

文章编号:1007-2780(2014)04-0508-07

六(十二烷基)六苯并蔻的简便合成

陈 键*, 杜渭松, 高 潮

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为了提高六(十二烷基)六苯并蔻的收率, 设计了一条新合成路线。该方法首先以二苯乙炔为初始原料, 经过环化三聚和碘代得到六(4-碘苯基)苯, 该中间体在钯催化下与 1-溴代十二烷发生 Kumada 交叉偶联, 最后环化氧化脱氢制得目标产物。借助于 ^1H NMR 和元素分析手段表明产物是目标化合物, 并对该材料的光学性能、热学性能以及电化学性能进行了研究。该路线使目标物的总收率由 27% 提高到 40.9%。与文献提供的方法相比, 新法具有合成步骤少、纯化难度低、成本低廉等优点。

关 键 词: 六苯并蔻; 合成; 盘状液晶; 收率; 环化氧化脱氢

中图分类号: **文献标识码:** A **doi:**10.3788/YJYXS20142904.0508

Simply synthesis of hexakis(4-dodecy)-peri-hexabenzocoronene

CHEN Jian*, DU Wei-song, GAO Chao

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to improve the yield of hexakis(4-dodecy)-peri-hexabenzocoronene, a new synthetic approach is designed. First, hexa(4-iodophenyl)benzene is synthesized by cyclotrimerization of diphenylacetylene and then iodosubstituted. A palladium catalyzed Kumada cross-coupling reaction of 1-Bromododecane with that intermedium and cyclodehydrogenation are utilized in the last two reaction steps. The chemical structure of the target compound is characterized by ^1H NMR and elemental analysis, and the optical, thermal and electrochemical properties of this HBC material are studied. The yield is improved to 40.9%, which showed 13% higher than that of the general method. This novel synthetic routine has advantages of simpler purification, fewer reaction steps and lower costing over that reported in the article before.

Key words: hexa-peri-hexabenzocoronene; synthesis; discotic liquid crystal; yield; cyclodehydrogenation

1 引 言

盘状液晶是一类具有平面盘状结构且能在一

定条件下有序排列形成液晶态的分子, 一般由平面或者接近平面的刚性中心核以及围绕刚性核的多条软链组成^[1]。盘状液晶主要呈现两种不同的相态: 向列相和柱状相^[2-3]。与传统的共轭高分

收稿日期: 2013-12-29; 修订日期: 2014-01-15.

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60907012, No. 61177031)

* 通信联系人, E-mail: 1811752114@qq.com

子材料相比,盘状液晶具有明显的优点:(1) π -电子密集的中心核电子云交叠和柱状相的有序排列能提供高电导率的一维电荷传输通道,从而具有高电荷传输特性;(2)盘状液晶分子自组装过程中能够进行缺陷的自修复;(3)外围烷基通过范德华力组成的绝缘外套,能够防止载流子的无序外泄。这3个特点使得盘状液晶能够呈现多种多样的超分子自组装形态^[4-5]。因此,其在光伏电池器件,场效应发射管(FETS)及发光二极管(LEDs)等具有广阔的应用潜力^[6]。

六苯并蔻(HBC)及其衍生物是一类垂面型大 π 共轭盘状液晶,与其它盘状液晶相比,具有如下特点:在中间相状态下,沿着 π 堆积柱的载流子迁移率非常高^[7];此外采用合适的取代基可以使HBC的衍生物具有非常宽的液晶相^[8],这使其可以在宽温度范围内保持其盘状液晶特性,从而能够保持自组装的柱状结构以及高载流子迁移率。因此,与其他的盘状液晶材料相比,六苯并蔻性能更加优越,在新型光电器件上具有更广阔的应用前景。

2 实 验

2.1 试剂与仪器设备

正己烷以及双(三氟乙酸)碘苯均为工业品;1,4-二氧六环、无水三氯化铁、二氯甲烷、甲苯、硝基甲烷、碘、四氢呋喃、镁粉均为分析纯。八羰基二钴、Pd(dppf)Cl₂购自 Alfa Aesar。二苯乙炔本实验室采用文献^[9]报道的方法合成。

