

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12608  
 研究種目：若手研究(A)  
 研究期間：2014～2016  
 課題番号：26708010  
 研究課題名(和文)10秒を超える室温長寿命励起子による非コヒーレント光応答型非線形吸収材料の構築  
  
 研究課題名(英文)Large reverse saturable absorption at sunlight power level using ultralong lifetime of triplet excitons  
  
 研究代表者  
 平田 修造(Hirata, Shuzo)  
  
 東京工業大学・物質理工学院・助教  
  
 研究者番号：20552227  
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では太陽光レベルの光強度で光強度の増加とともに吸光度が増加する非線形吸収材料の実現を目指した。高対称性の2次元性の縮環芳香族を超強直媒体に分散した材料では大きな三重項形成効率と10秒を超える室温励起三重項寿命が得られた。その結果50 mW/cm<sup>2</sup>以下の光強度下で十分な励起子の蓄積が可能となった。さらに高対称性の2次元性の縮環芳香族ではその対称性の高さによって、基底状態から最低励起一重項状態の吸収断面積が小さい一方で、三重項三重項吸収の吸収断面積は大きな値が得られた。結果的として50 mW/cm<sup>2</sup>以下の光強度下で光強度の増加に伴い大きく吸光度が増加する非線形吸収材料を実現するに至った。

研究成果の概要(英文)：Large reverse saturable absorption (RSA) at sunlight power level was observed from a host-guest amorphous material composed of d12-coronene as a guest and -estradiol as a rigid amorphous host. Large highly symmetric two dimensional (2D) aromatic structure of d12-coronene doped into the rigid host causes ultralong triplet lifetime as well as high triplet yield, serving efficient accumulation of the triplet excitons of d12-coronene under weak excitation light. The high absorption coefficient of the triplet state ( $\epsilon_{34}$ ) compared with that of the ground state ( $\epsilon_{01}$ ) for d12-coronene is also caused by the highly symmetric 2D aromatic structure. The efficient accumulation of the triplet excitons and high  $\epsilon_{34}/\epsilon_{01}$  led to an onset of the RSA characteristics under irradiance below 10<sup>-1</sup> mW cm<sup>-2</sup>. An film of the amorphous material showed a large decrease of transmittance from 66% at 0.02 mW cm<sup>-2</sup> to 24% at 50 mW cm<sup>-2</sup> for continuous light at 405 nm.

研究分野：光物理化学

キーワード：三重項 非線形吸収 逆過飽和吸収 光制限効果 オプティカルリミット 室温りん光 多段階励起 ステロイド

1. 研究開始当初の背景

逆過飽和吸収型の非線形吸収特性は、光強度の増加に伴う励起状態の蓄積が生じ、その励起子がより効率よく光を吸収することにより生じる現象である。しかし、**従来の材料の励起状態寿命は1ミリ秒以下と短いために、大型で強いパルスレーザーを用いないと励起子の蓄積が生じず非線形吸収特性が得られない**。一方で研究代表者は非晶ステロイドホスト中に芳香族ゲストをドープした場合、芳香族ゲストの室温での励起三重項寿命( $\tau$ )が通常の1000倍以上に伸び、結果的に1秒以上の長寿命の三重項励起子が室温大気中で得られることを発見している (S. Hirata *et al.*, *Adv. Funct. Mater.* **2013**, *23*, 3386)。この長い励起状態寿命を用いれば、太陽光などの弱い非コヒーレント連続光を用いても励起子を効率よく蓄積させることができ、非線形吸収機能が得られると考えられる。

2. 研究の目的

研究代表者は**屋内の光では着色せず屋外の太陽光で強く着色する非線形吸収材料を目指す**。具体的には上記機能を得るために、 $<0.1 \text{ mW/cm}^2$  の光強度では吸光度が0.2以下(30%以下の光吸収に相当)、 $50 \text{ mW/cm}^2$  の光強度(太陽光の可視域全体の光強度に相当)では吸光度が0.7以上(80%以上の光吸収に相当)を示す材料を目指す。

