

基于COF区弯折的柔性屏金属层应力影响因素分析

郑宏兵, 汪洋, 王宁, 尹红军, 龚增超, 梁钊, 曾木, 郝显, 韩强

引用本文:

郑宏兵, 汪洋, 王宁, 等. 基于COF区弯折的柔性屏金属层应力影响因素分析[J]. 液晶与显示, 2021, 36(8): 1121–1127.

ZHENG Hong-bing, WANG Yang, WANG Ning, et al. Analysis of metal layer in flexible screen on COF bending[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(8): 1121–1127.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2021-0077>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

可折叠OLED屏幕的弯折应力仿真

Stress simulation of foldable OLED screen bending

液晶与显示. 2018, 33(7): 555–560 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183307.0555>

OLED金属走线弯折过程裂纹扩展有限元分析

Finite element analysis of crack growth of metal line in bending process of OLED panel

液晶与显示. 2018, 33(5): 427–432 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183305.0427>

液晶显示器模组黑态均匀性改善研究

Improvement research of TFT-LCD module black uniformity

液晶与显示. 2018, 33(4): 271–276 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183304.0271>

喷墨打印PVP绝缘层柔性薄膜晶体管研究

Inkjet printing PVP dielectric for flexible thin film transistor

液晶与显示. 2021, 36(5): 633–640 <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0317>

TFT-LCD制造工艺中金属或金属复合膜层坡度角的研究

TFT-LCD manufacture technology metal or metal composite film layer profile

液晶与显示. 2018, 33(3): 208–212 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183303.0208>

文章编号:1007-2780(2021)08-1121-07

基于 COF 区弯折的柔性屏金属层 应力影响因素分析

郑宏兵*, 汪 洋, 王 宁, 尹红军, 龚增超, 梁 钊, 曾 木, 郝 显, 韩 强
(绵阳京东方光电科技有限公司, 四川 绵阳 621000)

摘要: OLED 屏幕 COF 连接过渡区在弯折和可靠性阶段易发生金属层断裂的问题。本文给出了柔性屏 COF 区的弯折路径, 通过有限元方法, 分析了 COF 连接过渡区相关结构的偏移、胶层厚度在弯折过程和可靠性因素下对金属层应力的影响, 同时研究了弯折路径改变后金属层应力的变化情况。结果表明: 金属层在弯折过程中受到的最大应力幅值分别随 U 型膜向左、向右偏移和弯折路径向上、向下移动而明显增大, 也随泡棉从左往右偏移和金属包覆层厚度增加而逐渐变大; 可靠性结果中金属层受到的最大应力分别随 U 型膜和泡棉从左往右偏移先减小后趋于稳定, 也随金属包覆层在初始厚度的基础上增加先增大后减小。分析结果为弯折区相关堆叠结构设计和其贴附偏差区间管控提供了参考依据, 为弯折路径设计和排故分析提供了理论依据。

关 键 词: 金属层断裂; 偏移; 弯折; 可靠性; 应力

中图分类号: TN383+.1; TH691.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/CJLCD.2021-0077

Analysis of metal layer in flexible screen on COF bending

ZHENG Hong-bing*, WANG Yang, WANG Ning, YIN Hon-jun, GONG Zeng-chao,
LIANG Zhao, ZENG Mu, HAO Xian, HAN Qiang

(Mianyang BOE Optoelectronics Technology Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

Abstract: The OLED screen COF (Chip on Film) connection transition zone is prone to the problem of metal layer fracture in the bending and reliability stages. In this paper, the COF bending traveled of flexible screen is showed. And the finite element method is used to analyze the influence of those factor, such as the offset of related structure in the transition zone of COF connection, the thickness of the adhesive layer on the stress of the metal layer under the bending process and the reliability factors. Meanwhile, the change of metal layer stress is researched after bending path altered. The results show that the maximum stress amplitude of metal layer in bending process increases obviously with U-film shifting to the left and right, bending path moving up and down, and also increases gradually with Foam shifting from left to right and the thickness of the metal cover layer (MCL) glue increasing. In the reliability results, the maximum stress on the metal layer is decreased then stable with the deviation of U-film and Foam from left to right, and is increased and then decreased with the increase of the MCL thickness added. The analysis results provide a reference for the design of the stacking struc-

收稿日期: 2021-03-26; 修订日期: 2021-04-19.