液相分析在 VarianProStar 高效液相色谱仪上进行;核磁共振氢谱在 AV-500 核磁共振仪(瑞士 Bruker 公司)上进行,CDCl₃ 为溶剂,TMS 为内标;元素分析在 VARIO EL III 元素分析仪(德国 Elementar 公司)上进行,差热分析在 DSCQ20 型热分析仪(美国 TA 公司)上进行,氮气氛围,升温速率 10 K/min;吸收光谱在上海三科仪器有限公司的 970CRT 型荧光分光光度计上上进行;荧光光谱在日本日立的 F-4500 荧光分光光度计上进行,激发光波长为 350 nm。

2.2 反应合成路线

六苯并蔻溶解性和加工性很差,引入柔性取代基可以大大改善上述的不足。德国马普学会高分子所的 Klaus Müllen 课题组在六苯并蔻及其

衍生物的合成和性能方面进行了深入研究。如图 1 所示,通过将二苯乙炔衍生物在 Co₂(CO)₈ 的催化下环化三聚形成六苯基苯衍生物^[10],再经过环化氧化脱氢反应得到六苯并蔻衍生物,使用该合成路线可以合成六苯并蔻^[11],以及含有烷基^[12-15]、烷基苯基^[16]和烷基酯基等均六取代的六苯并蔻衍生物。

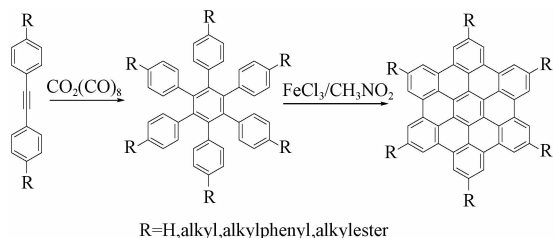


图 1 六取代六苯并蔻的经典合成路线

Fig. 1 General synthetic route to sixfold symmetric HBCs

但是该路线也存在一些不足之处,首先,二苯乙炔衍生物的制备相对困难、环化三聚反应的副产物比较多等。这导致了整个合成路线纯化步骤繁琐,耗时长以及收率低。如 Müllen 采用图 1 的合成方法虽能够制备六(十二烷基)六苯并蔻(C₁₂-HBC),但是关键中间体 4,4'-二(十二烷基)二苯乙炔是以很昂贵的对十二烷基苯胺为原料,经过碘代,制得对十二烷基碘苯,再与三甲硅乙炔经过 Sonogashira 偶联、脱三甲硅基制得对位取代的十二烷基苯乙炔,最后再与对十二烷基碘苯发生 Sonogashira 偶联制得(见图 2),初始原

