光寿命測定装置により、各種 HLPI 薄膜の蛍光発光寿命を室温～極低温で測定した結果、主鎖にエーテル結合を有する HLPI の蛍光寿命が温度低下とともに増大し、特に 110 K 以下で大きく増加するとともに、 Φ が 2 倍以上に増加することを確認した [図 4] また、HLPI の分子設計において（発光部ではない）脂環式ジアミン部の構造は、特性に大きな影響を及ぼさないと考えられてきたが、ジアミン部を単環でメタ結合にした場合において Φ の顕著な増加が観測された [図 5] ここで、脂環式ジアミンは、アミノ基の結合部分に構造異性を有するが、異性体混合物を原料として用いると上記の効果は得られない。これらの結果は、PI 分子鎖の局所運動が無輻射失活の原因であることを示唆しており、波長変換膜用 HLPI の分子設計に有効な指針を与えている。

(2) 次に、HLPI のさらなる無色透明化と量子収率の向上を目指し、これまでわれわれが常用してきた 2 環の DC ジアミンに対して、2 つの $-\text{CH}_3$ 基や $-\text{CF}_3$ 基を導入した新規ジアミン構造（DM, 6F）を検討した [図 6] ジアミン骨格にかさ高い置換基を導入することで、量子収率が向上するとともに、蛍光ピークが長波長シフトし、かつ薄膜の透明性も向上することが確認された。これらの実験により、PI 主鎖の立体的な効果を制御することで分子間の相互作用が軽減され、性能向上が可能であることを立証した。一方、Tröger's Base と呼ばれる、かさ高くかつ剛直な構造を主鎖に含む PI を新規に合成し、凝集の阻害効果とともに蛍光特性の向上を試みたが、最低励起状態が $n-\pi^*$ 遷移となり、蛍光特性そのものが失われたため、検討を中断した。

(3) 分子内の ESIPT により極めて大きな SS を示す赤色発光性 PHDA 酸無水物と、高透明性を有する青色発光性 HLPI を共重合することで、透明性が高くかつ赤色発光を示す CoPI を合成・製膜して、その蛍光発光特性を考察した [図 7] PHDA のモル分率を 5 % まで上げて無色透明性が維持され、しかも微量の酸を添加することで、フェノール性水酸基のプロトンが遊離した「アニオン体由来の

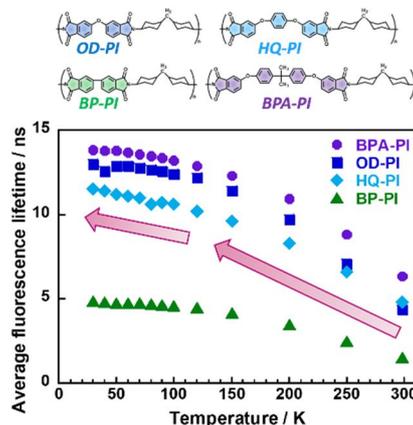


図 4. 青色蛍光性ポリイミドの低温域での蛍光寿命の変化. 110 K 付近で一定値に.

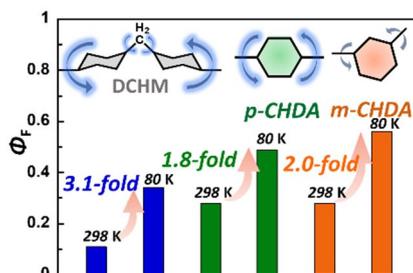


図 5. 青色蛍光性ポリイミドの温度可変蛍光量子収率へのジアミン部の構造の影響.

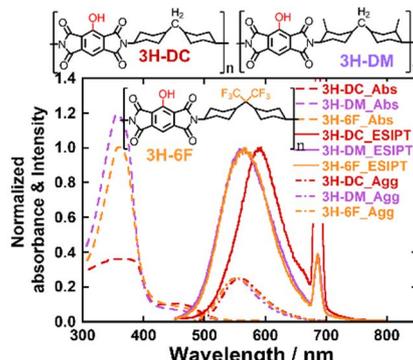


図 6. ESIPT 蛍光性ポリイミドにおけるジアミン部のかさ高い置換基構造の影響.

