[文章编号] 1003－4684(2025)05-0051-05

固相法制备 $FeMnCuO_4$ 光热复合材料的研究

徐 博[1]，刘凌云[1,2]，陶马冠宇[1]

(1 湖北工业大学太阳能高效利用湖北省协同创新中心，湖北 武汉 430068；
2 襄阳湖北工业大学产业研究院，湖北 襄阳 441100)

[摘 要] 以 Fe_2O_3、MnO、CuO 为原料，采用固相法“两磨两烧”工艺制备光热复合金属氧化物材料 $FeMnCuO_4$，研究了不同摩尔比及焙烧温度对制备产物粉体的影响。制备 $FeMnCuO_4$ 涂层，与传统的光热涂层材料对比。研究结果表明，当物料 Fe_2O_3、MnO 与 CuO 的摩尔比为 1∶2∶2 时，所制备的 $FeMnCuO_4$ 粉体纯度最高；焙烧温度为 800℃时，晶体成核均匀，晶粒尺寸较小，此时产物粉体的光吸收率在 200～800 nm 波段均大于 90%，最高可达 94.3%。该光热材料制成颜基比为 40%的涂料，涂覆在处理过的铝基板上，相较于传统的炭黑涂层，温度提高了 24℃，吸热效果显著提升；该涂层吸收率为 0.932，热发射率为 0.509，二者比值为 1.831，具有良好的光热性能。

[关键词] 固相法；$FeMnCuO_4$；吸收率；光热性能

[中图分类号] TB34 [文献标识码] A

随着科学技术和经济的快速发展，不可再生资源如煤炭、石油等消耗巨大[1-2]。太阳能技术是降低对化石燃料依赖的首选[3]，太阳能是仅次于风能和水力发电的第三大可再生能源[4,5]。目前太阳能的利用主要有光电转换和光热转换两种方式[2,6-8]，光热转换就是把光能转换成热能传递出去或存储起来进而用于供暖、供热水等方面。将太阳能直接转化为热能是太阳能利用中最具效率的方法[9-11]。在太阳光光热转换直接利用中，采集光能是太阳能利用的关键[12]。通过某种新型太阳能功能材料对太阳能光谱的选择性吸收，最大化太阳光谱吸收[5]和最小化红外热发射损失来提高太阳能的光热转换效率。而 $FeMnCuO_4$ 功能粉体恰恰可作为光谱选择性涂层被广泛用于太阳能集热系统。$FeMnCuO_4$ 制备得到光谱选择性涂层相较于传统太阳能集热器[13]运用的真空镀膜涂层(蓝膜技术)、电化学涂层(黑膜)，其优势体现在：$FeMnCuO_4$ 作为一种具有尖晶石结构三元复合半导体氧化物[14]，因具有良好的光谱选择吸收性能[15]和在空气环境中稳定[16]不易反应变性，清洁绿色无污染；同时对涂层涂敷工艺要求不高，成本低，更加适合大规模生产和推广使用。

制备得到组分更为单一 $FeMnCuO_4$ 功能材料是制备 $FeMnCuO_4$ 光谱选择性涂层的关键。$FeMnCuO_4$ 制备方法有水热法、固相法、共沉淀法、溶胶-凝胶法等。Leon 等[17]采用溶胶凝胶法制备出了 $Mn_{1.6}Cu_{1.4}O_4$ 立方尖晶石，但是粉体纯净度较差，包含有 Mn_2O_3 和 Fe_2O_3 等杂质，影响后续太阳能光谱选择吸收性能。胡小华等[18]采用共沉淀法制备出了 $FeMnCuO_4$ 光热材料，并采用改性硅溶胶-苯丙乳液为成膜物质制成涂料。蔡二荣、卢希龙等[19,20]以 NaOH 为沉淀剂分别制备了尖晶石型的 $FeMnCuO_4$、纳米 $CoAl_2O_4$ 复合氧化物，并研究了不同配比以及不同煅烧温度下粉体的各项性能。王勇兵等[6]以 KOH、KNO_3 为熔盐，Fe、Cu、Mn 的硝酸盐为原料，利用熔盐法制备 $CuFeMnO_4$ 复合金属氧化物，研究了不同金属离子配比及不同合成温度下所得产物粉体的吸热性能。溶胶凝胶法的试验周期较长，原料成本较高且粉体产量较低；共沉淀法步骤复杂，且受溶液浓度、pH 值、沉淀时间等影响结果的因素较多，实验过程操作难度较大，且产粉量同样较低。熔盐法中加入KOH、KNO_3，在高温中与 Mn 的硝酸盐反应会生成 $K_2Mn_4O_8$ 杂质，降低了所需复合金属氧化物粉体的纯度。固相法[21]用料成本低，设备稳定可靠，工艺简单，适用于大规模生产，故该法是一种广为流传的方法。不过微量掺杂会使得混合不够均匀，并且在煅烧过程中会发生非均相的固相反应，活性低[2]的大颗粒粉体无法充分参与固相反应，就会导致制备的粉体存在较多大粒度复合物，

