



职业培训教程

钢 冶 炼

YIN Ye Lian

柳州华锡集团有限责任公司组织编写

主 编 李仕庆

副主编 文丕忠 梁敏炎



广西科学技术出版社

出版说明

本书是根据原中国有色金属工业总公司制订的技术等级要求，由柳州华锡集团有限责任公司组织专业技术人员编写的，重点介绍了钢冶炼的基础知识和职工应掌握的岗位技能，可以作为钢冶炼初级工、中级工、高级工、技师、高级技师的岗位培训教程。

责任编辑 / 丘 平 封面制作 / 彭建军
 责任校对 / 梁 斌 责任印制 / 熊美莲

ISBN 978-7-80666-995-2



9 787806 669952 >

定价：38.00 元

职业培训教程

钢 冶 炼

柳州华锡集团有限责任公司组织编写

主 编 李仕庆

副主编 文丕忠 梁敏炎

广西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢冶炼/李仕庆主编.—南宁:广西科学技术出版社,2008.3

ISBN 978-7-80666-995-2

I.钢… II.李… III.钢—有色金属冶金—技术培训—教材 IV.TF843.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 021622 号

钢 冶 炼

主 编 李仕庆

副主编 文丕忠 梁敏炎

*

广西科学技术出版社出版

(南宁市东葛路 66 号 邮政编码 530022)

广西新华书店发行

广西壮族自治区人民政府办公厅印刷厂印刷

(南宁市民生路 2 号 邮政编码 530013)

*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 5.75 字数 121 000

2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—1 500 册

ISBN 978-7-80666-995-2/TF·1 定价:38.00 元

本书如有倒装缺页,请与承印厂调换

职业培训教程

钢 冶 炼

编写委员会

主 任：李仕庆

副主任：廖春图 旷建明

编 委：刘裕华 黄蔚毅 宋照荣 苏杰光 杜栋斌

符志坚 文丕忠 梁敏炎 陈 茂 张其冠

杨志杰 潘伟兰 陈 剑

主 编：李仕庆

副主编：文丕忠 梁敏炎

前 言

为了适应职业培训和职业技能鉴定的需要，努力培养一支高素质的冶炼职工队伍，为企业长远发展提供合格的技能型人才，柳州华锡集团有限责任公司组织有关科技人员编写了《钨冶炼》职业培训教程。

本教程是以原中国有色金属工业总公司组织制定的有关专业（工种）的技术理论等级标准为依据编写的，内容突出了钨金属冶炼岗位的知识性、技术性、实践性和操作性，可作为钨金属冶炼工种的初级工、中级工、高级工、技师、高级技师的岗位技能培训教材，也适用于钨冶炼工种各级别的职业资格鉴定。

本教程第一章由吴锦让编写；第二章由李德锦编写；第三章由廖雪平、李德锦编写；第四章由张俊凯、吴锦让编写；第五章由苏文、吴锦让编写；第六章由苏文、李德锦编写；第七章由吴锦让编写；第八章由张其冠、陈茂编写。

全书由文丕忠、梁敏炎、张其冠、苏杰光、陈茂初审，由李仕庆、文丕忠、梁敏炎终审定稿。梁敏炎、苏杰光负责本书的编辑工作。

本教程在编写过程中参考了大量的相关文献、资料，在此，对在教程编写过程中给予帮助的专家、学者表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有错误及不足之处，恳请读者给予批评指正。

