

文章编号:1007-2780(2016)01-0040-07

苯并菲类盘状液晶的合成及应用

隋 岩^{1,2}, 郭 剑^{1,2}, 李正强^{1,2}, 华瑞茂^{1,2,3*}

(1. 诚志永华显示材料有限公司 北京研发中心, 北京 100084;

2. 河北省平板显示材料工程技术研究中心, 河北 石家庄 050091;

3. 清华大学 化学系, 北京 100084)

摘要:为了改善扭曲向列相(TN)型液晶显示的视角差的现象,合成了一种具有苯并菲结构的盘状液晶单体,并以该盘状液晶单体为材料制备了简易的光学补偿膜片。以 4-氯丁醇乙酸酯、对羟基苯甲酸甲酯和邻苯二甲醚为原料,通过七步反应以较高收率合成了一种具有苯并菲结构的盘状液晶单体。通过核磁共振(NMR)和元素分析(EA)确认了分子结构的正确性;利用偏光显微镜(POM)、预倾角测试仪和示差扫描量热仪(DSC)等对其液晶参数进行测定,并以该苯并菲单体为材料通过基板处理、摩擦配向、涂布等过程制备了光学补偿膜片。实验表明,该苯并菲盘状液晶单体具有负的光学各向异性值($\Delta n = -0.0608$)、较宽的向列相温宽($54.6 \sim 166.4^\circ\text{C}$),所制得的简易光学补偿膜片具有一定的补偿效果($R_{th} = 137\text{ nm}$)。该苯并菲类盘状液晶化合物可以作为光学补偿膜材料使用,且制备方法简单,原料易得,收率较高,易于实现大规模生产。

关键词:苯并菲;盘状液晶;光学补偿膜;负光学各向异性。

中图分类号:O753.2 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163101.0040

Synthesis and application of triphenylene discotic liquid crystals

SUI Yan^{1,2}, GUO Jian^{1,2}, LI Zheng-qiang^{1,2}, HUA Rui-mao^{1,2,3*}(1. *Beijing Research Center of Shijiazhuang Chengzhi Yonghua Display Material Co. Ltd,*
*Beijing 100084, China;*2. *Hebei Engineering & Technology Center for FPD Material, Shijiazhuang 050091, China;*3. *Department of Chemistry, Tsinghua University, Beijing 100084, China)*

Abstract: In order to improve the view angle of twisted nematic liquid crystal display (TN LCD), we synthesized a triphenylene discotic liquid crystals and prepared simple optical compensation film by using this material. This triphenylene discotic compound was synthesized from 4-chlorobutyl acetate, methyl 4-hydroxybenzoate and 1,2-dimethoxybenzene by seven steps in high yield. The construction was confirmed by nuclear magnetic resonance (NMR) and elemental analysis (EA). We also measured the parameters and the performances of this compound by polarizing optical microscope (POM), pretilt angle tester and differential scanning calorimetry (DSC). Simple optical compensation film was prepared by several steps including substrate surface treatment, rubbing-alignment, coating and so on. This triphenylene discotic compound has negative optical

收稿日期:2015-06-29; **修订日期:**2015-07-27.

基金项目:国家自然科学基金(No. 21032004);教育部高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20110002110051)

Supported by National Science Foundation of China(No. 21032004); Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education(No. 20110002110051)

* 通信联系人, E-mail: 36760594@qq.com

anisotropy ($\Delta n = -0.0608$), wide nematic phase range ($54.6 \sim 166.4^\circ\text{C}$), the optical compensation film has a certain compensative effect ($R_{th} = 137\text{ nm}$). This triphenylene discotic compound can be used in optical compensation film of the TN LCD. The preparation method is of simple operation and low cost, which can also realize industrialization easily.