[收稿日期] 2023－07－17
[基金项目] 湖北省重点研发计划项目(2022BAA022)
[第一作者] 徐 博(1999－)，男，湖北黄冈人，湖北工业大学硕士研究生，研究方向为太阳能选择性吸收材料。
[通信作者] 刘凌云(1970－)，男，湖北荆州人，湖北工业大学教授，研究方向为新型电工材料。

出现团聚现象。但本文通过“两磨两烧”工艺方式一定程度上降低混合球磨不均匀、煅烧中固相反应不充分对粉体纯度的影响。故而本实验采用“两磨两烧”固相法制备 $FeMnCuO_4$ 复合金属氧化物粉体，并通过设计物料的不同摩尔比以及焙烧温度探究所得粉体的物相结构和对各波段的光吸收率，以期得到制备高效选择性吸收涂层粉体的最佳工艺条件。在此基础上，将所得粉体制成涂层，涂覆在处理过的铝板上并对其吸热性能进行测试，而后测量涂层的吸收率和热发射率。

1 实验

1.1 材料配方设计

物料配比是影响产品纯度的关键一环。因此，对比不同 Fe_2O_3、MnO、CuO 摩尔比物相的影响采用 Fe_2O_3、CuO、MnO 为原料，尝试选择以金属离子为相同比例作为研究基点，即采取 $n(Fe^{3+})：n(Mn^{2+})：n(Cu^{2+})=1：1：1$。按不同物料摩尔比称重混合，如表 1 所示。将不同摩尔比例混合粉料记作 A_0、A_1、A_2、B_1、B_2、C_1、C_2。

表 1 Fe_2O_3、CuO、MnO 的不同摩尔比

序号	Fe_2O_3	CuO	MnO	序号	Fe_2O_3	CuO	MnO
A_0	1	1	1	B_2	2	2	3
A_1	1	2	2	C_1	3	1	3
A_2	1	3	3	C_2	3	3	2
B_1	2	1	2				

1.2 制备工艺

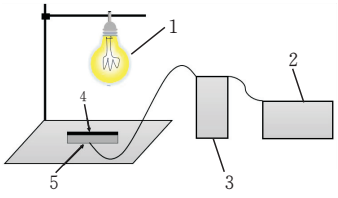
1.2.1 $FeMnCuO_4$ 粉体的制备 利用“两磨两烧”固相法，制备 $FeMnCuO_4$ 粉体。第一步，按照表 1 中摩尔比将 Fe_2O_3、MnO 、CuO 进行称料混合，在球磨罐中，先按照 $m(料)：m(球)：m(水)=1：2：1$ 依次加入物料、氧化锆球、去离子水，然后在球磨罐中加入少量分散剂溶液，分散剂为聚丙烯酸铵阴离子型表面活性剂，放入行星式球磨机球磨 12 h，按照 1 h 正反转的方式进行湿法球磨；第二步，将浆料在鼓风干箱中 100℃ 干燥 10 h，干燥后过 80 目筛；第三步，过筛得到的粉料放入马弗炉中进行预烧结，从室温升温至 400℃，升温时间 2 h，在 400℃ 下煅烧 2 h 后随炉冷却至室温；第四步，将预烧结后的产物按照步骤一的工艺进行二次球磨；第五步，干燥过筛、马弗炉中进行二次烧结，从室温升温至 500℃，升温时间3 h，在 500℃ 下保温排胶 1 h，后从 500 ℃ 升温至 800℃，焙烧 2 h 后随炉冷却至室温；第六步，将步骤五所得黑色固体产物研磨后得到所需粉体。

