卟啉-二芳基乙烯分子的合成及其无损读取性能

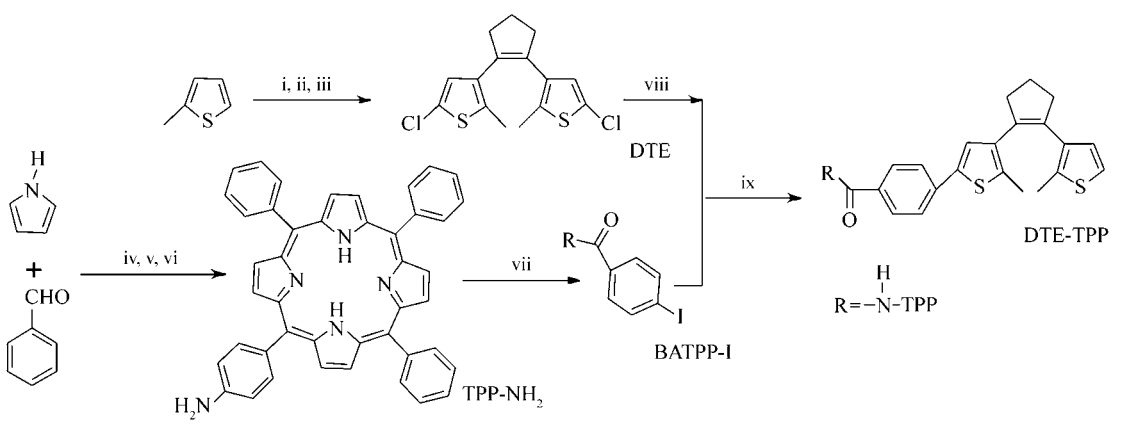
刘　成　胡炳成*　余传明　李济婷
（南京理工大学化工学院　南京 210094）

摘　要　二噻吩乙烯是一类性能优良的有机光致变色化合物，在信息储存领域具有广阔的应用前景，本文以2-甲基噻吩、苯甲醛和吡咯为原料，经过多步反应合成了 1-(2-甲基-3-噻吩基)-2-{2-甲基-5-{4-[4-(10,15,20-三苯基-5-卟啉基)苯基]氨基羰基苯基}-3-噻吩基}环戊烯(DTE-TPP)，其结构经核磁共振波谱仪(NMR)、质谱(MS)和傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)表征确认，通过紫外-可见光谱研究了化合物的光致变色性能、抗疲劳性，并辅以荧光光谱探究了化合物的无损读取功能。结果表明，该化合物在 254 和 660 nm 的光照射下，发生可逆的光致变色反应，重复光照 8 次后其紫外-可见光谱与初始谱图相比无明显差异，显示出良好的抗疲劳性；当激发光为 520 nm 时，开、闭环异构体有较高的荧光对比度，有望实现数据的无损读取。

关键词　卟啉；二噻吩乙烯；光致变色；无损读取
中图分类号：O626　　文献标识码：A　　文章编号：1000-0518(2017)05-0527-07
DOI：10.11944/j.issn.1000-0518.2017.05.160313

光致变色现象指在一定波长的光(如紫外光)照射下，光致变色化合物由一种结构(如开环异构体)转变为另一种结构(如闭环异构体)，在另一波长的光(如可见光)照射下，化合物又会恢复到初始状态，两种异构体在结构、紫外-可见光谱以及荧光光谱等物理性质方面会表现出差异性[1]。将该化合物的开、闭环异构体对应二进制信息中的“0”和“1”，即可用于光信息存储器件中[2-3]。光致变色化合物种类繁多[4]，其中二芳基乙烯，尤其是二噻吩乙烯类化合物因具有优秀的耐疲劳性、良好的热稳定性、灵敏的光反应性等优点[5-6]而成为研究热点[7-9]。二噻吩乙烯类化合物可采用全光子模式，有望实现海量信息的超高速存储，其中的关键是信息读取时对两种异构体的准确识别和避免光异构化反应的发生。

信息读取的方法众多，其中荧光调控读取信息因具有响应速度快、灵敏度高、简便易操作等优



Scheme 1　Synthetic route of the DTE-TPP

Reagents and conditions: (i) NCS, AcOH, C_6H_6; (ii) glutaryl dichloride, $AlCl_3$, CS_2; (iii) Zn, $TiCl_4$, THF, N_2, reflux; (iv) $EtCO_2H$, reflux; (v) $HNO_3 \cdot NO_2$, $CHCl_3$, RT; (vi) $HCl \cdot con$, $SnCl_2 \cdot 2H_2O$, 65 ℃; (vii) 4-Iodobenzoyl chloride, TEA, DCM, N_2, rt; (viii) *n*-BuLi, $B(OBu)_3$, THF, N_2, rt; (ix) $Pd(PPh_3)_4$, Na_2CO_3, ethylene glycol, H_2O, THF, N_2, reflux

