

团 体 标 准

T/TMAC ×××—2026

光致变色材料光学性能测定方法

Method for measuring the optical properties of photochromic materials

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人，均可提出修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本作品著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市海淀区复兴路甲 23 号城乡华懋大厦 12 层 1217。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 原理	1
5 测试条件	2
5.1 环境条件	2
5.2 光照条件	2
6 试剂与材料	2
7 仪器设备	2
8 样品	3
8.1 样品要求	3
8.2 样品制备	3
8.3 样品保存	3
9 测试方法	3
10 实验数据处理	4
10.1 数据记录	4
10.2 数据处理方法	4
10.3 重复性与再现性评估	5
10.4 数据审核与异常处理	5
10.5 测试结果	5
11 质量保证和控制	5
11.1 仪器设备校准	5
11.2 环境监测	6
11.3 样品检查	6
11.4 人员保证	错误! 未定义书签。
12 测试报告	6

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国技术市场协会提出并归口。

本文件起草单位：上海沪正实业有限公司、上海康耐特光学有限公司、北京中研博采技术服务有限公司、北京六只猫创意科技有限公司、北京彬诚科技有限公司等单位。

本文件主要起草人：李佳怡、王传宝、乐志斌、夏卫彬、杨笛等。

光致变色材料光学性能测定方法

1 范围

本文件规定了光致变色材料光学性能测定方法的原理、测试条件、试剂与材料、仪器设备、样品、测试方法、实验数据处理、质量保证和控制、测试报告等内容。

本文件适用于光致变色材料在波长200 nm~800 nm激发下的光学性能测定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2410 透明塑料透光率和雾度的测定

GB/T 5698 颜色术语

GB/T 7921 均匀色空间和色差公式

GB/T 16422.3 塑料 实验室光源暴露试验方法 第3部分：荧光紫外灯

3 术语和定义

GB/T 5698界定的下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光致变色材料 photochromic material

受特定波长光照射后能够发生可逆颜色变化的一类功能材料。

4 原理

光致变色材料的光学性能测定基于其在特定波长光照激发下发生可逆颜色变化的特性。通过测量材料在初始状态（褪色态）和激发后稳定状态（变色态）的光学参数变化，来评价其性能。主要测试项目的原理如下：

- 初始透过率：材料在未受激发光照前，对特定波长光的透过能力，反映材料的初始透明状态。
- 最大变色透过率：材料在特定波长和强度的光激发下，达到变色饱和状态时对特定波长光的透过能力，反映材料变色后的光学状态；
- 变色速率：材料在激发光照射下，其光学参数（如透过率）从初始值变化至最大变色值所需时间的倒数，表征材料变色的快慢；
- 褪色速率：激发光源移除后，材料的光学参数从最大变色值恢复至指定恢复值（如初始值的90%）所需时间的倒数，表征材料褪色的快慢；
- 循环耐久性：材料在连续的光照激发与暗态恢复循环过程中，其关键光学性能参数（如最大变色透过率）衰减至规定程度时所经历的循环次数，表征材料的使用寿命和稳定性；
- 色差：材料在激发前后颜色空间坐标值的变化量，采用CIELAB色差公式计算，定量表征材料变色的程度；
- 响应波长范围：材料在特定波长区间内，其激发前后的透过率变化率超过规定阈值（如10%）所对应的波长区间，表征材料的光谱响应特性；

- h) 光疲劳测定：材料在经历多次或长时间光照后，其光学性能（如最大变色透过率、变色/褪色速率）的衰减程度，表征材料抗光老化的能力；
- i) 光谱响应特性：通过测量材料在不同波长单色光激发下的光学参数变化，获得其变色效应随激发波长变化的关系曲线，用以确定最有效的激发波长及光谱灵敏度。

5 测试条件

5.1 环境条件

光致变色材料光学性能测定环境条件应符合以下要求：

- a) 温度：光致变色材料光学性能测定温度应满足 $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：相对湿度应保持 $(50 \pm 10) \%$ ；
- c) 大气压强：86 kPa~106 kPa；
- d) 无强振动和电磁干扰。

5.2 光照条件

光致变色材料光学性能测定光照条件应符合以下及表1要求：

- a) 探测光源：
- 1) 标准紫外光源，主波长 $(365 \pm 5) \text{ nm}$ ，照度 $10^5 \text{ lx} \pm 5\%$ ；
 - 2) 可见激发：氙灯或白光LED，照度按产品规格要求；
- b) 褪色条件：暗室环境或使用标准可见光源，照度 $\leq 500 \text{ lx}$ ；
- c) 光照均匀性：样品表面照度变异系数不大于5%。

