

文章编号:1007-2780(2010)03-0305-06

含希夫碱基团的不对称弯曲型 液晶分子的合成和相变研究

朱 斌,黄 佩,胡兰萍,沈 冬*

(华东理工大学 理学院 化学物理研究室,上海 200237)

摘 要:以 3-氨基-2-甲基苯甲酸为原料,合成了含希夫碱基团的 5 个不对称弯曲型液晶分子,通过¹H NMR、HRMS 测试手段对其结构进行了表征,采用示差扫描量热法(DSC)和偏光显微镜等方法研究了它们的液晶性和相变温度,发现不仅相变温度随着分子苯环数的下降而下降,其液晶相的稳定性也随着苯环数的下降而下降,含有 5 个苯环的化合物呈现多个近晶相和向列相,含 4 个苯环的化合物则只有一个近晶相和向列相,而 3 个环的化合物仅在降温的过程中呈现近晶相。

关 键 词:弯曲型;液晶;希夫碱;不对称

中图分类号: O753⁺.2 **文献标识码:** A

Synthesis and Mesomorphic Properties of Asymmetric Bent-Core Liquid Crystals Containing Schiff-Base Unit

ZHU Bin, HUANG Pei, HU Lan-ping, SHEN Dong*

(Chemical Physics Laboratory, School of Science,

East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: With 3-amino-2-methylbenzoic acid as starting material, five asymmetric bent-core liquid crystals containing Schiff-base unit were synthesized. Their chemical structures were confirmed by ¹H NMR and HRMS spectra, their liquid crystalline properties and phase transition temperatures were studied by DSC and polarizing microscopy with heating stage. It was found that the clearing points of the synthesized molecules were decreased with the decreasing of the number of benzene rings of the compounds, companying with the decreasing of the liquid crystal stability. The molecules with 5 benzene rings exhibit several smectic phases and nematic phase, whereas the molecules with 4 benzene rings exhibit one smectic phase and nematic phase, and the molecule with 3 benzene rings exhibit only monotropic smectic phase.

Key words: bent-core; liquid crystal; Schiff base; asymmetric

1 引 言

1996 年, Niori^[1] 及其合作者报道了一类非手性的弯曲型(香蕉形, banana-shaped)液晶分

子,其潜在的应用价值引起人们的广泛关注,在国际液晶界兴起了一股寻找和研究弯曲型液晶分子的热潮^[2-7]。至目前为止,已有许多弯曲型液晶分子被合成出来,其各种相的结构和电光性能也被

收稿日期:2009-12-04; 修订日期:2009-12-17

基金项目:国家自然科学基金(No. 60878047)

作者简介:朱斌(1984—),湖南永州人,硕士,主要从事含氟液晶单体及弯曲型液晶分子的合成及应用研究。

* 通讯联系人, E-mail: shen@ecust.edu.cn

一一发现和研究。

2005 年 Prasad 等人^[8]报道了一类含有希夫碱和偶氮基团的不对称弯曲型化合物,具有双轴向列相(Biaxial nematic phase),这是第二个得到国际液晶界公认的热致型双轴向列液晶化合物,比第一个于 2004 年报道的噁二唑类化合物^[9,10]的双轴向列相温度(173~222 ℃)要低许多,引起了人们的极大关注。但其双轴向列相温区在 118 ℃ 以上还是很高,尤其是清亮温度在 176 ℃ 以上,尚难以满足应用的要求。如何改变化合物的分子结构,得到相区温度较低的双轴向列液晶化合物是目前液晶化学研究的热点。

本文以 3-氨基-2-甲基苯甲酸为原料,合成了 5 个新的不对称弯曲型液晶分子,其分子的苯环数由 5 个逐渐减少至 4 个和 3 个,研究了这些化合物的液晶性能,考察了分子结构与性能之间的关系。

2 实 验

2.1 试剂和仪器

实验中所使用的试剂列举如下:

对羟基苯甲醛、对羟基苯甲酸乙酯、N, N'-二环己基碳二亚胺、1-溴代辛烷、苯甲醚、环己酮均为国药集团化学试剂有限公司的产品,纯度为化学纯;十二酸为上海凌峰化学试剂有限公司生产,纯度为化学纯;对十二烷基苯胺为天津深拓精益化学研发中心生产,纯度>97%;4-二甲氨基吡啶为上海化学试剂公司产品,纯度为化学纯;对氟苯甲酸为阿拉丁试剂(上海)有限公司产品,纯度>97%;4-氟苯胺为阿拉丁试剂(上海)有限公司产品,纯度>99%;3-氨基-2-甲基苯甲酸为日本 TCI 试剂公司产品,纯度>99%;三溴化硼为国药集团化学试剂有限公司产品,纯度为特级纯。以上试剂均直接使用,没有经过特别处理。其他所有的反应、柱层析、重结晶所需试剂均为市售分析纯试剂。

实验中所合成的化合物均由¹H NMR、HRMS 验证其分子结构,相变温度由 DSC 结合偏光显微镜测定。

(1)¹H NMR: Bruker AVANCE 500 核磁共振仪(Bruker 公司制造),溶剂 CDCl₃, 内标 TMS;

(2) HRMS: Micromass GCTTM (Micromass 公司制造);

(3)熔点检测: XP-201 透射偏光熔点测定仪(北京市科仪光电仪器厂);

(4) DSC: Universal V2. 6D TA, 升温和降温速率均为 10 ℃/min。

2.2 合成路线

实验中所合成的 5 个弯曲型液晶分子的结构如图 1 所示。

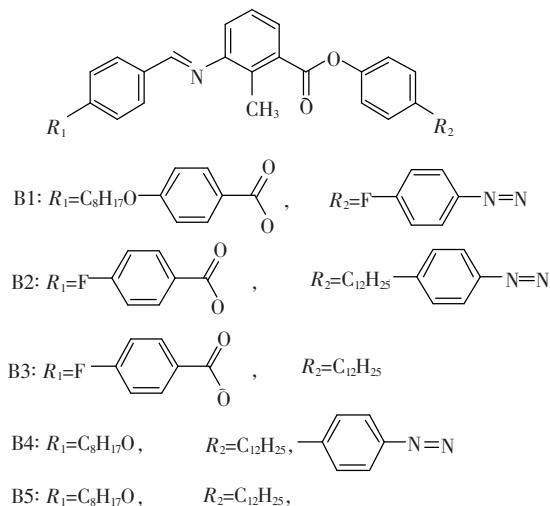


图 1 本文合成的弯曲型液晶分子的结构

Fig. 1 Molecular structures of the synthesized bent-core liquid crystals

由于所合成的 5 个弯曲型液晶分子的合成路线相似,所以下面只选择其中的一个弯曲型液晶分子 B1 的合成路线加以介绍,见图 2。

2.2.1 中间体 4-辛氧基苯甲酸乙酯(A1)的合成

在 500 mL 三口烧瓶中加入 23.90 g(0.144 mol)对羟基苯甲酸乙酯、49.68 g(0.36 mol)碳酸钾、160 mL 环己酮,加热至 60 ℃,使大部分的碳酸钾溶解,然后加入 23.16 g(0.12 mol)溴代正辛烷。搅拌回流 4 h, TLC 显示溴代正辛烷消失。冷却至常温,析出白色固体,减压抽滤,收集液体,减压蒸除溶剂。残余液体经硅胶柱层析分离,得到 28.36 g 淡黄色液体,收率为 85%。

¹H NMR (CDCl₃, ppm, 500 MHz): $\delta_{\text{H}} = 0.89$ (t, $J = 6.7$ Hz, 3H), 1.25~1.37 (m, 11H), 1.43~1.49 (m, 2H), 1.78~1.84 (m, 2H), 3.90 (t, $J = 6.5$ Hz, 2H), 4.25 (q, 2H), 6.80 (d, $J = 8.7$ Hz, 2H), 7.90 (d, $J = 8.7$ Hz, 2H)。