2016-08-09 收稿，2016-10-31 修回，2016-11-28 接受
通讯联系人：胡炳成，教授；Tel：025-84315030；E-mail：hubingcheng210094@163.com；研究方向：有机化学

点[10-11]而被科学家们广泛采用。由于二噻吩乙烯本身不具备发射荧光的能力,因此需要引入发色团。卟啉类化合物[12-13]具有良好的光、热稳定性和光电性能,在其特征S带或Q带光激发下能发射出强烈荧光,在光敏剂、光染料、光电池等领域已展现出了广阔前景,是一类理想的发色团,已被用于二噻吩乙烯类化合物的改性[9,14-16],如Tyler等[17]将含吡啶基的二噻吩乙烯与金属卟啉通过配位的方式相连接,合成了一种自组装分子,并在无损读取方面取得了较为理想的结果。基于此,本文设计合成并表征了一种新型的将卟啉化合物与二噻吩乙烯化合物通过共价键连接的非对称光致变色分子1-(2-甲基-3-噻吩基)-2-{2-甲基-5-{4-[4-(10,15,20-三苯基-5-卟啉基)苯基]氨基羰基苯基}-3-噻吩基}环戊烯(DTE-TPP),其合成路线见Scheme 1,研究了其光致变色性质、耐疲劳性及荧光调控的无损读取功能探究。

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

Kofler型显微熔点测定仪(上海易测仪器设备有限公司),温度未经校正;Bruker AV Ⅲ-500 MHz型核磁共振仪(瑞士Bruker公司);Bruker Tensor 27 FT-IR型红外光谱仪(瑞士Bruker公司);Finnigan TSQ Quantum Ultra AM型质谱仪(美国Thermo公司);岛津UV-1800型紫外-可见分光光度计(日本岛津公司);FL3-TCSPC型荧光光谱仪(法国HORIBA Jobin Yvon公司);Vario EL Ⅲ型元素分析仪(德国Elementar公司);光致变色光源采用CHF-XM-500W短弧氙灯/汞灯稳流电源(北京畅拓科技有限公司)。

四氢呋喃(分析纯,阿拉丁公司,使用前加钠重蒸);吡咯(分析纯,阿拉丁公司,使用前重蒸);5-(4-氨基苯基)-10,15,20-三苯基卟啉(TPP-NH_2)按文献[18]合成并表征;1,2-双(2-甲基-5-氯-3噻吩基)环戊烯(DTE)按文献[19]合成并表征;其它试剂均为市售分析纯,使用前未经纯化。

1.2 实验方法

1.2.1 5-[4-(4-碘苯甲亚酰胺基)苯基]-15,20,25-三苯基卟啉(BATPP-I)的合成 N_2气氛围下,在盛有25 mL CH_2Cl_2的三口烧瓶中加入63 mg(0.1 mmol)5-(4-氨基苯基)-10,15,20-三苯基卟啉和25.3 mg(0.25 mmol)三乙胺并充分搅拌,40 mg(0.15 mmol)4-碘苯甲酰氯溶于5 mL CH_2Cl_2后缓慢滴加至上述溶液,常温搅拌2 h。反应结束后,旋蒸除去溶剂,硅胶柱层析[V(乙酸乙酯):V(石油醚)=3:1]提纯,得棕色固体81.6 mg,产率95%。mp >300 ℃;^{1}H NMR(500 MHz,$CDCl_3$),δ:8.92(s,8H),8.28(s,8H),8.17(s,1H),8.05(d,J=10 Hz,2H),7.97(d,J=10 Hz,2H),7.82(m,11H),-2.70(s,2H);^{13}C NMR(500 MHz,$CDCl_3$),δ:164.87,141.82,138.30,137.82,137.10,134.87,134.22,132.34,130.70,129.56,128.38,127.40,119.88,118.95,118.07,98.77;ESI-MS,m/z:860.2[M+H]$^+$。