3. 研究の方法

(1)制御すべきパラメータの説明

目的を達成するためには、理論的には材料の以下の2つの因子を大きくする必要がある。

励起子の蓄積能力:  $\Phi_T \tau$

非線形吸収能力:  $\sigma_{34} - \sigma_{01}$

ここで、 $\Phi_T$  は光吸収後に形成される三重項励起子の形成効率、 $\sigma_{34}$  は  $T_1 \rightarrow T_n$  の吸光係数、 $\sigma_{01}$  は  $S_0 \rightarrow S_1$  の吸光係数である。上記2つの因子を大きくするためには、以下の(i)から( )のパラメータを制御することが重要となる。

- ( )  $\sigma_{01}$  が小さな値を持つ(0では駄目)
- ( )  $\Phi_T$  を1.0に近づける
- ( )  $\tau$  を大きくする
- ( )  $\sigma_{34} - \sigma_{01}$  を大きくする

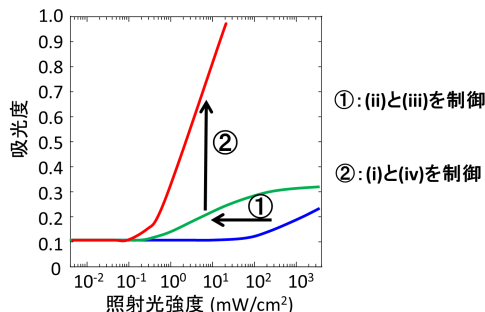


図1 (i)から(iv)のパラメータが吸光度と照射光強度の関係に与える影響

(i)は最初の光吸収過程が生じるために必要

不可欠である。さらに(ii)および(iii)を制御すれば、より弱い光で三重項励起子が蓄えられやすくなり、図1のように  $\sigma_{34} - \sigma_{01}$  が正の値を持てば光照射により非線形吸収による吸光度の上昇が生じる。また、(iv)の条件の通り  $\sigma_{34}$  が  $\sigma_{01}$  に対して大きな材料では、図1のように光強度の増加に対してより大きく吸光度が増加する。

(2)作成した2タイプの材料

図2に示すように、D1を三重項光増感ドナー(D)として、A1を重水素化芳香族アゲスト(A)として、超強直性非晶ホストである $\beta$ -estradiol中にこれらをドープした材料(sample 1)と0.3 wt%の $d_{12}$ -coroneneを $\beta$ -estradiol中にドープした材料(sample 2)を作成した。各々のホストゲスト材料では、一度材料を200にまで加熱し $\beta$ -estradiolを融解し、それにゲストを溶解させ、その後ガラス転移温度以下の室温まで急冷することでホストゲストの非晶材料を作成した。

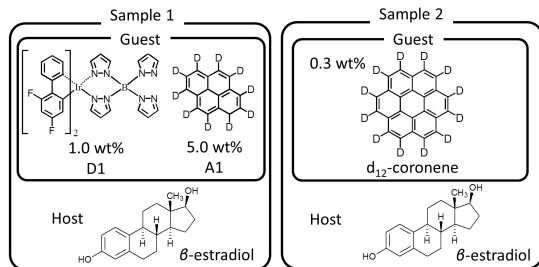


図2 非線形吸収特性を得るために設計した材料の概要

(3)非線形吸収特性の検証

Sample 1の粉末を積分球に入れて、拡散反射法により吸光度を測定した。まずキセノンランプからの光に含まれる紫外線をロングパスフィルターでカットし、白色光のみを積分球中の材料粉末に絞って照射し、材料粉末から反射された光を積分球で拡散させて検出器であるCCDに入れて検出した。次に、材料を入れずに同様の測定を行いベースとなる反射光を測定した。この2つの差を考慮することで、材料の吸光度を算出した。

次にsample 1や2のガラス薄膜をガラス基板上に作成した素子を作製した。半導体レーザーからの405 nmの光をその薄膜に照射し、その強度をNDフィルターで増加させながら薄膜の透過率を測定した。またその際の吸収スペクトルの変化および透過率の変化を重水素キセノンランプとCCDにより測定した。

4. 研究成果

(1)DとAの共ドープ型材料(Sample 1)

図3はsample 1の粉末の吸光度と照射された白色光強度の関係である。白色光が弱い時( $0.1 \text{ mW/cm}^2$ )は400から450 nmにかけて弱い吸収を示し、青い光がわずかに吸収されるために薄い黄色に見える(図3の(I)の写真)。一方で白色光の強度の増加とともに400から

