文章编号：1007-2780(2026)08-1102-09

用于车载显示单向防窥的WVA补偿膜TN型视角控制器的仿真研究

雍佳丽，李　双，马红梅，孙玉宝*
(河北工业大学 理学院，天津 300401)

摘要：为了解决传统90°TN结构视角控制器大极角漏光问题，本文提出一种由广视角盘状液晶相位差膜(WVA)进行补偿的视角控制器(VAC)，基于TechWiz LCD软件对该结构的视角特性进行了仿真验证。该视角控制器的结构由TN盒和两层WVA补偿膜构成，可以实现共享模式和隐私模式的电可切换。在共享模式下(0 V)，该结构可实现宽视角高透过显示，满足主副驾驶共同的观看需求；在隐私模式下(2～2.4 V)，该结构可以实现对主驾驶的单向防窥效果。并且随着防窥电压的变化，防窥角度和最佳观看角度随之变化，可以满足不同汽车厂商的定制化需求。WVA补偿膜的引入极大地降低了大极角处的透过率，隐私性能得到提升。此外，该结构相比于采用－C膜或＋B膜补偿的TN型结构还具有驱动电压低、整体厚度小等优势，在车载副驾驶显示器(CDD)及各类单向防窥显示领域具有重要的应用前景与广阔的推广前景。

关　键　词：TN结构；车载显示；单侧防窥；WVA补偿膜；漏光抑制
中图分类号：TN27；TN141.9　**文献标识码：**A　**doi：**10.3724/CJLCD.2026-0124　**CSTR：**32172.14.CJLCD.2026-0124

Simulation study of TN-type viewing angle controller with WVA compensation film for unidirectional privacy protection in automotive displays

YONG Jiali，LI Shuang，MA Hongmei，SUN Yubao*

(*School of Sciences*，*Hebei University of Technology*，*Tianjin* 300401，*China*)

Abstract： To address the light leakage issue at large polar angles of conventional 90° TN viewing angle controllers，this paper proposes a novel viewing angle controller(VAC) compensated with a wide-viewing angle discotic-liquid-crystal phase retardation film. The viewing angle characteristics of the proposed structure are simulated based on the TechWiz LCD software. The proposed device consists of a TN cell and two layers of WVA compensation films，enabling electrically switchable shared mode and privacy mode. At 0 V (shared mode)，the structure delivers high transmittance across a wide viewing angle，satisfying the viewing requirements of both the driver and co-driver. When driven by voltages ranging from 2 V to 2.4 V (privacy mode)，it achieves one-way anti-peeping performance targeted at the driver. As the

收稿日期：2026-07-03；**修订日期：**2026-07-20.
基金项目：河北省自然科学基金 (No. F202202017)
Supported by National Natural Science Foundation of Hebei Province (No. F202202017)
*通信联系人，E-mail：sun_yubao@163.com

applied privacy voltage varies, the anti-peeping angle and optimal viewing angle change accordingly, supporting customized demands from different automotive manufacturers. The adoption of WVA compensation films significantly reduces transmittance at large polar angles and improves privacy performance. Moreover, compared with conventional TN structures compensated by negative-C films or positive-B films, the proposed structure exhibits lower driving voltage and thinner overall thickness. It presents promising application and popularization prospects for automotive cockpit display devices(CDD) and various unidirectional anti-peeping display products.

Key words: TN structure; automotive display; one-way anti-peeping; WVA compensation film; light leakage suppression

1　引　　言

随着人机交互技术在显示领域的不断发展，显示设备在日常生活中的应用变得越来越广泛，人们对显示的需求也从单一的高亮度显示转变为多场景的动态化显示[1-2]。车载显示作为人机交互的核心载体，不仅要求具备高分辨率、高对比度、宽视角的基础显示性能，还需满足场景化视角调控的特殊需求，其中副驾驶显示屏的视角控制尤为关键。需要在共享模式下实现主副驾驶双向清晰可视，而在隐私模式下仅向副驾驶方向单向显示，避免光线由挡风玻璃反射或直接射入驾驶员视野，造成视觉干扰并影响行车安全[3-5]。

现有的主流视角控制技术主要分为4大类，这些技术存在各自的优点与短板，不能完全满足副驾驶显示屏的视角控制要求。第一类是视角固定的隐私膜技术。美国3M公司的百叶窗式的防窥膜可以实现±30°的防窥角度并可消除汽车显示屏在前挡风玻璃上的反射成像，提高驾驶的安全性。但是这类技术的窄视角是固定的，缺乏可以切换的视角结构，无法满足共享需求[6-7]。第二类是聚合物分散液晶(PDLC)基的视角可控技术，这类技术利用PDLC的电控切换特性实现隐私模式和共享模式的切换。该项技术存在的缺点是当PDLC处于散射状态时正视角透过率损失太大，显示效果显著降低[8-10]。第三类是优化背光结构技术，通过导光板(LGP)、棱镜阵列等精密光学结构设计调控光线传播方向。此项技术虽然可以通过调控光线的传播方向实现视角的切换，但是复杂的结构设计导致制造成本升高，且部分方案无法适配OLED等柔性显示器件[11-12]。四是液晶基视角控制器(VAC)，基于液晶分子取向随外加电场变化的电光效应调节光线偏振态，是目前车载电控视角切换的主流技术路线，可分为单盒结构与双盒堆叠结构两种，其中单盒结构(如平行取向、混合取向液晶盒)存在大极角漏光反弹或防窥角度不足的问题，需依赖特殊补偿膜进行性能优化[13-14]，而双盒堆叠结构则面临结构复杂、驱动功耗大、光利用率低等挑战[15-17]。