编者

二〇〇八年一月

目 录

第一章 概 论	(1)
第一节 铟的性质及用途	(1)
第二节 铟矿物及提铟的主要原料	(9)
第三节 铟冶炼工艺综述	(9)
第二章 回转窑铁矾渣高浸渣回收铟、锌工艺	(16)
第一节 湿法炼锌渣富集铟	(16)
第二节 铁矾渣和高浸渣的干燥	(17)
第三节 锌、铟还原挥发	(22)
第四节 锌、铟还原挥发设备	(25)
第五节 锌、铟回转窑还原挥发实践	(28)
第六节 挥发窑辅助设备的维护与保养	(31)
第七节 挥发窑的安全生产	(34)
第三章 挥发窑的收尘和尾气处理	(37)
第一节 烟气收尘	(37)
第二节 烟气洗涤处理和抽风	(39)
第四章 锌、铟烟尘浸出处理	(42)
第一节 浸出浓密过滤工艺流程	(42)
第二节 锌、铟烟尘浸出工序	(43)
第三节 浸出矿浆浓密沉降	(45)
第四节 过滤	(47)
第五节 上清液的处理	(50)
第六节 浸出质量指标及安全生产	(50)
第五章 从含铟溶液中提取铟	(52)
第一节 有机溶剂萃取理论	(52)
第二节 离心萃取机	(54)
第三节 反萃取	(57)
第四节 铟的置换及压团	(59)
第五节 萃取质量指标及安全生产	(61)
第六章 铟的精炼	(63)
第一节 粗铟除杂质及阳极铸造	(63)
第二节 粗铟的电解	(64)
第三节 铟阴极片除杂质及精铟熔铸	(70)

第四节 钢精炼质量指标及安全注意事项	(71)
第七章 钢冶炼过程的综合利用	(73)
第一节 氯化锌生产	(73)
第二节 E. Z. 法处理萃余液	(74)
第三节 反铁水处理	(76)
第八章 培训指导及论文撰写	(77)
第一节 操作指导	(77)
第二节 理论培训	(77)
第三节 撰写技师论文	(79)
参考文献	(84)

第一章 概 论

第一节 铟的性质及用途

铟 (Indium) 是化学元素周期表中第五周期、第三主族元素, 元素符号为 In, 原子序数为 49, 原子量为 114.82, 属于硼族的稀有金属。电子组态为 (Kr) $4d^{10}5s^25p^1$, 在化学反应中可以失去 $5p^1$ 及 $5s^2$ 电子, 呈 +1、+2 和 +3 价, 但是只有 +3 价化合物是稳定的, 并且水溶液中只存在 +3 价的铟化合物。天然状态下, 铟是 $^{113}_{49}\text{In}$ (4.28%) 和 $^{115}_{49}\text{In}$ (95.72%) 两种同位素的混合物。

一、铟的性质

(一) 物理性质

铟是一种具有银白色光泽的金属, 比较柔软, 用指甲就能划出痕迹。它的熔点较低, 而沸点却很高, 液态蒸气压很低, 具有良好的可塑性和延展性, 几乎可任意变形, 弯曲时像锡一样发出尖锐响声, 可压成极薄的金属片。铟的导电性比铜约低 $\frac{4}{5}$, 热膨胀系数几乎超过铜的 1 倍。铟的主要物理性质见表 1-1-1。

表 1-1-1 铟的主要物理性质

项 目	单 位	数 值
密 度	g/cm^3	7.362
熔 点	$^{\circ}\text{C}$	156.6
沸 点	$^{\circ}\text{C}$	2075
熔解热	J/g	28.42
比热容固体 (0~150 $^{\circ}\text{C}$)	$\text{J}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$	0.235
液体 (155 $^{\circ}\text{C}$)	$\text{J}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$	0.258
汽化热 (沸点时)	J/g	2023.12
熔解时体积变化	%	2.5
比电阻 0 $^{\circ}\text{C}$	$\Omega \cdot \text{cm}$	8.8×10^{-6}
20 $^{\circ}\text{C}$		8.8×10^{-6}
156.6 $^{\circ}\text{C}$ (液态)		29×10^{-6}
电阻温度系数 (0~100 $^{\circ}\text{C}$)	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	0.0047
标准电极电位	V	-0.34

(二) 化学性质

常温干燥条件下, 铟在空气中化学性质稳定, 不会失去金属光泽。加热时, 铟直接

与硫、砷、锑、硒、碲及卤素等发生化学反应。锡可溶于无机酸和汞，但是与碱、沸水及大多数有机酸不发生反应。锡易从多种电解液包括氰化物、硫酸盐、氟硼酸盐和氨基磺酸盐等溶液中电解出来。