* 通信联系人, E-mail: zhenghongbing@boe.com.cn

ture and the control of its attached deviation interval in the bending zone. Meantime, it provide a theoretical basis for the design of the bending path and troubleshooting analysis.

Key words: metallic layer fracture; excursion; bending; reliability; stress

1 引言

OLED(Organic Light-Emitting Diode)具有轻薄、柔性、低能耗、高解析度、响应速度快等优异性能,随着显示技术的发展,成为了新一代显示面板^[1-4]。当前,柔性 OLED 屏幕已全面向商业化的方向发展,屏占比更高的全面屏在未来几年内必将是高端手机的标配^[5]。将面板 COF(Chip on Film)的连接区域向后弯折是提高屏占比的主要方式之一,COF 连接区域附近相关结构贴附偏移和路径的变化导致在弯折过程中和可靠性(只考虑温度影响)试验时易发生金属层断裂的问题,致使屏幕出现无显、异显现象,影响屏幕的显示效果及使用。因此,合理的弯折路径和弯折区相关结构设计以及偏移范围管控,可在一定程度上降低金属层产生断裂的可能性,进而提高良品率。

张博等人^[6]利用有限元对金属走线中裂纹的扩展机理以及抑制裂纹扩展的方法进行了研究。邓亮等人^[7]对柔性 AMOLED 中不同柔性衬底材料和金属走线的可靠性以及弯曲过程中电性的可靠性进行了分析。Kim 等人^[8]通过对沉积在不同表面的金属走线进行了机械弯折实验,发现金属走线沉积在有沟壕的 PI 表面比沉积在平面时具有更高的粘附性,因此其金属走线的弯折性能也有提升。目前,通过仿真手段对 COF 区弯折相关结构设计、贴附偏移误差管控以及弯折路径变化对柔性屏金属层应力影响的系统研究甚少。通过实验方法来优化 COF 区弯折相关结构与弯折路径以及确定贴附偏移误差管控范围,其设计过程繁琐,验证成本高昂,验证周期较长,效率低下。本文通过数值模拟的方式,对弯折区相关堆叠结构和贴附偏移对金属层在弯折过程中应力的影响进行了研究,同时分析了严苛温度下金属层的可靠性,为弯折区相关堆叠结构设计和贴附偏移误差管控范围以及弯折路径优化提供了参考依据。

2 弯折过程

2.1 几何模型

COF 区及弯折相关结构的几何模型示意图如图 1 所示。柔性 OLED 屏幕由多层结构组成,主要为有机层、无机层和金属层等。柔性屏通过压敏胶(Pressure Sensitive Adhesive, PSA)与 U 型膜粘贴在一起。U 型膜上粘贴一层泡棉(Foam),起到弯折后与 U 型膜粘贴的作用,使弯折区保持成弧状态。柔性屏另一侧利用 PSA 与偏光片粘在一起。弯折区域通过金属包覆层(MCL)进行保护。

如图 1 所示,在 U 型膜一端建立坐标系,坐标系 y 轴距偏光片的距离为恒定值 $300\ \mu\text{m}$,x 轴与柔性屏上表面重合,坐标系不随 U 型膜移动。 L 为弯折区域的宽度,受空间的限制和设计的要求,弯折区域的宽度为恒定值。泡棉端面距 U 型膜端面的初始距离为 $200\ \mu\text{m}$,即泡棉端面距坐标原点的初始距离。MCL 的初始厚度为 $100\ \mu\text{m}$ 。