在单向防窥液晶基VAC的技术路线中，传统90°扭曲TN型结构因共享态全视角透过率高、驱动电压低、工艺成熟成为最易工程化实现的方案，但该结构在隐私模式下，60°～80°大极角范围内易出现明显的漏光现象，导致防窥性能大幅下降。常采用的补偿膜有－C膜和＋B膜，但是存在器件厚度增加、驱动电压增大等问题[14,16]。为了解决上述问题，本文使用TechWiz LCD软件研究广视角盘状液晶相位差膜(WVA)补偿的90°扭曲TN型视角控制器。该视角控制器具有正视角高透过率、低驱动电压优势，并且极大地抑制了大角度范围的漏光现象，在实现隐私模式和共享模式电可切换的同时提升了驾驶的安全性。本文中的结果数据为软件的仿真结果。

2　90°扭曲型TN盒的结构和工作原理

90°扭曲TN型液晶盒采用经典的“偏光片-TN液晶盒-偏光片”三明治结构，其工作原理是利用液晶的电光效应，通过电压调控分子取向，实现宽/窄视角的可逆切换。该结构用于车载显示时的视角特性如图1所示。当外加电场为0 V时，液晶分子均匀扭曲排列，光线经偏振旋转后实现宽视角模式；当施加一个小电压时，液晶

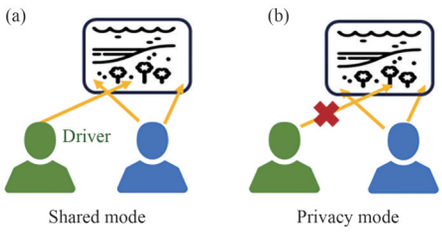


图 1 车载显示器视角控制技术。(a) 共享模式;(b) 隐私模式。

Fig. 1 Viewing angle control technology for automotive displays. (a) Shared mode; (b) Privacy mode.

分子随着电场方向排列,扭曲结构被破坏,驾驶员侧的光线被遮挡,实现窄视角模式[18]。

首先讨论盒厚对 VAC 性能的影响,使用 TechWiz LCD 软件模拟了该结构的视角-透过率特性。模拟中液晶的相关参数为 Δn=0.096、$\Delta\varepsilon$=5.3、K_{11}=10.87 pN、K_{22}=9.5 pN、K_{33}=15.37 pN。液晶分子上下取向为 45°和 135°,与上下偏光片的吸收轴一致。入射光波长范围为 430~680 nm,防窥方向的方位角 φ=90°(对应车载副驾驶显示器(CDD)上视角方向)。

图 2 展示了 90°TN 盒在不同盒厚下的视角-透过率曲线。由图 2(a)隐私模式可以看出,在盒厚 5~9 μm 的范围内,随着盒厚的增加,在 60°~80°观看极角范围内的漏光逐步严重。盒厚为 10 μm 时,虽然大极角透过率略有下降,但是 30°防窥极角处的透过率明显上升(0.161),隐私性能下降。由图 2(b)共享模式可知,在盒厚 5~8 μm 的范围内,随着盒厚的增加正视角透过率逐渐下降。盒厚为 9 μm 和 10 μm 时正视角透过率略有上升,但是仍低于 5 μm 的透过率(0.803)。综合考虑隐私性能和共享模式的显示性能,确定 5 μm 为最佳盒厚。图 3 是盒厚为 5 μm 的 TN 结构的等透过率视角图。由图 3(a)隐私模式可以更加直观地看出,该结构存在大极角范围明显漏光(蓝色区域中淡白色区域)的问题,60°~80°极角范围的漏光高达 0.070 以上,大幅降低了该器件的隐私性