锡具有很好的抗腐蚀性，其在各种介质中的耐腐蚀性能见表 1-1-2。

表 1-1-2 纯度为 99.90% 的锡金属在室温下的耐蚀性能

溶液	浓度 (%)	pH 值	腐蚀速率 mg/ (dm ² · d)	表面状态
盐酸	1	—	123	有光泽
硝酸	1	—	2920	粒界受到腐蚀
硫酸	1	—	176	有光泽
醋酸	1	2.1	130.3	灰色
醋酸	5	—	172.9	暗灰色
柠檬酸	1	2.15	21.8	有光泽
柠檬酸	5	—	122.2	有光泽
草酸	1	1.45	117.6	轻微的暗灰色
草酸	—	—	98	有光泽
丁酸	5	—	151.6	轻微的暗灰色
丁二酸	5	—	122.8	轻微的暗灰色
碳酸钠	5	—	0.7 (增加)	轻微的暗灰色
氢氧化钠	5	—	2.5 (增加)	浅灰色覆盖

In—H₂O 系的电位 pH 值图见图 1-1-1，图中的各线所示反应式及其直线方程见表 1-1-3。

表 1-1-3 In—H₂O 的反应式及直线方程

直线	反应式	直线方程
1	$\text{In}^{3+} + \text{H}_2\text{O} = \text{InOH}^{2+} + \text{H}^+$	$\text{pH} = 3.88$
2	$\text{InOH}^{2+} + \text{H}_2\text{O} = \text{InO}_2^- + 3\text{H}^+$	$\text{pH} = 6.79$
4	$\text{In}^+ = \text{In}^{3+} + 2\text{e}$	$E_0 = -0.443$
5	$\text{In}^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{InOH}^{2+} + \text{H}^+ + 2\text{e}$	$E_0 = -0.330 - 0.0295\text{pH}$
6	$\text{In}^+ + 2\text{H}_2\text{O} = \text{InO}_2^- + 4\text{H}^+ + 2\text{e}$	$E_0 = 0.262 - 0.1182\text{pH}$
8	$2\text{In} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{In}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}$	$E_0 = -0.190 - 0.0591\text{pH}$
9	$2\text{In}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{In}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+$	$\text{pH} = 2.57 - \frac{1}{3}\lg(\text{In}^{3+})$
10	$2\text{InOH}^{2+} + \text{H}_2\text{O} = \text{In}_2\text{O}_3 + 4\text{H}^+$	$\text{pH} = 1.93 - \frac{1}{2}\lg(\text{InOH}^{2+})$
11	$\text{In}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{InO}_2^- + 2\text{H}^+$	$\text{pH} = 17.05 + \lg(\text{InO}_2^-)$
12	$\text{In} = \text{In}^+ + \text{e}$	$E_0 = -0.139 + 0.0591\lg(\text{In}^+)$
13	$\text{In} = \text{In}^{3+} + 3\text{e}$	$E_0 = -0.342 + 0.0197\lg(\text{In}^{3+})$
14	$\text{In} + \text{H}_2\text{O} = \text{InOH}^{2+} + \text{H}^+ + 3\text{e}$	$E_0 = -0.266 - 0.0197\text{pH} + 0.0197\lg(\text{InOH}^{2+})$
15	$\text{In} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{InO}_2^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}$	$E_0 = 0.146 - 0.0789\text{pH} + 0.0197\lg(\text{InO}_2^-)$
16	$2\text{In}^+ + 3\text{H}_2\text{O} = \text{In}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 4\text{e}$	$E_0 = 0.216 - 0.0886\text{pH} - 0.0295\lg(\text{In}^+)$
17	$\text{InH} = \text{In}^+ + \text{H}^+ + 2\text{e}$	$E_0 = -1.951 + 0.0591\lg P_{\text{InH}}$