将上述最佳物料比的粉料，预烧 400℃，设置二次焙烧温度梯度，分别是 700℃、800℃、900℃，保温 2 h 后随炉冷却，得到黑色粉末。分别记作 $A_{1\text{-}1}$、$A_{1\text{-}2}$、$A_{1\text{-}3}$。

1.2.2 FeMnCuO4 涂料的制备 取 4g 样品粉体（由最佳摩尔比例及烧结温度制得物相相对单一 $FeMnCuO_4$ 粉末），50 mL 去离子水和适量 RTV 防污闪涂料做粘结基料，在 80℃ 的水浴锅中搅拌 1 h，制备得到颜基比为 40% 的 $FeMnCuO_4$ 复合涂料，将涂料用刻度为 20 μm 的涂膜器均匀涂覆在预先处理过的铝基板上，得到 $FeMnCuO_4$ 涂层。使用同样方法制备同颜基比的 Fe_2O_3 涂层、CuO 涂层和炭黑涂层。

1.3 分析方法

X 射线多晶衍射仪分析不同摩尔比 A_0、A_1、A_2、B_1、B_2、C_1、C_2 得到的粉体物相组成；采用场发射扫描电子显微镜（SEM，美国 FEI Quanta 250 FEG）观察 $A_{1\text{-}1}$、$A_{1\text{-}2}$、$A_{1\text{-}3}$ 的形貌特征；紫外−可见近红外光谱仪（UV-VIS/NIR，日本岛津 UV-3600 plus）测量粉体各波段光吸收率。如图 1 所示，采用自搭建的吸热性能测试装置[2]，对涂层吸热性能进行测试[6]。模拟太阳光源功率为 300 W，与涂层的距离为30 cm，铝板背面贴着传输热电偶。打开光源开始计时，每隔 30 s 记录一个温度点，温度恒定停止记录。



1−模拟光源；2−温度测量仪；3−温度补偿器；4−FeMnCuO4 涂层；5−铝板

图 1 吸热性能测试装置图

2 结果与讨论

2.1 物相分析

尽管三种金属氧化物的掺杂摩尔比不同，导致了金属离子摩尔配比的差异，但其主晶相衍射峰的位置没有变化，只是晶体的结晶度不一样[11, 19]，以及参与反应不完全金属氧化物的晶向。对粉体 XRD 分析可以确定其主晶相为 $FeMnCuO_4$，属立方晶系 Fd_{3m} 空间群[22]。保持 CuO 和 MnO 摩尔比相同，探究 Fe^{3+} 含量对所制备的产品粉体物相结构的影响。当 Fe_2O_3、MnO 与 CuO 的摩尔比为 1：1：1 时，产物粉体中有主晶相 $FeMnCuO_4$，但是衍射峰强度不高，并且存在较多杂相 Fe_2O_3 和 CuO，产物粉体不够纯净。当物料 Fe_2O_3、MnO 与 CuO 的摩尔比为 1：2：2，此时对应的金属离子 Fe^{3+}、Mn^{2+}

与 Cu^{2+} 的摩尔比为 1∶1∶1，与 $FeMnCuO_4$ 化学式中各金属原子个数正相符，在 XRD 图谱中 $FeMnCuO_4$ 晶相衍射峰强烈，并且 Fe_2O_3 和 CuO 的晶相很少，甚至没有，说明此物料摩尔比制得 $FeMnCuO_4$ 粉体较为纯净，如图 2 所示。