1.2.2 1-(2-甲基-3-噻吩基)-2-{2-甲基-5-{4-[4-(10,15,20-三苯基-5-卟啉基)苯基]氨基羰基苯基}-3-噻吩基}环戊烯(DTE-TPP)的合成 分为两步:1)N_2气氛围且避光条件下,在盛有15 mL新蒸THF的三口烧瓶中加入31 mg(0.0945 mmol)1,2-双(2-甲基-5-氯-3噻吩基)环戊烯并溶解,再缓慢加入0.1 mL n-BuLi的己烷溶液(2 mol/L,0.2 mmol),常温搅拌30 min后,快速加入0.08 mL(0.3 mmol)B(OBu)$_3$,继续常温反应1 h。反应结束后无需处理,立即用于下一步;2)在盛有20 mL THF的三口烧瓶中加入80 mg(0.093 mmol)5-[4-(4-碘苯甲酰胺基)苯基]-15,20,25-三苯基卟啉和3.7 mg(0.003 mmol)$Pd(PPh_3)_4$,常温搅拌15 min,再加入3 mL(2 mol/L)Na_2CO_3水溶液和2滴乙二醇,升温至60 ℃后缓慢加入过程(1)的反应液,避光回流反应2 h。反应液冷却至室温后加入50 mL乙醚和50 mL水,分离有机相,无水硫酸钠干燥,过滤,旋蒸除去溶剂,硅胶柱层析[V(乙酸乙酯):V(石油醚)=3:1]提纯得棕色固体57.1 mg,产率61%。mp >300 ℃;^{1}H NMR(500 MHz,$CDCl_3$),δ:8.85~8.89(m,8H),8.22(d,J=10 Hz,8H),8.15(s,1H),8.04(d,J=10 Hz,2H),7.99(d,J=10 Hz,2H),7.82(m,11H),7.15(s,1H),7.01(d,J=5 Hz,1H),6.81(d,J=5 Hz,1H),2.83~2.88(m,4H),2.09~2.13(m,2H),2.05(s,3H),1.99(s,3H),-2.76(s,2H);^{13}C NMR(500 MHz,$CDCl_3$),δ:164.66,141.85,138.56,138.03,137.81,

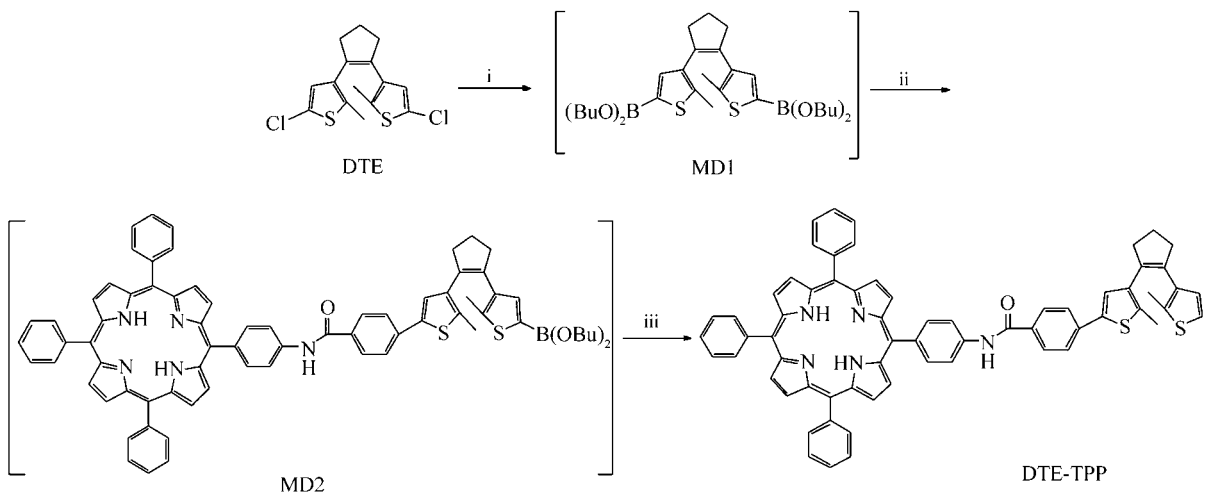
137.45, 136.85, 134.86, 134.21, 131.98, 131.91, 131.18, 130.55, 128.50, 128.21, 128.11, 127.86, 127.38, 126.34, 125.04, 121.11, 119.84, 118.02, 38.10, 22.34, 18.09; IR (KBr), σ/cm^{-1}: 3423.51, 2923.56, 2853.65, 1646.63, 1433.82, 1373.07, 1317.62, 1163.35, 1112.24, 1057.28, 668.21; ESI-MS, *m*/*z*: 992.3 $[M+H]^+$; $C_{66}H_{49}N_5OS_2$ 元素分析值(计算值)/%: C 79.87 (79.89), H 4.91 (4.98), N 7.09 (7.06), S 6.51 (6.46)。