6 试剂与材料

光致变色材料光学性能测定试剂与材料应符合表1要求。

表1 光致变色材料光学性能测定试剂与材料要求

名称	规格要求
无水乙醇	分析纯（纯度 $\geq 99.7\%$ ），清洁样品表面
去离子水	一级水（电导率 $\leq 0.01 \text{ mS/m}$ ， 25°C ），用于液体样品制备、仪器清洁
中性密度滤光片	透过率值：20%、50%、80%；偏差： $\pm 0.5\%$
光致变色标准样品	已知循环耐久性 ≥ 1000 次，响应波长 380~500nm，验证测试方法有效性
石英比色皿	光程：10mm；透光率： $\geq 90\%$ （400~700nm）；耐紫外辐射；测试液体样品
载玻片	厚度： $1.0 \pm 0.1 \text{ mm}$ ；透光率： $\geq 92\%$ （400~700nm）；用于支撑薄膜样品

7 仪器设备

光致变色材料光学性能测定的仪器设备应符合表2规定。

表2 光致变色材料光学性能测定的仪器设备

设备名称	技术要求
分光光度计	波长范围：200~800nm，波长精度 $\pm 0.5 \text{ nm}$ ； 支持 CIE LAB 色彩空间计算，配备 10° 视场、标准照明体 D65；
紫外老化试验箱	激发光源：主波长 $(365 \pm 5) \text{ nm}$ ，照度 10 万 $\text{ lux} \pm 5\%$ ，照度可调；温度控制： $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ，控温精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；计时精度 $\pm 1 \text{ s}$ ，支持定时光照功能（最大定时 $\geq 24 \text{ h}$ ）
暗态避光箱	照度 $\leq 500 \text{ lux}$ （可通过遮光材料实现完全避光）；温度控制： $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ，控温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ； 计时精度 $\pm 1 \text{ s}$ ，支持暗态时间记录
旋涂仪	转速范围：0~8000r/min，转速精度 $\pm 50 \text{ r/min}$ ；

	样品台直径 $\geq 50\text{mm}$ ，支持载玻片（ $20\text{mm}\times 20\text{mm}$ 及以上）固定
金相抛光设备	支持砂纸粒度适配（400#、800#、1200#、2000#）；抛光盘转速：0~1000r/min，可调
照度计	测量范围：0~20万lux，精度 $\pm 2\%$ ；响应波长：380~780nm（匹配可见光及紫外激发光监测）； 配备便携式探头，方便样品表面照度均匀性检测
在线透过率监测系统	采样间隔： $\leq 10\text{s}$ ，支持实时数据传输；透过率测量精度 $\pm 0.3\%$ ，与分光光度计数据一致性偏差 $\leq 0.5\%$ ；可与紫外老化试验箱/暗态避光箱联动，自动记录光照/暗态过程数据；

8 样品

8.1 样品要求

致变色材料光学性能测定的样品要求应符合表3规定。

表3 致变色材料光学性能测定的样品要求

样品形态	尺寸要求	纯度要求	均匀性要求
薄膜状	厚度：0.1~1mm（偏差 $\leq 5\%$ ）；面积： $\geq 20\text{mm}\times 20\text{mm}$	杂质含量 $\leq 0.1\%$	厚度差 $\leq 0.05\text{mm}$ ，无气泡、划痕
固体块状	尺寸： $\geq 10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 1\text{mm}$	杂质含量 $\leq 0.1\%$	表面粗糙度 $R_a\leq 0.2\mu\text{m}$ ，无裂纹
液体状	浓度：0.01~0.1mol/L（偏差 $\leq 2\%$ ）；体积： $\geq 10\text{mL}$	溶剂纯度 $\geq 99.5\%$	无沉淀、分层，静置24h无变化