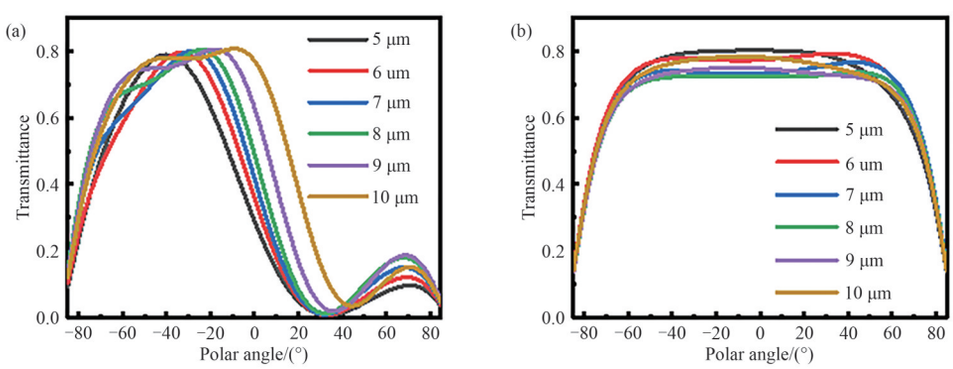


图 2 90°TN 盒在不同盒厚下的视角-透过率。(a) 隐私模式(2 V);(b) 共享模式(0 V)。

Fig. 2 Viewing angle-transmittance characteristics of 90° TN cells with different cell gaps. (a) Privacy mode (2 V); (b) Shared mode (0 V).

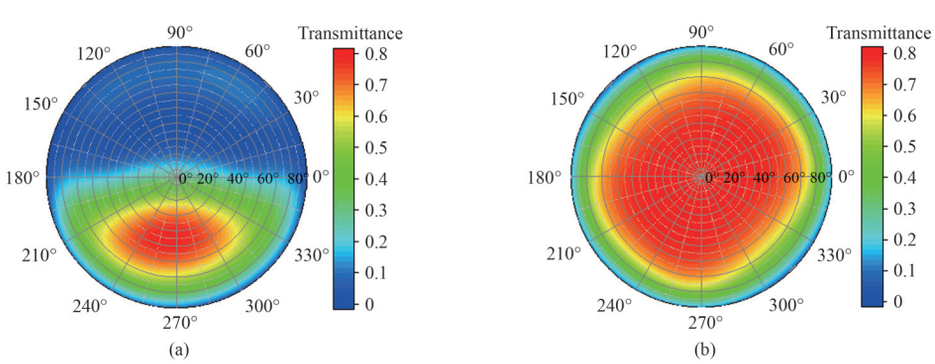


图 3 5 μm 厚 90°TN 盒的等视角透过率。(a) 隐私模式(2 V);(b) 共享模式(0 V)。

Fig. 3 Iso-viewing-angle transmittance of a 90° TN cell with 5 μm cell gap. (a) Privacy mode (2 V); (b) Shared mode (0 V).

能；图 3(b)共享模式为很好的宽视角状态。为了解决上述问题，向该 TN 结构中加入了 WVA 补偿膜，并且模拟了加入该补偿膜后的 VAC 的视角-透过率性能。

3　带有 WVA 补偿膜的 TN 型液晶盒视角特性的模拟

3.1　WVA 膜的补偿原理

补偿膜可以通过调控光的相位差优化光学效果。为了解决大极角处的漏光问题，在上下偏光片之间分别插入一层 WVA 补偿膜，上下方位角分别设置为 135°和 45°，整个视角控制器在不加电压和加电压时的结构如图 4(a)所示。广视角盘状液晶相位差膜(WVA)是一种以三醋酸纤维素(TAC)为基底[19]，上面堆叠盘状液晶材料的光学补偿膜，其结构如图 4(b)所示，分子排列是一种混合排列的结构，在靠近液晶盒侧，分子盘面倾斜较大(倾斜角度为 72°)，外侧的分子盘面倾斜角度较小(为 21°)，盘状液晶材料的双折射率为 −0.060 8(@546 nm)，参数来自 TechWiz LCD 软件。WVA 实现的是一种三维光学补偿，在驱动电压下，液晶层中液晶分子排列上下部分也都为混合排列状态，WVA 膜的 $\Delta n<0$ 可以补偿由于 $\Delta n>0$ 的液晶产生的相位延迟量。光线通过第一层 WVA 膜产生负的相位延迟量，然后进入液晶层中后与液晶层下半部分的正相位延迟相抵消[20]；但到液晶层上部分时又转变为正的相位延迟量，再与第二层的 WVA 膜的负相位延迟量相抵消。经过两层 WVA 膜的补偿，有效抵消了轴外双折射的影响，减少全视角范围内的漏光。

接下来依托庞加莱球模型来解释 WVA 补偿膜的光学补偿原理。分别对波长为 450 nm、550 nm 和 650 nm 的光在通过该结构后的偏振态进行模拟，并且与没有补偿膜的结构相比较。图 5 展示了波长为 450 nm、550 nm 和 650 nm 的光通过 WVA 补偿膜和 TN 液晶层的偏振态变化(观察方位角 $\varphi=90°$，极角 $\theta=65°$)。从图 5 可以观察