Key words: triphenylene; discotic liquid crystals; optical compensation film; negative optical anisotropy

1 引言

扭曲向列相(TN)型显示模式是液晶显示器中最基本的显示技术,之后的其它种类的液晶显示器包括超扭曲向列相(STN)、面内转换(IPS)和垂直排列(VA)等显示模式都是以TN型显示为基础来进行改良。其结构主要包括了垂直方向与水平方向的上下两片偏光片、具有沟槽的配向膜、液晶材料及导电玻璃基板等。TN型显示分为常亮与常暗两种,以常亮模式为例,当背光模组产生的光线经下偏光片变成线偏振光,入射到液晶盒内,被扭曲 90° 并通过上玻璃基板外的上偏光片,此时为透光状态;当电极之间加上一定的电压时,液晶分子转动,最终于基板成垂直排列,入射光到液晶盒内产生的偏振光未被扭曲,不能通过上偏光片,呈不透光状态。

TN型显示虽然有着价格便宜,面板液晶分子响应时间快等优点,但也有着可视角较差,色彩偏差等缺点。由于液晶是具有双折射率的物质,且TN型显示所用液晶 $\Delta n > 0$,光线通过液晶分子后会分成两道光,如果光线是斜向入射液晶分子,便会产生两道折射光线,通过上下两片玻璃中的液晶后,从而产生相位延迟的现象。

因此需要用 $\Delta n < 0$ 的材料来作为补偿膜材料,这样光学补偿膜的相位延迟,可以和TN型液晶分子产生的相位延迟互相抵消,从而增加液晶面板的视角。

盘状液晶分子一直在液晶显示的应用上扮演着重要的角色^[1],由于其容易形成柱状堆积的超分子组装体,并由于其分子在液晶态具有一定的流动性,因此具有特定芳香共轭结构的盘状液晶分子可以呈现较高的导电特性,能够有效传输电荷,具备光电器件的潜在应用价值,但其最广泛的应用则是作为光学补偿膜材料的应用,尤其是在TN型显示光学补偿膜材料的应用。

目前TN型显示光学补偿膜主要由日本的Fujifilm公司所开发的富士宽视角膜(Fuji WV-film),已经推出了几代产品。该宽视角膜即以盘

状液晶分子为材料制成,对TN LCD的视角有显著的改善作用,可使水平视角达到 -70° 和 70° ,垂直视角达到 -40° 和 70° 。但由于盘状液晶分子合成的成本及收率问题,以及补偿膜制备的工艺要求较高,国内目前在该方向上还基本处于起步阶段,尚未有成熟的产品。

本文以4-氯丁醇乙酸酯、对羟基苯甲酸甲酯和邻苯二甲醚为原料,通过七步反应以较高收率合成了一种具有苯并菲结构的盘状液晶单体。通过核磁共振(NMR)、元素分析(EA)确认了分子结构的正确性;利用偏光显微镜(POM)、预倾角测试仪和示差扫描量热仪(DSC)等对其液晶参数进行测定,并以该苯并菲单体为材料通过基板处理、摩擦配向、涂布等过程制备了光学补偿膜片。实验表明,该苯并菲盘状液晶化合物具有负的光学各向异性值($\Delta n = -0.0608$),以该盘状液晶单体为材料所制得的光学补偿膜片,具有一定的延迟效果($R_{th} = 137\text{ nm}$),可以用于TN型显示的补偿膜材料,用以弥补TN型显示相位延迟所造成的视角较差的效果,该材料制备方法简单,原料易得,收率较高,易于实现大规模生产。

2 实验

2.1 实验原料和测试仪器

实验中采用的原料主要有以下几种:

4-氯丁醇乙酸酯(北京偶合科技有限公司,纯度 $> 99.0\%$);对羟基苯甲酸甲酯(北京偶合科技有限公司,纯度 $> 98.0\%$);丙烯酸(北京偶合科技有限公司,纯度 $> 99.0\%$);邻苯二甲醚(北京偶合科技有限公司,纯度 $> 98.0\%$);氢碘酸(55%水溶液,北京偶合科技有限公司);2,6-二叔丁基对甲酚(BHT,北京偶合科技有限公司,纯度 $> 98.0\%$);对甲基苯磺酸(p-TsOH,北京偶合科技有限公司,纯度 $> 99.0\%$);无水三氯化铁(北京偶合科技有限公司,纯度 $> 99.5\%$)。