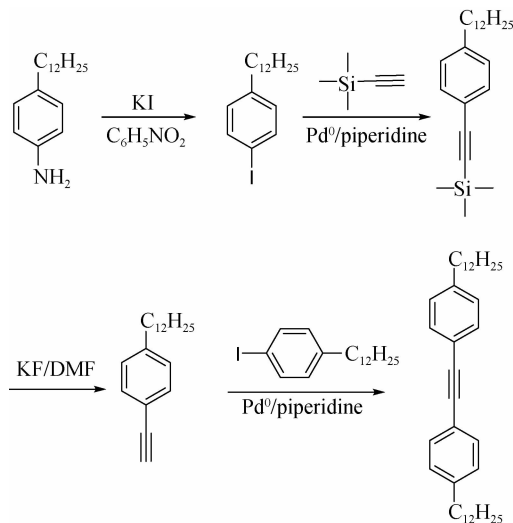


图 2 4,4'-二(十二烷基)二苯乙炔的合成路线

Fig. 2 Synthetic route of 4,4'-didodecyltolane

料价格昂贵,反应步骤多,每一步的纯化也比较繁琐^[12]。因此,亟需开发具有高收率且纯化简单的合成方法非常有用。

本文以价廉易得的二苯乙炔为起始原料,设计了一条历经环化三聚、碘代、偶联、环氧化脱氢四步反应的合成路线,按此途径高收率的获得了六(十二烷基)六苯并蒽。

设计的采合成路线如图 3 所示。

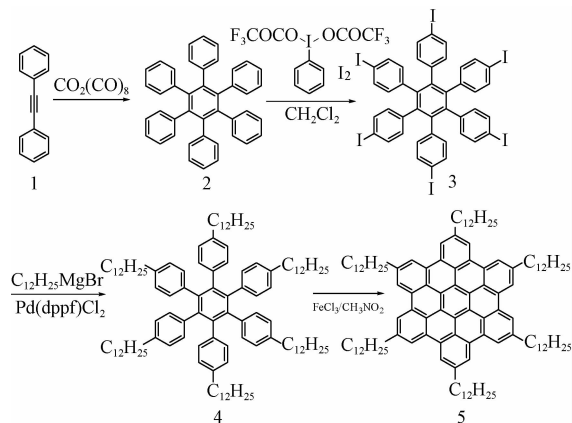


图 3 C_{12} -HBC 的合成路线

Fig. 3 Synthetic route of C_{12} -HBC

由于一些二苯乙炔衍生物难以发生环化三聚反应,比如二噻吩乙炔可以和 $Co_2(CO)_8$ 发生缔合,导致反应无法进行^[17],如图 3 所示,以无取代基的二苯乙炔作为原料可以避免这类副反应的发生。二苯乙炔环化三聚制得六苯基苯(化合物 2),室温下在碘/二(三氟乙酸)碘苯条件下碘代得到六(4-碘苯基)苯(化合物 3),然后在 $Pd(dppf)Cl_2$ 催化下与 1-溴代十二烷发生 Kumada 交叉偶联得到六(4-十二烷基苯基)苯(化合物 4),其在三氯化铁/硝基甲烷的作用下得到目标产物六(十二烷基)六苯并蒽。

3 结果与讨论

3.1 六(十二烷基)六苯并蒽合成

3.1.1 六苯基苯的合成(化合物 2)

在氮气保护下,向 500 mL 三口瓶中加入 17.80 g(0.1 mol)二苯乙炔(化合物 1),1,4-二氧六环 300 mL 以及八羰基二钴 10.26 g(0.03 mol),回流搅拌过夜,冷却,过滤,滤饼用二氧六环冲洗,收集滤饼,加入到 1 000 mL 四氢呋喃中

搅拌,再次过滤,滤饼用四氢呋喃洗涤,收集滤液,浓缩,乙醇洗涤得到白色粉末状固体六苯基苯(化合物 2) 15.58 g,收率 87.5%。¹H NMR (500 MHz, $CDCl_3$, δ , ppm): 7.1~6.5(m, 30 H),如图 4 所示。元素分析($C_{42}H_{30}$),理论值(%): C 94.34, H 5.66;实测值(%): C 94.04, H 5.66。

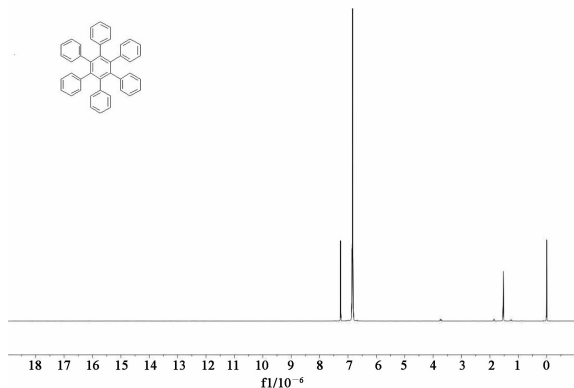


图 4 六苯基苯的¹H NMR 谱图

Fig. 4 ¹H NMR spectra of hexaphenylbenzene

3.1.2 六(4-碘苯基)苯的合成(化合物 3)

在氮气保护下,向 250 mL 二口瓶中加入 5.34 g(0.010 mol)六苯基苯(化合物 2),8.64 g(0.034 mol)碘,以及 14.85 g(0.034 mol)双(三氟乙酸)碘苯,加入 400 mL 干燥二氯甲烷后,避光下常温搅拌 48 h,加入 1 000 mL 正己烷并且降温到 4 °C,过滤,滤饼用正己烷洗涤,收集滤饼,用氯仿溶解,有机相用亚硫酸钠,饱和食盐水洗涤,无水硫酸镁干燥,过滤,浓缩得到 9.84 g 白色粉末状固体六碘苯基苯(化合物 3),收率 76.3%。

