

# 理化所光致变色智能窗研究取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25051.html>

**本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！**

为提高建筑物的能源效率，可动态调节太阳光透过率的智能窗户备受关注。通过光致变色智能窗对阳光进行自适应控制，可对建筑物的能效和日光舒适度产生影响。含无机光致变色纳米粒子的聚合物薄膜，因高度稳定性而成为此类智能窗户的理想材料。光致变色膜的高对比度要求薄膜中具有足够浓度的光致变色纳米粒子，而制备高透明度/低雾度的光致变色膜亦要求纳米粒子的高分散性和小尺寸。然而，同时满足在聚合物中足够浓度的、高分散性的、小尺寸的纳米粒子需要高能耗和复杂而繁琐的制备工艺。例如，传统的制备过程需要采用高能耗和高成本的工艺（如水热法、透析法）来制备足够小的纳米粒子，甚至需要使用物理方法（如珠磨）来进一步减小纳米粒子的尺寸；此外，必须通过添加一些分散剂（如乙二醇、乙醇酸）来避免纳米粒子的团聚。

为应对上述挑战，中国科学院院士、理化技术研究所研究员江雷与研究员王京霞团队，联合理化所研究员李来凤团队，提出了一种在聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）中原位生长光致变色三氧化钨（ $\text{WO}_3$

）纳米颗粒的方法，以实现具有足够浓度的小尺寸和高分散的纳米颗粒的光致变色聚合物膜（Cu-W-PC膜）的制备。将PMMA/二氯甲烷溶液和 $\text{WCl}_6/\text{N,N}$ -二甲基

甲酰胺（DMF

）溶液混合后，因二氯甲烷

和DMF的沸点差异以及对PMMA和 $\text{WCl}_6$

溶解性的不同，该研究实现了PMMA和纳米颗粒分步析出，且优先析出的聚合物PMMA对分散在其中的 $\text{WCl}_6$

/DMF溶液的空间限域作用限制了纳米颗粒的生长和聚集，由此可获得聚合物PMMA中高分散小尺寸的纳米颗粒。同时，研究通过Cu掺杂加速光致变色后的褪色过程。该工作所制备的柔性光致变色薄膜具有高透明度（ $T_{\text{lum}}=91\%$ ）、高太阳光调制能力（ $T_{\text{sol}}=73\%$ ）、可大面积（ $30 \times 350 \text{ cm}^2$

）制备等优点。该光致变色薄膜可实现一种简单的方法改造现有窗户，只需贴附现有窗户，从而降低了实施成本。同时，无需额外输入能源，光致变色薄膜可根据阳光强度自动调节透光率，可有效降低室内温度，减少室内制冷能耗，提高建筑能效；可提高室内日光舒适度，在阳光强烈时可避免室内过亮和眩光，而在阳光微弱时则不会影响室内照明。此外，由于透过率的变化并非来源于散射，因此不会影响远景视野。

在智能窗制备中，聚合物限域作用诱导的纳米粒子生成是实现膜高透明度的关键。在前驱体溶液中PMMA聚合物分散在二氯甲烷溶剂中，随着二氯甲烷的蒸发，PMMA链之间的距离逐渐减小，直至相互接触并缠结在一起。二氯甲烷完全蒸发后，随着共溶剂DMF的蒸发，纳米粒子的生成将受到PMMA链的空间限域（图

---

1A)。因此，利用这一机制，该团队在聚合物中原位生长 $\text{WO}_3$ 纳米粒子简单有效地获得复合薄膜中高度分散的小尺寸纳米粒子（约1.5 nm），从而避免高能耗和复杂的传统方法制备 $\text{WO}_3$ 纳米粒子，并实现了高透明度、高对比度的光致变色膜的大面积制备。

研究人员所制备的膜在紫外光或太阳光的照射下逐渐变色，在没有光照时颜色逐渐褪去。该团队利用这一原理实现了对透过率的调整。研究通过Cu掺杂加速了光致变色膜的褪色过程。完全褪色到初始透明状态只需要40分钟，满足了实际应用需要。上述成果是由于在傍晚太阳光强度逐渐降低，光致变色膜透过率的变化可以跟随太阳光强度的变化。在不同的太阳辐射强度/时间下，Cu-W-PC薄膜的透射率显示出各种中间着色状态，表明其可跟随太阳光强度自适应的透过率变化。