实验室中所用的试剂主要有四氢呋喃、石油醚、甲苯、苯、无水乙醇、二氯甲烷、异丙醇、三乙胺、N,N-二甲基甲酰胺(DMF)、氢氧化钾、碳酸

钾等(均为商业采购,化学纯)。

实验中所用的测试仪器如下:

TA-2010 示差扫描量热仪(美国 TA 仪器公司),用于测量化合物的差热分析;JOEL JNM-ECA 300 MHz 核磁共振波谱仪(JOEL 公司),用于确定所合成化合物结构的正确性;Vario EL III 元素分析仪(德国 Elementar 公司),用于验证所合成化合物结构的正确性;LWT300LPT 偏光显微镜(上海测维光电技术有限公司),用于观察所合成化合物的相变的转换;TA-3C 预倾角测试仪(清大天大光电科技),用于测量补偿膜中光学各向异性层中的液晶分子的预倾角;LCT-5016C 液

晶参数测试仪(长春应用仪器),用于测量盘状液晶分子的液晶参数。

实验中涂布所用的仪器如下:

COATMASTER 510 刮刀涂布机(德国 Erichsen 仪器公司),用于薄膜的涂布;J INTEL-Li-RAY 400 紫外固化仪(美国 Uvitron 公司),用于涂布完薄膜的紫外固化过程;DHG-9070A 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司)。