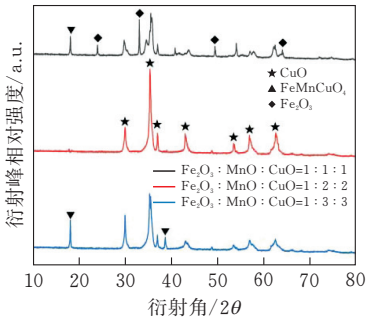


图 2　不同 Fe_2O_3 摩尔比样品的 XRD 图谱

保持 CuO 和 Fe_2O_3 摩尔比相同，MnO 摩尔比的不同。随着 MnO 摩尔比减小，粉体中 CuO 和 Fe_2O_3 的衍射峰强度增大，$FeMnCuO_4$ 的衍射峰强度下降且峰值点数量减少，并且 CuO 杂质峰强度增强，如图 3 所示。这说明 MnO 具有抑制 CuO 结晶生长的效果，同样也会抑制主晶相 $FeMnCuO_4$ 结晶，这与文献[2，23]中的结论一致。保持 MnO 和 Fe_2O_3 摩尔比相同，CuO 摩尔比的不同。当物料 Fe_2O_3、MnO 与 CuO 的摩尔比为 2∶2∶1 时，主晶相还是 $FeMnCuO_4$，然而还是有杂相，产物粉体不够纯净。随着 CuO 的摩尔比减小，粉体的晶相由 Fe_2O_3 主导，杂质 CuO 的衍射峰消失，说明此时 CuO 已全部反应，产物中不含 CuO，如图 4 所示。根据以上分析，得出物料 Fe_2O_3、MnO 与 CuO 的最佳摩尔比为 1∶2∶2，此时制备的 $FeMnCuO_4$ 粉体最为纯净。

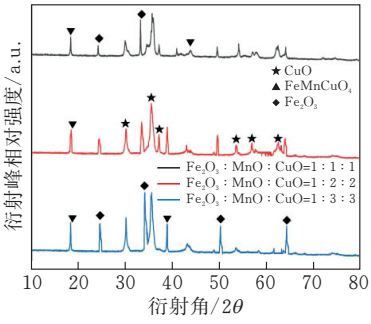


图 3　不同 MnO 摩尔比样品的 XRD 图谱

2.2　焙烧温度对物相的影响

按照样品 A_1 粉体的物料摩尔比，分别在 700℃、800℃、900℃下焙烧，保温 2 h 后随炉冷却至室温得到粉体。三种焙烧温度下的样品粉体 XRD 图如图 5 所示。在 800℃、900℃下焙烧得到的样品，其各晶相衍射峰强度相比 700℃均有增强，因为温度会影响晶体成核的速率和晶体生长的速率，随

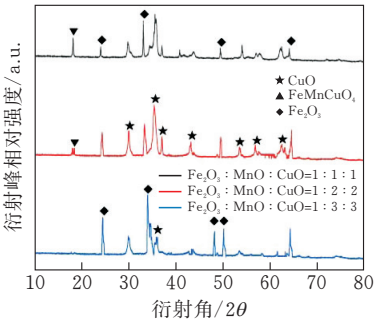


图 4　不同 CuO 摩尔比样品的 XRD 图谱

着温度在一定范围内的升高，生长速率加快，结晶度更高，也就导致衍射峰强度增强，峰更加尖锐[2]。同时并没有新的其他衍射峰出现，说明高温下物相成分已经稳定。对比 800℃和 900℃的焙烧结果，二者差别并不大，考虑到能耗情况以及降温时间情况，在 800℃焙烧是最合适的条件。图 6 为样品 A_1 粉体，在 700℃、800℃、900℃下焙烧产物的 SEM 照片，从图中可以看出，随着烧结温度的增加，晶粒尺寸在逐渐增大，在 700 ℃团聚较严重，其原因是粉体粒径小，比表面积大，活性高，粉体颗粒之间容易发生互相作用而团聚。800℃产物粉体颗粒粒径分布较为均匀，团聚程度小。

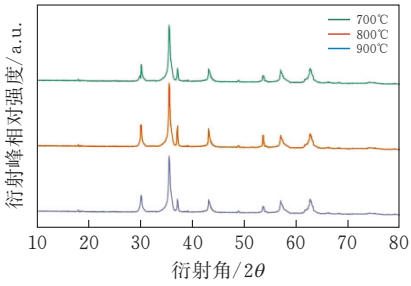
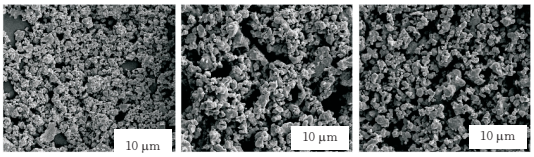