2.2.2 中间体 4-辛氧基苯甲酸(A2)的合成

在 500 mL 圆底烧瓶中加入 180 mL 纯度为

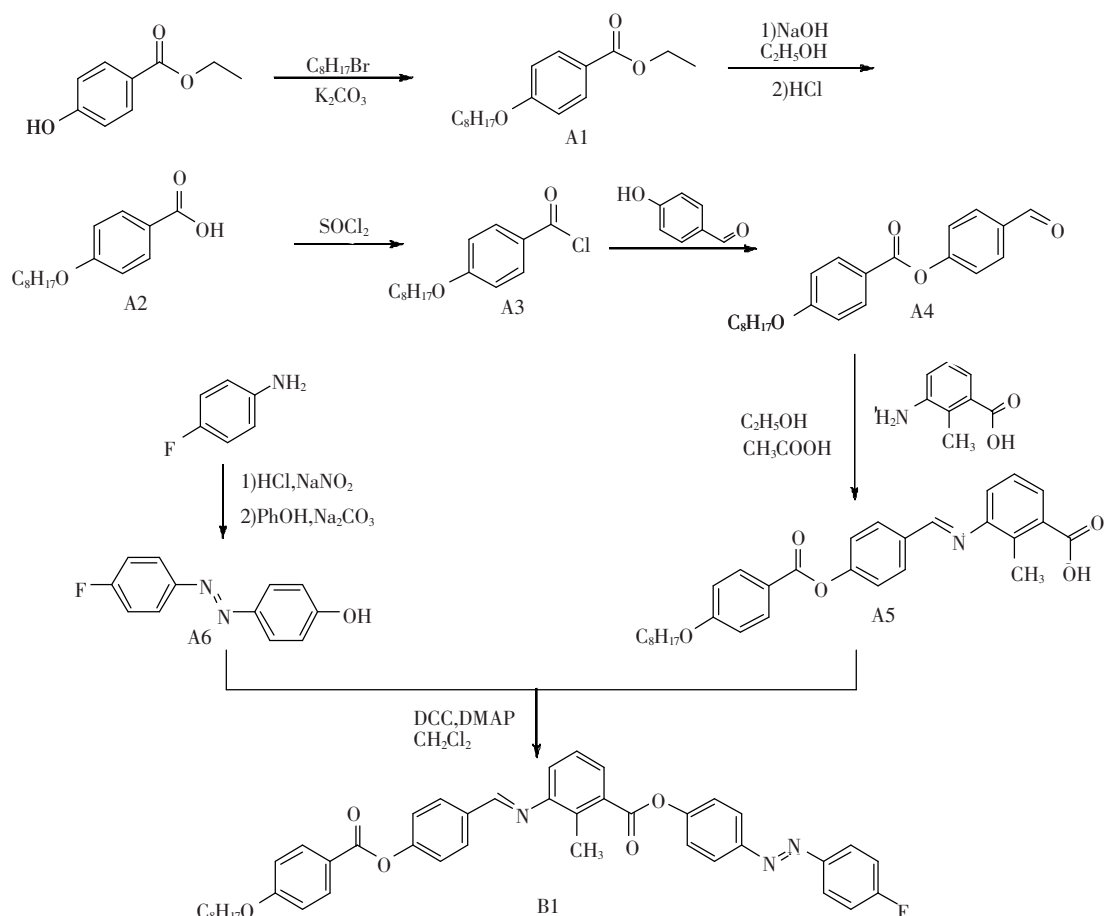


图 2 弯曲型液晶 B1 的合成路线

Fig. 2 Synthesis route of the bent-core liquid crystal B1

95%的乙醇、27.84 g(0.10 mol)对辛氧基苯甲酸乙酯、20.00 g(0.50 mol)氢氧化钠。加热回流 3 h 后, TLC 显示原料点消失。自然冷却到常温后, 加入盐酸酸化至 pH=1~2, 产生大量棕黄色沉淀, 抽滤后得到略带黄色的固体。滤液用水/氯仿(1:3 体积比)萃取, 水相再用氯仿萃取 3 次, 合并有机相, 旋蒸溶剂, 得到固体粗产品。合并两部分固体粗产品, 用无水乙醇重结晶, 得到白色针状晶体 21.53 g, 收率为 86%。