2　结果与讨论

2.1　目标产物的合成

2.1.1　*合成路线的选择*　考虑到非对称的二噻吩乙烯类光致变色化合物具有更好的热稳定性[20],本文设想将四苯基卟啉发色团引入到 DTE 一侧的噻吩环的 5 位上。最初,设计用 DTE 与 4-碘苯甲酸通过 Suzuki 偶合反应合成 1-(2-甲基-5-氯-3-噻吩基)-2-[2-甲基-5-(4-羧基苯基)-3-噻吩基]环戊烯,然后再与 TPP-NH_2 进行缩合反应,结果发现,1-(2-甲基-5-氯-3-噻吩基)-2-[2-甲基-5-(4-羧基苯基)-3-噻吩基]环戊烯的产率低且提纯困难。为此,先将TPP-NH_2 与 4-碘苯甲酰氯连接后再与 DTE 进行 Suzuki 偶合反应,成功得到了目标产物 DTE-TPP(见 Scheme 1),此路线副产物少,产物提纯简单。

2.1.2　*DTE-TPP 结构的确定*　与 DTE 相比,DTE-TPP 一侧噻吩环 5 位碳上的氯原子被氢原子取代,在目标化合物的 IR 中未发现C—Cl特征峰;在氢谱中,该氢原子特征峰出现在 ~6.81 处,同一噻吩环 4 位碳上氢的特征峰出现在 ~7.01 处,皆为双重峰;质谱结果中,目标产物的 ESI-MS $[M+H]^+$ 与理论相吻合,并且元素分析计算值也与理论值一致。由 DTE 得到 DTE-TPP 的反应过程中[19](见 Scheme 2),DTE 先经过有机锂试剂法得到中间体 1,2-双(5-二丁氧基硼基-2-甲基-3-噻吩基)环戊烯(MD1),控制 BAT-PP-I 的投料量,再通过 Suzuki 偶联反应优先得到 1-(5-二丁氧基硼基-2-甲基-3-噻吩基)-2-{2-甲基-5-{4-[4-(10,15,20-三苯基-5-卟啉基)苯基]氨基羰基苯基}-3-噻吩基}环戊烯(MD2),最后硼酸酯部分在碱性条件下水解得到目标产物。



Scheme 2　Reaction process of the 1.2.2 section

Reagents and conditions: (i) *n*-BuLi, $B(OBu)_3$, THF, N_2, rt; (ii) $Pd(PPh_3)_4$, Na_2CO_3, ethylene glycol, H_2O, THF, N_2, reflux; (iii) H_2O, 65 ℃

2.2　光致变色性质

该卟啉-二噻吩乙烯光致变色化合物具有良好的光致变色性质。如图 1*A* 所示,在紫外光(λ = 254 nm)的照射下,开环状态的目标产物 DTE-TPP(DTEo-TPP)中 DTE 单元发生闭环反应,生成闭环体 DTEc-TPP,淡红色溶液迅速变为黄绿色直至绿色,在 640 ~710 nm 之间出现了一个新的吸收峰。卟啉的 S 带吸收峰从 418 nm 红移至 450 nm,其原因可能是 DTE 单元形成闭环体之后导致卟啉环的 π 电子发生离域,降低了其 HOMO-LUMO 能级差,从而导致谱带红移。