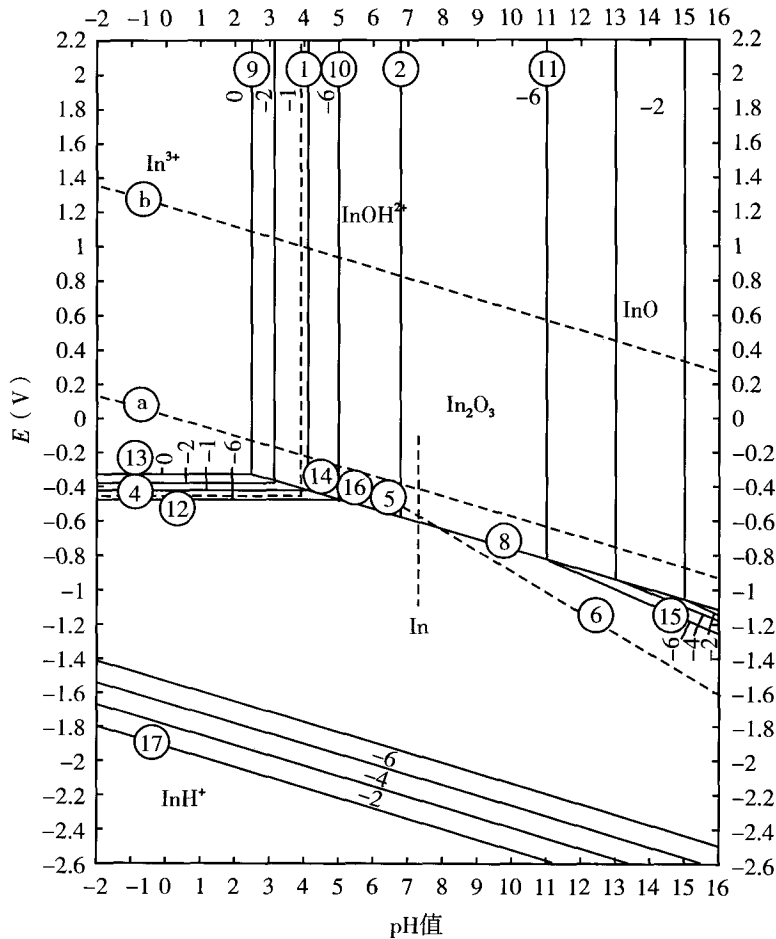


图 1-1-1 In-H₂O 的 E-pH 值图

铟能够与许多其他金属元素形成二元、三元及多元合金。例如，在某些金属中添加少量金属铟，就能使这种金属表面硬化，增加强度和提高了抗腐蚀能力。

铟的氧化还原电位和标准电极电位见表 1-1-4 和表 1-1-5。

表 1-1-4 铟的氧化还原电位

酸性溶液	碱性溶液
$\begin{array}{c} \text{In}^{3+} \xrightarrow{-0.45} \text{In}^{2+} \xrightarrow{-0.35} \text{In}^{+} \xrightarrow{-0.25} \text{In} \\ \hline -0.38 \sim -0.342 \end{array}$	$\text{In}(\text{OH})_3 \xrightarrow{-1.0} \text{In}$

表 1-1-5 钢的标准电极电位

酸性溶液电极（半）反应/V		碱性溶液电极（半）反应/V
$\text{In}^{3+} + 3\text{e} = \text{In}$	-0.34~-0.345	$\text{In}(\text{OH})_3 + 3\text{e} = \text{In} + 3\text{OH}^- \quad -1.0$
$\text{In}^{3+} + \text{e} = \text{In}^{2+}$	-0.45~0.49	
$\text{In}^{3+} + 2\text{e} = \text{In}^+$	-0.40~0.43	
$\text{In}^+ + \text{e} = \text{In}$	-0.18~0.25	
$\text{In}^{4+} + 3\text{e} = \text{In}^+$	-0.35	
$\text{In}^{2+} + \text{e} = \text{In}^+$	-0.4	

