

LCD 彩膜玻璃基板硬度及弹性模量测试

DUH-009

摘要：本文基于《GB/T 21838.1—2019/ISO 14577-1:2015 金属材料硬度和材料参数的仪器化压入试验》标准，使用具备高精度和易用性的岛津 DUH-211S 动态超显微硬度计，对厚度约为 0.40 mm 的 LCD 彩膜玻璃基板进行了仪器化压入测试。通过加载 - 卸载试验，获取了材料的载荷 - 压入深度曲线，精确评价了其压入硬度与弹性模量。测试结果稳定性好、重复性高，表明该方法能有效适用于该类玻璃基板的力学性能表征，为产品质量控制与工艺改进提供了可靠的数据支持。

关键词：DUH-211S LCD 彩膜玻璃基板 硬度 弹性模量

技术特点：

- ❖ DUH-211S 凭借其高精度的载荷控制与高运行稳定性，可对 LCD 彩膜玻璃基板实现硬度和弹性模量的精准测量。
- ❖ 丰富的软件分析功能可以轻松查看多种曲线图，从而更直观对比不同数据点之间的特性。

智能手机已成为现代社会不可或缺的个人终端，其显示屏作为人机交互的核心界面，性能优劣直接影响用户体验。液晶显示器（LCD）仍凭借其技术成熟、成本可控和寿命长等优势，在中端及入门级手机市场中保持重要地位。随着 LCD 技术的持续进步，对其核心组件的性能要求也日益提高。其中，玻璃彩膜基板作为实现彩色显示的关键部件，其综合性能，特别是力学可靠性，对提升屏幕整体品质具有至关重要的作用。

玻璃彩膜基板是在无碱硼铝硅酸盐玻璃基板上，通过光刻等工艺制作黑色矩阵、彩色滤光层、保护层及 ITO 电极的复杂组件。其功能是将背光白光过滤为红、绿、蓝三原色，再经液晶调制形成彩色图像，因此其光学性能和几何精度直接决定显示色彩的准确性与画面的清晰度。

除了光学性能，彩膜基板的力学性能同样关键。在制造过程中，基板经历切割、搬运和贴合等多道工序，面临机械应力和摩擦；在使用中，则需抵抗刮擦、挤压和跌落冲击。因此，研究其硬度与弹性模量具有重要实际意义。

硬度直接影响基板抗刮擦能力，高硬度可保障良品率和耐久性。弹性模量则反映材料刚度，高模量能有效抑制加工和使用中的形变，确保层间对位精度和抗冲击性能。此外，面对手机轻薄化、柔性化趋势，精确测量力学参数也为新材料开发与结构优化提供关键依据，推动显示技术持续发展。

综上，系统研究玻璃彩膜基板的力学性能，对提升制造水平、保障产品可靠性及促进技术发展具有重要价值

■ 实验部分

1.1 仪器

DUH-211S 动态超显微硬度计

1.2 分析条件

试验类型：加载 - 卸载试验

试验力精度：±19.6 μN 或显示试验力的 ±1%

位移测量精度：0.0001 μm

试验力范围：0.1~1961 mN

位移测量范围：0~10 μm

显微镜放大倍率：X500 (X50 倍物镜)

■ 试验介绍

本研究的仪器化压入试验遵循《GB/T 21838.1—2019/ISO 14577-1:2015 金属材料 硬度和材料参数的仪器化压入试验》标准。试验核心是采用玻氏（Berkovich）正三角锥压头（顶角 115° ）对样品进行加载 - 卸载压入测试，通过分析获得的载荷 - 压入深度曲线，可计算出多项材料力学参数，包括：马氏硬度（HM）、压入硬度（ H_{it} ）、压入弹性模量（ E_{it} ）、压入蠕变率（ C_{it} ）、压入松弛率（ R_{it} ）、压入功弹性分量（ η_{it} ）以及由 H_{it} 换算得到的维氏硬度（HV）。图 1 为 DUH-211S 动态超显微硬度计和压入试验过程示意图。图 2 为压头压入材料的横截面示意图。表 1 与表 2 分别为样品信息和试验条件。