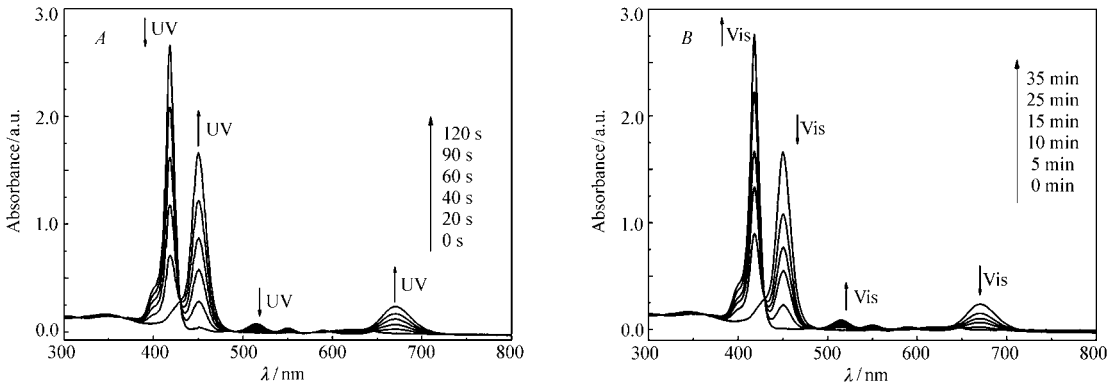
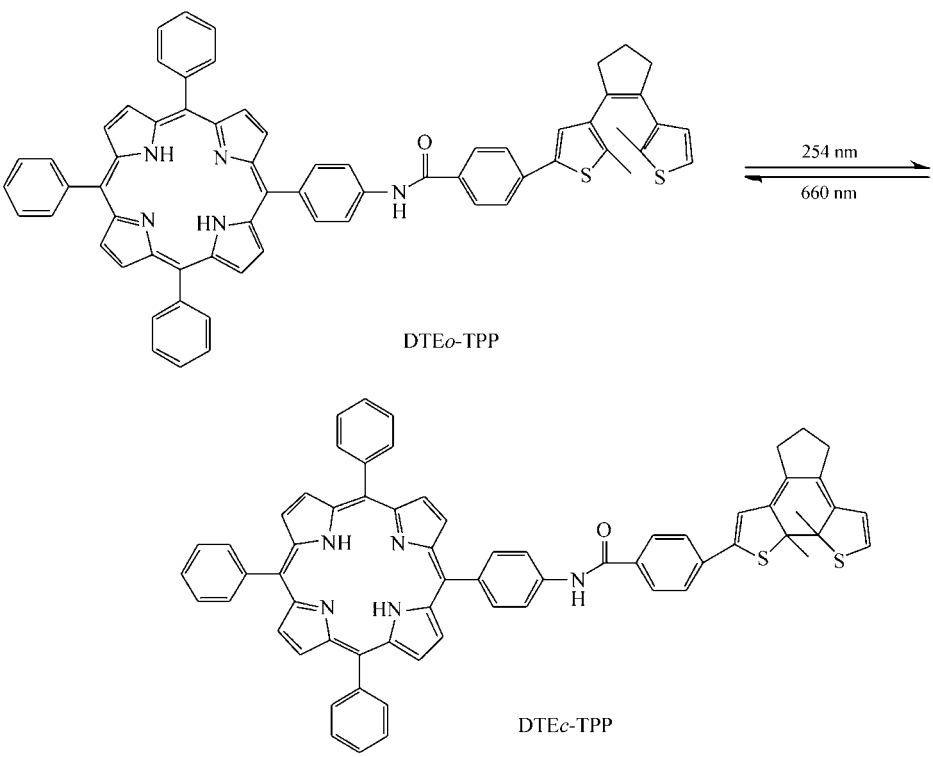


图 1 DTE-TPP 的二氯甲烷溶液经 254 和 660 nm 光照射后吸收波普随时间的变化

Fig. 1 Changes in UV-Vis absortion spectra of a CH_2Cl_2 solution of the DTE-TPP upon irradiation with 254 nm (Irradiation periods are 0, 10, 20, 40, 60, 90, 120 s) and 660 nm light

累计照射 2 min 后,吸收光谱不再变化,体系达到光稳态,再经可见光(λ = 660 nm)照射 35 min,溶液颜色恢复至淡红色,如图 1*B* 所示,且吸收光谱回到起始状态。DTEo-TPP 和 DTEc-TPP 之间相互转化反应如 Scheme 3 所示。



Scheme 3 Photochemical transition of isomeric forms of the DTE-TPP

2.3 抗疲劳性

抗疲劳性是光致变色材料在实际应用中必须考虑的重要因素,它产生的主要原因是光致变色分子在开环/闭环两态光致变色反应的循环过程中,存在着副反应,限制了光致变色反应的循环次数。本文将 2.2 节的紫外光-可见光光照过程重复了 8 次,并记录了每次达到光稳态时溶液在 670 nm 处的吸收光谱强度,见图 2。

从图 2 可以看出,溶液经紫外-可见光循环照射 8 次后,其在 670 nm 处的吸光度变化并不明显,表明该化合物有较高的抗疲劳性。

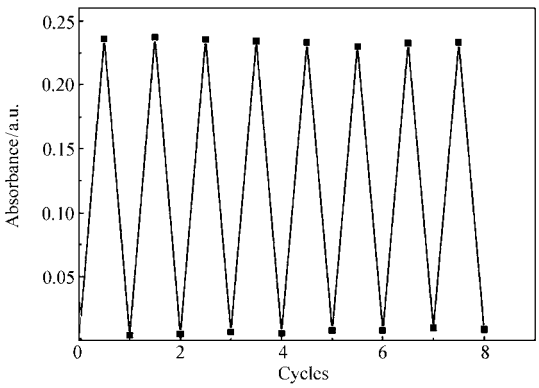


图 2　20 ℃,用 254 nm(2 min)和 660 nm(30 min)依次照射 DTE-TPP 的 CH_2Cl_2溶液并重复 8 次,体系达到光稳态时 670 nm 处的吸收强度变化