（三）机械性能

钢是一种可塑性很好的金属，在压力加工条件下几乎能加工成各种形状，并且不会发生硬化，其延展性非常好。在钢拉力试验中，几乎所有的变形都是局部性的，其断面减缩很大，有时高达 99%。钢金属的机械性能如表 1-1-6 所示。

表 1-1-6 钢的机械性能

项 目	单 位	数 值
布氏硬度	kgf/mm ²	0.9
抗拉强度	MPa	0.27×9.8
延伸率	%	22
断面减缩率	%	87
压缩强度	MPa	0.22×9.8
弹性模量	MPa	1110×9.8

二、铟的化合物

钢可以生成+1 价、+2 价、+3 价的化合物，其中以+3 价化合物最为稳定。

（一）铟的氧化物

铟的氧化物有三种，即 In_2O_3 、 InO 和 In_2O 。

氧化铟 (In_2O_3) 为黄色粉末，熔点约为 2000℃。 In_2O_3 不溶于水，易溶于酸。在空气中加热钢金属或者煅烧氢氧化铟、硝酸铟、碳酸铟和其他铟盐，便可得氧化铟。

氧化铟 (In_2O_3) 的密度为 7.18g/cm³ (常温常压)。

氧化铟 (In_2O_3) 的生成热为 9070.6kJ/mol。当温度高于 750℃时， In_2O_3 分解生成低价氧化物 (InO 和 In_2O)。氧化铟在 700~800℃时可被氢或其他还原剂还原成金属，还原的中间产物是 InO 和 In_2O 。

InO 和 In_2O 分别是灰色与黑色固体，在空气中加热易氧化。 In_2O 在 565℃时升华。

（二）氢氧化铟 [$\text{In}(\text{OH})_3$]

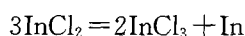
+3 价铟的氢氧化物是两性的，但其酸性比氢氧化镓的酸性弱一些。例如， $\text{In}(\text{OH})_3$ 在室温下溶于苛性钠溶液并形成铟酸钠盐，但是在加热碱溶液时，铟酸钠分解，析出氢氧化物。与 $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 不同，铟的氢氧化物不溶于氨溶液。在铟的硫酸盐、氯化物和硝酸盐溶液中，可看到铟盐水解并析出氢氧化物或铟的碱式盐。

(三) 氯化铟 (InCl_3)

氯化铟 (InCl_3) 是无色易挥发的化合物, 其熔点为 586°C 。当温度为 498°C 时, InCl_3 在固体盐上的蒸气压达到一个大气压。氯化铟易溶于水 (在 22°C 时溶解度为 33.5g/L)。通常用 In_2O_3 或金属铟溶于盐酸可得到 InCl_3 溶液。

氯化铟与金属铟一起加热 (或用氢气还原) 可生成低价的氯化物 InCl 和 InCl_2 。

铟的低价氯化物还可以用金属铟与熔融的氯化锌 (或氯化铵) 相互作用的方法制得。两种低价氯化物都是吸湿的, 并在水溶液中发生歧化反应, 反应方程式如下:

(四) 碘化铟 (InI_3)

碘单质和金属铟在加热的情况下可以直接合成碘化铟 (InI_3)，也可以在有机溶剂中用碘溶液与金属铟作用的方法得到碘化铟。在碘化物溶液中, 碘化铟易呈 InI_4^- 形式而被萃取。

(五) 硫酸铟 [$\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$]

硫酸铟 [$\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$] 可以溶于水 (在 25°C 时溶解度为 62.1%)，并从中性溶液中结晶出五水化合物 $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ，在 $100\sim 200^\circ\text{C}$ 时会慢慢地脱水而变成无水盐。依硫酸浓度和温度的不同, 从酸性溶液中可析出 $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 或酸式盐 $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，后者可被看成组分为 $\text{H}[\text{In}(\text{SO}_4)_2 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}]$ 的络合酸。铟的硫酸盐的溶解度总共只有 0.503 克时, 这时会从溶液中析出酸式盐。可用硫酸起盐析作用从硫酸溶液中沉淀铟的办法, 来消除铟中的杂质。 $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ 的溶解度与硫酸浓度的关系见表 1-1-7。