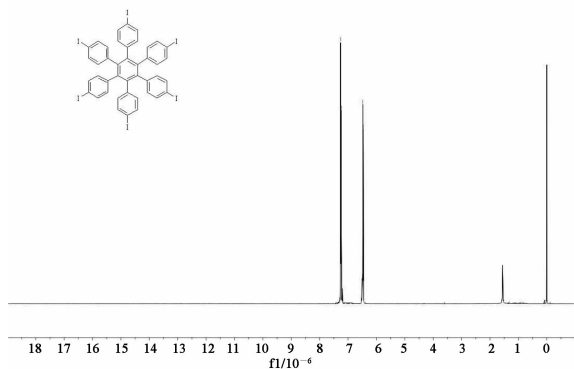


图 5 六(4-碘苯基)苯的¹H NMR 谱图

Fig. 5 ¹H NMR spectra of hexa(4-iodophenyl)benzene

$^1\text{H NMR}$ (500 MHz, CDCl_3 , δ , ppm): 7.24(m, 12H), 6.50(m, 12H), 如图5所示。元素分析($\text{C}_{42}\text{H}_{24}\text{I}_6$), 理论值(%): C 39.10, H 1.88; 实测值(%): C 38.98, H 1.79。

3.1.3 六(4-十二烷基苯基)苯的合成(化合物4)

在氮气保护下,向250 mL 四口烧瓶中加入1.73 g (0.072 mol)的镁粉和60 mL 的无水四氢呋喃,加热回流后,加入少量碘,滴加14.9 g (0.060 mol)溴代十二烷,引发后,保持微沸2 h,冷却。

另取250 mL 三口烧瓶,加入6.45 g (5.0 mmol)六碘苯基苯(化合物3),30 mL 干燥四氢呋喃以及1.23 g $\text{Pd}(\text{dppf})\text{Cl}_2$,搅拌充分后滴加制备好的十二烷基溴化镁格氏试剂,加毕后回流48 h,冷却,加入稀盐酸和正己烷,有机相水洗到中性,无水硫酸镁干燥,过滤,浓缩,以正己烷为流动相过硅胶柱得到白色晶体5.53 g,收率71.7%。 $^1\text{H NMR}$ (500 MHz, CDCl_3 , δ , ppm): 6.66(d, 12H), 6.61(d, 12H), 2.33(t, 12H), 1.39(m, 12H), 1.31~1.21(m, 108H), 0.88(t, 18H), 如图6所示。元素分析($\text{C}_{114}\text{H}_{174}$), 理论值(%): C 88.65, H 11.35; 实测值(%): C 88.74, H 11.14。

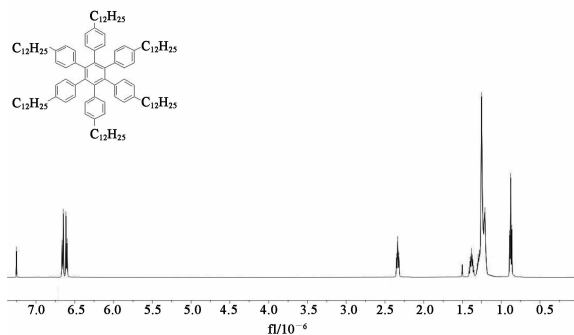


图6 六(4-十二烷基苯基)苯的 $^1\text{H NMR}$ 谱图

Fig. 6 $^1\text{H NMR}$ spectra of (4-dodecylphenyl)benzene

3.1.4 六(十二烷基)六苯并蔻的合成(化合物5)

在氮气保护下,向250 mL 三口瓶中加入309 mg (0.2 mmol)六(4-十二烷基苯基)苯(化合物4)、100 mL 无水二氯甲烷以及含有1.62 g (10 mmol)无水三氯化铁的18 mL 硝基甲烷,常

