

引用格式:全连海,钟伟攀,李凤连.高纯溅射靶材回收研究现状[J].中国有色冶金,2024,53(1):61-67.

TONG Lianhai, ZHONG Weipan, LI Fenglian. Research status of recovery of high-purity sputtering targets[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2024, 53(1): 61-67.

高纯溅射靶材回收研究现状

全连海^{1,2}, 钟伟攀^{1,2}, 李凤连³

(1. 上海同创普润新材料有限公司, 上海 201306;

2. 同创普润(上海)机电高科技有限公司, 上海 201400;

3. 上海江丰电子材料有限公司, 上海 201306)

[摘要] 高纯溅射靶材在晶圆代工企业和液晶面板企业作为耗材使用。高纯溅射靶材利用率低,一般平面靶利用率低于30%,旋转靶难超过70%,回收溅射后的残靶具有非常高的经济价值和环保意义。本文综述了贵金属、ITO、钛、钽、铝、铜等高纯靶材的回收研究现状,总结了靶材回收过程中面临的共同问题。目前在高纯靶材的残靶回收中还存在金属回收率低、回收的纯度不高、工艺流程长等问题需要攻克和改善,作者展望了开发较短的流程、环境友好的工艺、探索高价值的用途,是未来高纯残靶回收技术改进和发展的方向。

[关键词] 溅射靶材; 残靶回收; 贵金属; 氧化铟锡; 高纯金属; 芯片; 显示器; 集成电路

[中图分类号] TF8; X758 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2024)01-0061-07

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2024.01.008

随着国家对集成电路行业的重视以及国内芯片和显示器企业对高纯靶材国产化的迫切需求,作为关键原料的高纯溅射靶材的使用量会越来越多。高纯金属的价格通常是普通金属的5~10倍,实现对高纯溅射靶材的残靶回收利用,可以大幅度降低生产成本,并能够提高稀缺和贵重金属资源的利用率,具有重要的经济价值和战略意义。

1 残靶的来源和分类

高纯溅射靶材在晶圆代工企业和液晶面板企业作为耗材使用,如中芯国际、台积电、华宏、三星、京东方、华星光电等。靶材在溅射过程中,由于背面磁场分布不同和加速气态离子轰击靶材表面的角度、能量等不同,靶材经过多次使用后表面会形成一圈圈环形的凹坑。常见靶材使用后外观如图1所示。当凹坑深度达到接近击穿靶材时,靶材的使用寿命就结束了,这时候需要把使用寿命结束的靶材更换掉,被

更换的靶材在行业内一般称为残靶或废旧靶材。高纯靶材利用率较低,一般平面靶利用率低于30%,旋转靶难超过70%^[1]。

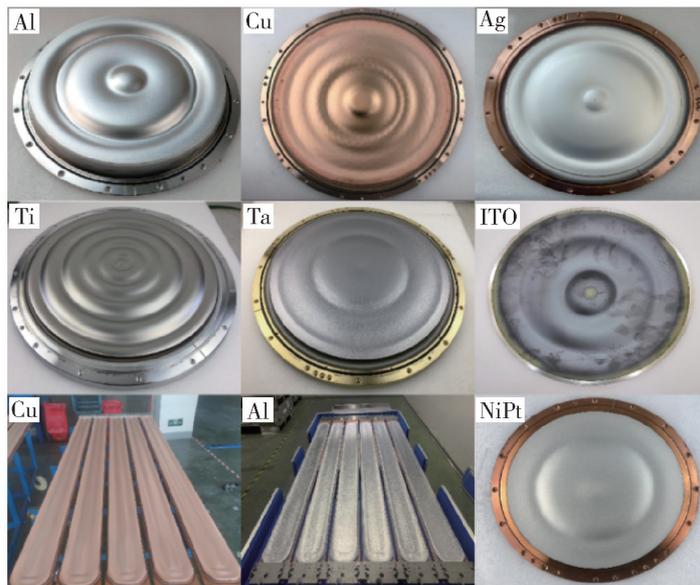


图1 靶材使用后外观

Fig. 1 Appearance of sputtering target after use

残靶根据成分不同,可以分为铝、钛、钽、铜、银等单质及其合金残靶;根据结构不同可以分为一体

[收稿日期] 2023-08-15

[第一作者] 全连海(1988—),男,江苏睢宁人,硕士研究生,工程师,从事超高纯金属材料及溅射靶材研发与应用工作。

型残靶和焊接型残靶,一体型残靶是指溅射部分和支撑的背板材料都是相同高纯金属,焊接型残靶是指高纯金属部分和普通合金背板通过钎焊、扩散焊、电子束焊等焊接而成;根据形状不同可以分为圆形残靶、长条形残靶、三角形残靶、旋转残靶等,其中圆形、长条形、三角形统称为平面残靶。