图 5　不同焙烧温度样品的 XRD 图谱



(a) 700℃　(b) 800℃　(c) 900℃

图 6　不同温度焙烧产物的 SEM

2.3　粉体的紫外−可见光谱吸收性能测试

采用紫外−可见光谱仪对三种不同焙烧温度下得到的 $FeMnCuO_4$ 粉体在各波段光吸收率进行测量，三个样品在各个波段均有一定的吸光能力[24，25]，其吸收率曲线变化趋势在 200～300 nm 波段相似；在 300～800 nm 波段，焙烧温度 700℃的样品吸收率明显低于焙烧温度 800℃和 900℃两个样品的吸收率，如图 7 所示。不同温度下 $FeMnCuO_4$ 涂层在紫外−可见光区的吸收存在较大差异的原因[14，19]：一是烧结温度对晶胞参数造成细微差距；二是依据配位场理论，在局部，过渡金属离子所在配

体场的强度发生改变，导致可见光-近红外区吸收率的差异，整体上使得体系的能带结构产生变化，在光谱上有所反映。800℃和 900℃焙烧下的样品在 200～800nm 波段吸收率均达到 90%以上，在波长 550 nm 附近有吸收峰，分别为 94.8%、94%，因此，焙烧温度为 800℃时得到的 $FeMnCuO_4$ 粉体吸光性能最佳。

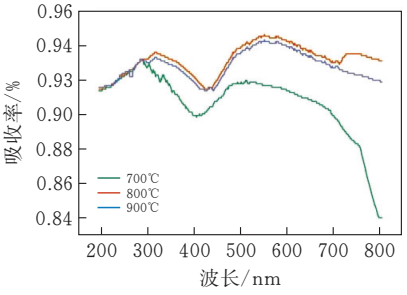


图 7 $FeMnCuO_4$ 粉体在各波段光吸收率

2.4 涂层的光热性能测试

利用自搭建的测温装置对颜基比都为 40%的 $FeMnCuO_4$ 涂层、Fe_2O_3 涂层、CuO 涂层和炭黑涂层进行吸热性能测试。在 0～200 s 时间段内，4 条温度曲线较陡，这表明 4 个测试样品的升温速率都较高；200～400 s 时间段内，4 条温度曲线陡度下降，升温速率降低；400 s 后，进入温度平稳阶段，4 条温度曲线几乎无波动。在 0～400 s 的温升时间段内，$FeMnCuO_4$ 光热涂层的升温速率比 Fe_2O_3 涂层、CuO 涂层和炭黑涂层的升温速率都要大。400 s 后，颜基比为 40%的 $FeMnCuO_4$ 涂层的温度比炭黑涂层高 24℃，此温差均高于其他涂层与炭黑涂层的温差，如图 8 所示。结果表明：$FeMnCuO_4$ 涂层具有良好的吸热性能，且其吸热效果均优于 Fe_2O_3 涂层、CuO 涂层和炭黑涂层。

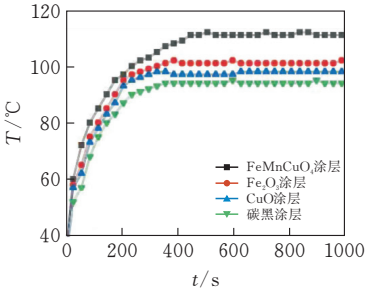


图 8 各涂层吸热性能测试

采用积分球法[13]测量涂层的吸收率 α 和热发射率 ε。吸收率 α 表示涂层吸收的辐射能与投射到涂层上的辐射能的比值；热发射率 ε 表示涂层表面进行辐射传热的能力。涂层的光热性能用吸收率 α 和热发射率 ε 的比值，即 α/ε 表示。测量结果如表 2 所示，α/ε 值越大，表明涂层保温性能越好，进而体现光热性能越好。