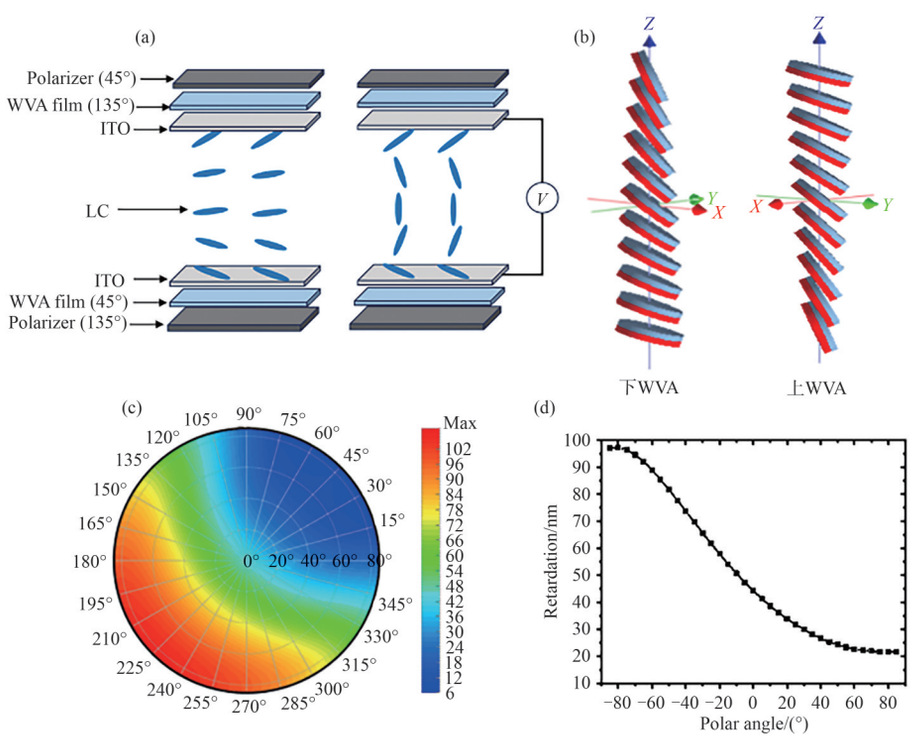


图 4　带有 WVA 膜 TN 型视角控制器。(a) 不加电(左)和加电(右)；(b) WVA 膜结构示意图；单层 WVA 膜(45°方位角)的(c)补偿值视角图和(d)在 −90～90°方位角的补偿值变化。

Fig. 4　TN viewing angle controller with WVA film. (a) Off-state (left) and on-state (right); (b) Schematic diagram of WVA film structure; (c) Viewing angle contour of compensation value for single-layer WVA film (azimuth angle of 45°); (d) Variation of compensation value within the azimuth angle ranging from −90° to 90°.

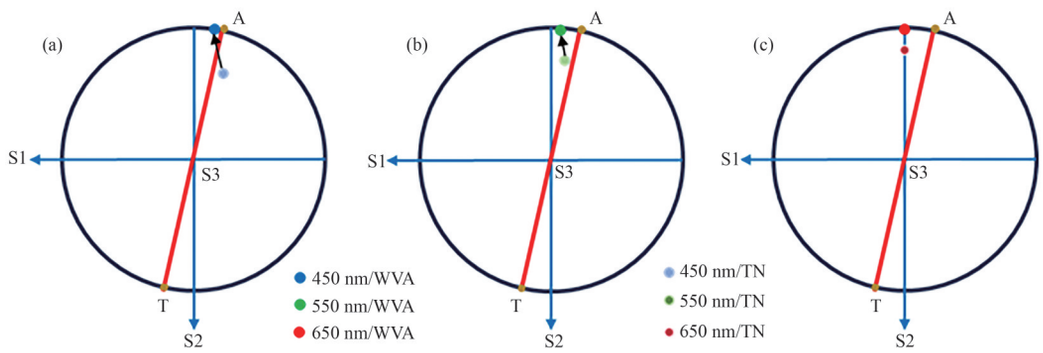


图 5 光通过无补偿膜 TN 层和有 WVA 膜的 TN 层后的偏振态变化。(a) 450 nm;(b) 550 nm;(c) 650 nm。

Fig. 5 Polarization state evolution of light passing through the TN layer without compensation film and with WVA film. (a) 450 nm; (b) 550 nm; (c) 650 nm.

到,在 3 种波长下,与无补偿膜 TN 盒相比,加入 WVA 补偿膜后光的偏振态更靠近第二偏光片的吸收轴(A 点)。这说明加了 WVA 补偿膜后,在 65°极角处的透过率更低,漏光更少,隐私性能得到提升。从图 5 还可以看到,经过 WVA 补偿膜的光偏振态更接近于线偏振光。

3.2 WVA 膜厚度对 VAC 性能的影响

为了进一步探究 WVA 膜的厚度对视角效果的影响,保持 TN 盒盒厚为 5 μm,其余参数不变,选取防窥方向方位角 φ=90°进行仿真。图 6 展示了不同 WVA 膜厚度的 VAC 在隐私模式和共享模式下的视角-透过率曲线。

由图 6(a)共享模式可知,不同补偿膜厚度下该器件的正视角透过率(0.829)没有变化。随着 WVA 膜厚度的增加,−60°～−30°极角范围的透过率逐渐下降,宽视角范围变窄。WVA 膜厚度为