2.2 苯并菲类盘状液晶的合成

本文合成了 2,3,6,7,10,11-六((4-(4-丙烯酰氧基)丁氧基)苯甲酰基)苯并菲(7)盘状液晶单体,合成路线见图 1。

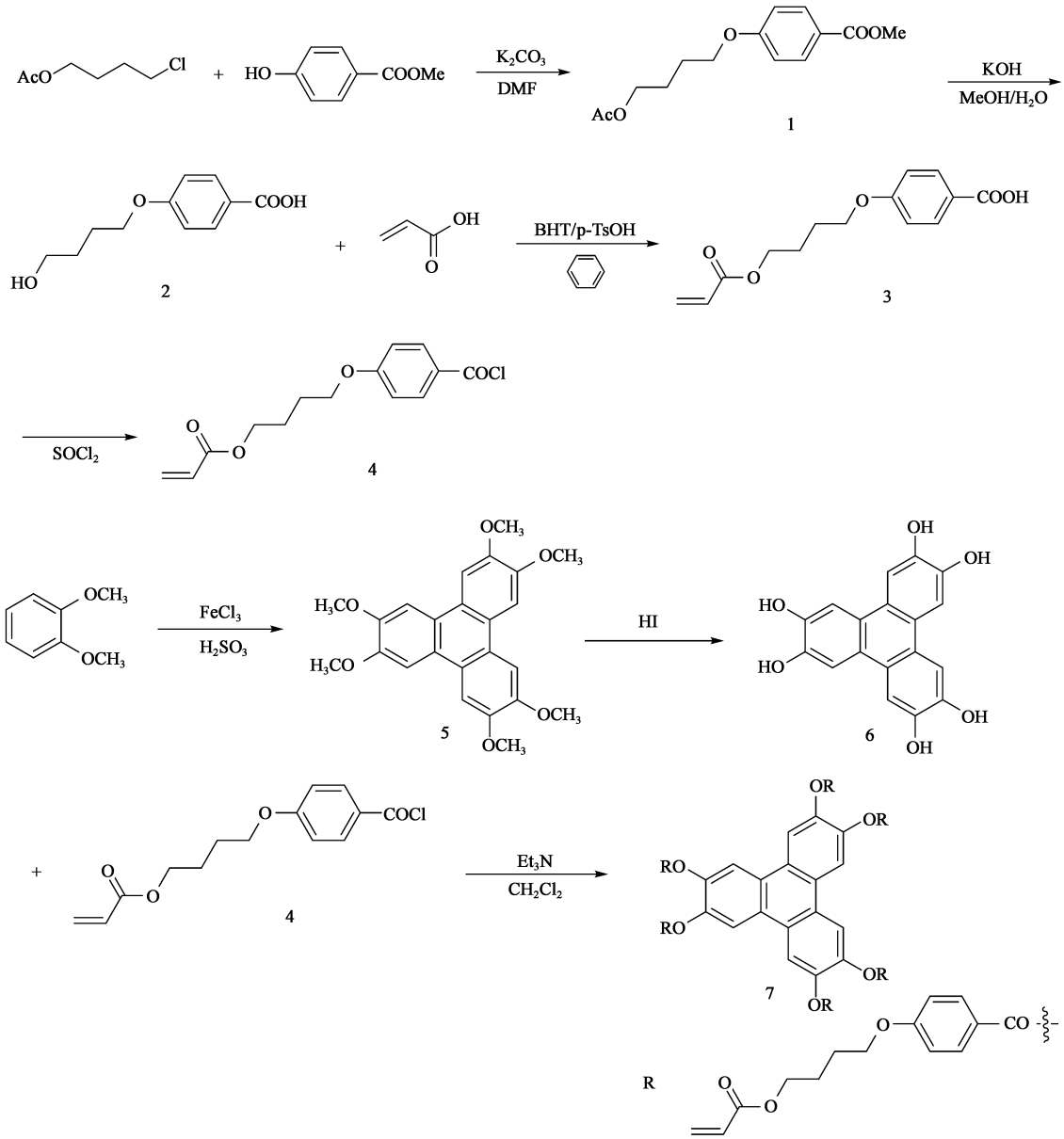


图 1 苯并菲盘状液晶化合物 7 的合成

Fig. 1 Synthesis of triphenylene discotic liquid crystals 7

2.3 苯并菲类盘状液晶化合物的合成过程

2.3.1 4-(4-乙酰基丁氧基)苯甲酸甲酯(1)的合成

向 500 mL 单口瓶中,加入 36.5 g (0.24 mol)对羟基苯甲酸乙酯、30.1 g (0.20 mol) 4-氯丁醇乙酸酯和 41.5 g (0.30 mol)碳酸钾,在搅拌下,将 200 mL DMF 加入,在 120 °C 下搅拌反应 6 h。冷却后,在搅拌下将反应混合物倒入水中,出现大量浅黄色固体,继续搅拌 10 min,过滤,用水洗涤固体,得化合物 1 为浅黄色固体 53.3 g,测得气相色谱纯度 GC 为 98.4%,收率为 98%。

2.3.2 4-(4-羟基基丁氧基)苯甲酸(2)的合成

向 500 mL 单口瓶内,加入 53.3 g (0.23 mol) 4-(4-乙酰基丁氧基)苯甲酸甲酯(1),200 mL 甲醇,搅拌溶解。然后滴加 38.7 g (0.69 mol)氢氧化钾的 50 mL 水溶液,加完后,加热回流 2 h,冷却至室温,搅拌下用稀盐酸酸化至 pH=1,析出白色固体,过滤,用水洗涤固体,得化合物 2 为白色固体 44.0 g,测得液相色谱纯度 HPLC 为 99.2%,收率为 91%。

2.3.3 4-(4-丙烯酰氧基)丁氧基)苯甲酸(3)的合成

向 500 mL 三口瓶内,分别投入 44.0 g (0.21 mol) 4-(4-羟基基丁氧基)苯甲酸(2)、2.2 g (0.01 mol) 2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)、6.9 g (0.04 mol)的对甲基苯磺酸,80 mL 新蒸馏的丙烯酸,然后投入 200 mL 的苯,回流反应 4 h,分水器分去反应所生成的水。抽滤,滤去反应中过量的丙烯酸生成的聚合物,滤液旋干。向体系加入 300 mL 的水,搅拌 10 min,抽滤,得到白色固体产品。150 mL 乙醇重结晶,得到白色晶体产品 47.7 g,测得气相色谱纯度 GC 为 99.1%,收率:86%。

2.3.4 4-(4-丙烯酰氧基)丁氧基)苯甲酰氯(4)的合成

向 500 mL 三口瓶内,分别投入 47.7 g (0.18 mol) 4-(4-丙烯酰氧基)丁氧基)苯甲酸(3)、1.0 g 2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)、40 mL 的二氯亚砷,然后投入 200 mL 的四氢呋喃,回流反应 4 h。旋去溶剂和过量的二氯亚砷,得到黄色液体 46.8 g,收率 92%,直接用于下一步反应。