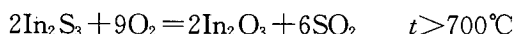
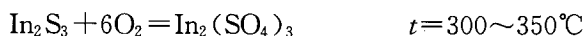
表 1-1-7 $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ 的溶解度与硫酸浓度的关系

H_2SO_4 浓度 (%)	在 20°C 时		H_2SO_4 浓度 (%)	在 60°C 时	
	$\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ 的 溶解度 (%)	固相组成		$\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ 的 溶解度 (%)	固相组成
3.6	51.19	$\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	2.9	54.80	$\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
10.3	40.81		10.6	44.56	
20.2	30.44		14.2	39.24	
25.3	24.80		22.5	28.86	
28.2	21.58	$\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	36.7	12.65	$\text{In}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
41.3	6.51		52.8	2.05	
53.4	0.75		54.4	1.62	
90.2	0.07		84.4	0.13	

(六) 硫化铟 (In_2S_3)

在弱酸性溶液中, $+3$ 价铟可析出黄色沉淀状的硫化物, 即硫化铟 (In_2S_3)。在某些生产中, 可以用此反应作为铟、铁分离手段。硫化物 (In_2S_3) 能够在 1050°C 高温时熔化, 当温度高于 800°C 时有明显的升华现象。在氢气流中加热时, In_2S_3 能够被还原成 $+1$ 价铟的黑色硫化物 (In_2S)。

In_2S_3 在空气中加热时被氧化, 因温度和气相中氧含量的不同而生成 In_2O_3 或 $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$, 反应方程式如下:



In_2S_3 和碱金属硫化物生成可溶的含硫酸盐, 例如 NaInS_2 。

其他微溶于水和弱酸溶液 (pH 值 = 2~3) 的铟化合物有砷酸铟、磷酸铟和碱式亚硫酸铟 $[\text{In}_2(\text{SO}_3)_3 \cdot 2\text{In}(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ 。

铟与磷、砷、锑等组成 A^{III} 、 B^{V} 型的金属间化合物, 所有这些化合物有闪锌矿型的晶格, 都是半导体。

三、铟的主要用途

1920 年以前, 铟还仅仅是一种在试验室使用的金属。1924 年, 全世界的铟总产量是 1.0kg, 直到 1926 年, 美国也仅制造了 8.0kg 铟。1927 年, 铟作为银制品的涂层在工业中首次获得应用。铟被广泛地应用于工业上是最近 30 年的事, 由于铟具有一系列重要的性质, 很快在高新技术产业中得到广泛应用。

(一) 加工成 ITO 薄膜材料

一般来说, 玻璃能透光, 但不导电, 而金属能导电, 却不能透光, 让相互矛盾的两个条件能够同时满足, 即既透光又导电的材料称作透明导电薄膜。由于铟锡氧化物薄膜 (简称 “ITO 膜”) 具有对可见光透明、导电性能良好的特点, 随着高新技术的发展, 其应用范围日益广泛。ITO 薄膜大体上可分为电学应用和光学应用两大类, 它的应用范围见表 1-1-8。

表 1-1-8 ITO 薄膜的应用范围

电学方面的应用		
透明电极	表面发热	防带电、静电和电磁波屏蔽
液晶显示、电致发光、电致彩色、等 离子体调光器件; 太阳能电池; 单晶 Si、非晶 Si; 光开关; 触摸板、摄像 器件	防雾防霜加热器; 汽车、火 车、电车、航天器、陈列窗、 照相机透镜、滑冰眼镜; 取暖 房间用的热辐射供暖器; 烹调 用的加热板	仪表指示窗 测量仪表窗 电子显微镜窗口 显像管的显示面 半导体器件包装 电器制品盒
光学方面的应用		
热屏蔽, 节能	选择性透光	
建筑物窗户 炉及烘烤箱的窥视窗口 照明灯外管: (a) 低压锅灯; (b) 白炽灯	太阳能集热器: (a) 平板式玻璃盖片; (b) 聚光 式外管	