Fig. 2　Cycling between the open and closed forms of the DTE-TPP by repetitive irradiation at λ = 254 nm for 2 min (high value) and 660 nm for 30 min(low value) at 20 ℃ in CH_2Cl_2

The ordinate shows the formation of the closed form as monitored by the absorbance at 670 nm

2.4　无损读取研究

当激发光为 520 nm 时,DTE-TPP 的两种异构体有非常高的荧光对比度。如图 3 所示,DTEo-TPP 在 651 nm 处有强荧光发射峰,并在 715 nm 处有弱荧光发射峰,然而,并没有观察到 DTEc-TPP 的荧光峰。出现上述情况的原因可能是该化合物的 DTE 单元由开环体转变为闭环体后,卟啉环上处于激发态电子易于转移到 DTE 单元中,导致了卟啉单元的荧光淬灭。高的荧光对比度可以显著提高荧光读取模式下信息读取的准确度和灵敏性[21]。

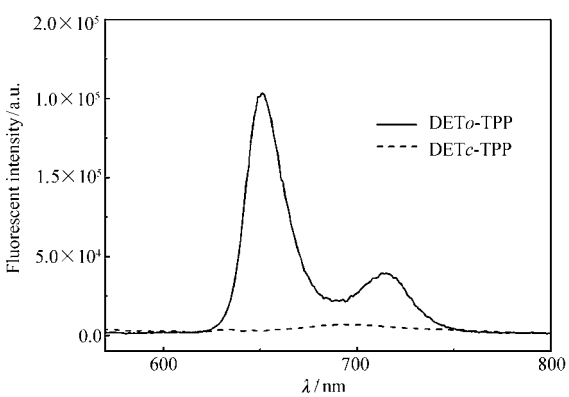


图 3　二氯甲烷溶液中,激发光为 520 nm 时 DTE-TPP 的荧光光谱

Fig. 3　Emission spectra of DTE-TPP in solution of CH_2Cl_2 at λ_{ex} = 520 nm

将 DTE*o*-TPP 和 DTE*c*-TPP 的二氯甲烷溶液置于波长为 520 nm 光照射下 50 min,每隔 5 min 测一次两种溶液的紫外-可见吸收光谱,结果两种异构体的溶液在整个光照过程中并没有发生颜色或吸收光谱的变化。这表明,以 520 nm 光作为荧光读取模式的光源时,并不会使 DTE-TPP 的两种异构体发生光异构化反应[16-17],保证了已储存信息的完整,有望实现信息的无损读取。

以 DTE-TPP 的开环体和闭环体分别对应二进制信息的“0”和“1”,利用 254 nm 的紫外光照射初始开环体化合物可实现信息的写入过程,以 520 nm 光作为激发光,通过检测其荧光光谱可实现信息的无损读取过程,利用 660 nm 的可见光可实现信息的擦除过程。

3　结　论

本文通过 Suzuki 偶合反应,合成了一种新型光致变色化合物 1-(2-甲基-3-噻吩基)-2-[2-甲基-5-{4-{4-(10,15,20-三苯基-5-卟啉基)苯基]氨基羰基苯基}-3-噻吩基}环戊烯(DTE-TPP),通过^{1}H NMR、^{13}C NMR、MS 和 IR 确认了其结构。利用 UV-Vis 和荧光光谱探讨了目标化合物光致变色性能与无损读取功能。实验结果表明,该化合物在 254 和 660 nm 的光照射下显示出可逆的光致变色性能并具有良好的抗疲劳性。当激发光为 520 nm 时,DTEo-TPP(开环状态)有强荧光效应而 DTEc-TPP(闭环状态)则很弱,两种异构体之间的荧光对比度明显,同时没有发生光诱导的异构化反应,有望实现信息的无损读取。

参 考 文 献

[1] Irie M, Fukaminato T, Sasaki T, *et al*. Organic Chemistry: A Digital Fluorescent Molecular Photoswitch[J]. *Nature*, 2002, **420**(6917): 759-760.