氢核磁共振 ^1H NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz): $\delta_{\text{H}}=0.89(\text{t}, J=6.7\text{ Hz}, 3\text{H})$, $1.25\sim 1.37(\text{m}, 8\text{H})$, $1.43\sim 1.49(\text{m}, 2\text{H})$, $1.78\sim 1.84(\text{m}, 2\text{H})$, $4.02(\text{t}, J=6.6\text{ Hz}, 2\text{H})$, $6.94(\text{d}, J=8.8\text{ Hz}, 2\text{H})$, $8.06(\text{d}, J=8.8\text{ Hz}, 2\text{H})$ 。

2.2.3 中间体 4-(4-辛氧基苯甲酰氧基)苯甲醛(A4)的合成

将氯化亚砷在氢氧化钾中回流 1 h, 然后蒸

馏收集新制氯化亚砷待用。在 50 mL 烧瓶中加入 5.01 g(20 mmol) 对辛烷氧基苯甲酸、15 mL 新制氯化亚砷和两滴 DMF, 回流 4 h 后, 蒸干过量的氯化亚砷, 再用水泵抽去残余的氯化亚砷, 得到新制的对辛烷氧基苯甲酰氯(A3), 不经过提纯处理, 直接用于下步反应。

在 50 mL 二口烧瓶中加入 2.44 g(20 mL)对羟基苯甲醛、2 mL 吡啶和 20 mL 干燥的二氯甲烷, 搅拌至溶液澄清, 然后在冰浴下, 慢慢滴加新制的对辛烷氧基苯甲酰氯(A3), 滴加完毕后, 升至常温, 搅拌过夜。蒸去溶剂后, 得到略带黄色的固体粗产品。初产品经过硅胶柱层析得到 5.88 g 白色晶体, 收率 83%。

氢核磁共振 ^1H NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz): $\delta_{\text{H}}=0.90(\text{t}, J=6.8\text{ Hz}, 3\text{H})$, $1.25\sim 1.39(\text{m}, 8\text{H})$, $1.45\sim 1.51(\text{m}, 2\text{H})$, $1.80\sim 1.86(\text{m}, 2\text{H})$, $4.05(\text{t}, J=6.6\text{ Hz}, 2\text{H})$, 6.99

(d, $J = 8.9$ Hz, 2H), 7.41 (d, $J = 8.5$ Hz, 2H), 7.97 (d, $J = 8.5$ Hz, 2H), 8.14 (d, $J = 8.9$ Hz, 2H), 10.02 (s, 1H)。

2.2.4 中间体 3-(4-(4-辛氧基苯甲酰氧基)苯亚甲基氨基)-2-甲基苯甲酸(A5)的合成

在 100 mL 烧瓶中加入 3.54 g (10 mmol) (A4)、1.51 g (10 mmol) 3-氨基-2-甲基苯甲酸、5 滴无水乙酸和 60 mL 无水乙醇。加热回流 5 h, 冷却析出白色片状晶体。过滤得到白色晶体 3.6 g, 产率为 74%。再用无水乙醇重结晶数次, 得 1.6 g 亮白色晶体。

氢核磁共振 ^1H NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz): $\delta_{\text{H}} = 0.90$ (t, $J = 6.7$ Hz, 3H), 1.30~1.37 (m, 8H), 1.40~1.51 (m, 2H), 1.80~1.86 (m, 2H), 2.66 (s, 3H), 4.06 (t, $J = 6.5$ Hz, 2H), 6.99 (d, $J = 8.8$ Hz, 2H), 7.12 (d, $J = 7.5$ Hz, 1H), 7.29~7.32 (m, 1H), 7.35 (d, $J = 8.5$ Hz, 2H), 7.90 (d, $J = 7.7$ Hz, 1H), 8.01 (d, $J = 8.5$ Hz, 2H), 8.16 (d, $J = 8.8$ Hz, 2H), 8.36 (s, 1H)。