电学应用方面: ITO 膜作为透明电极的应用最多, 如液晶显示 (LCD)、电致发光显示 (ELD)、电致彩色显示 (ECD) 等平面显示器件; 在太阳能电池、液晶或电致彩色调整光器件等方面也得到广泛应用。随着液晶显示器件的高等级化、彩色化、画面大

面积化的需要, ITO 膜正在朝着低电阻化、精细加工化、成膜温度低温化和成膜大面积化方向发展。

利用 ITO 膜通电后会产生热能的性质, 可将 ITO 膜用于汽车、飞机、火车等防雾防霜挡风玻璃的制造。

光学应用方面: ITO 膜的透光截止波长在 $2\mu\text{m}$ 附近, 因此太阳光谱的大部分光可以透过, 而对室温状态下低温辐射的红外线波段具有高反射特性。从太阳能的有效利用和节能等观点来看, ITO 膜可用于寒冷地区大型建筑高档低辐射隔热幕墙玻璃和温室窗户上透明隔热膜的制造。

制备 ITO 膜有多种方法, 目前国外主要采用直流磁控溅射法, 即在电场和交变的磁场作用下, 加速高能粒子轰击钢锡合金靶或钢锡氧化物靶表面进行能量交换, 使靶材表面原子溅出, 并转移到基片(玻璃或聚酯膜)表面成膜的方法。

目前, ITO 靶材应用产业处于发展成熟阶段, 是钢金属的重要消耗途径之一。

(二) 钢及其合金的应用

1. 晶体管

钢是制造锗晶体管和大功率锗整流器的重要材料。钢不仅是一种掺杂元素, 而且用于把引线与锗晶体管连接在一起。在点接触、表面势垒和扩散的合金结型锗晶体管中, 以 p-n-p 扩散合金结锗晶体管使用钢的量最大。制造这种 p-n-p 型锗晶体管时, 将 n 型锗单晶片的两面与钢球焊成合金。在合金冷却后, 锗在合金区再结晶成 p 型, 这样就形成 p-n-p 结。

2. 轴承合金

钢早期最主要的用途是作为制造高级轴承的原料, 纯度为 99.97%。早在第二次世界大战时期, 人们就开始在航空发动机、汽车发动机和齿轮发动机中广泛地使用钢作为高级轴承的防蚀镀层。在轴承材料中添加钢, 可提高强度和硬度, 增加耐腐蚀性, 用这种材料制造的轴承不容易被润滑油中的有机酸溶蚀, 且其疲劳性能不受影响。轴承表面镀一层薄钢, 能增加其湿润度, 使油膜更好地附着在轴承表面。镀了钢薄膜的轴承, 其使用寿命可延长 5 倍以上。

3. 焊料和玻璃熔接合金

钢和许多钢合金对不少金属和非金属都具有良好的润滑性能和焊接性能, 且熔点低, 因而含钢焊料得到广泛应用。

在生产电真空管和无线电电子管时, 用做金属和合金焊料的有: CuGaIn (85-10-5)、AgCuIn (65-30-5)、AgCuIn (63-27-10)、AgInCu (49-31-20)、AgPbIn (73-17-10)、CuAgIn (85-10-5) 及 CuIn 和 PbIn 等。含钢和锡各 50% 的合金能润湿玻璃, 可用于焊接玻璃与玻璃、玻璃与金属, 焊接密封性能良好。钢铝合金、钢锡合金具有抗碱腐蚀的能力, 常作为在碱腐蚀系统中使用的化工设备的焊接剂。钢镉合金可用做电器连接的焊料。