[2] Chan J C H, Lam W H, Yam V W W. A Highly Efficient Silole-Containing Dithienylethene with Excellent Ehermal Stability and Fatigue Resistance: A Promising Candidate for Optical Memory Storage Materials[J]. *J Am Chem Soc*, 2014, **136**(49): 16994-16997.

[3] Zou Y, Yi T, Xiao S, *et al*. Amphiphilic Diarylethene as a Photoswitchable Probe for Imaging Living Cells[J]. *J Am Chem Soc*, 2008, **130**(47): 15750-15751.

[4] GONG Tao, FENG Jiachun, WEI Wei, *et al*. Recent Progress in Diarylethene as a Photoswitching Unit[J]. *Prog Chem*, 2006, **18**(6): 698-706 (in Chinese).
龚涛, 冯嘉春, 韦伟, 等. 二芳基乙烯类化合物用作光开关的最新进展[J]. 化学进展, 2006, **18**(6): 698-706.

[5] Areephong J, Logtenberg H, Browne W R, *et al*. Symmetric Six-Fold Arrays of Photo- and Electrochromic Dithienylethene Switches[J]. *Org Lett*, 2010, **12**(9): 2132-2135.

[6] Irie M, Yamaguchi T, Nakazumi H, *et al*. Radiation-Induced Coloration of Photochromic Dithienylethene Derivatives[J]. *Bull Chem Soc Jpn*, 1999, **72**(5): 1139-1142.

[7] Osuka A, Daisuke F, Shinmori H, *et al*. Synthesis and Photoisomerization of Dithienylethene-Bridged Diporphyrin[J]. *J Org Chem*, 2001, **66**(11): 3913-3923.

[8] Uno K, Niikura H, Morimoto M, *et al*. *In Situ* Preparation of Highly Fluorescent Dyes upon Photoirradiation[J]. *J Am Chem Soc*, 2011, **133**(34): 13558-13564.

[9] Irie M, Fukaminato T, Matsuda K, *et al*. Photochromism of Diarylethene Molecules and Crystals: Memories, Switches, and Actuators[J]. *Chem Rev*, 2014, **114**(24): 12174-12277.

[10] Jiang J Y, Wang S, Yuan W F, *et al*. Highly Fluorescent Contrast for Rewritable Optical Storage Based on Photochromic Bisthienylethene-Bridged Naphthalimide Dimer[J]. *Chem Mater*, 2006, **18**(2): 235-237.

[11] Norsten T B, Branda N R. Photoregulation of Fluorescence in a Porphyrinic Dithienylethene Photochrome[J]. *J Am Chem Soc*, 2001, **123**(8): 1784-1785.

[12] Zhang J B, Li C P, Huo T R, *et al*. Photochemical Reaction of Magnesium Tetraphenylporphyrin with Sulfur Dioxide[J]. *Chinese Chem Lett*, 2010, **21**(7): 787-789.

[13] Seol M L, Choi S J, Choi J M, *et al*. Hybrid Porphyrin-Silicon Nanowire Field-Effect Transistor by Opto-Electrical Excitation [J]. *ACS Nano*, 2012, **6**(9): 7885-7892.

[14] ZHENG Chunmei, WANG Tingting, ZENG Heping, *et al*. Synthesis and Photochromic Properties of Diarylethene-Based Porphyrin Derivatives and Its Metal Complexes[J]. *Chinese J Org Chem*, 2012, **32**(4): 719-726 (in Chinese).
郑春梅, 王婷婷, 曾和平, 等. 卟啉-二芳基乙烯分子及其金属配合物的合成与光致变色特性[J]. 有机化学, 2012, **32**(4): 719-726.

[15] Kim H J, Jang J H, Choi H, *et al*. Photoregulated Fluorescence Switching in Axially Coordinated Tin(Ⅳ) Porphyrinic Dithienylethene[J]. *Inorg Chem*, 2008, **47**(7): 2411-2415.

[16] Straight S D, Andreasson J, Kodis G, *et al*. Molecular AND and INHIBIT Gates Based on Control of Porphyrin Fluorescence by Photochromes[J]. *J Am Chem Soc*, 2005, **127**(26): 9403-9409.

[17] Tyler B N, Neil R B. Axially Coordinated Porphyrinic Photechromes for Non-destructive Information Processing[J]. *Adv Mater*, 2001, **13**(5): 347-349.

[18] Gaware V S, Haakerud M, Monika L K, *et al*. Tetraphenylporphyrin Tethered Chitosan Based Carriers for Photochemical Transfection[J]. *J Med Chem*, 2013, **56**(3): 807-819.