2.3.5 2,3,6,7,10,11-六甲氧基苯并菲(5)的合成^[2]

向 2 000 mL 烧杯中,加入 250 mL 的 70%的

硫酸,冰浴搅拌下,分批加入 60.0 g (0.37 mol)的无水三氯化铁、加完后冰浴搅拌 1 h。保持 0 °C 下滴加 16.6 g (0.12 mol)的邻苯二甲醚,滴加完毕后体系缓慢升至室温,搅拌过夜。次日,加入 200 mL 水稀释,抽滤,分别用 20 mL 的水、乙醇和甲苯洗涤固体,烘干,得到紫色固体产品 12.6 g,测得液相相色谱纯度 HPLC 为 96.8%,收率:77%。

2.3.6 2,3,6,7,10,11-六羟基苯并菲(6)的合成^[2]

向 1 000 mL 茄形瓶中,分别加入 250 mL 的 55%的氢碘酸水溶液和 250 mL 的冰醋酸,然后向体系加入 12.6 g (0.03 mol)的 2,3,6,7,10,11-六甲氧基苯并菲(5),加热回流反应 3 h。抽滤,水洗,得到灰白色固体产品 6.7 g,测得液相色谱纯度 HPLC 为 97.4%,收率:67%。

2.3.7 2,3,6,7,10,11-六((4-(4-丙烯酰氧基)丁氧基)苯甲酰基)苯并菲(7)的合成

向 500 mL 三口瓶中,加入 6.7 g (0.02 mol) 2,3,6,7,10,11-六羟基苯并菲(6)、150 mL 的二氯甲烷、100 mL 的三乙胺,搅拌均匀。室温下滴加 39.5 g (0.14 mol) 4-(4-丙烯酰氧基)丁氧基)苯甲酰氯的 200 mL 二氯甲烷溶液,滴完后,室温反应 8 h。抽滤,旋去溶剂,过硅胶柱,石油醚:乙酸乙酯=1:2 淋洗得到淡黄色固体产品 19.8 g,测得液相色谱纯度 HPLC 为 98.8%,收率:52%。

测试结果如下:

¹H NMR (CDCl₃, 300 MHz): δ=8.30 (s, 6H, Ph-H), 7.87 (d, 12H, J=5.4 Hz, Ph-H), 6.64 (d, 12H, J=5.9 Hz, Ph-H), 6.34 (d, 6H, J=17.3 Hz, CH=CH₂-H), 6.1~6.05 (m, 6H, CH=CH₂-H), 5.79 (d, 6H, J=10.4 Hz, CH=CH₂-H), 2.74 (t, 4H, J=7.6 Hz, -CH₂-), 4.22~4.18 (m, 12H, -OCH₂-), 1.85~1.81 (m, 24H, -CH₂-);

¹³C NMR (CDCl₃, 75 MHz): δ=166.5, 165.2, 164.6, 146.3, 135.0, 131.3, 130.9, 128.2, 121.8, 114.3, 112.8, 68.4, 65.3, 27.7, 25.3.

元素分析结果:

C₁₀₂H₉₆O₁₃, 理论值(%): C: 67.99, H: 5.37;实测值(%): C: 68.42, H: 5.44.

上述结果表明,所得化合物结构正确。

3 结果与讨论

3.1 相关液晶参数的测量方法^[3-4]

(1)单体液晶化合物的相态温度变化

采用 TA-2010 型差热分析扫描仪,初始温度为 20 ℃,加热速率为 10 ℃/min,升温至 300 ℃测定的;并通过偏光显微镜(POM)观察化合物的相态转变,确定化合物的相态。

