

# 模压成型压力对氧化铟锡 (ITO) 靶材性能影响研究<sup>①</sup>

姜峰<sup>1</sup>, 谭泽旦<sup>1,2</sup>, 黄誓成<sup>2</sup>, 方志杰<sup>3</sup>, 陆映东<sup>2</sup>, 覃立仁<sup>1</sup>, 王永清<sup>3</sup>, 曾纪术<sup>3</sup>

(1.广西科技大学机械与汽车工程学院, 广西柳州 545616; 2.广西晶联光电材料有限公司, 广西柳州 545036; 3.广西科技大学电子工程学院, 广西柳州 545006)

**摘要:** 以化学共沉淀-煅烧法制备的纳米 ITO 粉体为原料, 通过模压、冷等静压成型, 采用常压烧结法制备了 ITO 靶材, 研究了模压成型压力对 ITO 靶材相对密度、电阻率和晶粒尺寸的影响。结果表明, 模压成型压力 60 MPa 且烧结条件适宜时, 制得的 ITO 靶材相对密度为 99.81%、电阻率为  $1.707 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 、平均晶粒尺寸为 7.62  $\mu\text{m}$ 。研究结果可为 ITO 靶材的致密化与大型化生产提供借鉴。

**关键词:** 模压成型; 氧化铟锡; 导电薄膜; 靶材; 常压烧结; 电阻率; 致密化

中图分类号: TB34; TF124

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2024.01.029

文章编号: 0253-6099(2024)01-0134-04

## Effects of Molding Pressure on Properties of Indium Tin Oxide (ITO) Sputtering Target

JIANG Feng<sup>1</sup>, TAN Zedan<sup>1,2</sup>, HUANG Shicheng<sup>2</sup>, FANG Zhijie<sup>3</sup>, LU Yingdong<sup>2</sup>, QIN Liren<sup>1</sup>, WANG Yongqing<sup>3</sup>, ZENG Jishu<sup>3</sup>  
(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545616, Guangxi, China; 2. Guangxi Crystal Union Photoelectric Materials Co Ltd, Liuzhou 545036, Guangxi, China; 3. School of Electronic Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, Guangxi, China)

**Abstract:** Nano ITO powders prepared by chemical coprecipitation plus calcination process were used as raw materials to prepare ITO sputtering target by molding and cold isostatic pressing, as well as conventional sintering. The effects of molding pressure on the relative density, resistivity, and grain size of ITO target were investigated. The results show that with the molding pressure of 60 MPa and the appropriate sintering conditions, the prepared ITO target has the relative density of 99.81% and resistivity of  $1.707 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ , with an average grain size of 7.62  $\mu\text{m}$ . The research results can provide reference for densification and large-scale production of ITO sputtering targets.

**Key words:** molding; indium tin oxide (ITO); conductive thin film; target material; conventional sintering; electrical resistivity; densification

透明导电氧化物薄膜兼具透明与导电特性, 被广泛应用于显示面板、太阳能电池、传感器、微电子器件和功能玻璃等领域<sup>[1-2]</sup>。氧化铟锡 (Indium Tin Oxide, 简称 ITO) 薄膜是一种极具代表性<sup>[3]</sup>的透明导电氧化物薄膜, 通常由磁控溅射法制备。我国的高质量 ITO 靶材曾长期依赖进口, 尽管近年来国产化速度加快, 但仍面临致密性较低、尺寸放大后缺陷增多等问题。

高性能 ITO 靶材的特点为高纯度、高密度、低电阻

率和高组织均匀性<sup>[4-7]</sup>, 其中密度指标最为重要, 如何制备高密度 ITO 靶材一直都是研究的焦点<sup>[8-11]</sup>。氧气气氛无压烧结是当前制备 ITO 靶材的主流技术, 其中模压成型压力是影响 ITO 靶材密度的重要因素之一<sup>[12]</sup>。本文以化学共沉淀法制备的 ITO 粉体为原料制备氧化铟锡靶材, 研究模压成型压力对 ITO 靶材密度、电阻率和晶粒尺寸的影响, 以为国产高密度大尺寸 ITO 靶材的制备提供借鉴。

① 收稿日期: 2023-08-24

基金项目: 国家自然科学基金(11864005); 广西重点研发项目(桂科 AB21196007); 广西科技计划项目(桂科 AD20159079); 柳州市科技计划项目(2020PAAA0608)

