

文章编号:1007-2780(2015)02-0208-05

Ag 纳米线掺杂的液晶显示器件的电-光特性

赵东宇^{1*}, 邓思妍¹, 康建新¹, 王 茜¹, 许丽红¹, 郭 林¹, 杨 槐²

(1. 北京航空航天大学 化学与环境学院, 北京 100191; 2. 北京大学 工学院, 北京 100871)

摘要:为了降低液晶显示器(LCD)的能耗,制备了 Ag 纳米线-液晶复合材料。用不同浓度的直径约为 50 nm 的 Ag 纳米线掺杂在液晶中,制备了扭曲向列相液晶显示(TN)模式液晶盒,研究了 Ag 纳米线对 TN 显示模式液晶盒的驱动电压、开态响应时间以及频率调制特性的影响。液晶电-光性能的研究结果表明,Ag 纳米线的加入能显著降低 TN 显示模式液晶盒的驱动电压,最大降幅可达 14%;但液晶盒的响应时间在掺杂 Ag 纳米线掺杂后有一定程度的增加。此外,Ag 纳米线掺杂的液晶显示出很强的频率调制特性。Ag 纳米线的掺杂可以有效改善 TN 显示模式液晶的电-光性能。

关 键 词:液晶显示;Ag 纳米线;阈值电压;响应时间;频率调制

中图分类号:TP394.1;TH691.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/JYXS20153002.0208

Electro-optical properties of liquid crystal display doped with Ag nanowires

ZHAO Dong-yu^{1*}, DENG Si-yan¹, KANG Jian-xin¹, WANG Qian¹,
XU Li-hong¹, GUO Lin¹, YANG Huai²

(1. *School of Chemistry and Environment Science, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China;*
2. *College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China*)

Abstract: In order to reduce the power consumption of liquid crystal displays (LCD), the Ag nanowires-liquid crystal composites were prepared. Twisted nematic (TN) liquid crystal mode cells doped with Ag nanowires of 50 nm diameters and different concentrations were prepared. The effects of Ag nanowires on the driving voltage, response time and frequency modulation of TN LCD mode cells were investigated. It was found that the addition of Ag nanowires decreased the driving voltage remarkably, and the threshold voltage can be reduced by 14% at most. The field on response time (T_{on}) of TN LCD mode cells doped with Ag nanowires was higher than those of pure TN LCD mode cells. Furthermore, strong frequency modulation response of the electro-optical characteristics was also found in Ag nanowires doped TN LCDs. The doping of Ag nanowires into LC host improved the electro-optical characteristics of TN LCDs effectively.

收稿日期:2014-07-23; **修订日期:**2014-08-20.

基金项目:国家自然科学基金(No. 51203005); 高等学校教育部博士点基金(No. 20121102120045); 中央高校基本科研业务费专项资金(No. YWF-13-T-RSC-098); 中央高校基本科研业务费专项资金(No. YWF-14-HHXY-010)

* 通信联系人, E-mail: zhaodongyu@buaa.edu.cn

Key words: liquid crystal display; Ag nanowire; threshold voltage; response time; frequency modulation

1 引言

液晶由于其兼有液体和晶体的性质,在很多领域,例如各种光子器件^[1]以及高精密度的可调制器件^[2](可调焦透镜、相位调制器、调光窗等)中都展示出了重要的应用前景。在液晶的各类应用中,显示领域的应用一直占有最重要的地位。自从向列相液晶的光电特性应用于平板显示领域以来,人们一直致力于得到更低能量消耗和更快响应的显示性能,为了提升这些性能,采取了减小厚度等物理方法或开发具有更低粘滞度的液晶材料等化学方法^[3],但这同时也对制造工艺及成本提出了更严苛的要求。近年来,由于纳米技术的出现,研究人员发现用掺杂纳米粒子方法可以有效改善向列相液晶的电光特性(降低阈值电压、提高响应时间等)^[4]。2005年,I. Dierking 等人^[5]发现在液晶材料里掺杂碳纳米管能够降低体系黏度和提高介电各向异性,因此能有效降低开启电压。Kent 州立大学 J. West 课题组^[6-9]从这一角度出发,将具有很强介电各向异性的铁电性纳米材料 $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ 掺入液晶,发现对液晶的电光性能有显著的改善,这一灵感来源于液晶材料的各向异性是其能够实现显示功能的主要性质之一。2002年,Yukihide Shiraishi 课题组^[10]向向列相液晶中掺杂质量分数 1% 的钯纳米粒子后发现了一种新奇的频率调制现象(Frequency Modulation),并根据这一特性提出了不同于传统电压调制的频率调制驱动。

