

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—2026

钙钛矿光伏用纳米氧化锌技术要求

Technical requirements for nano-zinc oxide for perovskite photovoltaics

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 发 布

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 技术要求 2

 4.1 外观 2

 4.2 理化性能 2

 4.3 光电性能 2

5 试验方法 3

 5.1 一般规定 3

 5.2 外观 3

 5.3 理化性能 3

 5.4 光电性能 4

6 检验规则 5

 6.1 检验分类 5

 6.2 组批与抽样 5

 6.3 出厂检验 5

 6.4 型式检验 5

7 标志、包装、运输和贮存 5

 7.1 标志 6

 7.2 包装 6

 7.3 运输 6

 7.4 贮存 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。

本文件由中国西部开发促进会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

钙钛矿光伏用纳米氧化锌技术要求

1 范围

本文件规定了钙钛矿光伏用纳米氧化锌的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于钙钛矿太阳能电池电子传输层用纳米氧化锌材料的生产和检验。

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 191 包装储运图形符号标志

GB/T 6678 化工产品采样总则

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 9723 化学试剂 火焰原子吸收光谱法通则

GB/T 19587 气体吸附BET法测定固态物质比表面积

GB/T 19589 纳米氧化锌

HG/T 3696.1 无机化工产品 化学分析用标准溶液、制剂及制品的制备 第1部分：标准滴定溶液的制备

HG/T 3696.2 无机化工产品 化学分析用标准溶液、制剂及制品的制备 第2部分：杂质标准溶液的制备

HG/T 3696.3 无机化工产品 化学分析用标准溶液、制剂及制品的制备 第3部分：制剂及制品的制备

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钙钛矿光伏用纳米氧化锌 nano-zinc oxide for perovskite photovoltaics

用于钙钛矿太阳能电池电子传输层的纳米氧化锌材料，其一次粒径应不大于100 nm，具备宽禁带半导体特性和高电子迁移率。

3.2

电子传输层 electron transport layer

在钙钛矿太阳能电池中位于钙钛矿光吸收层与透明导电电极之间，用于提取和传输光生电子、阻挡空穴通过的半导体薄膜层。

3.3

电子迁移率 electron mobility

单位电场强度下电子的平均漂移速度，单位为平方厘米每伏秒[$\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$]，是表征电子传输层材料载流子传输能力的关键参数。

3.4

团聚指数 agglomeration index

表征纳米粉体团聚程度的参数，以电镜平均粒径与XRD线宽化法平均晶粒的比值表示。团聚指数越接近1，表示粉体分散性越好。

4 技术要求

4.1 外观

纳米氧化锌应为白色或微黄色粉末，无肉眼可见杂质。

4.2 理化性能

纳米氧化锌的理化性能应符合表1的规定。

表 1 纳米氧化锌理化性能要求

序号	项目		单位	指标
1	氧化锌（ZnO）含量		%	≥99.5
2	电镜平均粒径		nm	≤50
3	XRD 线宽化法平均晶粒		nm	≤40
4	比表面积		m ² /g	20~60
5	团聚指数		—	≤5.0
6	金属杂质含量	铅（Pb）	%	≤0.001
		镉（Cd）	%	≤0.001
		汞（Hg）	%	≤0.0005
		砷（As）	%	≤0.0005
		铁（Fe）	%	≤0.005
		铜（Cu）	%	≤0.001
7	105℃挥发物		%	≤0.5
8	灼烧失重（800℃）		%	≤1.0
9	水溶物		%	≤0.3
10	pH 值（5%悬浮液）		—	6.0~8.5

4.3 光电性能

纳米氧化锌的光电性能应符合表2的规定。

表 2 纳米氧化锌光电性能要求

序号	项目	单位	指标
1	禁带宽度（E _g ）	eV	3.20~3.40
2	电子迁移率	cm ² /(V·s)	≥20
3	可见光透过率（400~800 nm）	%	≥85
4	导带底能级（CBM）	eV	-4.0~-4.4（vs. 真空能级）

5 试验方法

5.1 一般规定

除非另有说明，试验中所用试剂均为分析纯，所用水应符合GB/T 6682中三级水的规定。标准滴定溶液、杂质标准溶液及制剂的制备应按HG/T 3696.1、HG/T 3696.2和HG/T 3696.3的规定执行。

5.2 外观

取约5 g试样，置于白色瓷板上，在自然光或照度不低于300 lx的日光灯下，观察距离约30 cm，用目视法观察试样的颜色、状态及有无肉眼可见杂质，观察时应避免阳光直射和阴影干扰。