作者简介: 姜峰(1985—), 男, 江西玉山人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为材料加工、粉末冶金技术。E-mail: 18277202672@163.com

通信作者: 曾纪术(1974—), 男, 湖南洞口人, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为材料冶金物理化学、光电材料。E-mail: zengjishu@gxust.edu.cn  
方志杰(1979—), 男, 广西南宁人, 博士, 教授, 主要研究方向为材料物理、计算材料学。E-mail: nrfang@semi.ac.cn

# 1 实验

## 1.1 实验原料

采用由广西晶联光电材料有限责任公司提供的铟、锡氢氧化物混合物,按氧化铟( $\text{In}_2\text{O}_3$ )与氧化锡( $\text{SnO}_2$ )质量比9:1进行配料并采用化学共沉淀法制备ITO前驱体。所得ITO前驱体纯度大于99.99%,微观形貌为均匀的纳米颗粒粉体,如图1所示。前驱体比表面积为 $35.55\text{ m}^2/\text{g}$ ,具有很高的烧结活性,这是制备高性能ITO靶材的前提条件。

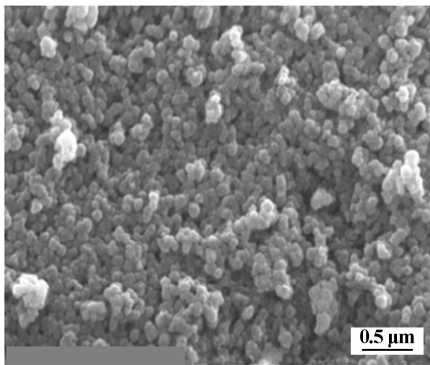


图1 前驱体的微观形貌

## 1.2 实验方法与过程

ITO靶材的制备按照“前驱体煅烧→粉体造粒→压制成型→常压烧结”的工艺流程进行,主要工艺参数设定基于论文作者前期研究结果以及相关文献<sup>[13]</sup>,过程分述如下:①前驱体煅烧:前驱体置于马弗炉中 $950\text{ }^\circ\text{C}$ 下煅烧,发生化学反应生成氧化铟锡粉体(即ITO粉体)。②粉体造粒:将煅烧所得ITO粉体、超纯水、聚丙烯酸铵(分析纯)等加入超细研磨机中,球磨至设定时间后加入聚乙烯醇(分析纯),继续球磨1h后将浆料转移至离心喷雾造粒机进行喷雾造粒处理。③压制成型:采用模压结合冷等静压进行成型,将处理后的粉体均匀填充至 $300\text{ mm}\times 200\text{ mm}$ 的高强度钢模中进行模压,模压成型压力 $15\sim 120\text{ MPa}$ ,保压时间1min。将模压得到的ITO靶材生坯抽真空包装,之后置于冷等静压机中进行最终成型,冷等静压压力 $250\text{ MPa}$ ,保压时间10min。④常压烧结:将成型后的ITO靶材生坯放入钟罩式烧结炉中,采用常压烧结法进行烧结。采用分段式升降温程序,升温、降温速率控制在 $0.5\sim 1.0\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ ,首先在空气气氛中进行脱脂,随后向烧结炉中通入高纯氧气进行程序升温烧结,最高烧结温度为 $1585\text{ }^\circ\text{C}$ ,最高烧结温度下的保温时间为8h。

## 1.3 样品的测试表征

采用日本Rigaku Miniflex 600对煅烧后粉体进行

X射线衍射(XRD)分析;采用捷克TESCAN MIRALMS扫描电子显微镜观察粉体样品;采用梅特勒托利多精密天平测试靶材样品相对密度;采用ST2258C型数字四探针测试仪测试靶材样品电阻率;采用光学显微镜(OM)观察靶材样品金相组织;利用Nano Measurer 1.2软件,取样品中的100个晶粒进行统计分析,得到靶材样品晶粒尺寸。

# 2 结果与讨论

## 2.1 共沉淀前驱体的煅烧结果分析

图2为共沉淀前驱体经 $950\text{ }^\circ\text{C}$ 煅烧后所得ITO粉体的形貌。与图1对比可以看出,煅烧后粉体颗粒形貌发生了改变,形状更规则,主要为立方状,晶粒粒径略微增大,但仍为纳米级,粉体比表面积由煅烧前的 $35.55\text{ m}^2/\text{g}$ 降至 $6.56\text{ m}^2/\text{g}$ 。