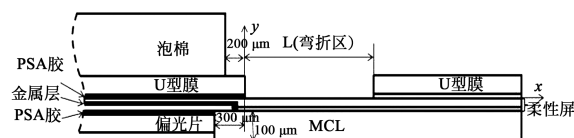


图 1 COF 区及弯折相关结构的几何模型示意

Fig.1 Geometric model diagram of COF region and bending related structure

2.2 弯折路径

弯折过程如图 2 所示。在 COF 区弯折的过程中,OLED 柔性屏带泡棉的一侧固定在平台上,另一侧进行弯折,并与泡棉粘贴在一起,使弯折区保持弧形状态。在弯折过程中,为了保证柔性屏上的弯折应力在弯折区均匀分布,同时防止弯折过程中应力在弯折区两端(根部),则在不同弯折角度均以弯折区中心轴为对称轴进行弯折,即任意角度时弯折区均处于对称弯折状态,该弯折过程形成的轨迹为弯折路径。

图 3 给出了弯折 θ 角度后弯折区的几何关

系。AB 为弯折区域,长度为 L 。BC 为弯折吸附平台,长度为 L_0 ,C 点的弯折轨迹为弯折路径。

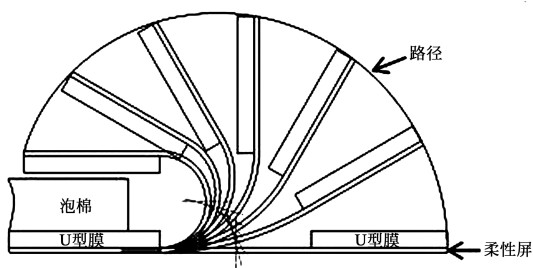


图2 弯折过程示意图

Fig.2 Bending process diagram

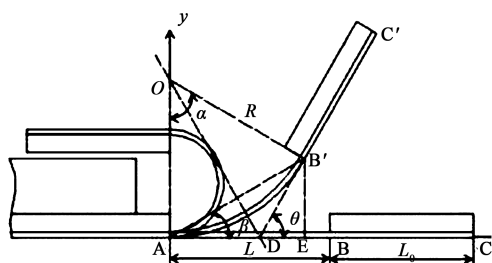


图3 弯折过程几何关系

Fig.3 Geometric relationship of bending process

弯折平台旋转 θ 角度后 ($0^\circ < \theta \leq 180^\circ$), $\overline{AD}$ 和 $\overline{B'D}$ 为 $\widehat{AB'}$ 的切线,则:

$$\begin{cases} \angle \alpha = \angle \theta \\ \angle \beta = \frac{1}{2} \angle \theta \\ \frac{\alpha}{360} \times 2\pi R = L \\ \frac{1}{2} \overline{AB'} = R \sin \frac{\alpha}{2} \end{cases}, \quad (1)$$

由 $\triangle AB'E$ 推出 B 点的轨迹为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{180L}{\pi\theta} & 0 \\ 0 & \frac{180L}{\pi\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \theta \\ 1 - \cos \theta \end{bmatrix}, \quad (2)$$

C 的轨迹为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{180L}{\pi\theta} & 0 \\ 0 & \frac{180L}{\pi\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \theta \\ 1 - \cos \theta \end{bmatrix} + L_0 \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}, \quad (3)$$

3 结果与讨论

3.1 有限元模型

本文采用有限元方法,将 COF 弯折区几何模型简化为二维平面模型,主要分析 COF 弯折区二维平面的弯折过程和可靠性时金属层的应力问题。偏光片和柔性屏的大部分不参与弯折,只建立与弯折相关部分模型。分析模型采用四面体网格进行划分,网格尺寸为 0.005 mm 。图 4 为 COF 区及弯折相关结构的有限元网格模型。金属层弹性模量为 330 GPa ,热膨胀系数为 $3 \times 10^{-5} \text{ C}^{-1}$;MCL 胶材可认为是一种不可压缩材料,其在弯折过程中的非线性弹性行为可用超弹性来描述。Mooney-Rivlin、Ogden、Van der Waals、Yeoh 等为超弹性本构模型的多种形式^[9]。整个弯折过程为单轴受力,且单轴拉伸实验数据和 Mooney-Rivlin 模型啮合结果较好,本文采用经典的 Mooney-Rivlin 模型。