(2)苯并菲盘状液晶化合物的光学各向异性

(Δn)与光学补偿膜厚度是 LCT-5016C 液晶参数测试仪,在 25 ℃温度下,测量所得。

(3)光学补偿膜的相关参数,由 TA-3C 预倾角测试仪,在 25 ℃温度下,测量所得。

3.2 相关液晶参数的测定结果

采用上面的测试方法,得到的化合物 7 的液晶参数如表 1 所示,液晶相织构图如图 2 所示,DSC 曲线如图 3 所示,从曲线中可以看出,当温度超过 200 ℃以后,化合物 7 在高温下开始发生聚合反应,因此呈现出一个向上的放热峰。

表 1 苯并菲盘状液晶单体 7 相关的液晶参数

Tab. 1 Parameters of triphenylene discotic liquid crystals 7

化合物	n_o	n_e	Δn	相变温度/ ℃
7	1.603 8	1.543 0	-0.060 8	C64.3 N 175.4 I

注: C 表示晶体; N 表示液晶向列相; I 表示各向同性液体

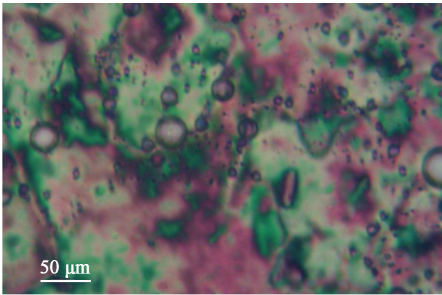


图 2 化合物 7 在降温至 166.4 ℃时呈现出的向列相织构图

Fig. 2 Nematic texture of compound 7 at 166.4 ℃ during cooling

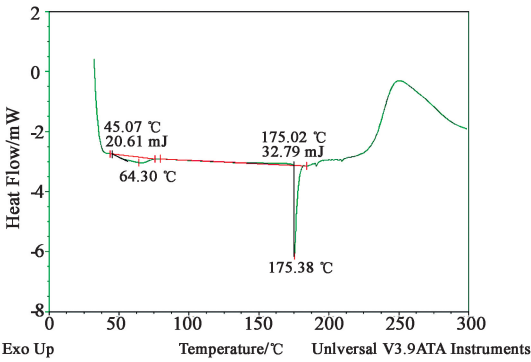


图 3 化合物 7 在 DSC 曲线图

Fig. 3 DSC diagram of compound 7

3.3 简易光学补偿膜片的制备

3.3.1 TAC 基材的表面处理

将 100 μm 的 TAC 基材浸入 1.5 mol/L 的 NaOH 溶液中 2 min,然后用清水冲洗 5 min,再浸入 0.05 mol/L 的 H_2SO_4 溶液中 2 min 进行中和,用清水冲洗 5 min,最后在流动的空气中 100 ℃进行干燥 10 min,得到经过表面处理的 TAC 基材。

3.3.2 取向层的形成

称取 0.2 g 聚乙烯醇(PVA)放入 100 mL 烧杯中,加入 3.6 g 去离子水,70 ℃磁力搅拌 8 h,然后加入 1.2 g 的甲醇和 0.01 g 的戊二醛的溶液,搅拌 30 min。

将经过表面处理后的基材平铺于涂布台上,涂布机厚度设置为 0.1 mm,速度设置为 20 mm/s,将上述配制好的涂布液滴在刮刀涂布头处,进行涂布。

将涂好的湿膜放在干燥箱中 60 ℃干燥 60 s,然后 90 ℃下干燥 150 s。

将干燥成膜的样片放置于摩擦机上,厚度标尺设置为 1 格,往返 20 次,摩擦方向与聚合物伸展方向成 45°,进行摩擦配向,得到所需的配向层。

3.3.3 光学各向异性层的形成

称取 0.5 g 苯并菲盘状液晶单体 7 放入 50 mL 烧杯中,加入 2 g 丁酮,搅拌溶解 1 h,再加入 5 mg 的光引发剂 184,搅拌 30 min。

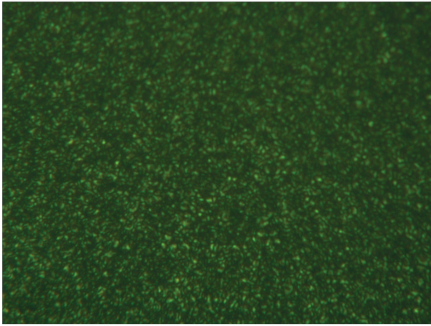
将 3.3.2 所制得的配向后的样品放置于刮刀涂布机的涂布台上,刮刀涂布机厚度设置为 0.06 mm,速度设置为 20 mm/s,将上述配制好的溶液滴在涂布头处,进行涂布。