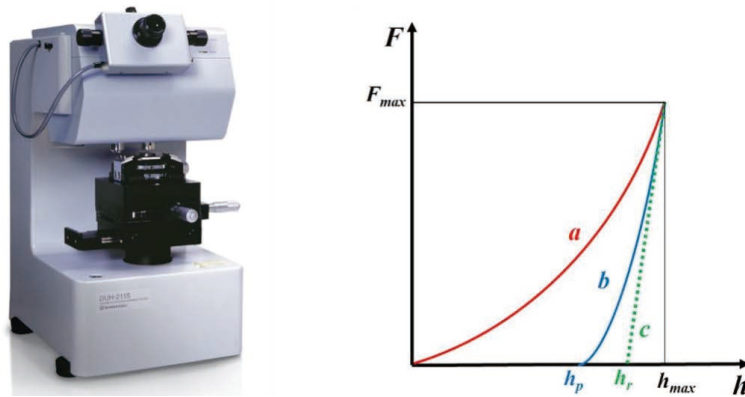


图 1 DUH-211S 动态超显微硬度计和压入试验过程示意图

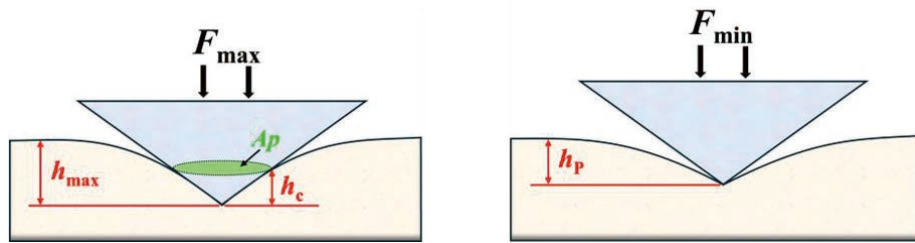


图 2 压头压入材料的横截面示意图。

本次测试采用加载 - 卸载试验模式。具体步骤如下：首先，将 LCD 彩膜玻璃基板固定于样品台，并通过光学系统精确定位待测区域。随后，压头以 1.6655 mN/s 的恒定速率加载至设定的 100 mN 试验力，并在该力值下保持 10 s ，以使材料的蠕变行为趋于稳定。保载阶段结束后，压头开始卸载，直至试验力降至 0.196 mN 后再次保持 10 s ，消除因材料弹性恢复可能引起的基底效应，测试结束。根据压入试验过程中得到的试验力 - 压入深度曲线中的最大试验力 F_{\max} 和压头与试样间接触投影（横截面）面积 A_p ，即可计算压入硬度 H_{it} 。拟合卸载力曲线，可计算样品的压入模量 E_{it} 。结合图 1 和图 2 计算 H_{it} 和 E_{it} 的过程如下：

其中：

F_{\max} ：最大试验力； F_{\min} ：最小试验力；

曲线 a：试验力加载曲线；曲线 b：试验力卸载曲线；曲线 c：曲线 b 在 F_{\max} 的切线；

h_{\max} ：最大试验力下的最大压入深度；

h_r : 曲线 b 的最大试验力处的切线 c 与压入深度坐标轴的交点

h_c : 最大试验力下压头与试样的接触压入深度;

$$h_c = h_{\max} - 0.75(h_{\max} - h_r)$$

h_p : 卸载试验力后残余压入深度;

A_p : 从压头顶端到 h_c 处的压头接触投影面积;

$$A_p = 23.96 \times h_c^2$$

H_{it} : 压入硬度,

$$H_{it} = F_{\max} / A_p$$

E_{it} : 压入模量 (材料杨氏模量)