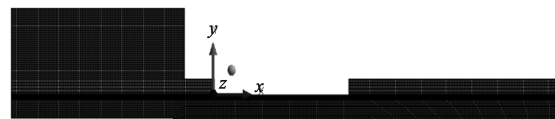


图4 COF区及弯折相关结构的有限元网格模型

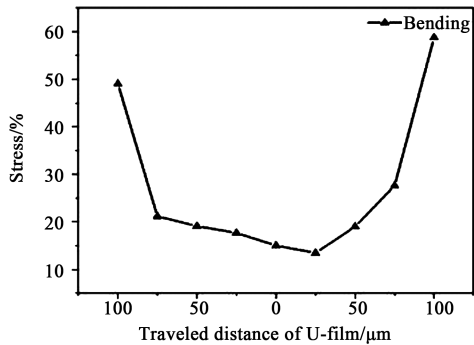
Fig.4 Finite element mesh model of COF region and bending related structures

在有限元计算时,将图 4 中偏光片底部(与玻璃粘贴部分)在 x 和 y 方向分别固定约束,泡棉、U型膜、柔性屏和偏光片等左侧端面在方向固定约束。以图 1 中坐标系为参考,将公式(3)中 C 点的轨迹作为弯折初始路径,利用该路径进行弯折的有限元计算。弯折完成后,要对其进行严苛温度和湿度下的可靠性验证,验证通过后才能进行项目的量产,本文所述可靠性分析为仅考虑弯折后在 85°C 温度下对金属层应力的影响。仿真结果中,每个影响因素下,均以其可靠性结果最大值为基准,对金属层应力幅值结果进行归一化处理。

3.2 U型膜对金属层的影响

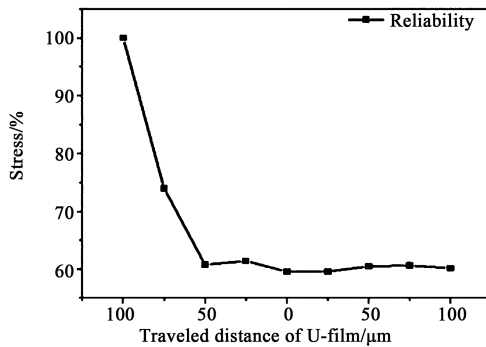
屏幕在弯折平台固定后,U型膜在 x 轴方向的贴附偏差会对金属层在弯折和可靠性时产生的应力有明显影响。以图 1 中所示为初始位置,U型膜沿 x 轴以 $25 \mu\text{m}$ 为移动偏移间隔,沿 x 轴正

向为正,反向为负,其移动后在弯折和可靠性下对金属层应力的影响如图 5 所示。



(a) 弯折过程

(a) Progress of bending



(b) 信赖性过程

(b) Progress of reliability

图 5 U 型膜移动对金属层最大应力的影响

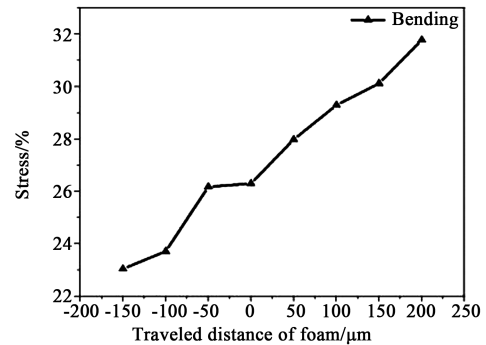
Fig.5 Effect of U-film movement on metal layer maximum stress