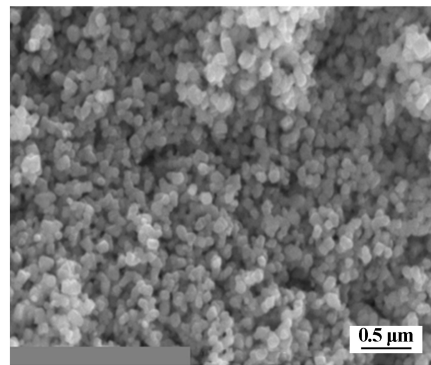


图2 煅烧后ITO粉体形貌

前驱体经 $950\text{ }^\circ\text{C}$ 煅烧后所得ITO粉体的XRD图谱如图3所示。由图3可知,粉体中主要物相为立方相氧化铟,衍射峰与标准卡片PDF#71-2195相吻合; $26.71^\circ$ 、 $33.99^\circ$ 和 $51.86^\circ$ 附近的衍射峰被标定为二氧化锡。采用共沉淀法制备ITO粉体,煅烧温度较低时,锡原子完全固溶进入 $\text{In}_2\text{O}_3$ 晶格<sup>[14]</sup>,煅烧温度升至 $950\text{ }^\circ\text{C}$ 后,过饱和和固溶的二氧化锡脱溶析出,故在XRD图谱中可以发现二氧化锡的衍射峰,与文献<sup>[15]</sup>报道结果一致。

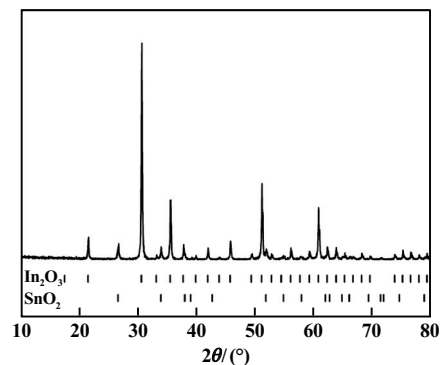


图3 煅烧后ITO粉体XRD图谱

## 2.2 模压成型压力对 ITO 靶材相对密度及电阻率的影响

模压成型压力 15~120 MPa 条件下(再经 250 MPa 冷等静压成型)制备的 ITO 靶材相对密度和电阻率如图 4 所示。由图 4 可以看出,随着成型压力增加,ITO 靶材相对密度逐渐增大,成型压力 60 MPa 时,靶材相对密度 99.81%,达到了超高密度水平;成型压力超过 60 MPa 后,靶材相对密度变化较小。尽管 ITO 靶材的成型要经历模压-冷等静压两道工序,但模压过程对 ITO 靶材的致密化有重要影响。成型压力较小时,生坯中部分 ITO 颗粒仅发生形变而未破碎,颗粒形貌基本未发生改变。在未破碎的 ITO 颗粒之间,存在未贴合界面和交联点,生坯即使再经较高压力冷等静压处理,仍可见未破碎 ITO 颗粒,存在较大的孔隙缺陷,孔隙无法通过烧结消除<sup>[12]</sup>。当成型压力超过临界值后,颗粒在模具内受到挤压而发生重排,伴随破碎坍塌,破碎颗粒在压力作用下填充到孔隙中。成型压力的临界值与实际工艺条件有关,如原料粉体颗粒粒径、形貌、流动性、靶材生坯尺寸以及模具的摩擦阻力等。具体到本研究体系,临界压力约 60 MPa,成型压力超过临界值后,继续增大成型压力,在一定压力范围内对靶材密度影响不大。但在 ITO 粉末颗粒之间以及生坯与模具之间存在因相对滑动产生的摩擦,使得生坯内部存在压力梯度,且随成型压力增加,生坯内部压力梯度进一步增大,生坯内部可能发生滑动,反而导致靶材密度降低<sup>[16-18]</sup>。在本研究中,模压成型压力 60~120 MPa 范围内,靶材相对密度稳定在 99.7% 以上,展现了较宽的加压成型窗口,显示了本工艺的优越性。较大的成型压力虽然能获得高致密的氧化锡靶材,但考虑设备寿命以及成本效益,本文将模压成型压力定为 60 MPa。根据 ITO 靶材的国家标准 GB/T 20510—2017《氧化锡靶材》,ITO 靶材的密度可分为 RD99.0、RD99.5、RD99.7 三个等级,本研究产品密度显然已超过最高等级 RD99.7 的密度要求。