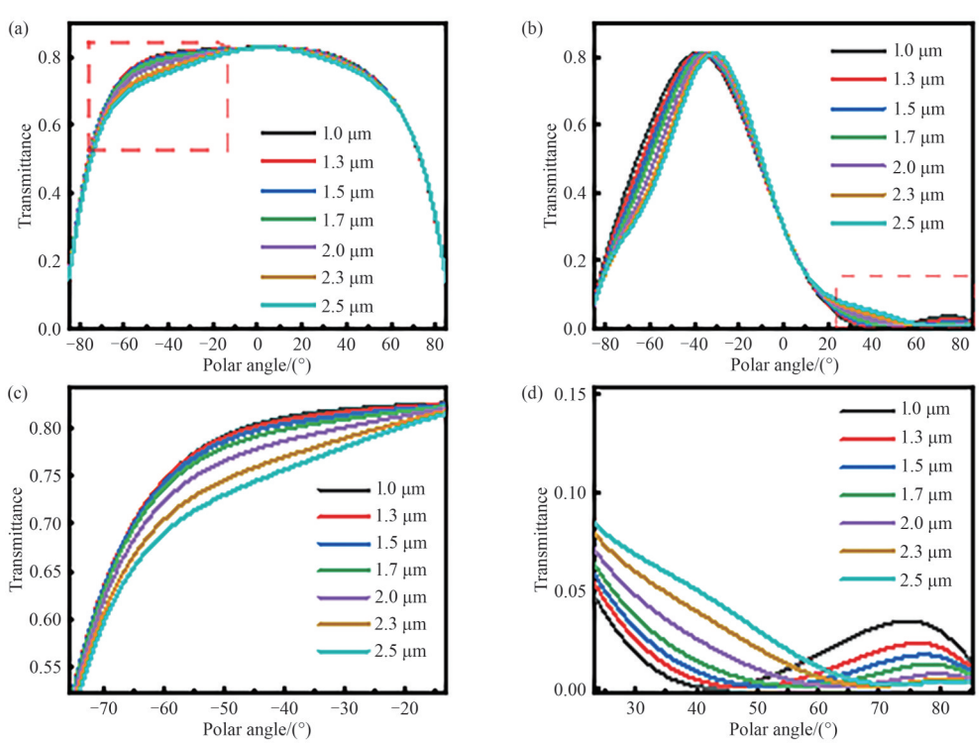


图 6 不同 WVA 膜厚度下 VAC 的视角-透过率曲线。(a) 共享模式(0 V);(b) 隐私模式(2 V);(c) 共享模式局部放大;(d) 隐私模式局部放大。

Fig. 6 Viewing angle-transmittance curves of VAC with different WVA film thicknesses. (a) Shared mode (0 V); (b) Privacy mode (2 V); (c) Partial enlargement of shared mode; (d) Partial enlargement of privacy mode.

1.5 μm时透过率最低为0.742，到2.5 μm时透过率降低至0.690；由图6(b)隐私模式可以看出，随着补偿膜厚度的增加，60°～80°极角处的透过率逐渐下降并趋近于0。但当WVA膜的厚度在2～2.5 μm时，40°极角处的透过率又会显著上升，最高透过率为0.050，隐私性能减弱。综合考虑共享模式和隐私模式性能，选定WVA膜的厚度为1.5 μm，正视角的补偿值R_o＝－43 nm(@550 nm)。结合图7的等透过率视角图可以更加直观地看出：在共享模式下，该结构可以实现宽视角高透过均匀显示；在隐私模式下，该结构可以实现40°防窥效果，并且很好地抑制了大极角漏光现象。但在实际应用过程中，WVA膜的厚度在1.3～1.7 μm时，该结构均能表现出较好的视角特性，能够满足车载显示共享模式和隐私模式的需求，具备良好的工艺容错性。

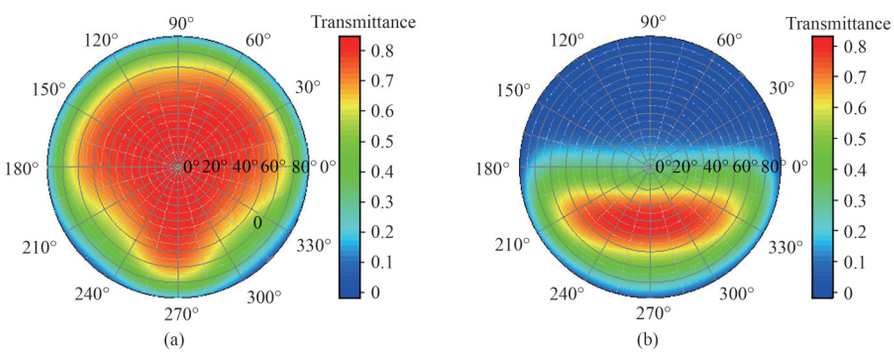


图7　1.5 μm WVA膜厚度下VAC的等透过率视角图。(a) 共享模式(0 V)；(b) 隐私模式(2 V)。

Fig. 7　Iso-transmittance viewing angle contours of the VAC with a 1.5 μm-thick WVA film. (a) Shared mode (0 V); (b) Privacy mode (2 V).