Cu-W-PC膜的光致变色效果来源于其中的W元素的价态变化，而Cu元素的价态变化是加速褪色的基础。当光致变色膜受到阳光照射时， $\text{WO}_3$ 纳米粒子吸收紫外线并产生电子-空穴对。光生电子的一部分被 $\text{WO}_3$ 纳米粒子表面的氧空位捕获，从而将 $\text{W}^{6+}$ 还原成 $\text{W}^{5+}$ 。 $\text{WO}_3$ 纳米粒子表面丰富的氧空位导致自由电荷密度增加，且自由电子在外部电磁波的作用下发生振荡，从而产生局部表面等离子体共振（LSPR）。这种LSPR现象导致着色状态的PC薄膜对太阳光的强烈吸收，从而降低了可见光和红外光范围的透射率。在黑暗条件下， $\text{W}^{5+}$ 和 $\text{Cu}^+$ 被空气中的氧气氧化，再次形成 $\text{W}^{6+}$ 和 $\text{Cu}^{2+}$ ，薄膜逐渐恢复到初始状态，相应的透射率也恢复到初始状态。 $\text{W}^{6+}$ 、 $\text{W}^{5+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Cu}^+$ 之间的电子相互作用加速了漂白过程。

模拟结果表明，应用Cu-W-PC薄膜可降低建筑物的能耗，特别是在温暖的区域。室外测试表明，安装光致变色薄膜后，室内温度降低（> 7.4 °C）。同时，模拟结果显示，光致变色薄膜可提高室内日光舒适度，在阳光强烈时可避免室内光线过亮和眩光，而在阳光微弱时则不会影响室内照明。

相关研究成果以Scalable Photochromic Film for Solar Heat and Daylight Management为题，发表在《先进材料》（Advanced Materials）上。华南师范大学、荷兰埃因霍温理工大学、荷兰代尔夫特理工大学的科研人员参与研究。研究工作得到中国科学院国际合作项目NWO-CAS的支持。

[论文链接](#)