从国内公开的靶材回收专利可以看出,目前国内进行残靶回收研究的企业主要以靶材制造商和高纯金属材料制造商为主,比如江丰电子、有研亿金、先导、欧莱、阿石创、同创普润、新疆众和、东方钽业等。超高纯金属及溅射靶材企业对靶材回收有较高的技术和产业链优势,这些企业最早面临靶材回收的需求,且较早进行靶材回收的技术储备。

2 残靶的回收

2.1 贵金属残靶

钨、铼、钼、金、银、铂、铱、钕等 8 种金属一般被称为贵金属,其中高纯金、银、铂、钨及其高纯合金常用于加工成靶材,应用在集成电路、信息存储、平面显示器、光学薄膜等行业。贵金属靶材在半导体制造中的应用如表 1 所示^[2]。由于贵金属材料价格昂贵,国内对贵金属残靶的回收研究较多。

表 1 贵金属靶材在半导体制造中的应用

Table 1 Application of precious metal target in semiconductor

靶材材料	性能要求	应用
银	纯度 >4 N,晶粒尺寸均匀可控	分立器件背面金属化、集成电路先进封装
金	纯度 >4 N,晶粒尺寸均匀可控	分立器件背面金属化、集成电路先进封装
铂及其合金	纯度 >4 N,晶粒尺寸均匀可控,合金成分均匀	分立器件肖特基二极管、集成电路硅化物
钨及其合金	纯度 >4N5,高致密度,合金成分均匀	集成电路阻挡层

2.1.1 银和金

因为高纯金属银和金具有接触电阻小、热阻低、热应力小、可靠性高等特点,常被应用在分立器件背面金属化的导电层和集成电路先进封装中。单质高纯金和银残靶回收技术相对简单,一般是通过加热脱焊或机械加工的方式去掉靶材背板和焊料层,再酸洗去除残靶表面的其他残留杂质,经超声波震荡清洗后再用无水乙醇漂洗吹干,得到预处理后的高

纯金属金和银,再重新熔铸成铸锭^[3]。其中重新熔铸过程比较关键,如果控制不好很难得到质量合格的铸锭,尚维国等^[4]研究了残靶重熔过程中浮渣较多的问题,以改善重熔锭子的质量。银合金靶回收相对复杂一些,一般需要湿法冶金的方法进行分离回收。行卫东等^[5]研究采用硝酸浸出-选择性分离钯-沉淀分离钨-抗坏血酸还原银的湿法工艺,从银钯合金靶材废料中回收了贵金属银和钯。

2.1.2 铂

在靶材中,金属铂通常会与其他金属形成化合物使用。半导体薄膜用镍铂合金是重要的高纯靶材,镍铂靶材中铂的质量含量一般在 5% ~ 60%。廖秋玲等^[6]研究了从废镍铂合金靶材回收海绵铂,其工艺流程如图 2 所示,采用硫酸与盐酸的混酸为介质进行氧化浸出-离子交换法分离镍、铂,再利用不同金属离子的性质差异,铂以海绵铂形式得以回收,最终铂的回收率达 99%。高纯铂除了用于常见的镍铂合金靶材,也会在不同制程和工艺上与其他高纯金属形成合金靶使用,如钴铬铂靶材等。钴铬铂靶材用于磁头和硬盘的制造中,回收钴铬铂靶材中的铂需要溶解和分离提纯 2 个步骤。赵家春等^[7]研究了以氯酸钠为氧化剂,采用水溶液氯化法溶解合金靶材,再采用氯化铵选择性沉淀和离子交换的方法提取贵金属铂。