3.3　不同电压对VAC隐私性能的影响

根据以上讨论可以得出，该视角控制器的最佳盒厚为5 μm，两层WVA补偿膜的最佳厚度为1.5 μm。根据这些参数，模拟了该器件在不同防窥电压下的视角-透过率特性，观察角度ϕ＝90°。图8显示了该器件在电压2～2.4 V范围内的视角-透过率曲线。

由图8可以看出，当施加合适电压时，在特定入射角范围内透过率大幅度下降并趋近于0，实现单侧防窥的隐私效果。并且随着电压的变化，隐私模式下的最佳观看视角和防窥角度也随之变化。当电压为2 V时，防窥角度为40°，最佳观看视角为－35°；当电压为2.4 V时，防窥角度可达到20°，最佳观看视角为－45°。电压在2～2.4 V变化，防窥角度的范围在20°～45°之间，最佳观看视角的范围在－45°～－35°之间。由图9的等透过率视角图可以更直观地看出，在不同防窥电压下，隐私模式上视角的漏光都极少，均能实现很好的隐私性能。该结构的优点在于防窥角度和最佳观看角度可随着电压的变化调控，满足不同汽车厂商车载显示器的定制化隐私性能的需求，并且驱动电压很低，能耗很小。该结构整体的厚度小，减少了正视角下透过率的损失，降低了成本。单侧防窥的设计还可以使用叠加的双盒结构，同时用于减少车窗(侧窗)反射，提高驾驶的安全性。

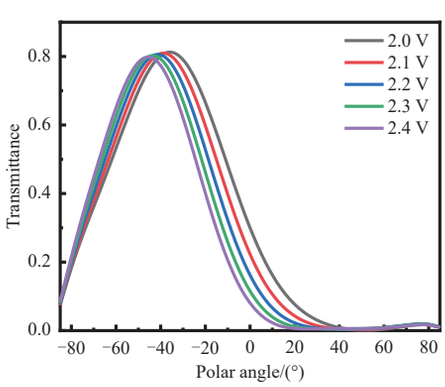


图8　不同防窥电压下VAC的极角-透过率

Fig. 8　Polar angle-transmittance of the VAC under different privacy protection voltages

3.4　响应时间特性的模拟

图10为该视角控制器在40°极角处响应过程的模拟结果，液晶转动黏滞系数为40 mPa·s。该

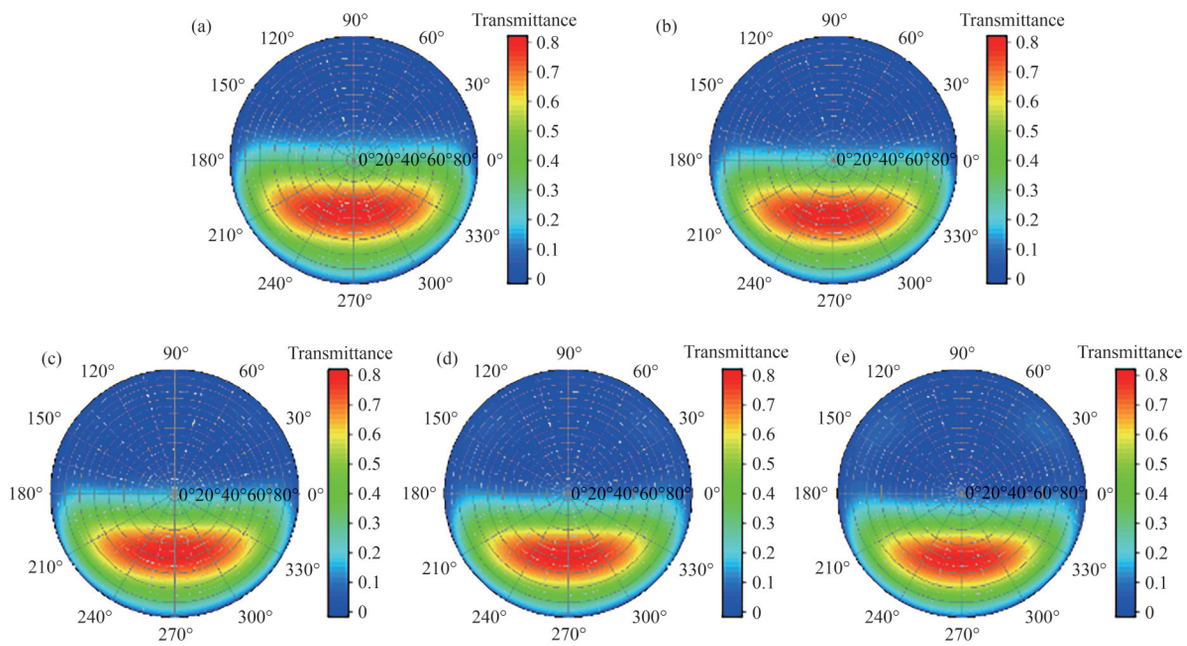


图 9 不同防窥电压下的等透过率视角图。(a) 2 V;(b) 2.1 V;(c) 2.2 V;(d) 2.3 V;(e) 2.4 V。

Fig. 9 Iso-transmittance viewing angle contours under different privacy voltages. (a) 2 V; (b) 2.1 V; (c) 2.2 V; (d) 2.3 V; (e) 2.4 V.