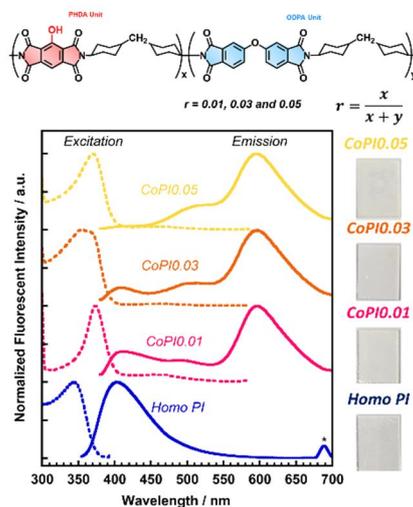


図 7. ESIPT 蛍光性ポリイミドと青色発光性ポリイミドの共重合による無色透明赤色発光性 HLPI の励起・発光スペクトル.

吸収と蛍光」が抑制されることが明らかとなった。ESIPTを示す低分子化合物群においては、DMSOやDMFなどの極性溶媒中や有機塩基の存在下でのみアニオン体の吸収/蛍光ピークが観測されていたが、ESIPTを起こす固体PI薄膜において観測されたことは想定外であった。また、PHDAのモル分率を変化させることで、その発光色を連続的に変化させることが可能であり[図8]、このCoPIの発光スペクトルが応用目的に応じて微調整が可能であることを立証した。

(4) 青色蛍光性HLPIのピフェニル部に2つの臭素原子を向かい合うように導入し、分子内の立体障害を引き起こす新規のHLPIを設計・合成したところ、無色透明かつ紫外線照射下で明るい緑色の燐光発光が観測された[図9b]。常温真空中で測定した Φ は22%であったが、これを77Kまで冷却すると Φ =76%まで向上し、宇宙区間などの特殊条件においても、優れた燐光発光性HLPIであることが明らかとなった。なお、対象の青色発光HLPI[図9a]との比較で明らかのように、発光スペクトルには約22%の蛍光発光(400nm付近)が含まれることから、色純度の向上には項間交差の効率向上が必要であり、材料開発を継続している。

(5) 以上、3年間の検討で開発・蓄積された各種のHLPIとその光学特性の知見を基盤とし、太陽光波長変換膜として最も優れた特性を示すCoPIを選定して、実用的な波長変換膜として使用できる大面積HLPI膜の大量合成・大面積製膜・特性評価技術の確立を目指した。具体的には、(3)で示した高効率発光を示す青色蛍光性酸無水物に少量の励起状態プロトン移動を生ずる酸無水物を混合してCoPIを合成し、両者の間で効率的なFörster型励起エネルギー移動を生じさせることで、明るい赤色発光を実現した。結果として、紫外光変換効率約23%を示す赤色発光HLPI膜を、6インチ径の光学ガラス基板上に均一製膜することに成功した[図10]。また、研究経費で導入した発光寿命測定装置により、HLPI膜の内部で生じている光物理過程を真空条件や低温条件(液体He,液体窒素温度)、高压条件(大気圧~8万気圧)にて詳細に解析することで、発光をさらに高効率化させる分子設計指針、具体的にはジアミン構造の剛直化と側鎖構造の最適化による無輻射失活の抑制を得た。加えて、この膜が350以上の耐熱性と約1ヶ月の太陽光下によっても光学特性が劣化しない耐光性を確認した。このHLPI膜をSi型太陽電池の前面に装着し、疑似太陽光としてXeランプ光を照射し、波長変換膜としての実用特性を評価したところ、HLPI膜表面での反射と膜中での導波光閉じ込めにより発光の損失が生じたものの、発電効率の上昇が確認できた。現在、HLPI膜を共同研究先に送り、赤色光に適したペロブスカイト型太陽電池への適用検討を行っている。結果として、上記の研究検討により所期の目標を十分に達成することができた。