450 nm にかけての吸光度が大きく増加した (図 3 の(II)→(IV))。この状態では白色光に含まれる青色領域の光のみ強く材料に吸収されるようになるため、吸収されずに反射された光の色調である橙色の色調が強くなっていった (図 3 の(II)→(IV)の写真)。このような非コヒーレント光による大きな非線形吸収機能は初めて達成された機能である。

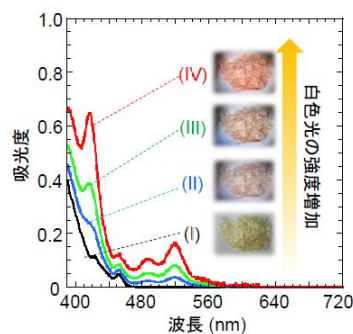


図 3 非コヒーレント光に応答する非線形吸収材料の非線形吸収特性。

図 4 の上段は D1 と A1 の基底状態( $S_0$ )および最低励起三重項状態( $T_1$ )からの吸収スペクトルである。また図 4 の下段は D1 と A1 のりん光スペクトルである。

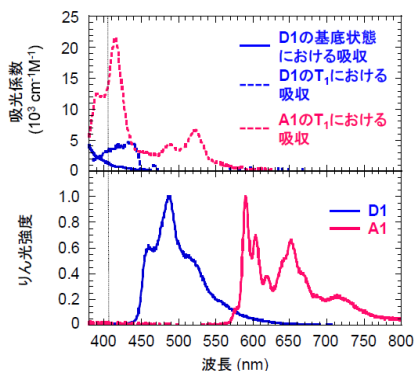


図 4 D1 と A1 の吸収スペクトル(上段)とりん光スペクトル(下段)

図 5 は図 4 の光学スペクトルから考察される sample 1 の非線形吸収のメカニズムを説明するための図である。A1 は紫外域のみの吸収しか示さない (図 4 上段) ので、可視光が材料中に照射されると可視光は D1 にのみ吸収される (図 5(a)の )。次に、D1 は重原子を有しているため重原子効果が強く働き、最低励起一重項状態( $S_1$ )から  $T_1$  への 100% の項間交差が生じる (図 5(a)の )。そして、A1 は D1 よりも低い  $T_1$  エネルギーを有する (図 4 の下段) ため、D の  $T_1$  から A の  $T_1$  へエネルギー移動が生じ (図 5(a)の ) A の  $T_1$  が形成される。A は平面性が高く軽元素のみからなる芳香族化合物であるため、ヒドロキシステロイド中では 1 秒以上の長い  $\tau$  を有する。それゆえ、A の三重項励起子が材料中に蓄積されていく (図 5(b))。この A の三重項励起子は、 $T_1$  から  $T_n$  への新たな吸収を示すように

なるが、その吸光係数は非常に大きい (図 5(a)の、図 4 の上段)。結果的に可視光の照射光強度の増加とともに青色領域の材料の吸光度が増加し、青色の光が材料から反射しにくくなることで橙色が濃くなっていく。