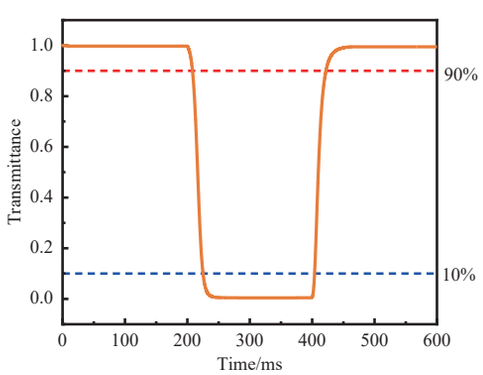


图 10 VAC 的响应时间

Fig. 10 Response time of the VAC

视角控制器从宽视角模式切换到窄视角模式的时间约为 16 ms,从窄视角模式切换到宽视角模式的时间约为 18 ms。该结构在两种模式切换的响应速度能够满足车载显示场景视角模式实时切换的应用需求。

3.5 色偏移特性的模拟

图 11(a)、(b)分别是带有 WVA 和无 WVA 膜的 90° TN 视角控制器的模拟显示效果图。可以看出,引入 WVA 补偿膜后,该视角控制器在宽视角模式下全视角亮度均匀分布,无明显色偏和亮度衰减。在窄视角模式下,该结构在方位角为 15° 和 165°处有一定程度的色偏,但是该角度范围亮度很低,色偏的影响可以忽略不 计。并且相较于无补偿膜 90° TN 视角控制器,该结构在大极角处的漏光和色偏程度都更小,具有更好的显示效果。

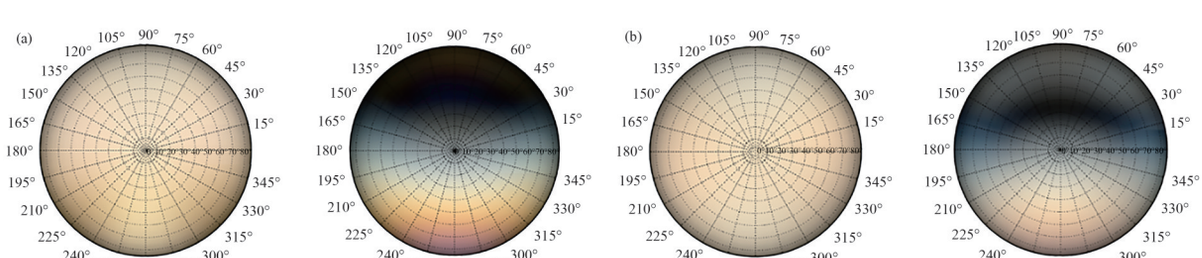


图 11 (a) 有 WVA 膜和(b) 无 WVA 膜的显示效果图。左为共享模式,右为隐私模式。

Fig. 11 Display images (a) with WVA film and (b) without WVA film. Shared mode (left) and privacy mode (right).

4　结　　论

针对车载副驾驶显示屏（CDD）场景，单侧防窥TN型视角控制器存在大极角漏光严重的问题，本文提出了一种带有两层WVA补偿膜的TN型视角控制器，通过TechWiz LCD软件模拟得出了该视角控制器的最佳盒厚和补偿膜的最佳厚度。由模拟研究结果可知，该结构可以实现隐私模式和共享模式的电控切换：在共享模式下，该器件可实现宽视角高透过显示，正视角透过率达到0.829，满足车载显示屏的共享需求；在隐私模式下，可以实现单向防窥效果，并且随着防窥电压的变化（2～2.4 V），防窥极角在45°～20°范围内变化，防窥角度的透过率均在0.005以下，满足隐私需求。相比于传统的无补偿膜TN型视角控制器，该结构在隐私模式下可以显著抑制大极角漏光现象。不同防窥电压下，60°～80°极角范围的透过率均在0.018以下，隐私性能显著提升。该结构相比于－C膜和＋B膜还具有驱动电压低、整体厚度小的优点，在车载副驾驶显示屏领域具备重要的实际应用价值，同时也可以拓展至消费电子、办公显示等多场景隐私防护领域。TN盒与广视角盘状液晶相位补偿膜（WVA）均为业界成熟的光学功能元件，器件光学特性稳定可控。因此，仿真结果足以佐证该视角调控结构的性能优越性，所得分析结论具备较高的可信度与应用价值。在传统液晶显示器中，膜补偿TN液晶显示器因为视角特性较差，而被宽视角的IPS类型和MVA类型液晶显示器在很多场景下取代，但该液晶显示器的窄视角特性，恰好可用于单侧视角防窥器件，使其重新展现良好的应用价值。

参　考　文　献：

[1] WATANABE S, NISHIMURA N, YOSHINARI S, *et al*. Vertically and inclinedly oriented polarizers for viewing angle control [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2021, 52(1): 757-760.