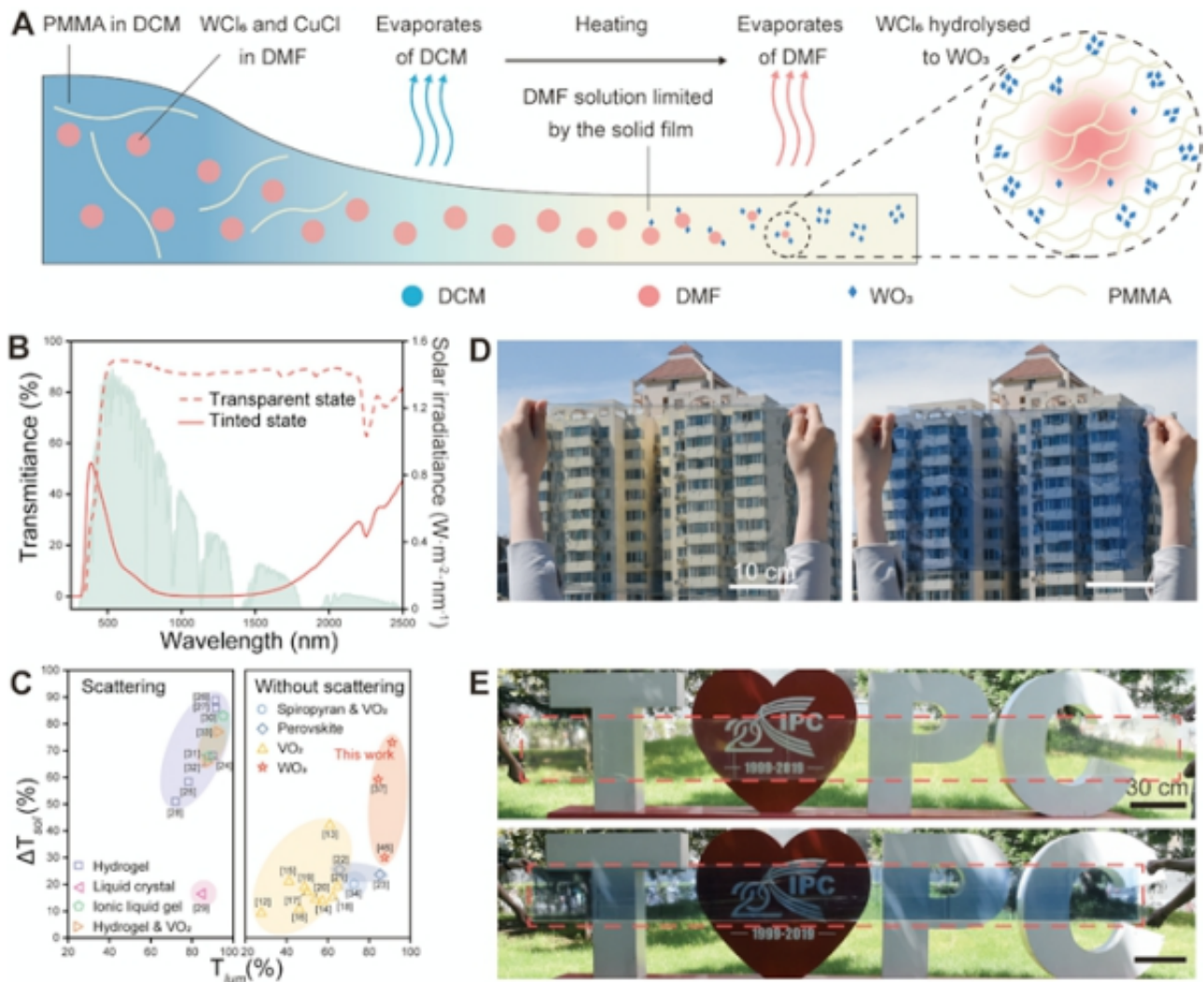


图1. Cu-W-PC膜的制备和光致变色性能

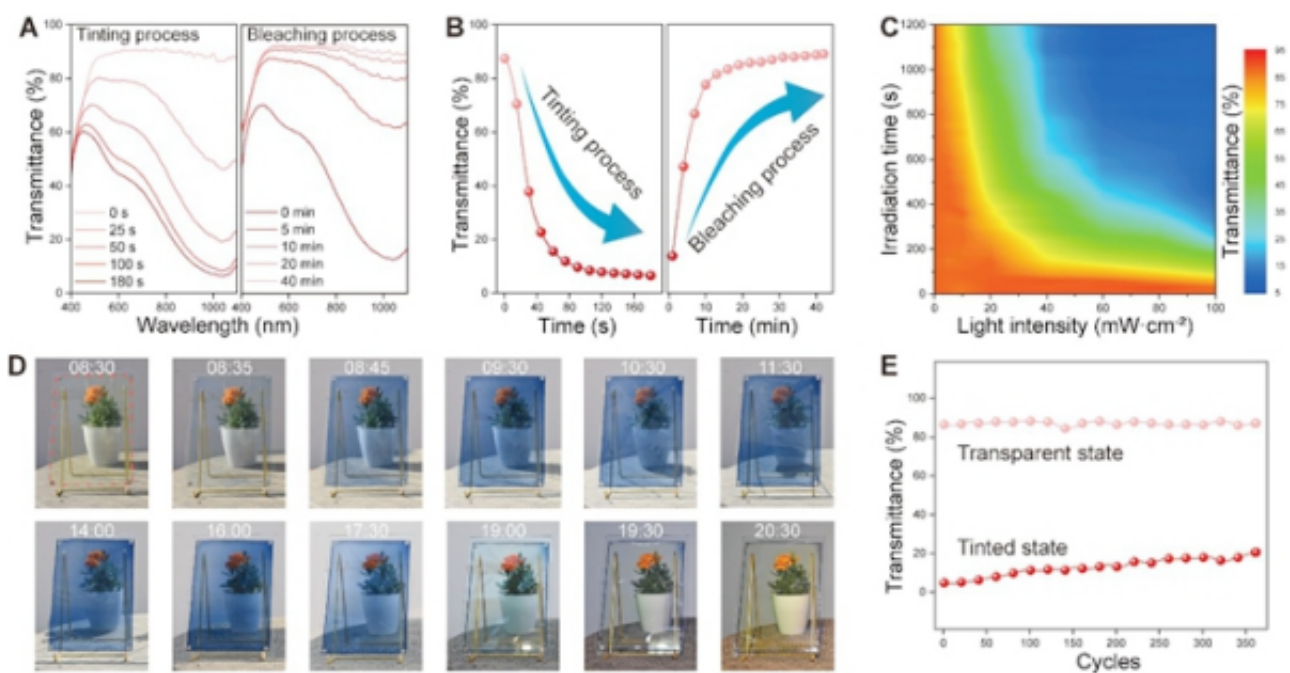