8.2 样品制备

致变色材料光学性能测定的样品制备应符合表4规定。

表4 致变色材料光学性能测定的样品制备

样品形态	制备方法
薄膜状	采用溶液浇铸法制备： 1. 将光致变色材料溶于溶剂，配制成质量分数为5%的溶液； 2. 将溶液均匀浇铸在洁净载玻片上，转速3000 r/min（旋涂仪）； 3. 置于（ 60 ± 2 ） $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中干燥24h，冷却至室温后剥离载玻片
固体块状	采用切割抛光法制备： 1. 将块状光致变色材料切割为 $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 2\text{mm}$ 试样； 2. 用金相砂纸以粒度400# \rightarrow 800# \rightarrow 1200# \rightarrow 2000#，依次抛光表面； 3. 用无水乙醇清洁表面，晾干
液体状	采用容量瓶定容法制备： 1. 用电子天平准确称量0.1g~1.0g光致变色溶质； 2. 溶于去离子水或乙醇，转移至100mL容量瓶； 3. 加溶剂定容至刻度，摇匀，静置1h

8.3 样品保存

光致变色材料光学性能测定样品保持应符合以下要求：

- a) 样品：需避光、密封储存于 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $50\pm 5\%$ RH环境中，储存时间不超过7天；液体样品需现配现用，配制后2h内完成测试；
- d) 所有样品需标注清晰信息：样品名称、编号、组成、制备日期、保存条件。

9 测试方法

光致变色材料光学性能测试方法应符合表5规定。

表5 光致变色材料光学性能测试方法

测试项目	测试步骤	执行标准
初始透过率	1. 校准分光光度计：作空白对照测试，中性密度滤光片验证透过率准确度； 2. 放置样品：薄膜/固体样品紧贴比色皿架，液体样品注入石英比色皿（无气泡）； 3. 设定波长：450nm（或材料最大响应波长），测定透过率，重复3次，取平均值，即为 T_0 。	GB/T 2410
最大变色透过率	1. 将样品置于紫外老化试验箱，按5.2设定光照条件； 2. 每10s用分光光度计测定透过率（或用在线监测系统实时记录）； 3. 当连续3次测定值偏差 $\leq 0.5\%$ 时，记录数值，即为 T_1 。	GB/T 2410
变色速率	1. 从紫外老化试验箱开始照射样品时启动秒表； 2. 按 Q_1 测试步骤监测透过率，当达到 T_1 时停止秒表； 3. 重复测试3次，取平均值，即为 v_1 。	GB/T 16422.3
褪色速率	1. 样品达到 T_1 后，立即转移至暗态避光箱，同时启动秒表； 2. 每10s测定透过率，当透过率达到 $0.9Q_0$ 时停止秒表； 3. 重复测试3次，取平均值，即为 v_2 。	GB/T 16422.3
循环耐久性（N）	1. 按“光照30min，测定 $Q_1 \rightarrow$ 暗态60min，测定 $0.9Q_0$ ”完成1个循环，记录每次 Q_1 ； 2. 计算 $(Q_{1, 初始} - Q_{1, 第n次}) / Q_{1, 初始} \times 100\%$ ，当 $\geq 10\%$ 时停止循环； 3. 按公式（1）计算循环耐久性并记录此时的循环次数N	GB/T 16422.3
色差	1. 分光光度计设定：标准照明体D65， 10° 视场，CIE LAB色彩空间； 2. 测定样品初始状态的明度、红绿轴、黄蓝轴，即 L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* ，及最大变色状态的 L_1^* 、 a_1^* 、 b_1^* ； 3. 按 ΔE_{ab}^* 公式（2）计算，重复3次，取平均值	GB/T 7921
响应波长范围	1. 分光光度计扫描范围：200~800nm，扫描间隔1nm； 2. 分别测定样品初始状态（ $T_{0,\lambda}$ ）和最大变色状态（ $T_{1,\lambda}$ ）的透过率光谱； 3. 按公式（3）计算每个波长的透过率变化率 ω ，取变化率 $\geq 10\%$ 的波长区间	GB/T 2410
光疲劳测定	1. 按“光照30min，测定 $Q_1 \rightarrow$ 暗态60min，测定 $0.9Q_0$ ”的程序，连续进行N次循环； 2. 记录第1次循环和第N次循环的 Q_1 值，按公式（1）计算第N次循环的性能衰减率 η_n ； 3. 记录第1次循环和第N次循环的变色速率 v_1 和褪色速率 v_2 ，计算其相对变化率	GB/T 16422.3
光谱响应特性	1. 将单色仪或可调波长光源与分光光度计联用； 2. 在200 nm~800 nm波长范围内，以固定间隔选择激发波长 λ_{ex} ； 3. 在每个 λ_{ex} 下，用照度计将样品表面的辐照度调整至相同值； 4. 分别测量样品在该波长光照激发前后的透过率 $T_{0,\lambda}$ 和 $T_{1,\lambda}$ ，按公式（3）计算每个 λ_{ex} 对应的透过率变化率 ω ； 5. 绘制透过率变化率 ω 随激发波长 λ_{ex} 变化的光谱响应曲线	GB/T 2410