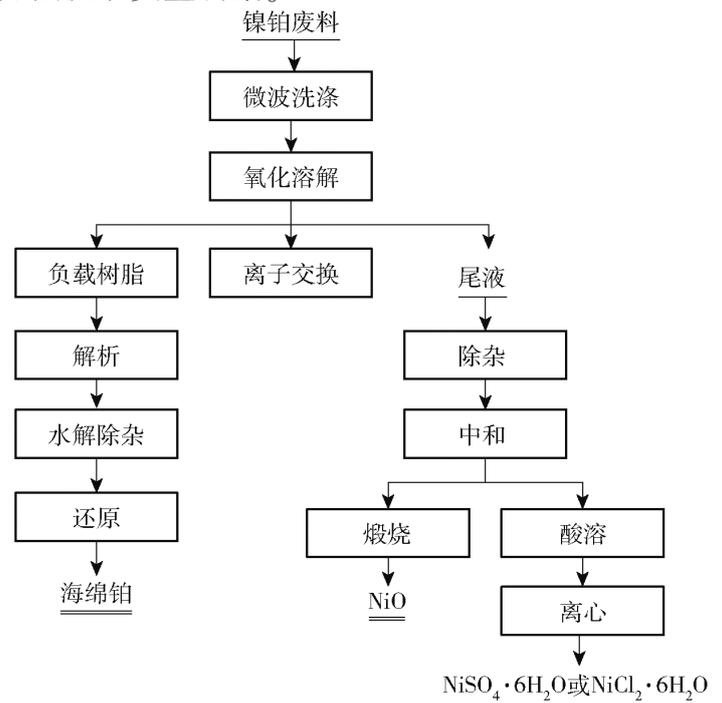


图 2 镍铂靶材回收工艺流程

Fig. 2 Process flow chart of nickel-platinum alloy target recovery

2.1.3 钌

金属钌具有高熔点、高硬度、低膨胀系数、低电阻率和低电阻温度系数等特点。高纯钌靶可以用来制作集成电路中的阻挡层,也可作为动态随机存储器 and 铁电随机存储器中电熔的电极材料使用。钌残靶一般需要经过机械破碎、酸洗、干燥、氢还原、过筛的方法进行钌粉回收。韩守礼等^[8]研究了用钌废料制备试剂级三氯化钌和靶材用钌粉的工艺,回收率在94%以上,工艺流程如图3所示。

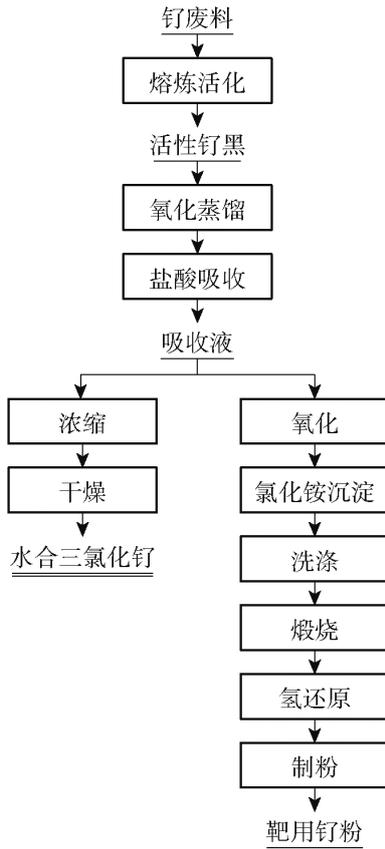


图3 钌靶回收工艺流程

Fig. 3 Process flow chart of ruthenium target recovery

贵金属靶材种类多,价值高。单质贵金属如金、银等残靶,经过物理方法处理,可几乎全部回收其中的贵金属。从贵金属合金残靶中回收贵金属过程中通常会有贵金属的损耗,即使提高一个百分点的贵金属回收率,其价值也不菲。从专利布局看,国内进行贵金属残靶回收技术储备的企业包括有研亿金、贵研铂业、广东先导等,由于残靶本身贵金属的属性,很多小型企业也会涉及贵金属残靶的回收。如何提高从贵金属合金残靶中提取贵金属的回收率、将含贵金属合金残靶价值利用最大化、注重环保是行业内重点研究的方向。

2.2 氧化铟锡残靶

ITO (Indium Tin Oxide) 靶,即氧化铟锡靶,主要成分由90%~95%的 In_2O_3 和10%~5%的 SnO_2 组成。ITO靶拥有优良的光渗透性和导电性,并有很好的加工性能,近些年来ITO靶材广泛应用于液晶显示器的制造加工中,主要用于制备成透明导电薄膜^[9]。金属铟在自然界中没有独立的矿床,主要以伴生矿的形式存在于有色金属硫化矿中,属于稀散金属,在地壳中的含量仅约 $1 \times 10^{-5}\%$,且每年产量有限^[10]。铟的生产主要包括原生铟和再生铟,原生铟的生产是指各类有色冶炼中产生的渣、烟尘、阳极泥等为原料生产金属铟,再生铟是指以各种含铟的废料为原料提取金属铟。金属铟用于生产ITO靶材的消耗量逐年增加,金属铟已经成为战略性新兴产业发展的重要原料支撑,从ITO残靶中回收金属铟具有重要的战略意义和经济价值。