本课题旨在研究掺杂不同浓度 Ag 纳米线的扭曲向列相液晶(TN)在外电场作用下的电-光特性。将 Ag 纳米线掺杂在液晶中制备了 TN 显示模式液晶盒,采用液晶综合参数测试仪研究了 Ag 纳米线对 TN 显示模式液晶盒的驱动电压、响应时间以及频率调制的影响。实验结果表明,在交流电场作用下,液晶的阈值电压随着掺杂浓度的增加而减小,这说明掺杂 Ag 纳米线的确能够改善液晶的电光性能。值得惊喜的是,频率的改变对扭曲向列相液晶阈值电压的改变影响显著,随着频率的增加,阈值电压先减小后增大,且减小迅

速但增长缓慢。

本文主要研究掺杂金属纳米颗粒对液晶电光特性的影响,以期能降低液晶的驱动电压和响应时间。这一研究对于提高液晶作为显示器核心材料的寿命和性能具有重要的探索意义。

2 实验

2.1 实验材料与仪器

实验所用 Ag 纳米线为本实验室合成,直径约为 50 nm,扫描电镜结果如图 1 所示。液晶材料为向列相液晶 5CB ($\text{TNI}=35\text{ }^\circ\text{C}$) (石家庄永生华清公司)。实验采用 LCT-5016C 型液晶参数综合测试仪测定液晶的电光性能(长春联城仪器有限公司)。采用 Hitachi S-4800 型高分辨扫描电子显微镜(SEM)观察 Ag 纳米线的形貌,尺寸和均匀性。以聚乙烯醇(PVA)配制取向层溶液,其它实验试剂均为分析纯,使用前未经进一步处理。

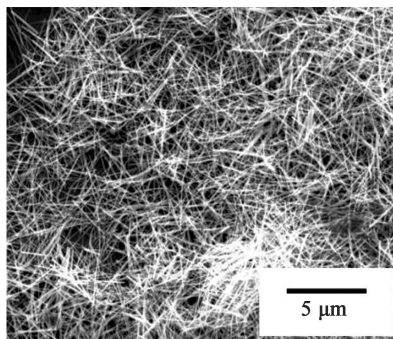


图1 实验所用银纳米线的 SEM 图

Fig. 1 SEM image of some Ag nanowires used in the experiment

2.2 Ag 纳米线-液晶复合体系的制备

将 1 mg Ag 纳米颗粒加入到 2 mL 无水乙醇中,得到浓度为 $0.5\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的混合溶液,超声震荡 0.5 h,使其在无水乙醇中分散均匀。分别将 10 μL 、20 μL 、100 μL 、200 μL 、400 μL 的上述乙醇溶液加入到 0.1 g 液晶中,常温下放置 72 h,除去复合体系中的乙醇,获得不同质量分数的银纳米颗粒-液晶复合材料,质量分数分别为

0.005%、0.01%、0.05%、0.1%、0.2%。

2.3 TN 液晶显示模式液晶盒的制备

首先对基板进行取向处理。将 ITO 玻璃片上的导电面朝上放在 KW-4A 型台式匀胶机的转台上,用滴管将质量分数 2.5% 的 PVA 溶液滴在玻璃片的导电面上,以 $400\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度初转 9 s,再以 $3\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 旋转 30 s,85℃ 下烘干 30 min,使取向层彻底干燥固化。用绒布对涂覆有 PVA 取向层的一面进行定向摩擦,即获得经过取向处理的 ITO 基板。

液晶池由两片经过表面取向处理的 ITO 玻璃导电面相对上下交叉搭在一起,中间铺两片间隔垫(厚度约为 $15\text{ }\mu\text{m}$) 控制液晶层厚度,然后用胶封边框,留出液晶灌注口。把掺杂有不同质量分数 Ag 纳米线的液晶混合溶液涂在液晶盒的灌注口处,由于毛细作用,液晶将由此处被吸入液晶盒。最后封住灌注口,完成液晶池的制作。

2.4 液晶电-光性能的测试

实验使用 LCT-5016C 型液晶综合参数测试仪测试 TN 液晶显示模式液晶池的电-光性能,包括 Ag 纳米线-向列相液晶复合体系的阈值电压,响应时间以及频率调制特性,本实验采用的响应时间的定义为:

$T=T_{\text{on}}+T_{\text{off}}$, 其中: T_{on} 为开启时间, T_{off} 为断开时间。

3 结果与讨论

3.1 Ag 纳米线对 TN 模式液晶阈值电压的影响

本实验掺杂的纳米颗粒为 Ag 纳米线,采用向列相液晶材料 5CB 为母体。在探讨 Ag 纳米线的掺杂对液晶电光性能的影响之前,首先制备 5CB 的 TN 液晶显示模式液晶盒,在频率为 100 Hz 下测量其电光性能。测得结果如下:5CB 的阈值电压为 1.097 V,响应时间为 16.5 ms。而在掺杂了不同质量分数的 Ag 纳米线之后,复合体系电光性能测量结果如图 2 所示。图 3 为掺杂 Ag 纳米线的 TN 液晶显示模式液晶盒的阈值电压随 Ag 纳米线质量分数的变化曲线。