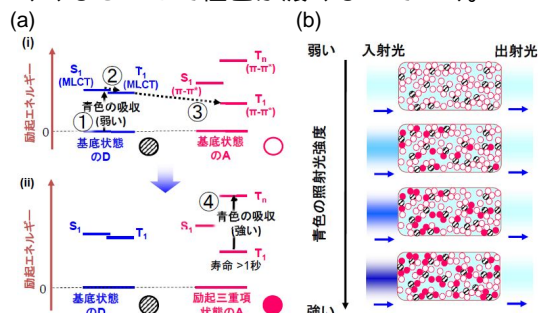


図 5 非線形吸収メカニズムの説明。(a) Jablonski 図による説明。(b) A の励起子蓄積の様子イラストレーションによる説明。

図 6 は 405 nm の光の照射強度を増加させた時に sample 1 からなる薄膜において観測される過渡吸収スペクトルやその時間変化である。図 6(a)に示す通り、照射光強度を 10  $mW/cm^2$  から 100  $mW/cm^2$  まで照射強度を増加させると 400 nm から 550 nm まで吸収が増加する。この増加したスペクトルの形状は照射光強度に依存せず、その形状は図 4 の上段の A1 の  $T_1$  の吸収スペクトルに類似している。それゆえ、白色光に含まれる青色光の強度の増加とともに A1 の  $T_1$  が材料中で蓄積されていくことで非線形吸収特性が発現していることがわかる。また、図 6(b)は時間 0-2 秒までは弱い 405 nm の青色光を照射し、時間 2 秒の時に瞬間的に強い 405 nm の光に切り替え、時間 6.8 秒の時に再び弱い 405 nm の光に切り替えた場合の 405 nm の吸光度の変化である。時間 2 秒で強い光を照射すると、照射強度を強くするほど吸光度が増加していることがわかる。さらに時間 6.8 秒後に強い光の照射から急激に光の強度を弱くすると寿命 1.4 秒のディケイを有して初期の吸光度に戻り、この時間は A1 の弱い室温りん光の寿命と同じである。それゆえ A1 の蓄積により吸光度の増加が生じていることが裏付けら

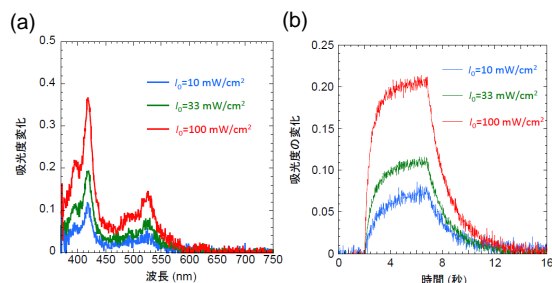


図 6 Sample 1 からなる薄膜の非線形吸収特性の詳細。(a)異なる強度の 405 nm の光が薄膜に照射された時の定常状態における吸光度変化。(b)異なる強度の 405 nm の光が薄膜に照射された時の吸光度の時間変化。

れ、A1 は青色光を吸収しないことから、D1 からの三重項三重項エネルギー移動により、A1 の  $T_1$  が形成されていることが確認された。

上記に記載の通り図4記載のメカニズムで非コヒーレント連続光による非線形吸収機能が発生していることが確認された。研究代表者はさらに**さまざまなDとAを合成してそのさまざまな組み合わせを評価し、青色から緑色にわたるまでの非コヒーレント連続光による非線形吸収機能を実現**した。以上の研究は *Nat. Mater.* **2014**, *13*, 938 を中心とする10件の論文に報告済みである。しかし、これらの非線形吸収材料では大きな非線形吸収特性を得るために  $1 \text{ W/cm}^2$  という**I補償**が必要になり、太陽光などの  $40 \text{ mW/cm}^2$  と比較すると依然大きな**I補償**が必要となっている。それゆえ、 $\Phi_T$ ,  $\tau$ , そして  $\sigma_{34}-\sigma_{01}$  がより大きくなるような材料設計が必要となる。Sample 1 のようにDとAを用いたタイプの非線形吸収材料では、DからAへの三重項光増感を利用して  $\Phi_T$  を大きくするためにAの濃度を大きくする必要があった。しかし、これは濃度消光につながり、 $\tau$  が小さくなることに繋がる。それゆえ、単一の芳香族ゲスト系で  $\Phi_T$ ,  $\tau$ , そして  $\sigma_{34}-\sigma_{01}$  がより大きくなるような材料設計が見いだされれば、より弱い連続光で非線形吸収機能が得られる。

## (2) 単一ゲスト系の非線形吸収特性

図7は sample 2 と sample 1 の 405 nm における吸光度や透過率の入射光強度依存性である。図7aに示すように、Sample 1 および2とも十分青色光強度が弱い場合は、0.2程度の吸光度を示す。DとAからなる材料システムである Sample 1 では  $10 \text{ mW/cm}^2$  以上でないと明確な吸光度の上昇が確認されないのに対して、Sample 2 は  $0.1 \text{ mW/cm}^2$  付近から吸光度が増加する。太陽光強度レベルである  $50 \text{ mW/cm}^2$  では0.65まで405 nmにおける吸光度が上昇した。図7bは透過率変化であるが、入射光強度が弱い時は66%の透過率を示した一方で、 $50 \text{ mW/cm}^2$  の強度では24%まで減少した。**このような太陽光レベル強度の連続光による大きな非線形吸収特性やそれを用いた調光特性の報告はこれまでに実現されてこなかった材料特性の領域に相当する。**