目前国内学术界和产业界对ITO残靶中回收金属铟的研究比较多^[10-18],工艺主要有湿法冶金和火法冶金两类。工艺流程如图4所示。火法回收金属铟包括还原、分离、提纯等工艺步骤,还原剂一般使用碳或者氢,还原后的铟锡合金通过电解或者真空蒸馏的方法将铟和锡分离得到粗铟。当前湿法冶金是行业里回收ITO残靶中金属铟的主流工艺,主要步骤包括酸浸出、铟锡分离、离子置换、碱熔得到粗

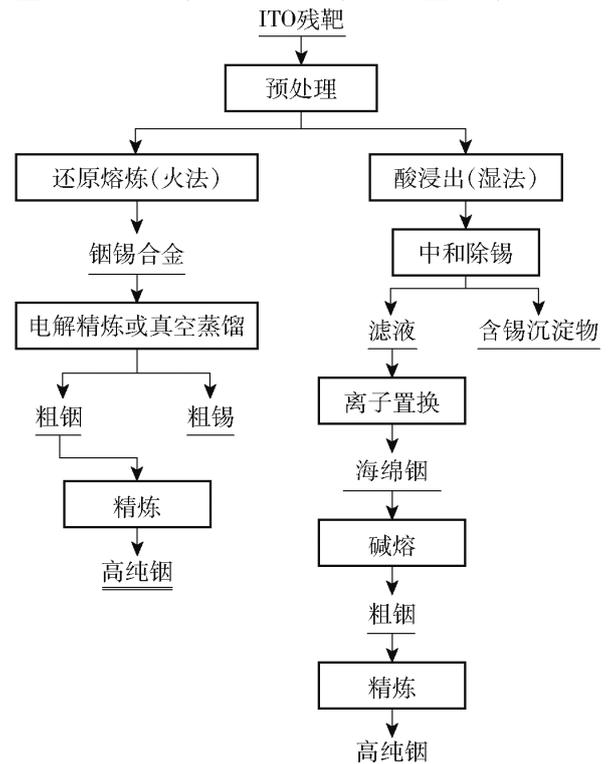


图4 ITO靶回收工艺流程图

Fig. 4 Process flow chart of ITO target recovery

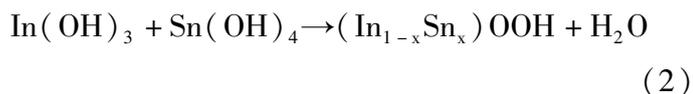
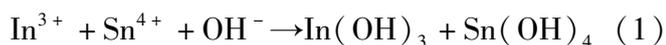
钢。将 ITO 残靶破碎后置于盐酸或硫酸溶液中浸出并过滤, In 和少量的 Sn 会进入滤液中, 为减少置换过程中 In 的损耗, 对滤液中的 Sn 含量进行测定后加入适量 Zn 粉或 Al 粉将其置换并再次过滤, 继续加入 Zn 粉或 Al 粉再将 In 置换后得到海绵钢, 将海绵钢压制成团并覆盖 NaOH 加热熔化后得到粗钢。火法或者湿法得到的粗钢纯度为 97% ~ 99.8%, 再通过电解精炼, 纯度可以到 99.99% 以上, 火法和湿法工艺回收 ITO 残靶的优缺点见表 2。

表 2 火法和湿法冶金回收 ITO 残靶的比较

Table 2 Comparison of ITO target recovery by fire and hydrometallurgy

火法冶金回收 ITO 残靶中的金属钢		湿法冶金回收 ITO 残靶中的金属钢	
优点	缺点	优点	缺点
	高能耗		成本高
工艺周期比较短	金属挥发损失	工艺相对成熟	产生腐蚀性和挥发性废液, 增加人工操作风险
	烟尘污染排放		废酸处理不当会造成环境污染
	工艺相对不成熟		工艺周期比较长

ITO 靶材市场主要集中在日本、韩国和中国, 国外除了研究从 ITO 残靶中回收钢的工艺外, 对 ITO 残靶制备 ITO 纳米粉体也进行了研究。韩国 Dongchul Choi 等^[19]以废 ITO 靶为原料, 以盐酸为溶解剂, 向溶解后的溶液中滴入 NH_4OH 至 pH 值 9.6, 搅拌 2 h 后出现白色悬浮液, 离心处理后用去离子水洗涤 5 次去除副产物 NH_4Cl 。将白色悬浮物放在 60 °C 烘箱中干燥 12 h, 再在 400 °C 进行 6 h 热处理, 最终得到高纯 ITO 纳米粉末。过程中发生的化学反应见式(1) ~ (3)。