表 2 涂层光热性能测量结果

涂层种类	吸收率 α	热辐射率 ε	α/ε
$FeMnCuO_4$	0.932	0.509	1.831
Fe_2O_3	0.879	0.584	1.505
CuO	0.857	0.579	1.480
炭黑	0.746	0.612	1.219

从表 2 可以知道，颜基比为 40%的 $FeMnCuO_4$ 涂层的吸收率 α 为 0.932，热发射率 ε 为 0.509，α/ε 值为 1.831。Fe_2O_3 涂层和 CuO 涂层的 α/ε 值相近，炭黑涂层的最低。表征光热性能的 α/ε 值均高于相同颜基比的其他涂层，因此 $FeMnCuO_4$ 涂层的光热性能最佳。

3 结论

采用固相法，两磨两烧的工艺形式，以 Fe_2O_3、MnO、CuO 为原料，制备 $FeMnCuO_4$ 复合金属氧化物光热材料。当物料 Fe_2O_3、MnO 与 CuO 的摩尔比为 1∶2∶2 时，所制备的 $FeMnCuO_4$ 粉体纯度最高；焙烧温度为 800℃时，晶体成核均匀，晶粒尺寸较小，此时产物粉体的光吸收率在各个波段均高于 90%，最高可达 94.8%。在光热性能测试中，将该颜基比为 40%的光热材料制成涂料涂覆在处理过的铝基板上，涂层厚度为 20 μm，最高温度可以达到 114℃，相较于其它涂层，吸热效果显著提升，均优于同颜基比的 Fe_2O_3 涂层、CuO 涂层和炭黑涂层；$FeMnCuO_4$ 涂层的吸收率 α 为 0.932，热发射率 ε 为 0.509，α/ε 值为 1.831。表征光热性能的 α/ε 值均高于相同颜基比的其他涂层。因此 $FeMnCuO_4$ 涂层具有最佳的光热性能，在太阳能热水器、输电线路防覆冰、复合绝缘子防覆冰领域具有良好的应用价值。

[参 考 文 献]

[1] 赵立英，廖应峰. 高温红外辐射涂料的研制及其节能效果[J]. 工业加热，2013,42(04):25-28.

[2] 王勇兵. $FeMnCuO_4$ 吸热材料的制备及性能研究[D]. 大连：大连工业大学，2016.

[3] BOSETTI V, CATENACCI M, FIORESE G, et al. The future prospect of PV and CSP solar technologies: an expert elicitation survey[J]. Energy Policy, 2012, 49:308-317.

[4] SNOECK E, LECOUTURIER F, THILLY L, et al. Microstructural studies of in situ produced filamentary Cu/Nb wires[J]. Scripta Materialia, 1998, 38(11): 1643-1648.

[5] XU C, WANG X, LIU J. Spinel Cu-Mn-Cr oxide nanoparticle-pigmented solar selective coatings maintaining >94% efficiency at 750℃[J]. ACS applied mate-