<引用文献>

- 1 J. Wakita, H. Sekino, K. Sakai, Y. Urano and S. Ando, Molecular Design, Synthesis, and Properties of Highly Fluorescent Polyimides, *J. Phys. Chem. B*, 2009, **113**, 15212–15224.
- 2 J. Wakita, S. Inoue, N. Kawanishi and S. Ando, Excited-state intramolecular proton transfer in imide compounds and its application to control the emission colors of highly fluorescent polyimides, *Macromolecules*, 2010, **43**, 3594–3605.
- 3 K. Kanosue, T. Shimosaka, J. Wakita and S. Ando, Polyimide and Imide Compound Exhibiting Bright Red Fluorescence with Very Large Stokes Shifts via Excited-State Intramolecular Proton Transfer, *Macromolecules*, 2015, **48**, 1777–1785.
- 4 K. Kanosue, R. Augulis, D. Peckus, R. Karpicz, T. Tamulevičius, S. Tamulevičius, V. Gulbinas and S. Ando, Polyimide and Imide Compound Exhibiting Bright Red Fluorescence with Very Large Stokes Shifts via Excited-State Intramolecular Proton Transfer II. Ultrafast Proton Transfer Dynamics in the Excited State, *Macromolecules*, 2016, **49**, 1848–1857.