除了通过湿法冶金和火法冶金回收 ITO 残靶中金属钢的工艺外, 一些国内 ITO 靶材制造商还开发了直接利用 ITO 残靶的技术^[20-23]。主要方法步骤是将 ITO 残靶表面清洗或酸洗预处理, 然后破碎成 ITO 粉, 再过筛得到目标颗粒度的 ITO 粉, ITO 粉可以用来加工制造成 ITO 靶材或者 ITO 蒸发料。此工艺与湿法或火法回收 ITO 残靶中金属钢再利用的方

法相比, 流程短且成本低, 但是过程中对杂质成分控制要求很高, 否则回收加工的 ITO 粉纯度无法达到使用要求。

金属钢最主要的消耗用途是生产 ITO 靶材, 国内外研究人员进行了大量的试验探究从 ITO 残靶中回收金属钢, ITO 靶材对纯度有要求, 金属钢又具有稀缺性, 如何提高钢的回收率并提纯至所需纯度是研究的重点。映日科技、阿石创、广东先导等靶材公司对 ITO 残靶回收进行了技术储备, 在钢回收的过程中, 存在工艺流程长、环境污染、回收率低等问题, ITO 残靶→ITO 制粉→烧结 ITO 靶材工艺路线是一种高效、环保、短流程的可选途径, 此工艺路线对污染源的控制要求非常高, 否则无法得到所需纯度。

2.3 其他金属残靶

高纯钛靶材、高纯钽靶材、高纯铝及铝合金靶材、高纯铜及铜合金靶材是半导体行业中常用的高纯金属靶材。在半导体芯片制造中, 高纯钛靶和钽靶作为阻挡层使用, 高纯铝及铝合金靶材、高纯铜及铜合金靶材作为互连导线使用^[24]。高纯铝靶和高纯铜靶也广泛应用于显示器行业, 纯度比半导体行业稍微低些。与贵金属和 ITO 残靶回收相比, 国内和国外关于高纯钛、钽、铝、铜残靶的回收研究报道非常少。

2.3.1 钛

高纯钛靶材一般不掺杂合金元素使用, 回收的高纯钛可重复用于高纯钛靶材的制造, 也可用来制造高端钛合金, 广泛用于航空航天、医疗等领域。高纯钛残靶的回收主要有 2 种途径: 一种是电子束真空重熔铸造; 另一种是制备成高纯钛粉使用^[25-26]。电子束真空重熔铸造的方法步骤包括机械加工法去除背板、钛残靶表面酸洗和干燥处理、然后使用电子束真空熔炼炉将预处理后的高纯钛残靶进行熔炼铸造成高纯钛锭, 高纯钛锭则可以重复用于高纯钛靶材的加工或其他行业中。制备高纯钛粉的方法是将高纯钛残靶通过机械加工的方式去除背板并切成小块, 把切割后的钛残靶小块进行表面酸洗和去等离子水冲洗, 再通过氢化和破碎成粉, 最后脱氢处理生成高纯钛粉。与电子束真空重熔铸造相比, 制成高纯钛粉在粉末冶金中的用途更广泛一些。

2.3.2 钽

钽是重要的功能性材料, 具有熔点高、冷加工性能好、抗酸碱腐蚀能力强等特点。钽属于资源相对

短缺、分布不广的战略物资,高纯钽靶大量应用在集成电路中,实现高纯钽残靶的回收利用具有重要的实际价值和战略意义。任萍等^[27]对废钽靶材回收处理的工艺进行了研究,主要是通过氢化钽残靶、剥离背板、破碎制粉、酸洗氢化钽粉、再脱氢后得到纯度99.995%以上的冶金级钽粉,钽粉可以继续用于高纯钽锭的制备。

2.3.3 铝

半导体行业用的高纯铝靶材包括纯铝靶、铝硅铜合金靶、铝硅靶、铝铜靶等掺加合金的靶材,合金含量一般为0.1%~5%,其中高纯铝合金靶材用量占比95%以上,而显示器行业则以高纯铝靶材为主。由于高纯铝合金残靶的合金元素存在,通过偏析法或者电解法再重新提纯至高纯铝的纯度,在技术上比较难实现且经济价值不高。比较理想的方法是将高纯铝残靶按合金元素分类,然后经机加工去除背板和焊料、对残靶表面进行清洗预处理,再通过重熔配比合金实现再利用,实际操作过程需要精细化管理,以防止不同成分混入而造成污染^[28-29]。

2.3.4 铜

高纯铜靶材及铜合金靶材与高纯铝类似,半导体用的高纯铜靶包括纯铜靶、铜锰靶、铜铝靶等掺加合金的靶材,显示器行业以高纯铜靶为主。高纯铜及合金靶材的残靶回收工艺也与高纯铝及铝合金靶材相似,依次进行切割、酸浸洗、水浸洗、酒精浸洗和烘干,再放入真空熔炼炉中按比例配置目标合金成分,继而铸造成铸锭用于靶材的加工,实现高纯铜及其合金的重复再利用^[30-31]。