图2. Cu-W-PC膜随外界光强的改变透过率的变化

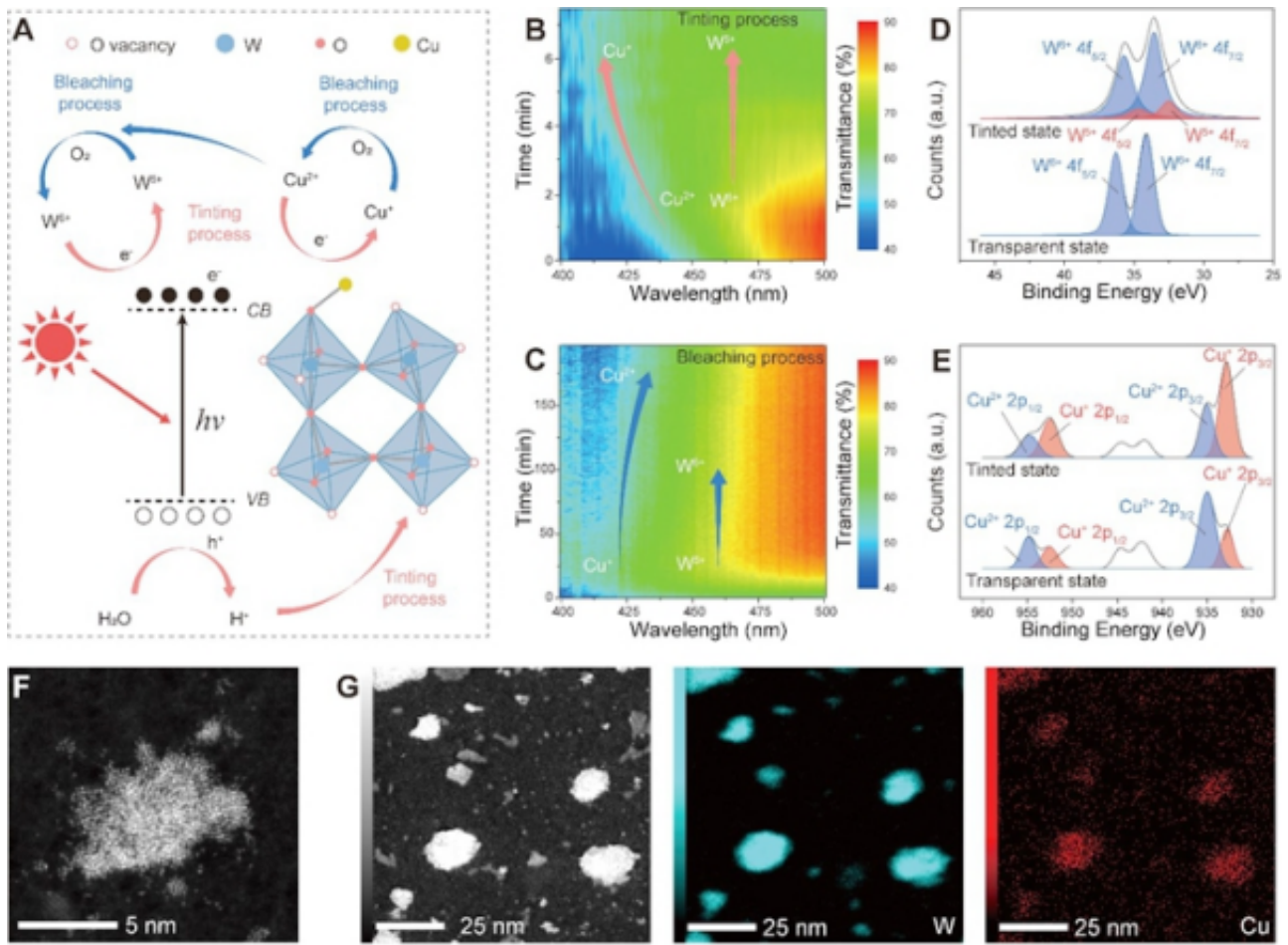


图3. Cu-W-PC膜的光致变色和褪色机理