5.3 理化性能

5.3.1 氧化锌含量

按GB/T 19589的规定进行。采用EDTA络合滴定法测定，称取0.15 g试样，精确至0.0001 g，加盐酸溶解，以二甲酚橙为指示剂，用0.05 mol/L EDTA标准滴定溶液滴定至亮黄色，平行测定两次，两次测定值之差应不大于0.3%。

5.3.2 电镜平均粒径

按GB/T 19589的规定进行。采用透射电子显微镜观察，放大倍数宜为100000~200000，随机测量不少于200个颗粒，电镜平均粒径按式（1）计算：

$$d_{TEM} = \frac{\sum n_i d_i}{N} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

d_{TEM} ——电镜平均粒径，单位为纳米（nm）；

n_i ——第*i*个粒径区间的颗粒数；

d_i ——第*i*个粒径区间的中值，单位为纳米（nm）；

N ——测量颗粒总数。

5.3.3 XRD 线宽化法平均晶粒

按GB/T 19589的规定进行。采用X射线衍射仪，Cu K α 辐射， $\lambda = 0.15406$ nm，扫描速度宜为2° /min。平均晶粒按Scherrer公式计算，见式（2）：

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

D ——平均晶粒尺寸，单位为纳米（nm）；

K ——Scherrer常数，取0.89；

λ ——X射线波长，取0.15406 nm；

β ——衍射峰半高宽，单位为弧度（rad）；

θ ——布拉格角，单位为弧度（rad）。

5.3.4 比表面积

按GB/T 19587的规定进行，采用气体吸附BET法测定。样品应在200℃下真空脱气处理不少于2 h。

5.3.5 团聚指数

团聚指数按式（3）计算：

$$I = \frac{d_{TEM}}{d_{XRD}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

I ——团聚指数，无量纲；

d_{TEM} ——按5.3.2测得的电镜平均粒径，单位为纳米（nm）；

d_{XRD} ——按5.3.3测得的XRD线宽化法平均晶粒，单位为纳米（nm）。

5.3.6 金属杂质含量

铅、镉、铜、铁含量按GB/T 9723的规定，采用火焰原子吸收光谱法测定；汞、砷含量采用电感耦合等离子体质谱法测定。

5.3.7 105℃挥发物

按GB/T 19589的规定进行。称取约2 g试样，精确至0.0002 g，置于已在105℃±2℃恒重的称量瓶中，于105℃±2℃干燥2 h，取出置于干燥器中冷却至室温后称量。

5.3.8 灼烧失重

按GB/T 19589的规定进行。称取约2 g试样，精确至0.0002 g，置于已在800℃±25℃恒重的坩埚中，于800℃±25℃灼烧至恒重。

5.3.9 水溶物

按GB/T 19589的规定进行。

5.3.10 pH 值

按GB/T 19589的规定进行。称取5 g试样（以干基计），加入100 mL无二氧化碳的水，充分搅拌后静置，用酸度计测定上清液的pH值。

5.4 光电性能

5.4.1 禁带宽度

采用紫外-可见漫反射光谱法测定，按以下方法进行：

- 取纳米氧化锌粉体约0.5 g，置于研钵中研磨后装入固体样品池，用玻璃片压平；
- 以聚四氟乙烯白板或硫酸钡白板为参比，在波长250 nm～800 nm范围内测量漫反射光谱，记录反射率 R 随波长 λ 的变化曲线；
- 按式（4）将反射率转换为吸收系数：

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$F(R)$ ——Kubelka-Munk函数值，无量纲；

R ——漫反射率，无量纲。

- 以 $(F(R) \cdot h\nu)^2$ 对 $h\nu$ 作图，将曲线中线性部分外推至纵坐标为0处，所得横坐标截距即为禁带宽度值。

5.4.2 电子迁移率

应按以下方法进行：

- 在ITO导电玻璃基底上制备纳米氧化锌薄膜，厚度宜为100～300 nm，再沉积金属电极构成单电子器件；
- 在暗态条件下，采用半导体参数分析仪测量器件的电流-电压特性曲线，取空间电荷限制电流区域的数据，按Mott-Gurney方程，按式（5）计算电子迁移率：

$$\mu = \frac{8Jd^3}{9\epsilon_r\epsilon_0 V^2} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

μ ——电子迁移率，单位为平方厘米每伏秒 $[\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})]$ ；