进行高纯钛、钽、铝、铜残靶回收技术储备的企业主要包括宁波创润、东方钽业、江丰电子、同创普润、新疆众和等靶材生产或高纯材料制造企业。高纯铝、钛、钽、铜等及其合金靶材是半导体行业中用量较大的靶材,对靶材的纯度要求也最高,残靶回收主要面临以下几个问题:①残靶的背板及焊接层如何彻底去除,达到降低回收高纯材料难度的目的;②高纯靶材在溅射过程中会有反溅射层附着在靶材边缘,残靶下机后运输周转过程中表面会受到污染,如何去除残靶表面的污染物非常关键;③残靶合金种类较多,外观形状不易区分,如何快速、准确且成本较低检测区分合金成分是实现残靶回收利用的必要条件。

3 结语与展望

近几年高纯金属材料 and 靶材企业对残靶回收越来越重视并进行了相关研究,残靶回收不仅可以降低高纯金属原材料的制造成本,而且对提升企业在国际上的竞争力具有重要意义。残靶回收过程中需要关注以下几点。

1) 提高贵金属残靶中贵金属的回收率、注重环保是贵金属残靶回收过程中需要重点研究的方向。

2) 在ITO残靶回收的过程中,存在工艺流程长、环境污染严重、回收率低等问题,ITO残靶→ITO制粉→烧结ITO靶材工艺路线是一种高效、环保、短流程的可选途径。

3) 国内外对高纯钛、钽、铝、铜等残靶回收的研究比较少,残靶背板和焊接层去除、高纯残靶表面清理、快速低成本区分合金成分是关键。

4) 目前高纯靶材残靶回收工艺还存在金属回收率低、回收产品纯度不高、工艺流程长等问题需要攻克和改善,未来开发较短的流程、环境友好的工艺、探索高价值的用途是高纯残靶回收技术改进和发展的方向。

[参考文献]

- [1] 赵嘉学,金凡亚. 常见磁控溅射靶材利用率及其计算方法的探讨[J]. 核聚变与等离子体物理, 2007, 27(1):66-72.
ZHAO Jiaxue, JIN Fanya. Investigation of utilization ratio and calculating method of familiar magnetron sputtering targets [J]. Nuclear Fusion and Plasma Physics, 2007, 27(1):66-72.
- [2] 何金江,陈明,朱晓光,等. 高纯贵金属靶材在半导体制造中的应用与制备技术[J]. 贵金属, 2013, 34(S1):79-83.
HE Jinjiang, CHEN Ming, ZHU Xiaoguang, et al. Application and fabrication Method of high purity precious metal sputtering targets used in semiconductor [J]. Precious Metals, 2013, 34(S1):79-83.
- [3] 郝海英,付丰年,江丹平,等. 一种从钎焊贵金属残靶中回收贵金属的方法:CN 111893312 A[P]. 2020-11-06.
HAO Haiying, FU Fengnian, JIANG Danping, et al. Method for recovering precious metal from brazing precious metal residual targets:CN 111893312 A[P]. 2020-11-06.
- [4] 尚维国,孙昊,郑云丰,等. 银残靶材的熔炼回收工艺研究[J]. 铸造技术, 2019, 40(4):400-402.
SHANG Weiguo, SUN Hao, ZHENG Yunfeng, et al. Study on smelting recovery process of residual silver target [J]. Foundry Technology, 2019, 40(4):400-402.
- [5] 行卫东,赵振华,王杰,等. 银钯合金靶材废料的综合回收研究[J]. 贵金属, 2021, 42(4):32-36.
XING Weidong, ZHAO Zhenhua, WANG Jie, et al. Research on