由图 5 可知,金属层在弯折过程中受到的最大应力随着 U 型膜左右移动而出现增大趋势,均在 100 μm 时出现了突增,且幅值接近了可靠性结果;在温度的影响下,U 型膜向右移动对金属层受到的最大应力趋于稳定,向左移动至 50 μm 后金属层受到的最大应力陡增。可见,U 型膜左移后逐渐降低弯折过程中对金属层的保护,使其应力明显增大,右移则减小了弯折区的弯折半径,强行弯折后使 U 型膜变形导致金属层受到的最大应力显著增大;同时,U 型膜热膨胀系数小于金属层,左移 50 μm 后减小了对金属层热膨胀的约束力,使其受到的最大应力明显增大,右移覆盖金属层后其对金属层热膨胀的约束力已达稳态值,从而右移对可靠性的结果几乎无影响。因此,U 型膜的贴附误差管控应综合考虑弯折和可靠

性结果,选择弯折和可靠性结果中金属层最大应力突增前 U 型膜变化区间的重叠区域。

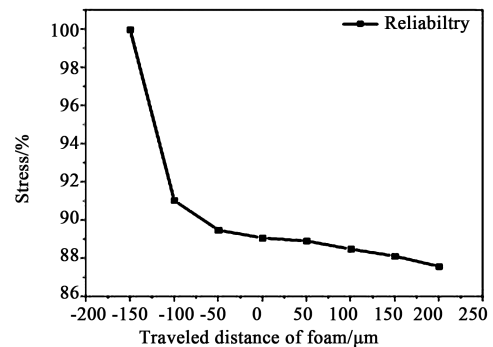
3.3 泡棉对金属层的影响

泡棉处在 U 型膜上方,其贴附偏移后也会对金属层在弯折和可靠性时产生的应力有一定的影响。以图 1 中所示为初始位置,本文取泡棉在 x 轴以 50 μm 为移动偏移间隔,沿 x 轴正向为正,反向为负,结果如图 6 所示。



(a) 弯折过程

(a) Progress of bending



(b) 信赖性过程

(b) Progress of reliability

图 6 泡棉移动对金属层最大应力的影响

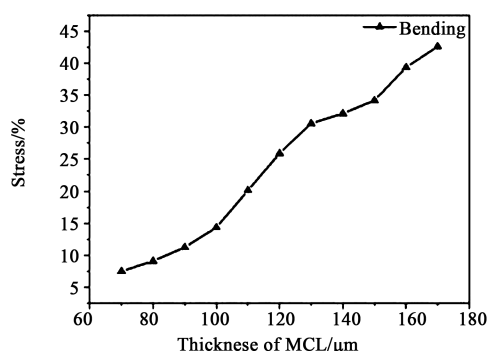
Fig.6 Influence of foam movement on metal layer maximum stress

由图 6 可知,金属层在弯折过程中受到的最大应力随着泡棉从左到右移动而逐渐增大,但整体最大应力值小于可靠性结果。泡棉向右移动,可靠性结果中金属层受到的最大应力趋于稳定,向左移动则呈增大趋势,左移 150 μm 时出现突增。可见,泡棉从左到右偏移使 U 型膜与泡棉间距变小、且厚度增加,导致 U 型膜刚度增大,减小了 U 型膜变形对弯折力的分担,导致其受到的最大应力逐渐增大;泡棉右移前对金属层热膨胀的

约束力已达稳态值,对可靠性的结果几乎无影响,泡棉左移后对 U 型膜热膨胀的约束降低,致使可靠性结果中金属层受到的最大应力增大。因此,通过可靠性结果中金属层的最大应力变化情况,就可确定泡棉的贴附误差的管控范围。