[2] KIM J, LEE D H, LEE J H, *et al*. Optimization of the display viewing angle for automotive application [J]. *Journal of Information Display*, 2022, 23(1): 87-95.

[3] BLANKENBACH K, ALAUDDIN A, CIVANLAR B, *et al*. Switchable privacy displays with liquid crystals and collimated backlight: techniques and measurements [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2025, 56(1): 862-865.

[4] LIN R L, WANG X Y, ZHOU Z H, *et al*. Polymer-stabilized liquid crystal viewing angle controller based on hybrid alignment nematic cells [J]. *ACS Applied Optical Materials*, 2025, 3(9): 2121-2128.

[5] ZHOU L, LIU S J. Development and prospect of viewing angle switchable liquid crystal devices [J]. *Crystals*, 2022, 12(10): 1347.

[6] LEE D J, KWAK J, HA K S, *et al*. Electrically switchable privacy technology suitable for laptop PC [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2022, 53(1): 243-246.

[7] ZHOU L, HE Z M, HAN C, *et al*. Switchable anti-peeping film for liquid crystal displays from polymer dispersed liquid crystals [J]. *Liquid Crystals*, 2019, 46(5): 718-724.

[8] HE Z M, SHEN W B, YU P, *et al*. Viewing-angle-switching film based on polymer dispersed liquid crystals for smart anti-peeping liquid crystal display [J]. *Liquid Crystals*, 2022, 49(1): 59-65.

[9] BAEK S H, JUNG J, KIM S I, *et al*. Switchable privacy monitor display using viewing-angle control film [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2022, 53(1): 1426-1429.

[10] LEI S J, SUN Y S, GENG Y X, *et al*. Dual cell display system for intelligent viewing-adjustable LCDs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2022, 53(1): 1272-1275.

[11] MASUDA J, YAGI S, KANBAYASHI Y, *et al*. Switchable privacy backlight for automotive LCD utilizing an advanced light-guide with a multi-prism array (ALMA) [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2024, 55(1): 889-892.

[12] HEBER A. Switchable view control using a vertically aligned polarizer and polarization control [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2024, 55(1): 398-401.

[13] ADACHI M. Controllable-viewing-angle display using a hybrid aligned nematic liquid-crystal cell [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2008, 47(10R): 7920.

[14] CHOI T H, LEE H W, HA J U. Viewing angle control through electrically-induced effective out-of-plane retardation differences in automotive displays [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2024, 55(1): 893-896.

[15] LEE J H, OH S W. Innovative stacked liquid crystal panel for automotive display: driver-oriented privacy and passenger accessibility [J]. *Optics Letters*, 2023, 48(22): 6023-6026.

[16] ZHOU Z H, LU W X, NIU R, *et al*. Viewing angle controller using two parallel alignment liquid crystal cells for automotive systems [J]. *Optics Letters*, 2024, 49(22): 6545-6548.

[17] LIN R L, ZHOU Z H, CHEN S B, *et al*. Viewing angle controller based on dual hybrid alignment nematic cells for automotive co-driver displays [J]. *Optics Letters*, 2025, 50(4): 1373-1376.

[18] 闫云飞,林若龙,周子涵,等. 单向遮光的聚合物稳定扭曲向列相液晶器件[J]. 液晶与显示,2025,40(9):1251-1257.
YAN Y F, LIN R L, ZHOU Z H, *et al*. Polymer-stabilized twisted nematic liquid crystal devices with unidirectional light-blocking [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2025, 40(9): 1251-1257. (in Chinese)

[19] MORI H. The wide view (WV) film for enhancing the field of view of LCDs [J]. *Journal of Display Technology*, 2005, 1(2): 179-186.

[20] 王莉,宋立旺. LCD宽视角技术及WV膜盘状液晶的取向控制技术[J]. 信息记录材料,2008,9(2):44-51,60.
WANG L, SONG L W. Wide-viewing angle technologies for LCD and orientation control of discotic liquid crystal for WV film [J]. *Information Recording Materials*, 2008, 9(2): 44-51, 60. (in Chinese)

作者简介:



雍佳丽,女,硕士研究生,2024年于河北工业大学获得学士学位,主要从事液晶器件物理方面的研究。E-mail: 3149881862@qq.com



孙玉宝,男,博士,教授,2010年于河北工业大学获得博士学位,主要从事液晶器件物理方面的研究。E-mail: sun_yubao@163.com