将所得湿膜放在干燥箱中 130 ℃ 干燥 2 min,然后再紫外固化机中采用 20 mW/cm² 的能量固化 5 min。从而得到光学各向异性层/取向层/TAC 基材的三层结构的光学补偿膜片 8。

3.4 光学补偿膜片的性能测试

3.4.1 补偿膜片在偏光显微镜下观测

在偏光显微镜下观测所制得的光学补偿膜片 8,如图 4 所示,从显微镜下可以看出,苯并菲盘状



液晶单体在补偿膜中经过配向处理后形成的向列相结构。

3.4.2 补偿膜片的性能测试

得到的简易光学补偿膜片,其光学各向异性层结构如图 5 所示,盘状液晶分子在其中以混合配向的方式存在,液晶分子从上到下与基板所成角度逐渐增大。靠近基板底部的液晶分子配向后,与基板所成角度为起偏角 θ_1 ,靠近基板顶部,液晶分子与基板所成角度为与空气的界入角 θ_2 ,采用 3.1(2)和(3)相关方法进行测量,其测量结果如表 2 所示,并与市售产品 WV-film 的性能参数进行了对比。

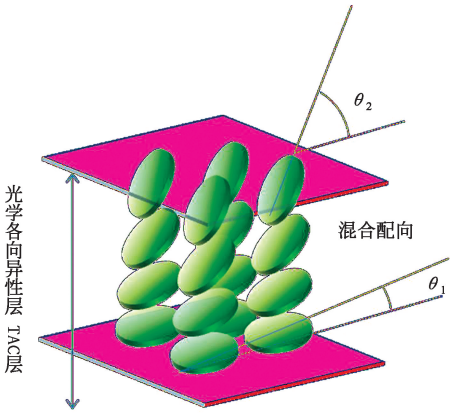


图 4 光学补偿膜片 8 的 POM 观测图
Fig. 4 POM observation of compensation film 8

图 5 光学各向异性层结构示意图
Fig. 5 Diagram of optically anisotropic layer

表 2 补偿膜 8 和 WV-film 的相关参数对比
Tab. 2 Parameters of compensation film 8 and WV-film

补偿膜片	$\theta_1 / (^\circ)$	$\theta_2 / (^\circ)$	$\beta / (^\circ)$	$d / \mu\text{m}$	R_{th} / nm
8	7	72°	15.6	1.452	137
WV-film			15.5±1.5	1.5	142±8

3.5 讨 论

(1)苯并菲类盘状液晶的合成一直是一个合成难点,尤其是最后一步酯化步骤,有很多方法,包括 p-TsOH 脱水^[5],DCC/DMAP 脱水^[6],HOBt/EDCI 体系脱水^[7]等等,但都存在着收率低,副产物较多,且较难分离,成本较高等缺陷,本文采用酰氯与酚的反应来制备苯并菲盘状液晶化合物,基本无副产物,且收率由以往的 30%~

40%提升至 52%,且较容易纯化。
(2)由于 TN 型显示所用液晶分子 $\Delta n > 0$,所以如果光线是斜向入射液晶分子,变回产生 2 道折射光线 o 光与 e 光,当光线经过上下两片玻璃中的液晶后,就会产生相位延迟的现象。本文中所制得的苯并菲盘状液晶的光学各向异性值 Δn 为-0.060 8。因此可以通过在 TN 显示屏上下添加由盘状液晶为材料的两片补偿膜来抵消所造

成的相位延迟,达到广视角的效果。

(3)光学补偿膜的预倾角控制是光学补偿膜制备的关键步骤,液晶分子合适的起偏角与预倾角及膜厚才可实现对 TN 型显示的补偿效果,还需进行较为精确的光学模拟计算,本文所制得的简易光学补偿膜片的延迟值 $R_{th}=137\text{ nm}$ 与市售的 TN 型光学补偿膜片的参数对比已较为接近^[8-10]。