温搅拌30 min,停止搅拌,在500 mL 甲醇中沉降,过滤,滤饼用甲醇洗涤,收集滤饼,四氢呋喃重结晶,再用热甲苯过短柱得到262 mg 淡黄色粉末状固体,收率85.4%。 $^1\text{H NMR}$ (500 MHz, CDCl_3 , δ , ppm): 8.09(s, 12H), 2.86(s, 12H), 1.91(s, 12H, CH_2), 1.61(s, 12H), 1.54(s, 12H, CH_2), 1.44~1.29(m, 84H, CH_2), 0.89(t, 18H), 如图7所示。元素分析($\text{C}_{114}\text{H}_{162}$), 理论值(%): C 89.35, H 10.65; 实测值(%): C 89.38, H 10.59。

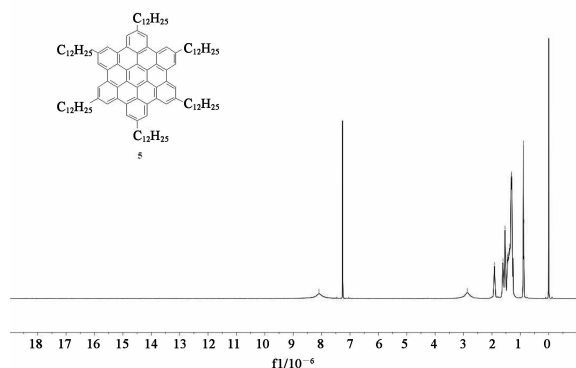


图7 六(十二烷基)六苯并蔻的 $^1\text{H NMR}$ 谱图

Fig. 7 $^1\text{H NMR}$ spectra of hexakis (4-dodecyl)-peri-hexabenzocoronene

采用上述步骤,以简单易得的原料二苯乙炔为起始物质,通过环化三聚、碘代、钯催化的Kumada交叉偶联反应、脱氢环化反应得到六(十二烷基)六苯并蔻,整个反应历程得到了缩短,除了化合物4之外均不需要层析进行纯化,简化了后处理步骤以及六苯并蔻化合物的合成难度,缩短了制备时间,总收率(40.9%)比经典的合成方法(27.0%)^[12]高,拓展了合成均六取代的六苯并蔻衍生物的合成方法,同时为进一步向六苯并蔻芳香核引入其他它基团开辟了新的途径。

3.2 吸收性能

六(十二烷基)六苯并蔻的四氢呋喃溶液以及薄膜的吸收性能见图8。在四氢呋喃溶液中, $\text{C}_{12}\text{-HBC}$ 在342 nm,358 nm以及391 nm处有3个吸收峰,这说明其含有稠环芳烃结构。与溶液的吸收相比, $\text{C}_{12}\text{-HBC}$ 薄膜的主吸收峰位于364 nm,另外在416 nm处具有一个肩峰,说明 π 堆积结构的形成。薄膜的吸收与溶液中的吸收相比,

出现了一定的红移,这是由于固态情况下,C₁₂-HBC 以共轭程度更高的聚集态形式存在^[18]。该吸收光谱与文献[12]中获得数据一致,这种高规整的有序排列能够提供具有高电导率的一维传输通道。

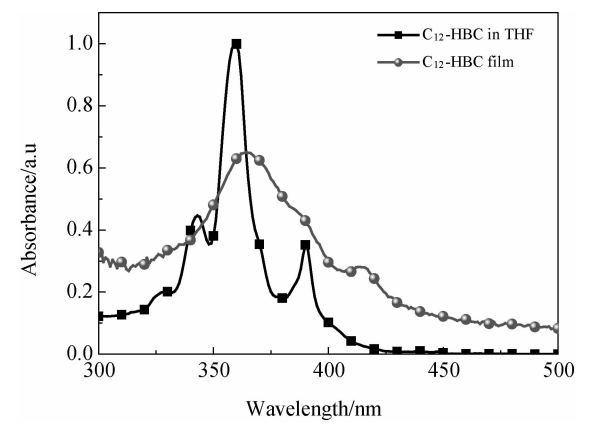


图 8 C₁₂-HBC 的四氢呋喃溶液以及薄膜紫外-可见吸收光谱

Fig. 8 UV-Vis absorption spectra of C₁₂-HBC in THF and film

3.3 荧光发光

C₁₂-HBC 在四氢呋喃溶液以及薄膜下的荧光发光情况见图 9。在四氢呋喃溶解中,C₁₂-HBC 的发光峰位于 489 nm,而在薄膜条件下,则为 548 nm,明显了明显的红移,这也进一步说明了在固态情况下 π 堆积结构的存在,与吸收的情况类似,实现了发射峰的红移。