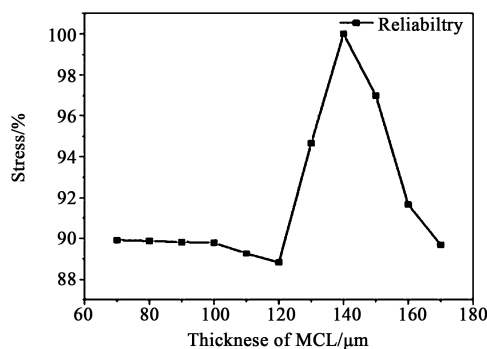
3.4 MCL 对金属层的影响

MCL 处于柔性屏弯折区弯折后的外侧,其主要影响柔性屏处应力中性层位置,从而对柔性屏起到保护作用,因此研究 MCL 厚度对柔性屏金属层应力的影响是很有必要的。其结果如图 7 所示,横坐标为 MCL 厚度,纵坐标为金属层受到的应力。



(a) 弯折过程

(a) Progress of bending



(b) 可靠性过程

(b) Progress of reliability

图 7 MCL 厚度变化对金属层最大应力的影响

Fig.7 Influence of MCL thickness variation on metal layer maximum stress

由图 7 可知,随着 MCL 厚度的增大,导致金属层远离中性层,弯折过程中金属层受到的最大应力随之变大。可靠性过程中,金属层应力主要为自身和 MCL 受热膨胀产生。随着 MCL 在初始厚度上增大,弯折后 MCL 带动屏幕和 U 型膜变形也越大,加温后 MCL 的弯折半径随厚度增

加而膨胀变大,从而带动金属层反向弯折而导致应力变大。当弯折后金属层产生的变形逐渐抵消热膨胀产生的变形时,金属层应力又逐渐减小至初始厚度对应应力附近。所以,可靠性结果为先增大后减小。因此,MCL 增厚会对弯折过程和可靠性结果中金属层受到的最大应力均有影响。

3.5 弯折路径对金属层的影响

以公式(3)对应 C 点轨迹为初始弯折路径。由于在弯折过程中,弯折平台要在 y 方向进行调整补偿来实现弯折路径与设计相吻合,那么不可避免地会使弯折平台在 y 方向出现误差,探究该误差对金属层应力的影响对生产指导是非常必要的。为了便于对比,将初始路径在 y 方向整体上、下移动,其移动后结果如图 8 所示。图中横坐标表示上下移动的距离,向上移动为正,反之为负;纵坐标为金属层受到的应力。

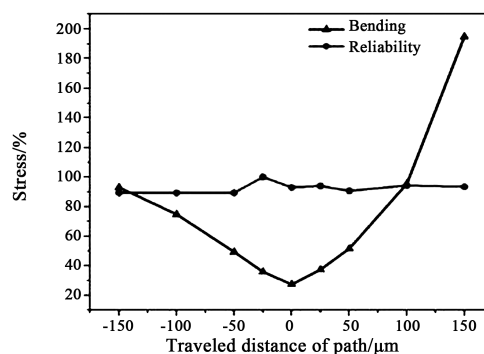


图 8 弯折路径对金属层最大应力的影响

Fig.8 Influence of bending path on maximum stress of metal layer

由图 8 可知,金属层在弯折过程中受到的最大应力随着弯折路径的上、下移动而增大。在上、下移动 150 μm 时,金属层在弯折过程中受到的最大应力均超过可靠性中的结果,且路径上移影响更为明显。可靠性结果中金属层受到的最大应力在弯折路径的上、下移动时基本保持不变。可见,弯折路径的上、下移动对金属层在弯折过程中受到的最大应力影响很大,对其在可靠性结果中受到的最大应力几乎没有影响。

4 结 论

本文针对柔性 OLED 屏幕 COF 连接区域在弯折过程和可靠性影响下金属层的应力进行模拟

分析,讨论了 U 型膜和泡棉在 x 轴方向的贴附偏差、MCL 胶层厚度以及弯折路径在 y 方向移动等因素对柔性屏金属层应力的影响,得出以下结论:

(1)U 型膜左移会使弯折过程和可靠性结果中金属层受到的最大应力明显增大,其右移使得弯折过程中金属层受到的最大应力显著增大,但可靠性结果趋于稳定。

(2)泡棉从左到右偏移使弯折过程中金属层受到的最大应力逐渐增大,泡棉左偏移使得可靠性结果中金属层受到的最大应力明显增大。

(3)MCL 增厚会对弯折过程和可靠性结果中金属层受到的最大应力均有影响。

(4)弯折路径的上、下移动对金属层在弯折过程中受到的最大应力影响很大,对其在可靠性结果中受到的最大应力几乎没有影响。

综上可知,U 型膜和泡棉在 x 轴方向的贴附偏差、MCL 胶层厚度变化以及弯折路径在 y 方向移动均会对金属层在弯折过程中受到的最大应力幅值产生较大影响,而 U 型膜和泡棉左偏移以及 MCL 胶层厚度增加会导致可靠性结果中金属层受到的最大应力增大。

参 考 文 献:

- [1] 马东阁.OLED 显示与照明——从基础研究到未来的应用[J].液晶与显示,2016,31(3):229-241.
MA D G. OLED display and lighting——from basic research to future applications [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(3): 229-241. (in Chinese)
- [2] 王琦,马东阁.白光有机发光二极管的制备方法[J].液晶与显示,2009,24(5):617-629.
WANG Q, MA D G. Fabrication methods of white organic light-emitting diodes [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2009, 24(5): 617-629. (in Chinese)
- [3] KANG M S, JOO M K, LEE J H, *et al.* Performance of a large-size white OLED for lighting application [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2011, 42(1): 972-974.
- [4] 刘晋红,张方辉.OLED 薄膜干燥剂的制备及其对 OLED 的影响[J].发光学报,2017,38(1):76-84.
LIU J H, ZHANG F H. Preparation of OLED desiccant film and the impact for OLED [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2017, 38(1): 76-84. (in Chinese)
- [5] 杨永强,段羽,陈平,等.低温原子层沉积氧化铝作为有机电致发光器件的封装薄膜[J].发光学报,2014,35(9):1087-1092.
YANG Y Q, DUAN Y, CHEN P, *et al.* Deposition of Al_2O_3 film using atomic layer deposition method at low temperature as encapsulation layer for OLEDs [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2014, 35(9): 1087-1092. (in Chinese)
- [6] 张博,廖敦明,刘正周,等.OLED 金属走线弯折过程裂纹扩展有限元分析[J].液晶与显示,2018,33(5):427-432.
ZHANG B, LIAO D M, LIU Z Z, *et al.* Finite element analysis of crack growth of metal line in bending process of OLED panel [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(5): 427-432. (in Chinese)
- [7] 邓亮.柔性 AMOLED 背板开发的关键问题研究[D].苏州:苏州大学,2015.
DENG L. Study on the key technology of flexible AMOLED backplane [D]. Suzhou: Soochow University, 2015. (in Chinese)
- [8] KIM B J, OH S G, LEE Y J, *et al.* Mechanical properties of metal lines formed on trench polyimide film substrate [J]. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 2014, 9(4): 541-545.
- [9] 王文涛,上官文斌,段小成.超弹性本构模型对橡胶隔振器静态特性预测影响的研究[J].汽车工程,2012,34(6):544-550,539.
WANG W T, SHANGGUAN W B, DUAN X C. A study on the effects of hyperelastic constitutive models on the static characteristic prediction of rubber isolator [J]. *Automotive Engineering*, 2012, 34(6): 544-550, 539. (in Chinese)

作者简介:



郑宏兵(1985—),男,甘肃秦安人,硕士,工程师,2012 年于西安交通大学获得硕士学位,主要从事机械结构力学仿真及测试方面的研究。E-mail:zhenghongbing@boe.com.cn