2.2.5 中间体 4-((4-氟苯基)重氮基烯基)苯酚(A6)的合成

将 30 mmol (3.33 g) 对氟苯胺溶于 10 mL 浓盐酸中, 降温至 0~5 °C, 然后滴入 10 mL 亚硝酸钠水溶液。保持 0~5 °C 下搅拌 5 h, 得到重氮盐中间体。配制 3.11 g (33 mmol) 苯酚、14.3 g (135 mmol) 碳酸钠、60 g 冰水混合溶液。搅拌溶解后, 把上述重氮盐倒入苯酚溶液中, 搅拌 5 h 后, TLC 显示原料反应完, 停止反应。过滤, 干燥, 得到红棕色固体。用乙醇/水 (1:1 体积比) 溶解, 过滤去除不溶物, 滤液倒入水中, 析出红色固体, 过滤, 干燥后, 得红棕色固体。将该固体用乙酸乙酯/石油醚重结晶得到 2.50 g 红色晶体, 产率为 31%。

氢核磁共振 ^1H NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz): $\delta_{\text{H}} = 6.94$ (d, $J = 11.0$ Hz, 2H), 7.18 (t, $J = 11.0$ Hz, 2H), 7.85~7.9 (m, 4H)。

质谱 MS (EI m/z) = 216.1 (100, M^+), 123.0 (7.5), 121.0 (26.8), 95.0 (36.1), 93.0 (46.8)。

2.2.6 弯曲型液晶分子 2-甲基-3-(4-(4-(辛氧基)苯甲酰氧基)苯亚甲基氨基)苯甲酸 4-((4-氟苯基)重氮基烯基)苯酚酯 (B1) 的合成

将 1.22 g (2.5 mmol) A5、0.54 g (2.5 mmol) A6 和 0.06 g 催化剂 4-二甲氨基吡啶 (DMAP) 加

入到 100 mL 干燥的烧瓶里, 然后加入 60 mL 干燥的二氯甲烷、0.54 g (2.6 mmol) N,N'-二环己基碳酰亚胺 (DCC), 常温搅拌 24 h, 停止反应。过滤除去不溶的白色固体 1, 3-二环己基脲 (DCU), 旋干溶剂得到橙色固体。将该固体溶于干燥的 THF, 过滤除去不溶固体 (DCU), 旋干溶剂后, 再用丙酮、乙酸乙酯各重结晶一次得到 0.82 g 粗产品。产品进一步用丙酮、乙酸乙酯分别重结晶两次, 得到 0.38 g 淡黄色固体产品 (B1), 产率为 22%。

^1H NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz): $\delta_{\text{H}} = 0.90$ (t, $J = 6.5$ Hz, 3H), 1.25~1.40 (m, 8H), 1.48~1.50 (m, 2H), 1.75~1.80 (m, 2H), 2.70 (s, 3H), 4.06 (t, $J = 6.5$ Hz, 2H), 6.99 (d, $J = 8.8$ Hz, 2H), 7.16~7.23 (m, 3H), 7.34~7.42 (m, 5H), 7.95~8.05 (m, 7H), 8.16 (d, $J = 8.8$ Hz, 2H), 8.38 (s, 1H)。

高分辨质谱数据: HRMS (EI m/z) = 685.294 9 (1.75, M^+ , $\text{C}_{42}\text{H}_{40}\text{N}_3\text{O}_5\text{F}$, 理论分子量 685.295 2), 470.231 0 (100), 233.154 4 (14.89), 121.030 0 (12.95)。

在最后一步合成弯曲型分子 B1 时, 选用不同的缩合剂, 反应效果不一样。最初选用 CMC (1-环己基-2-吗啉乙基碳二亚胺对甲苯磺酸盐) 作缩合剂, 虽然该缩合剂后处理简单, 不容易在产品中残留, 但用 CMC 作缩合剂, 常温搅拌 48 h, TLC 显示大量原料并未反应完, 残留的原料会给最后分离提纯造成很大的困难。