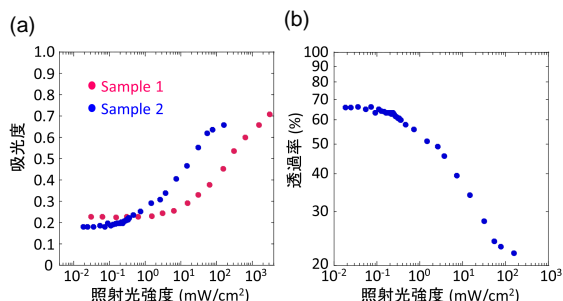


図7 (a) Sample 1 および2の材料薄膜の非線形吸収特性, (b) Sample 2の材料薄膜のオプティカルリミッティング特性。

このような太陽光レベルの光強度で非線形吸収特性が得られた理由は、大きな  $\Phi_T$  と  $\sigma_{34}-\sigma_{01}$  が得られたことによるものである。研究代表者はさらに **d<sub>12</sub>-coronene などの高対称性の2次元性の縮環芳香族を超強直媒体に分散した材料では大きな  $\Phi_T$  と  $\tau$  と  $\sigma_{34}-\sigma_{01}$  が同時に得られることを明らかにした。**

高対称性の大きな2次元性の縮環芳香族は、図8のように電子構造も対称性が高いため、対称則により  $S_0$  から  $S_1$  の振動子強度が小さくなる。それゆえ  $\sigma_{01}$  が小さくなる。一方で、TT吸収では可視域において非対称性の軌道から成る電子遷移が存在し、 $T_1$  から  $T_n$  への電子遷移では電子軌道の重なりも大きいため  $\sigma_{34}$  が通常値を持つ。結果として  $\sigma_{34}-\sigma_{01}$  の値が大きくなる。それゆえ  $\Phi_T$   $\tau$  の値も大きい三重項励起子が効率よく蓄積されるような材料であれば弱い光で大きな吸収の増加が得られる。

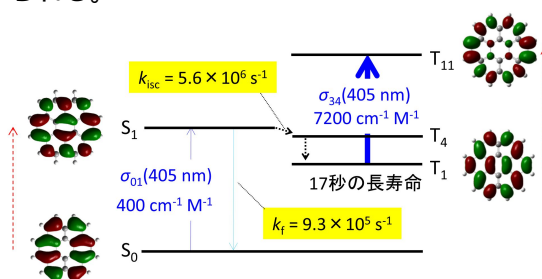


図8 ヤブロンスキー図を用いた高対称性の2次元性の縮環芳香族が大きな  $\Phi_T$  と  $\sigma_{34}-\sigma_{01}$  を有する理由の説明。赤色の点線矢印は遷移双極子モーメントを示す。

高対称性の2次元性の縮環芳香族は大きな  $\Phi_T$  を得る上でも好適である。対称性が高い場合  $S_1$  状態における電子構造も対称性が高い。結果として  $S_1$  から  $S_0$  の蛍光速度定数も対称則により十分遅くなる。結果的に  $S_1$  から  $T_1$  への項間交差速度が速くなくても、その項間交差が効率よく生じる。

高対称性の2次元性の縮環芳香族は  $T_1$  におけるスピン軌道相互作用および振電相互作用が小さいために強直なホスト中にドーブされた時に長い  $\tau$  が得られることも明らかになった。例えば、図9は  $d_{12}$ -coronene と  $d_{12}$ -chrysene と  $d_{10}$ -pyrene を 0.3 wt% の濃度で  $\beta$ -estradiol 中にドーブした時のそれぞれの分

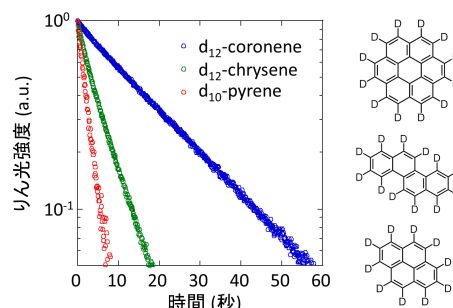


図9  $d_{12}$ -coronene と  $d_{12}$ -chrysene と  $d_{10}$ -pyrene の  $\beta$ -estradiol での室温りん光ディケイ。