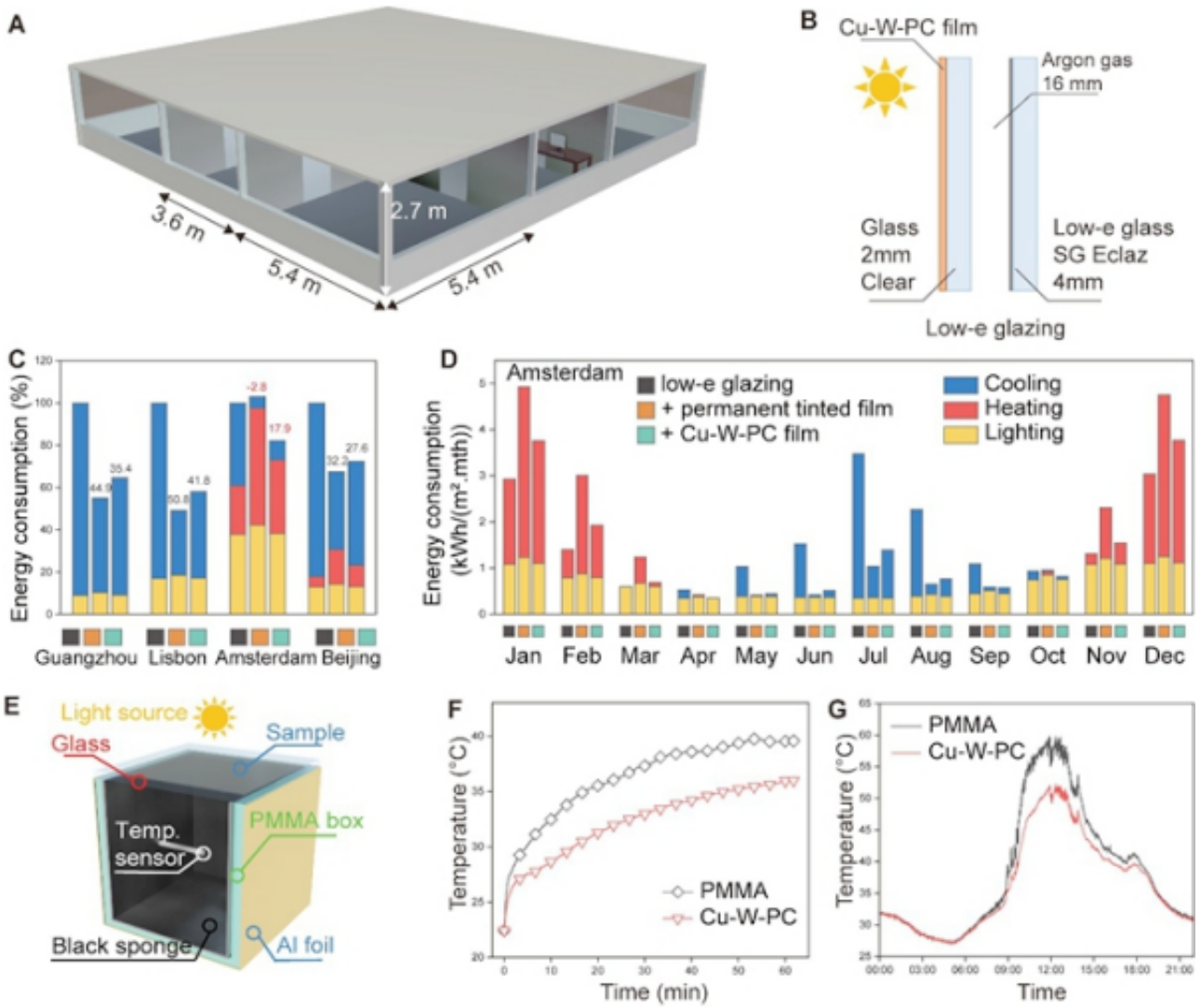


图4. Cu-W-PC薄膜对室内温度的影响以及建筑物模型的能耗模拟

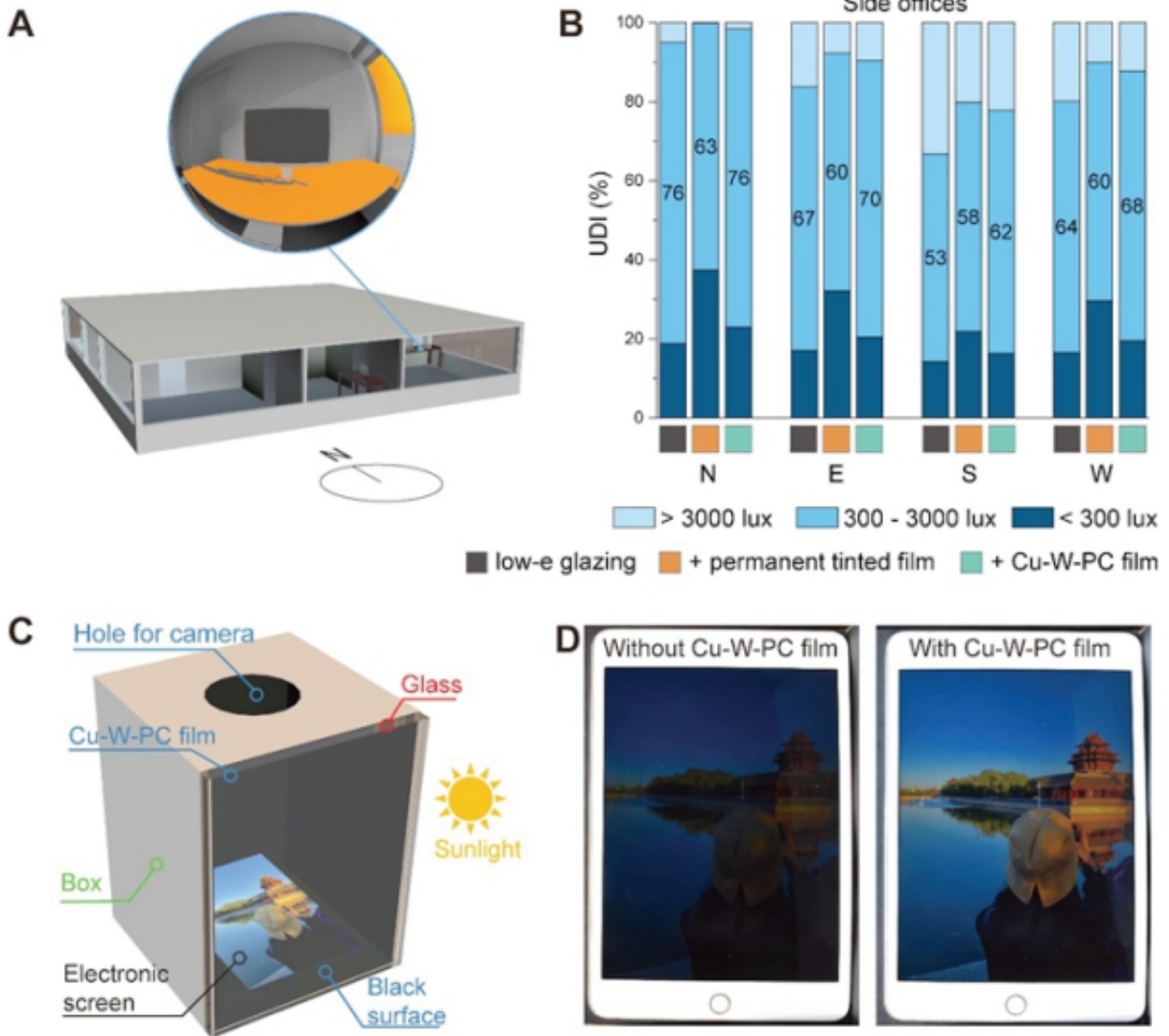


图5. Cu-W-PC对室内照明度和眩光的影响

研究团队单位：理化技术研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发