综上所述,本文合成的具有苯并菲结构的盘状液晶化合物具有负的光学各向异性(Δn),该化合物原料简单易得,通过对合成方法的改善,提高了收率,降低了提纯难度,易于实现大规模生产。并以该苯并菲盘状液晶单体为材料制备了简易的光学补偿膜片,通过参数测试表明,制得光学补偿膜片具有一定的补偿效果,可应用于 TN 型显示的补偿膜材料。

4 结 论

以 4-氯丁醇乙酸酯、对羟基苯甲酸甲酯和邻苯二甲醚为原料,通过七步反应以较高收率合成了一种具有苯并菲结构的盘状液晶单体。通过核磁共振(NMR)和元素分析(EA)确认了分子结构的正确性;利用偏光显微镜(POM)、预倾角测试仪和示差扫描量热仪(DSC)等对其液晶参数进行测定,并以该苯并菲单体为材料通过基板处理、摩擦配向、涂布等过程制备了光学补偿膜片。实验表明,该苯并菲盘状液晶化合物具有负的光学各向异性值($\Delta n=-0.0608$),以该盘状液晶单体为材料所制得的光学补偿膜片,具有一定的补偿效果($R_{th}=137\text{ nm}$),可以用于 TN 型显示的补偿膜材料,用以弥补 TN 型显示相位延迟所造成的视角较差的效果,该材料制备方法原料易得,收率较高,易于实现大规模生产。

参 考 文 献:

- [1] 田颖清,赵英英,汤心颐. 盘状液晶简介[J]. 液晶与显示,1997,12(1):40-50.
TIAN Y Q, ZHAO Y Y, TANG X Y. Brief introduction of discotic liquid crystals [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 1997, 12(1): 20-24. (in Chinese)
- [2] HAN D H, TONG X, ZHAO Y. Synthesis and characterization of six-arm star polystyrene-block-poly (3-hexylthiophene) copolymer by combination of atom transfer radical polymerization and click reaction [J]. *J. Polym. Sci. Pol. Chem.*, 2012, 50(20): 4198-4205.
- [3] GREENFIELD S, COATES D, GOULDING M, *et al.* Nematogenic laterally fluorinated biphenyls with polar terminal groups [J]. *Liq. Cryst.*, 1995, 18(4): 665-672.
- [4] KIRSCH P, BREMER M. Nematic liquid crystals for active matrix displays: molecular design and synthesis [J]. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2000, 39(23): 4216-4235.
- [5] BUENO M, MOLINA I, GALBIS J A. Degradable “Click” polyesters from erythritol having free hydroxyl groups [J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2012, 97(9): 1662-1670.
- [6] NEELAKANTAN S, PADMASANI R, SESHADRI T R. New reagents for the synthesis of depsides: Methyl evernate, methyl lecanorate, evernic acid and atranorin [J]. *Tetrahedron*, 1965, 21(12): 3531-3536.
- [7] SUZUKI N, SUZUKI T, OTA Y, *et al.* Design, synthesis, and biological activity of boronic acid-based histone deacetylase inhibitors [J]. *J. Med. Chem.*, 2009, 52(9): 2909-2922.
- [8] 纲中英一郎,桥本齐和. 具有由盘状液晶分子制成的光学各向异性层及包括聚合物薄膜的透明基板的光学补偿片: 日本,JP01822458. X[P]. 2005-01-05.
- [9] AMINAKA E, HASHIMOTO K. Optical compensating sheet having optically anisotropic layer made of discotic liquid-crystalline molecules and transparent substrate comprising polymer film: EUR, EP1341007 [P]. 2003-03-09.
- [10] 陈键,杜渭松,高潮. 六(十二烷基)六苯并蒽的简便合成[J]. 液晶与显示,2014,29(4):508-514.
CHEN J, DU W S, GAO C. Simply Synthesis of hexakis (4-dodecy)-peri-hexabenzocoronene [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(4): 208-514. (in Chinese)