[19] Linda N L, Jaap J D, Jan H E, *et al*. Syntheses of Dithienylcyclopentene Optical Molecular Switches[J]. *Eur J Org Chem*, 2003, (1): 155-166.

[20] Kobatake S, Uchida K, Tsuchida E, *et al*. Photochromism of Diarylethenes Having Isopropyl Groups at the Reactive Carbons. Thermal Cycloreversion of the Closed-Ring Isomers[J]. *Chem Lett*, 2000, (11): 1340-1341.

[21] XU Haijun, WANG Xiaoge. Advances on Application of Diarylethene Photochromic Derivatives[J]. *Chem Reag*, 2012, **34**(6): 513-518 (in Chinese).
徐海军, 王晓格. 二芳基乙烯类光致变色单元应用研究进展[J]. 化学试剂, 2012, **34**(6): 513-518.

[22] Nakagawa T, Hasegawa Y, Kawai T. Nondestructive Luminescence Intensity Readout of a Photochromic Lanthanide(Ⅲ) Complex[J]. *Chem Commun*, 2009, (32): 5630-5632.

Synthesis and Nondestructive Information Processing Properties of Diarylethene-Based Porphyrin Derivative

LIU Cheng, HU Bingcheng*, YU Chuanming, LI Jiting

(*School of Chemical Engeering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing* 210094, *China*)

Abstract The dithienylethene compounds offer broad application prospects in optical memory media due to their great performance in reversible chemical transition with irradiation of appropriate light. In this paper, a novel 1-(2-methyl-3-thienyl)-2-{2-methyl-5-{4-[4-(10, 15, 20-triphenyl-5-porphinyl) phenyl] aminocarbonylphenyl}-3-thienyl} cyclopentene (DTE-TPP) was synthesized using 2-methylthiophene, benzaldehyde and pyrrole as starting materials, and its structure was fully characterized by nuclear magnetic resonance spectroscopy(NMR), mass spectrometry(MS) and Fourier transform infrared spectrometer(FTIR). Photochromic properties of the target compound, fatigue resistance and nondestructive readout capability were investigated by UV-Vis spectra and fluorescent emission spectroscopy. The UV-Vis spectra results indicate that DTE-TPP undergoes bistable and reversible photochromic reactions under irradiation, which is repeated at least eight times, at 254 and 660 nm light. The ring-opened form and ring-closed form of DTE-TPP exhibit great contrasts in fluorescence spectra(λ_{ex} = 520 nm) and a nondestructive readout method may be achived.

Keywords porphyrin; dithienylethene; photochromic; nondestructive readout

《应用化学》2017 年征订启事

《应用化学》创刊于 1983 年,是经国家科委批准向国内、国外公开发行的学术性期刊。由中国科学院主管,中国科学院长春应用化学研究所和中国化学会主办,科学出版社出版。为中国科技核心期刊。

《应用化学》设有综合评述、研究论文、研究简报、研究快报栏目。出版周期短,报道新成果快。

《应用化学》期刊被 14 家国内外重要检索机构、文摘收录。

《应用化学》面向科研单位、大专院校和化学化工领域的科研技术人员。

本刊承揽各类化学、化工材料、分析测试仪器及各类化学产品介绍和相关领域科技信息等广告业务。

《应用化学》投稿全部采用网上投稿方式(http://yyhx.ciac.jl.cn 点击"网上投稿"或"投稿注册",按照提示步骤操作)。

- 中国科学院主管,中国科学院长春应用化学研究所和中国化学会主办。
- 多次获国家、省、部级奖励,发行量大,广告宣传效果好。
- 国内外公开发行,月刊,每月 10 日出版。
- 国内统一刊号 CN 22-1128/O6; 国际标准刊号 ISSN 1000-0518。
- 全国各地邮局订阅,国内邮发代号 8-184; 每册定价 30.00 元,全年定价 360 元
- 中国国际图书贸易总公司办理国外订阅(国外发行代号 M809)
- 如未能在邮局订阅,可与编辑部联系订阅。

《应用化学》编辑部地址:吉林省长春市人民大街 5625 号　邮编:130022

电 话:0431-85262016,85262330　传真:0431-85685653　E-mail: yyhx@ciac.ac.cn　网 址: http://yyhx.ciac.jl.cn

Received 2016-08-09; Revised 2016-10-31; Accepted 2016-11-28

Corresponding author: HU Bingcheng, professor; Tel: 025-84315030; E-mail: hubingcheng210094@163.com; Research interests: organic synthesis