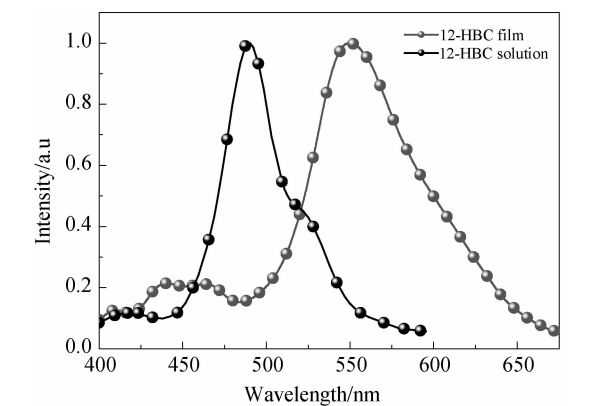


图 9 C₁₂-HBC 在四氢呋喃溶液以及薄膜的荧光发射光谱

Fig. 9 Fluorescent emission spectra of C₁₂-HBC in THF and film

3.4 热性能分析

C₁₂-HBC 的差热分析(DSC)如图 10 所示,可见升温过程中,C₁₂-HBC 在 38.39 °C 时出现晶形

转换(K₁→K₂), ΔH (kJ/mol)=7.60;101.23 °C 再次出现晶形转换(K₂→K₃), ΔH (kJ/mol)=39.00;111.42 °C 向柱状中间相转变(K₃→D_h), ΔH (kJ/mol)=19.06;降温过程中在 85.51 °C 时由柱状中间相恢复到固体状态(D_h→K₂), ΔH (kJ/mol)=62.96;在 29.13 °C 时由柱状中间相恢复到固体状态(K₂→K₁), ΔH (kJ/mol)=8.28。图 10DSC 的结果表明合成的 C₁₂-HBC 在很宽的温度范围内保持液晶态,从而保证期规整的柱状排列。

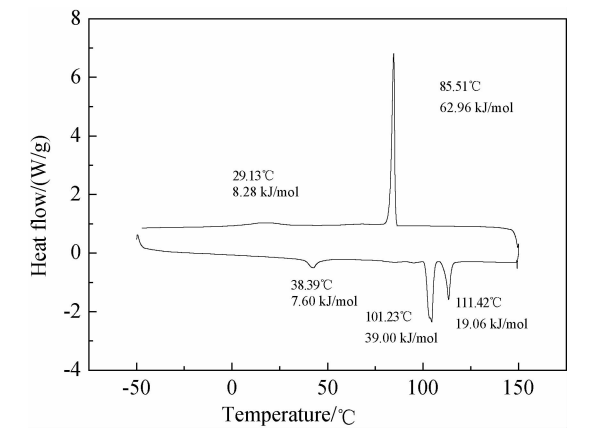


图 10 C₁₂-HBC 的 DSC 图(10 K/min)

Fig. 10 DSC-traces of C₁₂-HBC(10 K/min)

3.5 电化学性能分析

将 C₁₂-HBC 的氯仿溶液滴于玻碳电极表极,晾干成膜后以其为工作电极,铂丝电极为对电极,Ag/Ag⁺ 电极为参比电极,于四丁基六氟磷酸铵(Bu₄NPF₆)的乙腈溶液中进行循环伏安测试,如图 11 所示。

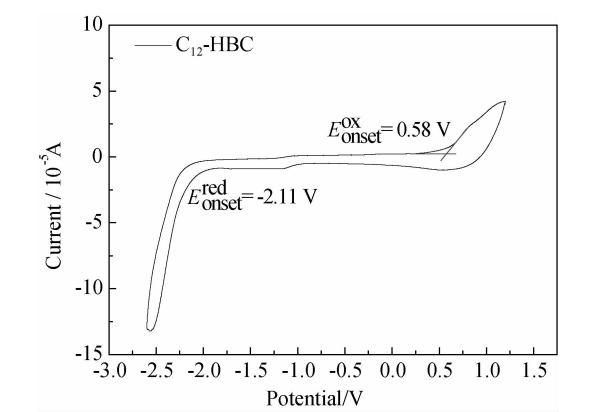


图 11 C₁₂-HBC 的电化学循环伏安图

Fig. 11 Electrochemical cyclic voltammetry curves of C₁₂-HBC

C₁₂-HBC 的起始氧化电位为 0.58 V,起始还原电位为 -2.11 V,据二茂铁标准溶液校正后(见下列公式)可得其 HOMO 为 -5.30 eV, LUMO 为 -2.61 eV,电化学禁带宽度为 2.69 eV.