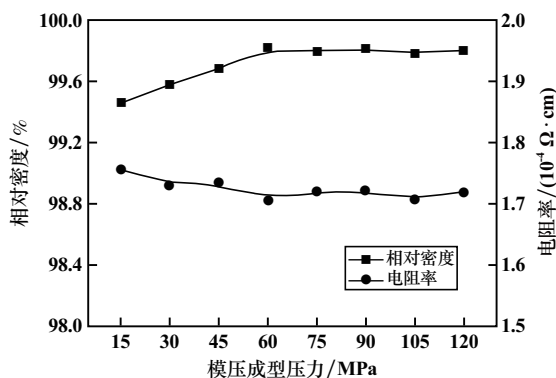


图4 模压成型压力对氧化锡靶材相对密度和电阻率的影响

总体而言,在本文采用的成型压力范围内,电阻率变化不大,但一般情况下 ITO 靶材的电阻率与相对密度在一定程度上呈负相关,即靶材相对密度越高,其电阻率越小。ITO 靶材作为一种电导率接近金属的半导体陶瓷,影响其电阻率的因素可归纳为两个方面,一个是载流子浓度,另一个是载流子的迁移率<sup>[19]</sup>。在 ITO 中,载流子主要来源于 Sn<sup>4+</sup> 掺杂取代 In<sup>3+</sup><sup>[20]</sup>,本研究各靶材样品掺杂量相同,理应具有近似的载流子浓度,故其电阻率的不同归因于载流子迁移率的不同。迁移率与载流子的有效质量和散射概率成反比,载流子的有效质量与材料有关,故可认为各靶材样品具有相同的载流子有效质量。半导体中载流子的散射在低温下主要为缺陷和杂质离子的散射,高温下主要由原子晶格振动产生的声子的散射,散射越强,迁移率越低<sup>[19]</sup>。本研究各靶材样品掺杂量相同,故可认为杂质离子散射量相当,它们在低温下载流子迁移率的差异可进一步归结为缺陷的差异。

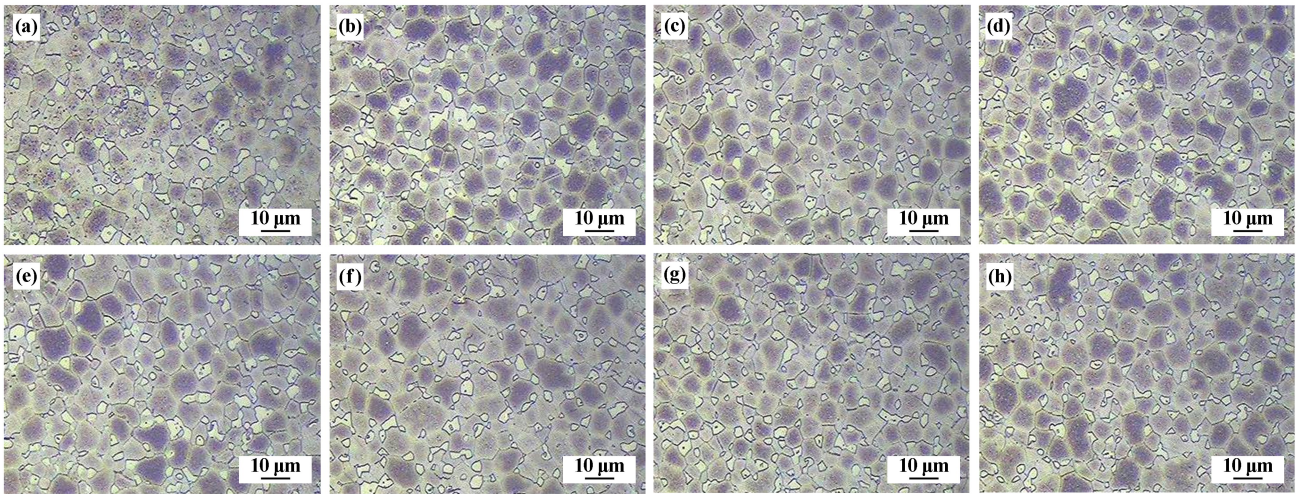
晶界是一种容易影响载流子迁移率的缺陷,晶粒越小,晶界越多,载流子散射越严重。从各靶材样品的金相组织图及晶粒度分析结果得知,各靶材样品平均晶粒尺寸没有较大变化,由此推测几种靶材的晶界散射区别不大。此外,ITO 材料中载流子浓度高达 1 021 cm<sup>-3</sup>,晶界势垒降低,载流子容易实现隧穿效应,晶界散射对载流子迁移率的影响可以忽略<sup>[21]</sup>。另外一种影响载流子迁移率的缺陷是材料内部的孔隙,孔隙的存在破坏了晶体的周期性,缩短了载流子迁移自由程。靶材相对密度越低,表明材料内部孔洞越多,载流子迁移的自由程越短,散射越严重,电阻率越高。成型压力 15~60 MPa 范围时,随着压力增大,靶材相对密度逐渐提高,靶材中孔隙缺陷不断减少,载流子缺陷散射逐渐降低,电阻率逐渐降低。模压成型压力 60 MPa 时,靶材电阻率降至最低值 1.707 × 10<sup>-4</sup> Ω · cm;成型压力 60~120 MPa 范围时,靶材相对密度几乎不变,孔隙缺陷基本保持不变,导致载流子缺陷散射也几乎不变,故电阻率保持在相同水平。综上所述,在本研究体系中,成型压力约 60 MPa 时更易获得具有较低电阻率的 ITO 靶材。