子の  $\tau$  であるが、大きな違いが観測される。図 9 で用いた  $d_{12}$ -coronene では  $\beta$ -estradiol 中で 17 s もの長い  $\tau$  が室温大気中で得られる。 $\beta$ -estradiol のような超強直媒体中では、ホストの熱運動やホスト中での酸素の拡散による失活( $k_q$ )が十分抑制される。さらにりん光収率が小さいことからりん光速度定数も小さいため、 $\tau$  は  $T_1$  からの芳香族ゲストの熱振動に由来した失活速度( $k_{nr}$ )によって  $\tau=1/k_{nr}$  で決定される。それゆえ、 $\tau$  の違いは  $k_{nr}$  の違いにより生じている。

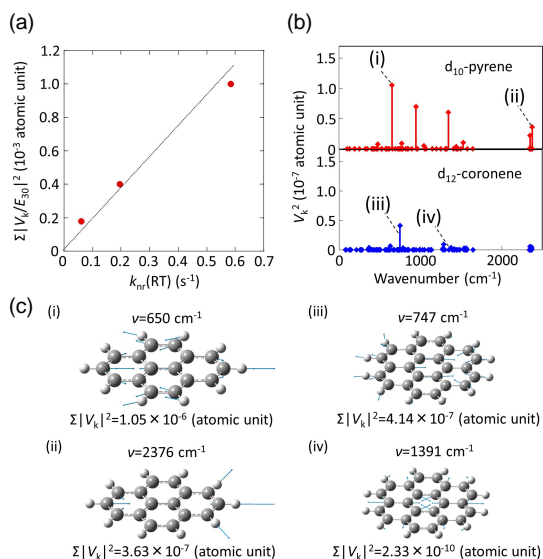


図 10 強直環境下での  $d_{12}$ -coronene と  $d_{12}$ -chrysene と  $d_{10}$ -pyrene の  $T_1$  からの振動由来の失活速度。(a)  $\Sigma|V_k/E_{30}|^2$  と  $k_{nr}$  の関係。(b)  $|V_k|^2$  の周波数依存性。(c)  $T_1$  状態での具体的な振動モードと  $|V_k|^2$  の値。

このような  $k_{nr}$  の違いは、 $T_1$ - $S_0$  遷移における振電相互作用( $|V_k|^2$ )と  $T_1$  1 軌道 ( $E_{30}$ ) を用いた  $|V_k/E_{30}|^2$  の因子で説明することが可能である。図 10a は  $\beta$ -estradiol 中で  $d_{12}$ -coronene と  $d_{12}$ -chrysene と  $d_{10}$ -pyrene の  $\Sigma|V_k/E_{30}|^2$  と  $k_{nr}$  の関係であるが比例関係にあることが確認されている。3 つの化合物の  $E_{30}$  は同等であるため、 $|V_k|^2$  の違いが  $\tau$  に直接的に影響している。 $d_{12}$ -coronene では  $|V_k|^2$  が小さいために、 $\tau$  が大きくなっている。図 10b は  $d_{12}$ -coronene と  $d_{10}$ -pyrene の  $|V_k|^2$  の周波数依存性である。 $d_{10}$ -pyrene の  $|V_k|^2$  が大きくなる理由は、C-C の面内振動に主に起因しており、 $|V_k|^2$  が大きい振動は中でも非対称な C-C の面内伸縮振動に起因している(図 10c の(i))。一方で、 $d_{12}$ -coronene では、 $747\text{ cm}^{-1}$  に一つだけ非対称の面内 C-C 伸縮振動に由来する大きな  $|V_k|^2$  が存在するのみで(図 10c の(iii))、他の C-C 面内振動は対称的であり、 $T_1$ - $S_0$  遷移に係る電子軌道の重なり成分に対してそれらの振動成分が打ち消しあう関係となるため  $|V_k|^2$  が抑制される(図 10c の(iv))。このような数多くの対称的な面内 C-C 伸縮振動は、高い 2 次元対称性に起因しているため、**高対称性の大きな**