最后选择常用的缩合剂 DCC, 虽然 DCC 吸水后形成 DCU, 而 DCU 在很多有机溶剂中都会有少量残留, 不易除去, 但是 DCC 的反应效果很好, 两个原料都反应完全, 最后的 DCU 残留先用 THF 溶解产品, 过滤除去大部分残留的 DCU, 快速柱层析, 最后多次重结晶, 可得到纯度合格的产品。最后一步酯化反应比较完全, 但由于柱层析后仍需多次重结晶, 所以产品损失很多, 提纯后的产率只有 22%。

2.2.7 弯曲型液晶分子 B2~B5 的合成及测试

用上述相似的方法合成了其他 4 个新型弯曲型液晶分子 B2~B5, 经氢核磁共振和高分辨质谱测试, 所得数据与其化学结构一致。

(1) B2 的测试数据

氢核磁共振 ^1H NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz):

$\delta_{\text{H}}=0.88(\text{t}, J=7.0 \text{ Hz}, 3\text{H}), 1.26\sim 1.33 (\text{m}, 18\text{H}), 1.65\sim 1.68 (\text{m}, 2\text{H}), 2.67\sim 2.70 (\text{m}, 5\text{H}), 7.16 (\text{d}, J=7.7 \text{ Hz}, 1\text{H}), 7.21 (\text{t}, J=8.6 \text{ Hz}, 2\text{H}), 7.32\sim 7.41(\text{m}, 7\text{H}), 7.86(\text{d}, J=8.2 \text{ Hz}, 2\text{H}), 8.00\sim 8.04 (\text{m}, 5\text{H}), 8.24\sim 8.27 (\text{m}, 2\text{H}), 8.39 (\text{s}, 1\text{H})$ 。

高分辨质谱数据:HRMS (EI m/z)=725.363 0 (3.86, M^+ , $\text{C}_{46}\text{H}_{48}\text{N}_3\text{O}_4\text{F}$, 理论分子量 725.262 9), 360.101 0(100), 237.079 4(5.10), 123.024 5 (13.38)。

(2)B3 的测试数据

氢核磁共振 ^1H NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz): $\delta_{\text{H}}=0.88(\text{t}, J=6.7 \text{ Hz}, 3\text{H}), 1.26\sim 1.32 (\text{m}, 18\text{H}), 1.59\sim 1.65 (\text{m}, 2\text{H}), 2.62\sim 2.66(\text{m}, 5\text{H}), 7.13(\text{d}, J=8.1 \text{ Hz}, 2\text{H}), 7.20\sim 7.25 (\text{m}, 5\text{H}), 7.33\sim 7.37(\text{m}, 3\text{H}), 7.96(\text{d}, J=7.7 \text{ Hz}, 1\text{H}), 8.04 (\text{d}, J=8.5 \text{ Hz}, 2\text{H}), 8.24\sim 8.27(\text{m}, 2\text{H}), 8.38 (\text{s}, 1\text{H})$ 。

高分辨质谱数据:HRMS:(EI m/z)= 621.325 7 (3.36, M^+ , $\text{C}_{40}\text{H}_{44}\text{NOF}$, 理论分子量 621.325 4), 360.100 6(100), 238.088 5(5.12), 123.024 3 (16.10)。