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu^2}{E_{it}} + \frac{1 - \nu_i^2}{E_i}$$

E_r : 根据压痕接触情况转换弹性模量;

C_s : 接触柔度, 试验力卸载曲线 b 在最大试验力处 dh/dF 的值;

$$\frac{1}{C_s} = \frac{dF}{dh} = \frac{2 \times E_r \times \sqrt{A_p}}{\sqrt{\pi}}$$

ν_i : 压头泊松比 (0.07);

E_i : 压头杨氏模量 (1140 GPa);

ν : 试样泊松比 (0.3)

表 1 样品信息

样品名称	厚度 (mm)
LCD 彩膜玻璃基板	0.4

表 2 试验条件

参数	参数设定
仪器	DUH-211S 动态超显微硬度计
试验模式	加载 - 卸载测试
压头	玻氏 115°正三角锥压头 (金刚石)
预设试验力 (mN)	100
最小试验力 (mN)	0.196
加载最大力保持时间 (s)	10
卸载最小力保持时间 (s)	10
加载速度 (mN/s)	1.6655

■ 试验结果

图 3 为 LCD 彩膜玻璃基板在压痕测试前后的对照图像, 可见测试后在样品表面留下了清晰的压痕。表 3 为对应的测试结果, 6 个有效数据点的压入硬度 H_{it} 和弹性模量 E_{it} 的平均值分别为 663 MPa 和 18.52 GPa。图 4 与图 5 为载荷 - 深度曲线与深度 - 时间曲。

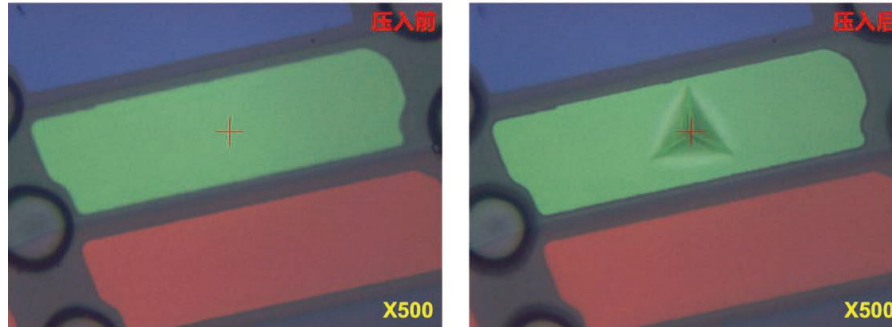


图3 玻璃纤维单丝压入试验前后图

表3 试验结果

序号	F_{max} (mN)	h_{max} (μm)	h_p (μm)	h_r (μm)	H_{it} (MPa)	E_{it} (GPa)
1	100.18	2.7157	1.4282	2.3327	668	17.12
2	100.25	2.7306	1.5592	2.3927	643	18.81
3	100.18	2.6656	1.4134	2.3276	677	19.51
4	100.25	2.7340	1.4924	2.3836	646	18.19
5	100.16	2.6995	1.4273	2.3355	669	18.00
6	100.16	2.6707	1.4749	2.3341	673	19.51
平均值	100.20	2.7027	1.4659	2.3510	663	18.52