J ——电流密度，单位为安培每平方米 (A/cm^2) ；

d ——薄膜厚度，单位为厘米 (cm) 。

ϵ_r ——材料的相对介电常数，无量纲；

ϵ_0 ——真空介电常数，取 $8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ；

V ——施加电压，单位为伏 (V) ；

5.4.3 可见光透过率

采用紫外-可见分光光度计测定，样品制备和测定按以下方法进行：

- 将试样分散于无水乙醇中，超声分散 10 min，配成浓度约为 1 mg/mL 的分散液；
- 采用旋涂法或刮涂法将分散液涂覆于石英玻璃基底上，在 80℃~120℃ 下干燥，制成均匀薄膜；
- 以空白石英玻璃为参比，在波长 400 nm~800 nm 范围内测量薄膜的透过率；
- 取 400 nm~800 nm 范围内透过率的算术平均值。

5.4.4 导带底能级

采用紫外光电子能谱法测定，样品制备和测定按以下方法进行：

- 将试样分散于无水乙醇中，超声分散，旋涂于导电基底上，制成均匀薄膜；
- 采用紫外光电子能谱仪，以氦气放电灯（He I，光子能量 21.22 eV）为激发光源，测量样品的二次电子截止边和价带起始边；
- 由二次电子截止边计算功函数，由价带起始边确定价带顶能级；
- 结合 5.4.1 测得的禁带宽度，按式（6）计算导带底能级：

$$E_{CBM}=E_{VBM}+E_g \quad (6)$$

式中：

E_{CBM} ——导带底能级，单位为电子伏特（eV）；

E_{VBM} ——价带顶能级，单位为电子伏特（eV）；

E_g ——禁带宽度，单位为电子伏特（eV），按 5.4.1 测定。

注： E_{CBM} 和 E_{VBM} 均以真空能级为参考。

6 检验规则

6.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。

6.2 组批与抽样

6.2.1 以同一批次原料、同一工艺连续生产的产品为一批，每批质量不宜超过 500 kg。

6.2.2 按 GB/T 6678 的规定进行采样。采用取样管取样，取样量不应少于 200 g。

6.3 出厂检验

6.3.1 每批产品应经生产厂质量检验部门逐批检验合格并附合格证明后方可出厂。出厂检验项目包括外观、氧化锌含量、电镜平均粒径、比表面积、pH 值。

6.3.2 出厂检验项目中如有不合格项，允许从同一批产品中加倍抽样进行复验。复验结果全部合格，则判定该批产品合格；复验结果仍不合格，则判定该批产品不合格。

6.4 型式检验

6.4.1 型式检验项目为本文件第 4 章规定的全部技术要求。

6.4.2 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 新产品试制或定型鉴定时；
- 正式生产后，原料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- 正常生产时，每 12 个月进行一次；
- 产品停产 6 个月以上恢复生产时；
- 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时。

6.4.3 型式检验样品应从出厂检验合格的产品中随机抽取。随机抽取不少于 3 个包装单元，每个包装单元取样量不少于 100 g，混合缩分至不少于 200 g，作为型式检验样品。

6.4.4 型式检验项目中全部合格，判定型式检验合格，如有不合格项，则判定型式检验不合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

7.1.1 产品包装上应标明产品名称、生产日期或批号、净含量、生产厂名称和地址、保质期等内容。

7.1.2 包装储运图示标志应符合 GB/T 191 的规定。

7.2 包装

7.2.1 应采用密封塑料袋作为内包装，外层用塑料桶或纸桶包装，每桶净含量不宜超过 25 kg。

7.2.2 如需方对包装有特殊要求，可由供需双方协商确定。

7.3 运输

产品运输过程中应避免雨淋、受潮和剧烈撞击。

7.4 贮存

产品应贮存于干燥、通风的库房中，避免与酸、碱等腐蚀性物质共储。在规定的贮存条件下，产品保质期不宜少于24个月。

T/CWDPA XXX—2026

中 华 人 民 共 和 国
团 体 标 准
钙钛矿光伏用纳米氧化锌技术要求

T/CWDPA XXX—2026

*

中国西部开发促进会
网址 www.cwdpa.org.cn

*

开本 880×1230 1/6 印张 1.5 字数 3.4 千字
2026 年 5 月第一版 2026 年 5 月第一次印刷

*

如有印装差错 由中国西部开发促进会调换
版权专有 侵权必究

举报电话：010—65919503



T/CWDPA XXX—2026