## 2.3 模压成型压力对 ITO 靶材组织均匀性的影响

图 5 为不同模压成型压力条件下(再经 250 MPa 冷等静压成型) ITO 靶材的金相组织结构图。由图 5 可以看出,模压成型压力 15~120 MPa(再经 250 MPa 冷等静压成型),ITO 靶材晶粒较为规则整齐,晶粒之间紧密结合。同时可以看出,成型压力小于 60 MPa 时,材料中孔隙缺陷相对较多;成型压力大于 60 MPa 后,孔隙缺陷很少。随着成型压力提高,ITO 靶材平均

晶粒尺寸没有表现出很大的变化趋势,平均晶粒尺寸主要集中在 7.55~7.68  $\mu\text{m}$ ,如图 6 所示。由此可见,

在本研究体系及成型压力范围内,ITO 靶材晶粒尺寸受成型压力的影响较小。



(a) 15 MPa; (b) 30 MPa; (c) 45 MPa; (d) 60 MPa; (e) 75 MPa; (f) 90 MPa; (g) 105 MPa; (h) 120 MPa

图 5 模压成型压力对 ITO 靶材组织均匀性的影响

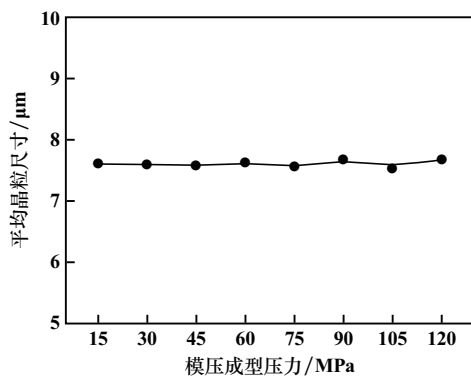


图 6 模压成型压力对 ITO 靶材平均晶粒尺寸的影响

### 3 结 论

1) 以化学共沉淀法制备的 ITO 粉体前驱体为原料,在优化工艺条件下,制备了超高密度(相对密度 99.81%)、低电阻率( $1.707 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ )及金相组织均匀的 ITO 靶材。

2) 在 950  $^{\circ}\text{C}$  下煅烧以共沉淀法制备纳米前驱体时,可以得到比表面积  $6.56 \text{ m}^2/\text{g}$  的纳米 ITO 粉体。

3) 模压成型压力 15~60 MPa 时,随着压力增大,ITO 靶材相对密度逐渐提高,电阻率逐渐降低;成型压力 60~120 MPa 时,靶材相对密度和电阻率基本没有变化。

4) 模压成型压力 15~120 MPa 时,ITO 靶材晶粒尺寸变化很小,平均晶粒尺寸主要集中在 7.55~7.68  $\mu\text{m}$ 。

#### 参考文献:

[1] 姜 峰,谭泽旦,黄誓成,等. 大尺寸氧化铟锡(ITO)靶材制备研

究进展[J]. 广西科学, 2022,29(6):1169-1187.