(3)B4 的测试数据

氢核磁共振 ^1H NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz): $\delta_{\text{H}}=0.87\sim 0.91 (\text{m}, 6\text{H}), 1.26\sim 1.33 (\text{m}, 26\text{H}), 1.45\sim 1.51 (\text{m}, 2\text{H}), 1.63\sim 1.69 (\text{m}, 2\text{H}), 1.80\sim 1.85 (\text{m}, 2\text{H}), 2.64\sim 2.70 (\text{m}, 5\text{H}), 4.05(\text{t}, J=6.5 \text{ Hz}, 2\text{H}), 7.01 (\text{d}, J=8.2 \text{ Hz}, 2\text{H}), 7.14\sim 7.17 (\text{m}, 1\text{H}), 7.32\sim 7.36 (\text{m}, 3\text{H}), 7.39 (\text{d}, J=8.7 \text{ Hz}, 2\text{H}), 7.86 (\text{d}, J=8.2 \text{ Hz}, 2\text{H}), 7.92\sim 7.93 (\text{m}, 2\text{H}), 7.98\sim 8.02 (\text{m}, 3\text{H}), 8.28 (\text{s}, 1\text{H})$ 。

高分辨质谱数据:HRMS (EI m/z)=715.471 4 (2.85, M^+ , $\text{C}_{47}\text{H}_{61}\text{N}_3\text{O}_5$, 理论分子量 715.471 3), 350.209 1(100), 210.093 6(3.71), 106.065 8 (2.09)。

(4)B5 的测试数据

氢核磁共振 ^1H NMR (CDCl_3 , ppm, 500 MHz): $\delta_{\text{H}}=0.87\sim 0.91 (\text{m}, 6\text{H}), 1.26\sim 1.38 (\text{m}, 26\text{H}), 1.45\sim 1.49 (\text{m}, 2\text{H}), 1.59\sim 1.65 (\text{m}, 2\text{H}), 1.79\sim 1.85 (\text{m}, 2\text{H}), 2.61\sim 2.65 (\text{m}, 5\text{H}), 4.04 (\text{t}, J=6.6 \text{ Hz}, 2\text{H}), 6.99 (\text{d}, J=8.8 \text{ Hz}, 2\text{H}), 7.11\sim 7.14 (\text{m}, 3\text{H}), 7.23$

$(\text{d}, J=8.4 \text{ Hz}, 2\text{H}), 7.31 (\text{t}, J=7.8 \text{ Hz}, 1\text{H}), 7.88\sim 7.93(\text{m}, 3\text{H}), 8.27(\text{s}, 1\text{H})$ 。

高分辨质谱数据:HRMS (EI m/z)=611.433 7 (4.76, M^+ , $\text{C}_{41}\text{H}_{57}\text{NO}_3$, 理论分子量 611.433 8), 350.209 1(100), 210.094 0(4.27)。

3 结果与讨论

3.1 相变温度测定

所合成的 5 个新型弯曲型液晶分子 B1~B5 经 DSC 和透射偏光熔点测定仪检测,测得相变温度见表 1。

表 1 弯曲型液晶 B1~B5 的相变温度

Table 1 Phase transition temperatures of the bent-core liquid crystals B1~B5

化合物	相变温度(℃)
B1	Cr 113 Sm ₁ 142 N 222 Iso
B2	Cr 83 Sm ₂ 99 Sm ₃ 111 SmC 175 N 194 Iso
B3	Cr 99 S _A 117 N 117.5 Iso
B4	Cr 85 N 128 Iso
B5	Cr 68 Iso (Iso 44 SmC 33 Cr)

Sm₁、Sm₂、Sm₃ 为未定结构的近晶相。

3.2 弯曲型液晶分子的性能与苯环数量的关系

B1~B5 弯曲型分子有共同的中心基团及与中心基团相连接的酯基和希夫碱基,通过改变端基的连接,得到了不同的液晶相变。含有 5 个环的弯曲型分子 B1、B2 的清亮点都高于 190 ℃ 以上,与图 1 所示的端链为烷(氧)基的化合物相比,一端端链为 F 的化合物黏度明显要低,其在低温区呈现相结构未确定的近晶相和 SmC 相。4 个环的分子 B3、B4 清亮点在 130 ℃ 以下,液晶相并没有消失,而清亮温度和向列相温度大大下降。3 个环的分子 B5 在升温过程中没有显现液晶相,但在降温过程中出现了近晶相。这些化合物呈现的向列相在低温区有与报道的双轴向列相相似的条纹织构,但是否真正是双轴向列相,还需要锥光显微镜、X-衍射和核磁共振图谱数据的验证,这些研究工作正在进行中。