从图 2 和图 3 中可以看出,随着银纳米线质量分数的增加,阈值电压逐渐减小。在银纳米线浓度较低时,阈值电压下降较快,随着银纳米线浓度的增大,阈值电压逐渐趋于平稳。从实验结果

可见,对比不掺杂银纳米线的纯 TN 液晶显示模式液晶盒,掺杂极少量 Ag 纳米线便能使阈值电压明显下降。在银纳米线质量分数为 0.2% 时,阈值电压下降最多,此时阈值电压下降约 14%,对液晶电-光性能的改善效果明显。

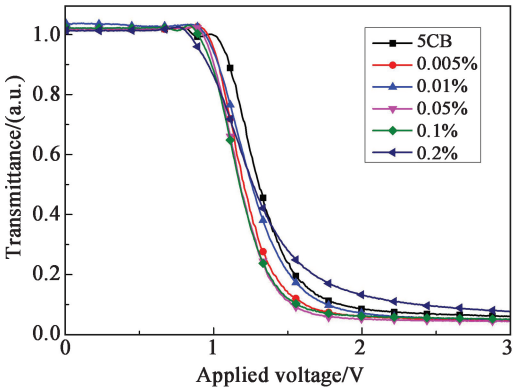


图 2 掺杂不同质量分数 Ag 纳米线的 TN 显示模式液晶池电压-透过率曲线

Fig. 2 V-T curves for pure and Ag nanowires doped 5CB LC cells dependent on the concentration of Ag nanowires

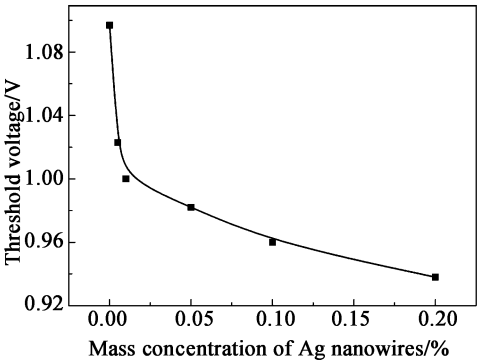


图 3 掺杂 Ag 纳米线的 TN 显示模式液晶池的阈值电压随 Ag 纳米线质量分数的变化曲线

Fig. 3 Threshold voltage curve for pure and Ag nanowires doped 5CB LC cells

3.2 Ag 纳米线对 TN 模式液晶频率调制特性的影响

我们用上述材料中 Ag 纳米线质量分数为 0.1% 的样品进行了液晶频率调制特性的研究。图 4 为掺杂的 Ag 纳米线质量分数为 0.1% 时不同频率下 TN 液晶显示模式液晶盒的透过率随电压的变化曲线。图 5 为掺杂 Ag 纳米线的 TN 液晶显示模式液晶盒的阈值电压随频率的变化曲线。

从图 4 和图 5 中可以看出,掺杂了银纳米线之后,频率的改变对液晶阈值电压影响显著,在低频率下更为明显。随着频率增大, 阈值电压迅速

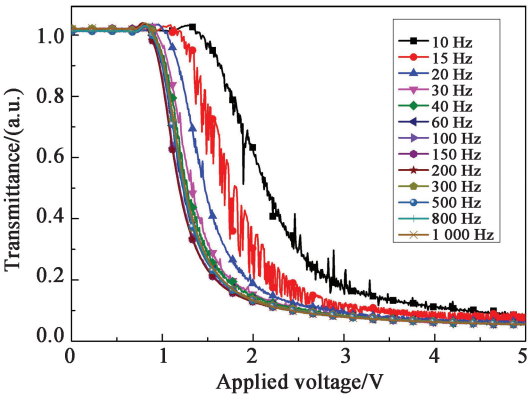


图 4 不同频率下掺 Ag 纳米线的 TN 液晶显示模式液晶池电压-透过率曲线

Fig. 4 V-T curves for Ag nanowires doped 5CB LC cells dependent on the frequency

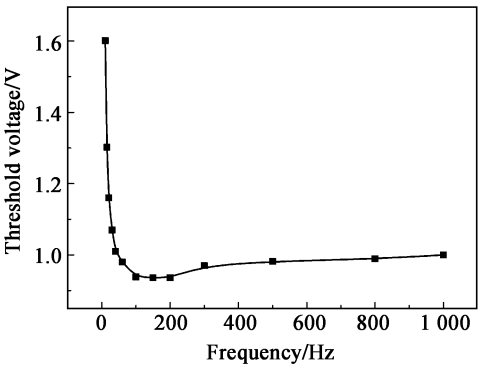


图 5 掺杂 Ag 纳米线的 TN 液晶显示模式液晶盒的阈值电压随频率的变化曲线

Fig. 5 Threshold voltage curve for Ag nanowires doped 5CB LC cells dependent on the frequency