$$E_{\text{HOMO}} = -e(E_{\text{ox}} + 4.72), \quad (1)$$

$$E_{\text{LUMO}} = -e(E_{\text{red}} + 4.72). \quad (2)$$

4 结 论

以简单易得的原料二苯乙炔为起始物质,通过乙炔基的芳环化三聚、碘代、钯催化的 Kumada

交叉偶联反应、脱氢环化反应制备了六(十二烷基)六苯并蒽,采用核磁分析以及元素分析手段确定了中间体及最终产物的结构。与传统的方法相比,该路线反应路径只有 4 步,简化了后处理步骤以及六苯并蒽化合物的合成难度,总收率达到了 40.9%,是传统方法收率的 1.5 倍,整体降低了合成、纯化的难度和步骤,提高了收率。本文报道的方法,规避了后处理复杂,容易使取代基发生副反应的环化三聚反应,拓展了新的六取代的六苯并蒽衍生物的合成路径,大大降低了合成含有复杂取代基的 HBC 化合物的难度。

参 考 文 献:

- [1] 陈树森,李田,赵达慧. 盘状液晶材料的研究进展[J]. 物理化学学报,2010,26(4): 1124-1134.
Chen S S, Li T, Zhao D H. Progress in discotic liquid crystalline materials [J]. *Acta Physico Chimica Sinica*, 2010, 26(4): 1124-1134. (in Chinese)
- [2] Kumar S. Self-organization of disc-like molecules; chemical aspects [J]. *Chem. Soc. Rev.*, 2006, 35 (1): 83-86.
- [3] Bisoyi H K, Kumar S. Discotic nematic liquid crystals; science and technology [J]. *Chem. Soc. Rev.*, 2010, 39 (1): 264-285.
- [4] 崔晓鹏,王磊,黄琪,等. 基于异烟酸酯类衍生物的超分子盘状液晶构建[J]. 液晶与显示,2011,26(6): 727-732.
Cui X P, Wang L, Huang Q, *et al.* Supramolecular discotic liquid crystals formed by hydrogen bonding of isonicotinic acid derivatives [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(6): 727-732. (in Chinese)
- [5] Lukas F D, Valentin K, Ian A H, *et al.* Synthesis and controlled self-assembly of covalently linked Hexa-peri-hexabenzocoronene/Perylene Diimide dyads as models to study fundamental energy and electron transfer processes [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2012, 134:5876-5886.
- [6] O'Neill M, Kelly S M. Liquid crystals for charge transport, luminescence, and photonics [J]. *Adv. Mater.*, 2003, 15: 1135-1146.
- [7] van de Craats A M, Warman J M, Fechtenkötter A, *et al.* Record charge carrier mobility in a room-temperature discotic liquid-crystalline derivative of hexabenzocoronene [J]. *Adv. Mater.*, 1999, 11: 1469-1472.
- [8] Liu C Y, Fechtenkötter A, Mark D W, *et al.* Room temperature discotic liquid crystalline thin films of hexa-peri-hexabenzocoronene; synthesis and optoelectronic properties [J]. *Chem. Mater.*, 2003, 15: 124-130.
- [9] Ana V, Donocadh P L, Paul J L, *et al.* Characterization and conductivity of langmuir - blodgett films prepared from an amine-substituted oligo(phenylene ethynylene) [J]. *Chem. Mater.*, 2008, 20: 258-264.
- [10] Hyatt J A. Organic preparations and procedures international: the new journal for organic synthesis [J]. *Org. Prep. Proced. Int.*, 1991, 23: 460-463.
- [11] Kübel C, Eckhardt K, Enkelmann V, *et al.* Synthesis and crystal packing of large polycyclic aromatic hydrocarbons: hexabenzocoronene and dibenzophenanthrene [J]. *J. Mater. Chem.*, 2000, 10: 879-886.
- [12] Stabel A, Herwig P. Diodelike current-voltage curves for a single molecule-tunneling spectroscopy with submolecular resolution of an alkylated, peri-condensed hexabenzocoronene [J]. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 1995, 34: 1609-1611.
- [13] Herwig P, Kayser W. Columnar mesophases of alkylated hexa-peri-hexabenzocoronenes with remarkably large phase widths [J]. *Adv. Mater.*, 1996, 8: 510-513.
- [14] Kastler M, Pisula W, Wasserfallen D, *et al.* Influence of alkyl substituents on the solution- and surface-organization of hexa-peri-hexabenzocoronenes [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2005, 127: 4286-4296.