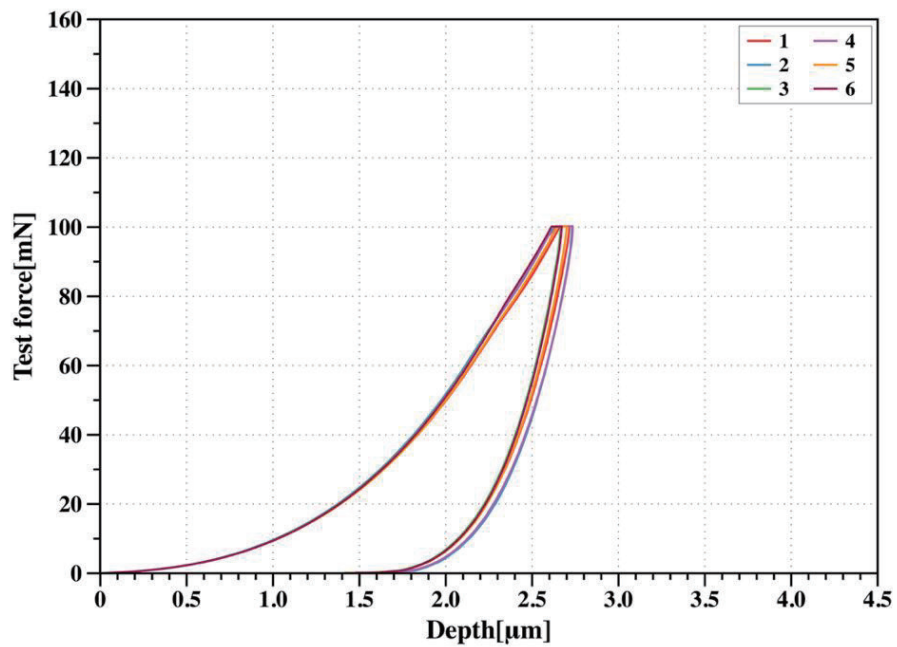


图4 载荷 - 深度曲线图

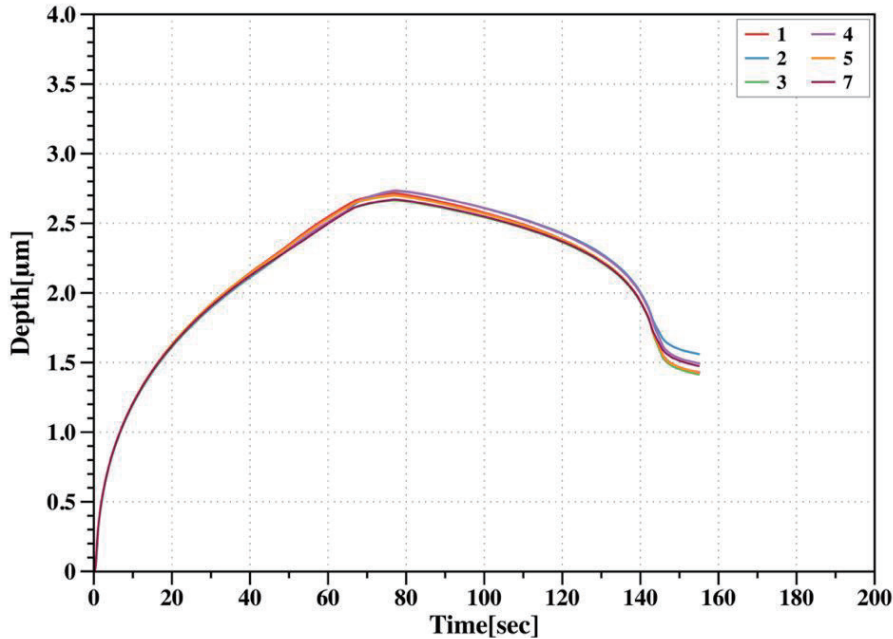


图 5 深度 - 时间曲线图

■ 结论

综上所述,本文基于《GB/T 21838.1—2019/ISO 14577-1:2015 金属材料硬度和材料参数的仪器化压入试验》标准,使用具备高精度和易用性的岛津 DUH-211S 动态超显微硬度计,对厚度约 0.40 mm 的 LCD 彩膜玻璃基板完成了仪器化压入测试。试验获得的载荷 - 压入深度曲线清晰可靠,据此精确计算出的压入硬度和弹性模量结果表现出良好的稳定性和重复性。这表明,本研究建立的方法能有效表征该类玻璃基板的力学性能,为其质量控制与工艺优化提供了可靠的数据支持。

岛津应用云