**2 次元性の縮環芳香族の構造自体が三重項励起子の失活の抑制に寄与しており、これにより長い  $\tau$  が得られていることが明確になった。**

以上から **対称性が高い大きな 2 次元性の縮環芳香族化合物を超強直媒体にドープすることによって、 $\phi_{T_2}$ ,  $\tau$ , そして  $\sigma_{34}-\sigma_{01}$  の全てを大きくすることができる。** 実際ヘキサベンゾコロネン誘導体などでも青色域での大きな非線形特性が弱い光照射により観測されている。Sample 2 を中心とする結果は現在論文審査中である。

以上、**超強直な非晶ホストを用いて長い励起状態を形成し、その光物理因子を制御することで、太陽光のような弱い光照射強度で吸光度が増加する非線形光学材料の構築に成功した。また、そのような特性が得られるための一つの材料設計の提案にも成功した。** 従来の非線形吸収材料は大型で高額なパルスレーザーにしか応答しないため身の回りで広く使われる形に発展していない。昨今の有機 EL のように産業界に広く使われ始める技術に成長させるためには、太陽光や LED などの安価で小型な光源の光強度領域で物性値を大きく制御する必要がある。このような**非コヒーレント光に応答する材料では、点ではなく面状に物性値を変化させることができるためさまざまな、例えば周囲の明るさに応じて色の濃さが変化する非線形吸収剤やそのような材料を用いた調光素子など産業的用途が期待される。** さらに、励起子の蓄積は吸収だけでなく屈折率やスピン状態の変化を生み出すと考えられる。それゆえ**本研究は、今後の非コヒーレント光応答型の非線形光学材料とその応用の土台を構築していく上で重要な研究成果になると考えられる。**

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)

[雑誌論文](計 10 件)

- 1) S. Hirata\*, Recent advances in materials with room temperature phosphorescence: Photophysics for triplet exciton stabilization, *Adv. Opt. Mater.*, in press, doi: adom.201700116. 査読有.
- 2) K. Narushima, S. Hirata\*, M. Vacha\*: Nanoscale triplet exciton diffusion via imaging of upconversion emission from single hybrid nanoparticles in molecular crystals, *Nanoscale*, in press. 査読有.
- 3) K. Kamada\*, Y. Sakagami, T. Mizokuro, Y. Fujiwara, K. Kobayashi\*, K. Narushima, S. Hirata, M. Vacha: Efficient triplet-triplet annihilation upconversion in binary crystalline solids fabricated by solution casting and operated in air, *Mater. Horiz.*, 4, 83-87(2017). 査読有.
- 4) S. Hirata\*, M. Vacha: White afterglow room temperature emission from isolated single aromatic unit in air, *Adv. Opt. Mater.*, 5,

- 1600996 (2017). 査読有.
- 5) **S. Hirata\***, M. Vacha: Circularly polarized persistent room-temperature phosphorescence from chiral aromatics in air, *J. Phys. Chem. Lett.*, **7**, 1539-1545 (2016). 査読有.
  - 6) **S. Hirata\***, M. Vacha: Large transmittance change induced by exciton accumulation under weak continuous photoexcitation, *Adv. Opt. Mater.*, **4**, 297-305 (2016). 査読有.
  - 7) Y. Katsurada, **S. Hirata\***, K. Totani, T. Watanabe, M. Vacha: Photoreversible on-off recording of persistent room-temperature phosphorescence, *Adv. Opt. Mater.*, **3**, 1726-1737 (2015). **Back Cover, Highlighted by Materials Views, Feb. 17, 2016.** 査読有.
  - 8) Y. Tsubomoto, **S. Hirata\***, K. Totani, M. Vacha, T. Watanabe: Long-lived triplet excitons allowed by intermolecular hydrogen bonding in amorphous matrix, *J. Photo. Sci. Tech.*, **28**, 573-577 (2015). 査読有.
  - 9) **S. Hirata\***, K. Totani, T. Yamashita, C. Adachi, M. Vacha\*: Large reverse saturable absorption under weak continuous incoherent light, *Nat. Mater.* **13**, 938-946 (2014). **Highlighted by Nat. Mater., 13, 917-918 (2014).** and **Noteworthy Chemistry, Oct. 27 (2014).** 査読有.
  - 10) **S. Hirata\***, K. Totani, H. Kaji, T. Watanabe, M. Vacha: Relationship between room temperature phosphorescence and deuteration position in a purely aromatic compound, *Chem. Phys. Lett.*, **591**, 119-125 (2014). 査読有.