- the integrated recovery of waste AgPd alloy targets scraps [J]. *Precious Metals*, 2021, 42(4):32-36.
- [6] 廖秋玲,姜东,郑远东,等. 从废镍铂合金靶材中回收铂镍的研究[J]. *中国资源综合利用*, 2015, 33(6):21-23.
LIAO Qiuling, JIANG Dong, ZHENG Yuandong, et al. The process study of recycling platinum and nickel from spent platinum and nickel alloy targets [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2015, 33(6):21-23.
- [7] 赵家春,董海刚,吴跃东,等. 从钴铬铂靶材废料中回收纯铂[J]. *贵金属*, 2018, 39(3):42-45.
ZHAO Jiachun, DONG Haigang, WU Yuedong, et al. Recovery of platinum from waste Co-Cr-Pt target material [J]. *Precious Metals*, 2018, 39(3):42-45.
- [8] 韩守礼,贺小塘,吴喜龙,等. 用钐废料制备三氯化钐及靶材用钐粉的工艺[J]. *贵金属*, 2011, 32(1):68-71.
HAN Shouli, HE Xiaotang, WU Xilong, et al. Preparation of ruthenium trichloride or ruthenium powder for target from ruthenium scrap [J]. *Precious Metals*, 2011, 32(1):68-71.
- [9] 郑达敏,赵增超,刘舟,等. 高效太阳能电池技术及其核心装备国产化进展[J]. *有色设备*, 2021, 35(5):78-82,88.
ZHENG Damin, ZHAO Zengchao, LIU Zhou, et al. Localization progress of Chinese efficient solar battery technology and its core equipment [J]. *Nonferrous Metallurgical Equipment*, 2021, 35(5):78-82,88.
- [10] 张丁川. 热还原-真空蒸馏法回收 ITO 废料中金属钐的研究 [D]. 昆明:昆明理工大学, 2017:1-2.
ZHANG Dingchuan. Recovery of indium from ITO waste by thermal reduction-vacuum distillation [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2017:1-2.
- [11] Xianwei Su, Shaolong Li, Yusi Che, et al. Recovery and reuse of spent ITO targets through electrochemical Techniques [J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 2022, 169(2):023507.
- [12] 韩旗英,白炜. 从 ITO 靶材废料中回收提取金属钐工艺的研究[J]. *湖南有色金属*, 2009, 25(5):32-36.
HAN Qiying, BAI Wei. The study of recovering metal indium from the ITO target [J]. *Hunan Nonferrous Metals*, 2009, 25(5):32-36.
- [13] 范文博,李瑞迪,袁铁锤. 盐酸浸出 ITO 废靶材中的钐锡分离研究[J]. *湖南有色金属*, 2015, 31(1):58-60.
FAN Wenbo, LI Ruidi, YUAN Tiechui. Research for indium and tin separation from ITO waste target by method hydrochloric acid leaching process [J]. *Hunan Nonferrous Metals*, 2015, 31(1):58-60.
- [14] 徐东升. 利用 ITO 靶材回收制备金属钐 [D]. 北京:北京化工大学, 2008.
XU Dongsheng. Indium prepared from indium-tin-oxide (ITO) Target [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2008.
- [15] 牛文敏,郭宁,贾兆霖,等. 从废 ITO 靶材中回收钐的研究 [J]. *世界有色金属*, 2021, 17:198-199.
NIU Wenmin, GUO Ning, JIA Zhaolin, et al. Study on recovery of indium from waste ITO target [J]. *World Nonferrous Metals*, 2021, 17:198-199.
- [116] Rui-di Li, Tie-Chui YUAN, Wen-bo FAN, et al. Recovery of indium by acid leaching waste ITO target based on neural network [J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2014, 24(1):257-262.
- [17] 刘家祥,甘勇,张艳. 利用 ITO 废靶材回收金属钐 [J]. *稀有金属*, 2004, 28(5):947-950.
LIU Jiexiang, GAN Yong, ZHANG Yan. Recovery of indium from waste ITO target [J]. *Chinese Journal of Rare Metals*, 2004, 28(5):947-950.
- [18] Yuhu LI, Zhihong LIU, Qihou LI, et al. Recovery of indium from used indium-tin oxide (ITO) targets [J]. *Hydrometallurgy*, 2011, 105(3-4):207-212.
- [19] Dongchul Choi, Wan Soo Yun, Yongkeun Son. Recovery of ITO nanopowder from a waste ITO target by a simple co-precipitation method [J]. *RSC Advances*. 2016, 6(84):80994-81000.
- [20] 王志强,曾墩风,曾探,等. 一种 ITO 靶材溅射后残靶再利用的制备工艺:CN 113292345A [P]. 2021-08-24.
WANG Zhiqiang, ZENG Dunfeng, ZENG Tan, et al. Preparation process for reusing residual target after sputtering of ITO target material:CN 113292345 A [P]. 2021-08-24.
- [21] 蔡小勇,张科,李康,等. 一种从 ITO 残靶/废靶中回收 ITO 粉末的方法:CN 111620367A [P]. 2020-09-04.
CAI Xiaoyong, ZHANG Jie, LI Kang, et al. Method for recovering ITO powder from ITO residual targets/waste targets: CN 111620367A [P]. 2020-09-04.
- [22] 李龙腾,刘冠鹏. 一种 ITO 废靶回收粉末制备 ITO 靶材的方法:CN 107129277A [P]. 2017-09-05.
LI Longteng, LIU Guanpeng. Method for recycling powder from ITO (indium tin oxide) waste targets for preparing ITO target materials:CN 107129277A [P]. 2017-09-05.
- [23] 余芳,文崇斌,朱刘. 一种 ITO 残靶回收料制备 ITO 蒸发料的方法:CN 113233871A [P]. 2021-08-10.
YU Fang, WEN Chengbin, ZHU Liu. Method for preparing ITO evaporation material from ITO residual target recycled material: CN 113233871A [P]. 2021-08-10.
- [24] 何金江,贺昕,熊晓东,等. 集成电路用高纯金属材料及高性能溅射靶材制备研究进展 [J]. *新材料产业*, 2015(9):47-52.
HE Jinjiang, HE Xin, XIONG Xiaodong, et al. Research Progress in Preparation of High Purity Metal Materials and High Performance Sputtering Targets for Integrated Circuits [J]. *Advanced Materials Industry*, 2015(9):47-52.
- [25] 姚力军,王学泽,宋佳,等. 一种利用钐残靶制备高纯钐粉的方法:CN 103418798A [P]. 2013-12-04.
YAO Lijun, WANG Xueze, SONG Jia, et al. Method for preparing high-purity titanium powder by residual titanium targets:CN 103418798A [P]. 2013-12-04.