- [2] SHAO Z, HUANG A, MING C, et al. All-solid-state proton-based tandem structures for fast-switching electrochromic devices[J]. Nature Electronics, 2022,5(1):45-52.
- [3] LIU T, ZHANG W, ZHAI X, et al. Dense ternary-size particles interstitial filling gradation stacking model for preparing high-quality indium tin oxide targets[J]. Chemical Engineering Science, 2022, 248: 117165.
- [4] 陈丽诗,伍美珍,卢兴伟,等. 真空蒸馏-籽晶定向凝固工艺制备半导体用高纯铟[J]. 矿冶工程, 2022,42(1):99-107.
- [5] XU J, YANG Z, ZHANG X, et al. Grain size control in ITO targets and its effect on electrical and optical properties of deposited ITO films[J]. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2014,25:710-716.
- [6] MEI F, QIN K, YUAN T, et al. Effects of oxygen flow velocity on the sintering properties of ITO targets[J]. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2017,28:14711-14719.
- [7] MEI F, YUAN T, LI R, et al. Improving the densification of indium tin oxide targets via secondary cold isostatic pressing and oxygen exchange treatments[J]. Scripta Materialia, 2018,155:109-113.
- [8] 王 科. 氧化铟锡陶瓷的凝胶注模成型工艺研究[D]. 长沙:中南大学, 2014.
- [9] ZHAI X, CHEN Y, MA Y, et al. A new strategy of binary-size particles model for fabricating fine grain, high density and low resistivity ITO target[J]. Ceramics International, 2020,46(9):13660-13668.
- [10] 龙神峰. ITO 靶材的冷烧结低温制备及性能研究[D]. 桂林:桂林电子科技大学, 2022.
- [11] LIANG F, LIU J. Sintering, microstructure and electricity properties of ITO targets with  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$  addition[J]. Ceramics International, 2017,43(8):5856-5861.
- [12] 刘志宏,谌 伟,李玉虎,等. 成型压力对冷等静压-烧结法制备 ITO 靶材中孔隙缺陷的影响[J]. 中国有色金属学报, 2015,25(9):2435-2444.

(下转第 142 页)

### 3 结 语

1) 通过合理的网络结构设计和参数设置,充分提取了时间序列中的关键质量特征,实现了带钢热轧过程的精轧出口厚度预测。

2) 通过仿真实验及对比分析,讨论了不同算法在质量预测性能上的异同,体现了所提出方法的有效性和实用性,可为现场工程师提供重要的参考信息。

3) 精轧过程数据具有复杂的多源异构及时空关联特性,使得质量预测问题具有挑战性。下一步将在已有研究基础上,充分考虑精轧过程数据的特性,研究融合多源异构和时空关联信息的质量预测方法。

#### 参考文献:

- [1] 邵 健,何安瑞,陈雨来,等. 热轧智能工厂构架设计与实践:有形与无形的统一[J]. 中国冶金, 2022,32(1):1-10.
- [2] 蒋小平,雷佳玉,肖业祥. 基于软测量的水电机组功角在线测量的研究[J]. 仪表技术与传感器, 2022(8):108-114.
- [3] 何 坤,王 立. 中国钢铁工业生产能耗的发展与现状[J]. 中国冶金, 2021,31(9):26-35.
- [4] 马 亮,彭开香. 带钢热轧全流程质量建模与异常溯源的研究现状与展望[J]. 冶金自动化, 2022,46(6):16-24.
- [5] 孙 杰,汪龙军,任 辉,等. 轧制过程多工序指标建模及优化的研究现状与发展趋势[J]. 冶金自动化, 2022,46(2):57-64.
- [6] 邓怀勇,马 琴,陈国彬,等. 基于 AWOA 算法与 LSSVM 的主蒸汽流量软测量模型[J]. 仪表技术与传感器, 2018(12):78-82.