减小,但当频率继续增大,减小趋势变缓直至最后趋于饱和。在实验变量改变的条件下(10 Hz~1 000 Hz),阈值电压改变了 0.65 V。

表 1 为掺杂不同质量分数 Ag 纳米线的 TN 液晶盒的响应时间。在没有掺杂 Ag 纳米线时,5CB 的响应时间是 16.5 ms。从表 1 可以看出,响应时间与 5CB 相比普遍增大。掺杂浓度为 0.01%时,响应时间有所减小,其它掺杂浓度 TN 模式液晶盒的响应时间均比 5CB 大。响应时间与掺杂浓度之间没有明显的变化规律。

表 1 掺杂不同质量分数的 Ag 纳米线的 TN 液晶显示模式液晶池的响应时间

Tab. 1 Response time for Ag nanowires doped 5CB LC cells

质量分数(%)	响应时间(ms)
0.005	25.6
0.01	11.8
0.05	24.1
0.1	22.4
0.2	19.2

4 结 论

通过在向列相液晶中掺杂 Ag 纳米线,研究液晶-Ag 纳米线复合体系的电-光性能。实验结果表明,Ag 纳米线的加入能够有效降低 TN 液晶模式液晶池的阈值电压,但液晶响应时间有一定增加。液晶 5CB 的阈值电压与掺杂 Ag 纳米线的质量分数存在明显的变化规律,随着掺杂 Ag 纳米线质量分数的增大,5CB 的阈值电压逐渐减小,阈值电压最大降幅可达 14%。响应时间与 Ag 纳米线质量分数之间没有明显的变化规律。另外掺杂 Ag 纳米线以后的 TN 液晶模式液晶池的阈值电压受频率影响明显,随着频率的增大阈值电压降低,直至趋于饱和。

参 考 文 献:

[1] 杨波,梁静秋,梁中翥,等. 液晶-金属光子晶体波导的光学特性 [J]. 发光学报, 2011, 32(11): 1159-1164.
Yang B,Liang J Q,Liang Z Z,*et al.* The optical properties of a liquid crystal-metal photonic crystal waveguide [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2011, 32(11): 1159-1164. (in Chinese)

[2] 周建伟,梁静秋,梁中翥,等. 液晶调制光子晶体微腔光衰减器 [J]. 发光学报, 2013, 34(2):245-250.
Zhou J W, Liang J Q,Liang Z Z,*et al.* Tunable two-dimensional photonic crystals cavity attenuator using liquid-crystal [J]. *Chinese Journal of luminescence*, 2013, 34(2): 245-250. (in Chinese)

- [3] 孙玉宝. 液晶显示模式中的响应时间[C]. 中国平板显示学术会议, 2010:117-120.
Sun Y B. Response time in liquid crystal display modes [C]. 2010 *China FPD Conference*, 2010:117-120. (in Chinese)
- [4] 张天翼, 许军. 纳米粒子掺杂的液晶显示技术 [J]. 现代显示, 2007, 73: 54.
Zhang T Y, Xu J. The applications of nanoparticle-doped on liquid crystal displays [J]. *Advanced Display*, 2007, 73: 54. (in Chinese)
- [5] Dierking I, Scalia G, Morales P. Liquid crystal-carbon nanotube dispersions [J]. *Journal of Applied Physics*, 2005, 97(4): 044309.
- [6] Glushchenko A, Cheon C, West J, *et al.* Ferroelectric particles in liquid crystals: recent frontiers [J]. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2006, 453:227-237.
- [7] Reznikov Y, Buehnev O, Reznikov V, *et al.* Ferroelectric nematic suspension [J]. *Applied Physics Letters*, 2003, 82 (12): 1917-1919.
- [8] Ouskova E, Buchnev O, Reshetnyak V, *et al.* Dielectric relaxation spectroscopy of a nematic liquid crystal doped with ferroelectric Sn₂P₂S₆ nanoparticles [J]. *Liquid Crystals*, 2003, 30(10): 1235-1239.
- [9] Li F, West J, Glushchenko A, *et al.* Ferroelectric nanoparticles/liquid-crystal colloids for display applications [J]. *Journal of the SID*, 2006, 14(6): 523-527.
- [10] Shiraishi Y, Toshima N, Maeda K, *et al.* Frequency modulation response of a liquid-crystal electro-optic device doped with nanoparticles [J]. *Applied Physics Letters*, 2002, 81(15): 2845-2847.

作者简介:赵东宇 (1976—), 女, 内蒙古根河人, 工学博士, 硕士生导师, 主要从事纳米-液晶复合体系的制备与性能方面的研究。E-mail: zhaodongyu@buaa.edu.cn