- [26] 吴景晖,姚力军,钟翔. 待处理靶材的处理方法: CN 109022792A[P]. 2018-12-18.
WU Jinghui, YAO Lijun, ZHONG Xiang. Processing method for target materials to be processed; CN 109022792A[P]. 2018-12-18.
- [27] 任萍,马海燕,程越伟,等. 废钽靶材回收处理工艺及其回收料应用的研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2018(4): 71-74.
REN Ping, MA Haiyan, ZHONG Xiang, et al. Study on recovery process of waster tantalum target and its application [J]. Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy), 2018(4): 71-74.
- [28] 姚力军,潘杰,全连海,等. 一种溅射靶材组件的回收再利用方法: CN 115287459A[P]. 2022-11-04.
YAO Lijun, PAN Jie, TONG Lianhai, et al. Recycling and reusing method of sputtering target material assembly: CN 115287459A[P]. 2022-11-04.
- [29] 马小红,徐亚军,白毅,等. 一种液晶面板用铝残靶的回收方法: CN 113174487A[P]. 2021-07-27.
MA Xiaohong, XU Yajun, BAI Yi, et al. Method for recovering aluminum residual target for liquid crystal panel: CN 113174487A [P]. 2021-07-27.
- [30] 易骞文,姚力军,潘杰. 一种超高纯铜锰靶材的回收方法: CN 113151685A[P]. 2021-07-23.
YI Wuwen, YAO Lijun, PAN Jie. Recovery method of ultra-high-purity copper-manganese target material: CN 113151685A [P]. 2021-07-23.
- [31] 姚力军,潘杰,王学泽,等. 一种超高纯铜系残靶的循环再利用方法: CN 114769269A[P]. 2022-07-22.
YAO Lijun, PAN Jie, WANG Xueze, et al. Recycling method of ultra-high-purity copper residual target: CN 114769269A [P]. 2022-07-22.

Research status of recovery of high-purity sputtering targets

TONG Lianhai^{1,2}, ZHONG Weipan^{1,2}, LI Fenglian³

(1. Tongchuang Purun Advanced Materials Co. Ltd, Shanghai 201306, China;

2. Tongchuang Purun (Shanghai) Electromechanical High-tech Co. Ltd, Shanghai 201400, China;

3. Konfoong Materials(Shanghai) Co. Ltd, Shanghai 201306, China)

Abstract: High purity sputtering targets are used as consumables in wafer foundries and LCD panel companies. The utilization rate of high purity sputtering target is low. The utilization rate of general flat targets is less than 30%, and it is difficult for rotating targets to exceed 70%. It is of great economic value and environmental significance to recycle the sputtered residual target. The research status of recovery of high purity target materials such as precious metals, ITO, titanium, tantalum, aluminum and copper were reviewed, and common problems in the recovery process of target materials were summarized. At present, there are still problems that need to be overcome and improved in the residual target recovery of high-purity target materials, such as low metal recovery rate, low purity of recovery, and long process flow, so the author anticipates that developing shorter process, environment-friendly process and exploring high-value uses are the directions for the improvement and development of high-purity residual target recycling and reuse technology in the future.

Key words: sputtering target; target material recycling; precious metal; indium tin oxide; high-purity metal; chip; display device; integrated circuit