- [7] 李 浩,杨 敏,石向荣,等. 基于主曲线的软测量方法及其在精馏塔上的应用[J]. 化工学报, 2012,63(8):2492-2499.
- [8] 田 睿,李燕卿,刘占宁,等. 基于改进樽海鞘算法优化支持向量机的岩爆预测模型[J]. 矿冶工程, 2023,43(2):5-9.
- [9] 郭 磊,阎高伟,乔铁柱. 基于监督等距映射和支持向量回归的料位软测量[J]. 仪表技术与传感器, 2016(5):37-39.
- [10] 阳 俊,曾维伟. 基于 GA-BP 神经网络的采空区地表沉降预测模型[J]. 矿冶工程, 2022,42(2):42-45.
- [11] 王文广,徐 芳,李兴波. 基于轧制机理和混合神经网络的热轧精轧带宽预测[J]. 中国冶金, 2022,32(2):97-101.
- [12] 董志奎,梁朋伟,嵇超越,等. 基于 DBN 算法的热轧高强钢薄板轧机振动预报研究[J]. 矿冶工程, 2020,40(4):135-141.
- [13] 钱金花,郑文娟,吴文彬,等. 基于小波去噪和循环神经网络-k重-整合移动平均自回归模型的转炉煤气柜位预测[J]. 中国冶金, 2023,47(3):24-34.
- [14] 孙 浩,叶国良,翟博豪,等. 基于循环自编码网络的冷轧轧制力建模方法[J]. 计量学报, 2022,43(9):1172-1177.
- [15] 李志刚,张 鑫. CNN-GRU 模型预测高炉煤气产生量[J]. 机械设计与制造, 2022(4):69-72.
- [16] Kok C, Jahmunah V, SHU L O, et al. Automated prediction of sepsis using temporal convolutional network[J]. Computers in Biology and Medicine, 2020,127:103957.
- [17] 杨汪洋,魏云冰,罗程浩. 基于 CVMD-TCN-BiLSTM 的短期电力负荷预测[J/OL]. 电气工程学报, 1-10[2023-08-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1289.TM.20230601.1229.002.html>.
- [18] 郭 玲,徐青山,郑 乐. 基于 TCN-GRU 模型的短期负荷预测方法[J]. 电力工程技术, 2021,40(3):66-71.

引用本文: 杨萍萍,马 亮. 基于时域卷积网络的精轧出口厚度预测[J]. 矿冶工程, 2024,44(1):138-142.

(上接第 137 页)

- [13] 刘秉宁,赵 旭,孙本双,等. ITO 靶材烧结行为研究[J]. 材料科学, 2019,9(8):749-759.
- [14] 吕志伟,陈志飞,姚吉升. 纳米 ITO 粉体的制备及其性能表征[J]. 矿冶工程, 2004,24(3):70-72.
- [15] Sunde T O L, Einarsrud M A, Grande T. Solid state sintering of nano-crystalline indium tin oxide[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2013,33(3):565-574.
- [16] Shinohara N, Okumiya M, Hotta T, et al. Morphological changes in process-related large pores of granular compacted and sintered alumina[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2000,83(7):1633-1640.
- [17] Slamovich E B, Lange F F. Densification of large pores: I, experiments[J]. Journal of the American Ceramic Society, 1992,75(9):2498-2508.
- [18] Slamovich E B, Lange F F. Densification of large pores: II, driving potentials and kinetics[J]. Journal of the American Ceramic Society,

1993,76(6):1584-1590.

- [19] Deyu G K, Hunka J, Roussel H, et al. Electrical properties of low-temperature processed Sn-doped  $\text{In}_2\text{O}_3$  thin films: The role of microstructure and oxygen content and the potential of defect modulation doping[J]. Materials, 2019,12(14):2232.
- [20] González G B, Mason T O, Quintana J P, et al. Defect structure studies of bulk and nano-indium-tin oxide[J]. Journal of Applied Physics, 2004,96(7):3912-3920.
- [21] Frischbier M V, Wardenga H F, Weidner M, et al. Influence of dopant species and concentration on grain boundary scattering in degenerately doped  $\text{In}_2\text{O}_3$  thin films[J]. Thin Solid Films, 2016,614:62-68.

引用本文: 姜 峰,谭泽旦,黄誓成,等. 模压成型压力对氧化铟锡(ITO)靶材性能影响研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(1):134-137.