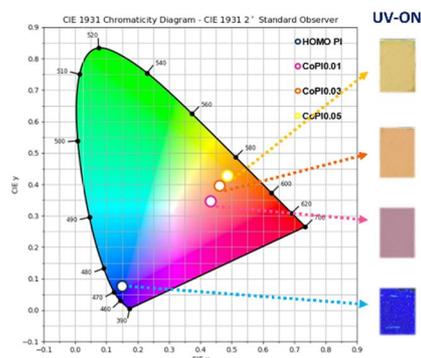


図8. 青色発光性PIと赤色発光性共重合PI(CoPI)における発光色の色度図評価。

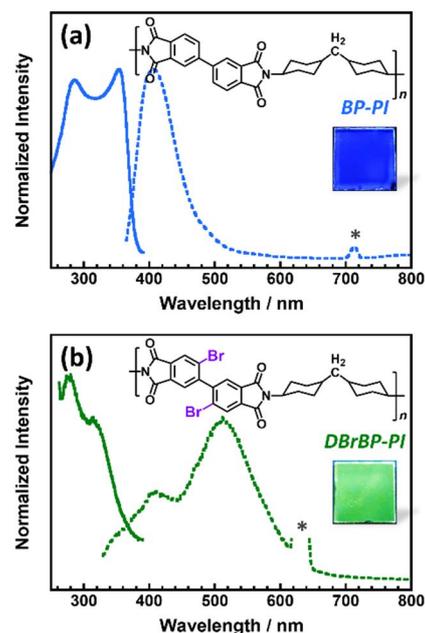


図9. 青色発光性PIと臭素含有燐光発光性PIの励起・発光スペクトルと外観比較。

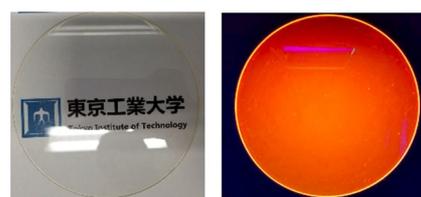


図10. 赤色発光性共重合PI(CoPI)の室内写真(無色)と紫外線(365nm)照射下の写真。

- 5 K. Kanosue and S. Ando, Fluorescence emissions of imide compounds and end-capped polyimides enhanced by intramolecular double hydrogen bonds, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2015, **17**, 30659–30669.
- 6 M. Nara, R. Orita, R. Ishige and S. Ando, White-Light Emission and Tunable Luminescence Colors of 2 Polyimide Copolymers Based on FRET and Room-Temperature-Phosphorescence, DOI:10.1021/acsomega.0c01949.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ryoji ORITA, Marius FRANCKEVIUS, Aurimas VYNIAUSKAS, Vidmantas GULBINAS, Haruki SUGIYAMA, Hidehiro UEKUSA, Kenta KANOSUE, Ryohei ISHIGE, Shinji ANDO	4. 巻 20
2. 論文標題 Enhanced Fluorescence of Phthalimide Compounds Induced by the Incorporation of Electron-Donating Alicyclic Amino Groups	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 16033-16044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CP01999A	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 該当する
1. 著者名 Eisuke FUJIWARA, Hiroshi FUKUDOME, Kazuhiro TAKIZAWA, Ryohei ISHIGE, Shinji ANDO	4. 巻 122
2. 論文標題 Pressure-Induced Variations of Aggregation Structures in Colorless and Transparent Polyimide Films Analyzed by Optical Microscopy, UV-Vis Absorption, and Fluorescence Spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B.	6. 最初と最後の頁 8985-8997
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b06423	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 Kazuhiro TAKIZAWA, Sho FUKUCHI, Chiaki TAKEMASA, Ryohei ISHIGE, Shigeo ASAI, Shinji ANDO	4. 巻 157
2. 論文標題 Enhancing Photoconductivity of Aromatic Polyimide Films by Incorporating Fluorinated Dianhydrides and Main Chain Triphenylamine Structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymer (Elsevier)	6. 最初と最後の頁 122-130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2018.10.025	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 Ignas CIPLYS, Ryoji ORITA, Shinji ANDO, Vidmantas GULBINAS	4. 巻 58
2. 論文標題 Photophysical relaxation mechanism of excited phthalimide compounds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lithuanian J. Phys.	6. 最初と最後の頁 337-345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3952/physics.v58i4.3878	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 該当する

1. 著者名 Kenta KANOSUE, Shuzo HIRATA, Martin VACHA, Ramnas AUGULIS, Vidmantas GULBINAS, Ryohei ISHIGE, Shinji ANDO	4. 巻 3
2. 論文標題 A Colorless Semi-aromatic Polyimide Derived from a Sterically Hindered Bromine-Substituted Dianhydride Exhibiting Dual Fluorescent and Phosphorescent Emission	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mater. Chem. Front. (RSC)	6. 最初と最後の頁 39-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8QM00409A	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 該当する