10 实验数据处理

10.1 数据记录

在测试过程中，应详细记录所有原始数据，包括但不限于测试环境条件、仪器设备参数、样品信息、测试步骤及每个步骤的具体操作细节、测量得到的数值及其单位，并确保数据记录的准确性和完整性。

10.2 数据处理方法

10.2.1 循环耐久性测试

循环耐久性测试按公式（1）计算：

$$\eta_n = \frac{Q_{1, 初始} - Q_{1, n}}{Q_{1, 初始}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

当 $\eta_n \geq 10\%$ 时，记录当前循环次数n作为N，N结果以整数表示，单位为次。

式中：

- η_n ——衰减率
 Q_1 ——最大变色透过率；
 $Q_{1, \text{初始}}$ ——第1次循环的 Q_1 值；
 $Q_{1, n}$ ——第 n 次循环的 Q_1 值。

10.2.2 色差测试

循环耐久性测试按公式（2）计算：

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_1^* - L_0^*)^2 + (a_1^* - a_0^*)^2 + (b_1^* - b_0^*)^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔE_{ab}^* ——色差；

L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* ——初始状态的明度、红绿轴、黄蓝轴；

L_1^* 、 a_1^* 、 b_1^* ——最大变色状态的明度、红绿轴、黄蓝轴。

10.2.3 响应波长范围测试

计算每个波长 λ 的透过率变化率按公式（3）计算：

$$\omega = \left| \frac{T_{1, \lambda} - T_{0, \lambda}}{T_{0, \lambda}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

ω ——透过率变化率；

$T_{0, \lambda}$ ——初始透过率光谱值；

$T_{1, \lambda}$ ——最大变色透过率光谱值。

10.3 重复性与再现性评估

10.3.1 重复性

同一实验室、同一操作员对同一样品进行多次测试，计算测试结果的相对标准偏差（RSD）。要求：

10.3.2 再现性

不同实验室或不同操作员对同一样品进行测试，通过计算实验室间测试结果的相对偏差，评估再现性，要求相对偏差 $\leq 10\%$ 。

10.4 数据审核与异常处理

10.4.1 数据审核

对所有测试数据进行严格审核，包括数据的准确性、完整性和合理性。审核内容应涵盖数据记录是否规范、计算过程是否正确、测试结果是否符合预期等。

10.4.2 异常数据处理

当发现测试数据异常时，应进行复查。首先检查测试过程中是否存在操作失误、仪器设备故障或环境条件不符合要求等情况。如确定数据异常，应重新进行测试，并记录异常原因及处理措施。

10.5 测试结果

将测试结果以清晰、准确的方式呈现，包括数据表格、图表、文字描述等。对于每个测试项目，应提供详细的测试结果，并对测试结果进行分析，结合样品的制备工艺、材料特性等因素，探讨物理与电化学性能之间的内在联系。分析结论包括性能指标的优劣、可能的影响因素、改进建议等。

11 质量保证和控制

11.1 仪器设备校准

所有仪器设备应定期送至专业计量机构进行校准，并在有效期内使用。

11.2 环境监测

在测试过程中，应实时监测环境温度和湿度，并记录相关数据，当环境条件超出规定范围时，应暂停测试并采取相应的措施进行调整。

11.3 样品检查

在测试前和测试后，应对样品进行外观检查，确保样品无损坏或污染。

12 测试报告

实验报告应包括以下内容：

- a) 测试样品的基本信息，如型号、编号、材料组成、制备工艺等；
 - b) 测试环境条件，包括温度、湿度等；
 - c) 测试仪器设备的型号、参数及校准状态；
 - d) 测试步骤及原始数据记录；
 - e) 数据处理结果，包括初始透过率、最大变色透过率等；
 - f) 测试结果分析（如有）及结论；
 - g) 测试人员和审核人员签名及日期；
 - h) 附件，包括测试过程中记录的原始数据、图表、校准证书等复印件，以及其他需要说明的文件。
-