[15] Pisula W, Kastler M, Wasserfallen D, *et al.* Exceptionally long-range self-assembly of hexa-peri-hexabenzocoronene with dove-tailed alkyl substituents [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2004, 126: 8074-8075.

[16] Fechtenkötter A, Saalwächter K, Harbison M A, *et al.* Highly ordered columnar structures from hexa-peri-hexabenzocoronenes-synthesis, X-ray diffraction, and solid-state heteronuclear multiple-quantum nmr investigations [J]. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 1999, 38, 3039-3042.

[17] Jishan W, Wojciech P, Klaus M. Graphenes as potential material for electronics [J]. *Chem. Rev.*, 2007, 107(3): 718-747.

[18] Piris J, Debijs M G, Stutzmann N, *et al.* Aligned thin films of discotic hexabenzocoronenes: anisotropy in the optical and charge transport properties [J]. *Adv. Funct. Mater.*, 2004, 14: 1053-1061.

作者简介:陈键(1983—),男,辽宁大连人,硕士,工程师,主要从事有机光电材料的研发工作。E-mail:1811752114@qq.com

上海交通大学光电材料与器件中心

上海交通大学光电材料与器件中心成立于 2009 年,目前有 13 名核心人员,其中讲席教授 1 人,教授 1 人、特别研究员 3 人、副研究员 2 人、副教授 1 人、助理研究员 2 人、高级工程师 1 人,秘书 2 名,在读博士生 16 人、硕士生 23 人。中心负责人苏翼凯教授为上海交通大学电子信息与电气工程学院责任教授、博士生导师。并获得 2012 年度教育部长江学者及 2011 年度国家杰出青年基金荣誉称号。中心依托于“TFT-LCD 关键材料及技术国家工程实验室”。申请的上海市高校微纳电子器件重点实验室于 2014 年获批。

中心承担了 40 余项国家和省部级科研项目,在研项目包括负责 973 课题 1 项,参加 973、863 课题各 1 项,负责国家自然科学基金 2 个重点项目,以及教育部、上海市等多个省部级项目。在产学研方面与台湾友达光电、江苏昆山龙腾、深圳华星光电、京东方集团、浙江星星瑞金等众多企业取得了合作。

中心在“基于新型液晶的全息三维显示”方面,通过对偶氮掺杂液晶的研究实现了视频速度的全息图像的再现,成果发表于 2012 年 SID、2012 DH、和 MIT 举办的 ISDH,并被评为 2012 SID 十大亮点技术之一,列 Information Display 期刊封面导读第一位。在蓝相液晶方面取得了一定的研究成果,相关成果在 APL、JDT 等 SCI 期刊上发表,在国际显示领域的主要国际会议 SID 连续多年都有相关口头报告。2013 年发表 SID 论文 13 篇,2014 年发表 SID 论文 14 篇(其中杰出论文 2 篇),连续两年列全球高校第一位。与国内液晶材料与面板企业紧密合作,开发了国内首台被动驱动的蓝相液晶显示器件。



图 1 净化实验室



列 Information Display
封面导读第一位

图 2 全息显示成果列 Information Display 封面导读第一位

地址:上海交通大学电子信息与电气工程学院
邮编:200240
电话:021-34207924(苏翼凯)
邮箱:yikaisu@sjtu.edu.cn