1. 著者名 Kenta KANOSUE, Takamichi SHIMOSAKA, Junji WAKITA, Ryohei ISHIGE, Shinji ANDO	4. 巻 10
2. 論文標題 Design and Synthesis of Multi-Colour Luminescent Polyimides with Very Large Stokes Shifts and Their Performance for Solar Spectral Conversion	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of STEPI-10	6. 最初と最後の頁 143-150
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kenta KANOSUE, Shinji ANDO	4. 巻 8
2. 論文標題 Analysis of Luminescence Properties of Phosphorescent Polyimides under Low Temperature and Vacuum Conditions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Instrument News	6. 最初と最後の頁 19-27
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mayuko NARA, Ryoji ORITA, Ryohei ISHIGE, and Shinji ANDO	4. 巻 5
2. 論文標題 White-Light Emission and Tunable Luminescence Colors of Polyimide Copolymers Based on FRET and Room-Temperature Phosphorescence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.0c01949	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 Naiqiang LIANG, Eisuke FUJIWARA, Mayuko NARA, Ryohei ISHIGE, Shinji ANDO	4. 巻 32
2. 論文標題 Photoluminescence Properties of Novel Fluorescent Polyimide based on Excited State Intramolecular Proton Transfer at the End Groups	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Photopolym. Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 449-455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.32.449	査読の有無 無
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 Yongbing ZHUANG, Ryoji ORITA, Eisuke FUJIWARA, Yu ZHANG, Shinji ANDO	4. 巻 52
2. 論文標題 Colorless Troeger 's Base-based Partially Alicyclic Polyimides Exhibiting Good Solubility and Dual Fluorescence/Phosphorescence Emission	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 3813-3824
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.9b00273	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 Amir SHARIDAN SAIRI, Kohei KUWAHARA, Shunsuke SASAKI, Satoshi SUZUKI, Kazunobu IGAWA, Masatoshi TOKITA, Shinji ANDO, Keiji MOROKUMA, Tomoyoshi SUENOBU and Gen-ichi KONISHI	4. 巻 9
2. 論文標題 Synthesis of fluorescent polycarbonates with highly twisted N,N-bis(dialkylamino)anthracene AIE luminogens in the main chain	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advance	6. 最初と最後の頁 21733-21740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9RA03701B	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 Keuk-Min JEONG, Pradip Kumar TAPASWI, Takehiko KAMBARA, Ryohei ISHIGE, Shinji ANDO, Chang-Sik HA	4. 巻 2019
2. 論文標題 Synthesis and Characterization of Photo-Conductive Polyimides Derived from a Novel Imidazole Containing Diamine	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Perform. Polym.	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/0954008319892307	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25件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Shinji ANDO, Junji WAKITA, Ryohei ISHIGE, K. KANOSUE
2. 発表標題 Multi-Color Fluorescent / Phosphorescent Polyimides Exhibiting Very Large Stokes Shifts and Their Performance for Solar Spectral Conversion (Keynote lecture)
3. 学会等名 2018 Int. Conf. Adv. Polym. Sci. Technol. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安藤 慎治
2. 発表標題 芳香族ポリマーの光・電子・熱機能化のための新しい高分子特性解析法
3. 学会等名 第392回高分子分析研究懇談会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良 麻優子・折田 良司・鹿末 健太・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 エネルギー移動に基づく共重合ポリイミドの蛍光・燐光特性制御
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安東 優太郎・藤原 瑛右・折田 良司・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 室温燐光性ポリイミド薄膜の超高压下における発光挙動の解析
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安東 優太郎・藤原 瑛右・折田 良司・石毛 亮平・安藤慎治
2. 発表標題 燐光性ポリイミド薄膜および低分子イミド化合物の超高压下における発光挙動の解析
3. 学会等名 第67回高分子学会討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良 麻優子, 折田 良司, 石毛 亮平, 安藤 慎治
2. 発表標題 フェルスター型エネルギー移動に基づく共重合ポリイミドの発光スペクトル制御
3. 学会等名 第26回日本ポリイミド・芳香族系高分子会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安東 優太郎・藤原 瑛右・折田 良司・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 室温燐光性イミド化合物の超高压下における発光挙動の解析
3. 学会等名 第26回日本ポリイミド・芳香族系高分子会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武藤 江一郎・藤原 瑛右・安東 優太郎・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 蛍光性末端基を有するポリイミドの圧力下における発光挙動の解析