〔学会発表〕(計 12 件)

- 1) **S. Hirata**, Extraction of unique emission and absorption characteristics by stabilization of triplet excitons, The 97th CSJ Annual Meeting, Asian International Symposium-Photochemistry, 3E7-30, Yokohama, Japan, Mar. 18, 2017 (Invited Talk).
- 2) **平田修造**, 励起三重項を経由したルミネッセンスの科学と応用, シンポジウム“超短パルスレーザーと機能性材料 物性評価と応用への新展開, 大阪, 2016 年 11 月 12 日 (招待講演).
- 3) **S. Hirata**, White afterglow room temperature emission from isolated single aromatic unit, International Symposium on Integrated Molecular/Materials Science and Engineering (IMSE2016), Qingdao, China, Oct. 14, 2016 (Invited Talk).
- 4) **平田修造**, 非共役系有機媒体の超剛直性を利用した芳香族分子の新規光機能, 平成 28 年度繊維学会秋季研究発表会, 若手産学交流セッション, 1B05, 山形, 2016 年 9 月 21 日 (招待講演).
- 5) **S. Hirata**, M. Vacha, Persistent room temperature phosphorescence from

- non-polar pure aromatic crystals, Annual Meeting on Photochemistry 2016, 3P003, 東京, 2016 年 9 月 8 日 (ポスター講演).
- 6) **S. Hirata**, Large reverse saturable absorption under weak continuous incoherent light, MRS Spring Meeting, EP9-3-03, Arizona, USA, Mar. 30, 2016 (Invited Talk).
  - 7) **平田修造**, スーパーハードな環境下での芳香族化合物からの新規光機能の開拓, 第 96 回日本化学会春季年会, 進歩賞受賞講演, A1476, 京都, 2016 年 3 月 26 日 (招待講演).
  - 8) **S. Hirata**, M. Vacha, Large transmittance change induced by exciton accumulation under weak continuous photoexcitation, Annual Meeting on Photochemistry 2015, 2P80, Osaka, Sep. 10, 2015 (Poster).
  - 9) **S. Hirata**, Large nonlinear absorption under weak continuous incoherent light using long-lived room temperature excitons, The 32 nd International Conference of Photopolymer Science and Technology, A-72, Chiba, Japan, Jun. 26, 2015 (Invited Talk).
  - 10) **平田修造**, 室温長寿命励起子を用いた光機能性材料の開発, 日本化学会第 95 回春季年会若い世代の特別講演会, 3A-26, 千葉, 2015 年 3 月 26 日 (招待講演).
  - 11) **平田修造**, 室温長寿命励起子を利用した非コヒーレント光に応答する非線形吸収材料の開発, 高分子同友会, 東京, 2015 年 2 月 12 日 (招待講演).
  - 12) **平田修造**, バッハマーティン, 非コヒーレント光に応答する非線形吸収材料の三重項励起子の蓄積機構, 2014 年度光化学討論会, 2E-05, 札幌, 2014 年 10 月 13 日 (口頭講演).

〔図書〕(計 5 件)

- 1) **平田修造**, 分子性室温りん光と三重項の光物理化学, 光化学協会誌, Vol. 84, No. 2, pp. 84-91, 光化学協会 (2016).
- 2) **平田修造**, 室温長寿命励起子を利用した光機能材料の開発, 化学と工業, Vol. 11, pp. 575-577, 公益財団法人日本化学会 (2015).
- 3) **平田修造**, 室温りん光, 先端 有機半導体デバイス—基礎からデバイス物性まで—, 第 6 章 1 項, pp. 602-609, オーム社 (2015).
- 4) **平田修造**, 長い励起状態を利用した光機能性材料, 月刊機能材料, Vol. 35, No. 4, pp. 41-48, シーエムシー出版 (2015).
- 5) **平田修造**, 光化学の事典, pp. 42-43, 朝倉書店 (2014).

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
平田 修造 (HIRATA SHUZO)  
東京工業大学物質理工学院・助教  
研究者番号: 20552227