rials & interfaces, 2022,14(29):33211-33218.
[6] 王勇兵，刘贵山，刘洋，等. 熔盐法制备 $CuFeMnO_4$ 光吸热材料的研究[J]. 人工晶体学报，2015,44(09):2560-2563.
[7] 殷志强,孟宪淦.向太阳索取:中国太阳光-热与光-电应用现状与展望[J].太阳能学报,2003(05):575-588.
[8] GRANQVIST C G. Solar energy materials[J]. Advanced Materials, 2003,15(21):1789-1803..
[9] 纪军，何雅玲. 太阳能热发电系统基础理论与关键技术战略研究[J]. 中国科学基金，2009(06):331-336.
[10] KAUSHAL D K. An overview of solar thermal devices based solar water heating systems & the necessity of using solar selective coating[J]. Renewable Energy, 2014,10(02):355-361.
[11] SSEN Z. SOLAR energy in progress and future research trends[J]. Progress in Energy & Combustion Science, 2004,30(04):367-416.
[12] 高海燕，张武装，曹顺华. 机械合金化制备纳米 WC 硬质合金粉的研究[J]. 稀有金属与硬质合金，2002(03):29-32.
[13] WANG X , LEE E , XU C ,et al.High-efficiency, air-stable manganese-iron oxide nanoparticle-pigmented solar selective absorber coatings toward concentrating solar power systems operating at 750℃[J].Materials Today Energy, 2021,19:100609.
[14] 胡小华，魏锡文，陈蓓，等. 尖晶石型 $FeMnCuO_4$ 的光谱分析及量子化学研究[J]. 化学通报,2008,71(12):946-951.
[15] RUBIN Y C R. Optical properties and thermal stability of Cu spinel oxide nanoparticle solar absorber coatings [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2019, 195:81-88.
[16] CAO F, MCENANEY K, CHEN G, et al.A review of cermet-based spectrally selective solar absorbers[J]. Energy & Environmental Science, 2014, 7(05):1615-1627.
[17] LEON K, ANGELA V, BORIS O, et al. Structural and IR spectroscopic analysis of sol-gel processed $CuFeMnO_4$ spinel and $CuFeMnO_4$/Silica Films for Solar Absorbers[J]. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 2001,20(01):61-83.
[18] 胡小华. 输电线路防覆冰涂料的研究[D].重庆:重庆大学，2006.
[19] 蔡二荣，刘贵山，王勇兵，等. NaOH 共沉淀技术制备 $FeMnCuO_4$ 复合金属氧化物[J]. 大连工业大学学报，2015,34(02):129-131.
[20] 卢希龙，胡琪，洪琛，等. 尖晶石型纳米 $CoAl_2O_4$ 色料水热合成工艺研究[J]. 人工晶体学报，2012,41(02):419-424.
[21] 梁力勃，杨生龙，罗茂枭，等. 高温固相法再生废旧磷酸铁锂电池正极材料[J]. 矿冶工程，2021,41(03):120-123.
[22] 王华林，余锡宾. $FeMnCuO_4$ 复合氧化物的光热转换[J]. 太阳能学报，1999(01):79-81.
[23] 杨开怀，黄清涯，陈文哲. 溶胶-凝胶法制备 $CuFeMnO_4$ 复合金属氧化物的工艺研究[J]. 太阳能学报，2009,30(06):769-773.
[24] WANG X, YU X, FU S, et al. Design and optimization of nanoparticle-pigmented solar selective absorber coatings for high-temperature concentrating solar thermal systems[J]. Journal of Applied Physics, 2018,123(03):033104.
[25] XU C. Spinel transition metal oxide nanoparticle-pigmented solar selective coatings with high thermal efficiency and high-temperature thermal stability in Air [D],New Hampshire: Dartmouth College ,2022.

Study on $FeMnCuO_4$ Photo Thermal Composites by Solid Phase Method

XU Bo[1],LIU Lingyun[1,2],TAOMA Guanyu[1]

(1 *Hubei Collaborative Innovation Center for High-efficiency Utilization of Solar Energy, Hubei Univ. of Tech., Wuhan* 430068, *China*;
2 *Hubei Univ. of Tech. Xiangyang Industry Research Institute, Xiangyang* 441100, *China*)

Abstract: The photo thermal composite metal oxide material $FeMnCuO_4$ were prepared by solid phase method, using Fe_2O_3, MnO and CuO as raw materials. The effect of different molar ratio and calcination temperature on the product powder were investigated. Then $FeMnCuO_4$ coatings were prepared and compared with conventional photothermal coating materials. For evaluating the heat absorption proportion, $FeMnCuO_4$ coating was tested by self built test device. The absorptivity and thermal emissivity of the coating were measured by integrating sphere method. The results show that when the molar ratio of Fe_2O_3 : MnO : CuO is 1 : 2 : 2, the purity of $FeMnCuO_4$ powder is the highest. The grain size obtained at 800℃ is small and homogeneous, and the light absorption rate of the product powder is more than 90% in 200nm to 800nm wave band, up to 94.3%. Subsequently, compared with traditional carbon black coatings, coating of pigment was 40% on the pretreated Al substrate can raise the temperature by 24℃.The absorption rate of the coating is 0.932, the thermal emissiveness is 0.509, and the ratio of the two is 1.831.

Keywords: solid phase method; $FeMnCuO_4$; absorption rate; photo-thermal properties

[责任编校：闫　品]