3. 学会等名 第26回日本ポリイミド・芳香族系高分子会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinji ANDO, Junji WAKITA, Ryohei ISHIGE, Kenta KANOSUE
2. 発表標題 Multi-Color Fluorescent / Phosphorescent Polyimides with Very Large Stokes Shifts and Their Performance for Solar Spectral Conversion
3. 学会等名 Danube Vltava Sava Polymer Meeting (Wien, Invited) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shinji ANDO, Junji WAKITA, Ryohei ISHIGE, K. KANOSUE
2. 発表標題 Multi-Color Fluorescent / Phosphorescent Polyimides Exhibiting Very Large Stokes Shifts and Their Performance for Solar Spectral Conversion (Keynote lecture)
3. 学会等名 2018 Int. Conf. Adv. Polym. Sci. Technol. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 折田 良司・鹿末 健太・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 かさ高い電子供与性置換基を導入したフタルイミド化合物の蛍光特性制御
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鹿末 健太・安藤 慎治
2. 発表標題 重ハロゲンの立体効果による凝集状態制御を基盤とした高透明・室温燐光性ポリイミド
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 折田 良司・鹿末 健太・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 高い電子供与性を有する環状アミンの導入を基盤とする高蛍光性ポリイミドの光学特性制御
3. 学会等名 第25回ポリイミド・芳香族系高分子会議
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奈良 麻優子・折田 良司・鹿末 健太・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 フェルスター型エネルギー移動に基づく共重合ポリイミドの蛍光・燐光特性制御
3. 学会等名 第25回ポリイミド・芳香族系高分子会議
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shinji ANDO
2. 発表標題 Multi-color Fluorescent/Phosphorescent Polyimides Exhibiting Very Large Stokes Shifts and Their Application For Solar Spectral Conversion
3. 学会等名 Symp. ICL-TokyoTech Plastic Electronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinji ANDO, Mayuko NARA, Yutaro ANDO, Kenta KANOSUE, Ryohei ISHIGE
2. 発表標題 Polyimides and Imide Compounds Exhibiting High Optical Transparency and Enhanced Phosphorescence Emission under Atmospheric and Very High Pressure
3. 学会等名 STEP1-11 (Montpellier, France) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naiqiang LIANG, Eisuke FUJIWARA, Mayuko NARA, Ryohei ISHIGE, Shinji ANDO
2. 発表標題 Photoluminescence Properties of Novel Fluorescent Polyimide based on Excited State Intramolecular Proton Transfer at the End Groups
3. 学会等名 Photopolym. Sci. Technol. Conf. (Chiba, Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安東 優太郎・藤原 瑛右・折田 良司・石毛 亮平・M. Franckeviius・A. Vysniauskas・V. Gulbinas・安藤 慎治
2. 発表標題 超高圧下での発光寿命測定に基づく燐光性ポリイミド薄膜および低分子イミド化合物の発光挙動と凝集状態の相関解析
3. 学会等名 高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良 麻優子・折田 良司・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 分子鎖末端に臭素を導入したポリイミド薄膜の室温燐光特性と光物理過程の解析
3. 学会等名 高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naiqiang Liang, Eisuke Fujiwara, Mayuko Nara, Ryohei Ishige, Shinji Ando
2. 発表標題 Photoluminescence Properties of Novel Fluorescent Polyimide based on Excited State Intramolecular Proton Transfer at the End Groups
3. 学会等名 高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良 麻優子・藤原 瑛右・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 温度可変発光スペクトル測定に基づく高発光性ポリイミドの蛍光・燐光特性解析
3. 学会等名 光化学討論会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naiqiang Liang, Mayuko Nara, Eisuke Fujiwara, Ryohei Ishige, Shinji Ando
2. 発表標題 Highly Transparent and Orange Fluorescent Polyimide Copolymers based on Excited Intramolecular Proton Transfer in the Main Chain
3. 学会等名 高分子学会討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田淵 敦子・奈良 麻優子・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 赤/白色励起状態プロトン移動蛍光を示す末端修飾ポリイミドに向けた蛍光性化合物の合成と光学物性
3. 学会等名 日本ポリイミド・芳香族系高分子会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土井 真里奈・武藤 江一郎・奈良 麻優子・梁 乃強・藤原 瑛右・石毛 亮平・安藤 慎治・佐野 浩介・森 浩章
2. 発表標題 ナフタレン骨格を有する燐光発光性イミド化合物の発光特性解析
3. 学会等名 日本ポリイミド・芳香族系高分子会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良 麻優子・藤原 瑛右・石毛 亮平・安藤 慎治
2. 発表標題 温度可変発光スペクトル測定に基づく高蛍光性ポリイミドの発光特性解析
3. 学会等名 日本ポリイミド・芳香族系高分子会議
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Shinji ANDO	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Univ. Montpellier	5. 総ページ数 222 (分担)
3. 書名 STEPI-10, 10th Polyimides and High Performance Polymers	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>安藤慎治研究室へようこそ http://www.op.titech.ac.jp/polymer/lab/sando/index.htm</p>
--

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	石毛 亮平 (Ishige Ryohei) (20625264)	東京工業大学・物質理工学院・助教 (12608)	