4 结 论

在 5 个苯环的弯曲型液晶分子末端引入氟原子后,化合物的向列相、熔点和清亮点并没有因此

而降低。分子结构在减至 4 个苯环后,保留了向列相,并且清亮点降到了 130 ℃ 以下。当分子结构变成 3 个苯环后,化合物仅在降温过程中呈现液晶相。化合物的液晶性能和清亮温度均随苯环数的下降而下降,3 环化合物的液晶性能几乎失去。

参 考 文 献:

[1] Niori T, Sekine T, Watanabe J, *et al.* Distinct ferroelectric smectic liquid crystals consisting of banana shaped achiral molecules [J]. *J. Mater. Chem.*, 1996, 6(7):1231-1233.

[2] Shen D, Pegenau A, Diele S, *et al.* Molecular design of nonchiral bent-core liquid crystals with antiferroelectric properties [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2000, 122:1593-1601.

[3] Reddy R A, Tschierske C. Bent-core liquid crystals: polar order, superstructural chirality and spontaneous desymmetrisation in soft matter systems [J]. *J. Mater. Chem.*, 2006, 16:907-961.

[4] Takezoe H, Takanishi Y. Bent-core liquid crystals: their mysterious and attractive world [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2006, 45(2A):597-625.

[5] Gomola K, Guo L F, Dhara S, *et al.* Syntheses and characterization of novel asymmetric bent-core mesogens exhibiting polar smectic phases [J]. *J. Mater. Chem.*, 2009, 19:4240-4247.

[6] 张瑞玲, 刘红. 双轴向列相液晶弹性系数的理论推导[J]. 液晶与显示, 2008, 24(1):1-8.

[7] 陈兰莉, 汤中科. 香蕉型液晶的电子结构计算和电激发特性[J]. 液晶与显示, 2008, 24(4):478-482.

[8] Prasad V, Kang S W, Suresh K A, *et al.* Thermotropic uniaxial and biaxial nematic and smectic phases in bent-core mesogens [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2005, 127:17224-17227.

[9] Madsen L A, Dingemans T J, Nakata M, *et al.* Thermotropic biaxial nematic liquid crystals [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 2004, 92(14):145505(1-4).

[10] Acharya B R, Primak A, Kumar S. Biaxial nematic phase in bent-core thermotropic mesogens [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 2004, 92(14):145506(1-4).



欢迎订阅 2010 年《液晶与显示》

《液晶与显示》是中国最早创办的液晶学科专业期刊,也是中国液晶学科和显示技术领域中的唯一的综合性专业学术期刊。它由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国光学光电子行业协会液晶分会和中国物理学会液晶分会主办,科学出版社出版。

《液晶与显示》以创新性、综合性、实用性为办刊特色,内容丰富,涵盖面广,信息量大,可读性强,既是启迪科技人员开拓创新思路的参考期刊,又是从事液晶和显示技术研究与开发的广大科技人员、大专院校师生及相关领域的科技工作者进行学术交流的论坛,也是图书、情报等部门必不可少的信息来源。

《液晶与显示》为双月刊,国内定价 40.00 元,全年 240.00 元,国内外公开发行。国内邮发代号:12—203,国内读者可在当地邮局订阅;也可通过“全国非邮发报刊联合发行部”订阅(地址:天津市大寺泉集北里别墅 17 号,邮编 300385),本刊的代号为:5074。国外读者可通过中国国际图书贸易总公司订阅(地址:北京 399 信箱,邮编:100044),国外发行代号:4868BM。同时,《液晶与显示》编辑部将竭诚为广大读者服务,随时办理订阅。

地 址:长春市东南湖大路 3888 号 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所	
《液晶与显示》编辑部	邮 编:130033
电 话:0431-86176059 0431-84613406	传 真:0431-84695881
E-mail: yjxs@ciomp. ac. cn; yjyxs@126. com	http://www. yjyxs. com