4. 低熔点合金

钢的熔点很低, 在某些合金中加入钢, 或使钢与某些金属熔合, 可制得熔点很低的易熔合金。如在伍德合金中, 每加 1% 的钢, 可使其熔点降低约 1.45°C , 加入 19.1% 的钢

时,其熔点为 47℃。含铟 24%和镓 76%的低共熔合金在 16℃时熔融,在室温时为液体。

5. 保护涂层

铟具有抗蚀性,对光的反射能力很强,铟与铜(或银)的合金涂层具有比铜(或银)高得多的硬度。这种涂层抛光后可达到很高的光洁度。涂上铟的反射镜,可用在军舰、轮船上,这种反射镜既能保持光亮,永不发暗,又耐海水侵蚀。

铟涂覆在金属或蒸发在玻璃上,会形成与涂银一样好的镜面,能较好地抵抗大气的腐蚀。

6. 电器仪表

金属铟与一些氧化物(如二氧化钛和钛酸钡)是非常好的低阻接点材料,用于制作压电元件。三硫化二铟的电阻系数大,在高温下其化学性能和导电性能都稳定,可用做热变电阻器材料。粉末氢化铟可制成功率较大的接点材料。高纯度金属铟可用于半导体电源整流器。铟还可作为电阻温度计材料和精密温度的标样材料。

7. 电光源

铟在低压钠灯的制造中,已取代了过去使用的金和氧化锡。在高卤灯中加入碘化铟,灯光亮如白昼,具有鲜明的白色,同一般水银灯比较,亮度要高出 50%。

8. 原子能工业

银铟镉(80-15-5)合金可代替铪作原子反应堆的控制棒。铟在慢中子作用下易激发,可用做原子反应堆的指示计材料,这种指示计用来测定中子流及其能量。铟对中子辐射敏感,可作为原子能工业生产中使用的监控剂量计材料。

9. 医疗

铟和金、银、钯、铜等金属形成的合金,可用于牙科医疗。在这些合金中加入了 0.5%~5%的铟,可增加合金的硬度,降低熔点和改善可铸性。在金补齿合金中添加铟能脱去合金中的氧,还可提高金补齿合金的拉伸强度、延展性和防止金褪色。铟的放射性同位素可用来早期发现某些肿瘤疾病。同位素 $^{111}_{49}\text{In}$ 和 $^{113}_{49}\text{In}$ 可用来诊断心脏病和心血管系统的病变情况。

10. 其他

在钢铁和有色金属器件上镀铟可起到防腐蚀的作用,其产品可用于各工业部门或作为装饰品。往塑料中加入铟,可使其金属化。这种加铟的塑料具有某些特殊的指定性能,如热稳定性、磁性、彩色照相性能、导电性、不燃性等。铟丝可用做热电偶、电流计和望远镜的网格材料。

(三) 铟化合物的应用

1. 磷化铟

磷化铟的电子迁移比硅大,禁带宽度比硅宽,具有激光作用,能产生微波振荡。目前,磷化铟已成为微波通讯向毫米波段发展的新型材料,同时也是光纤通讯新光源和新型异质结太阳能电池的重要材料。

2. 碲化铟

碲化铟能使红外线变成可见光,而其他材料则没有这种性能,用它制成的红外探测器在火箭技术、自动控制等方面有较广的前景。碲化铟可用来制作红外光电导探测器。

所谓光电导，就是当光照射到某些半导体材料表面时，能使材料的电导率增加。光磁电探测器目前常用的材料也是碲化铟。这种探测器的优点是不需要制冷或只需制冷到干冰温度，响应波长达 $0.5 \sim 7 \mu\text{m}$ ，不需要偏压；另外，它具有极低的内阻（小于 90Ω ），因而大大降低了元件的噪声。

3. 碲化铟

碲化铟具有电子迁移率高 ($2.41 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)、电子有效质量较小、禁带宽度窄 (0.36 eV)、磁阻效应低和电阻温度系数小等性质，其电阻率为 $4.34 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ，载流子浓度为 $5.96 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ ，因此可用在一些需要发生电磁效应和光电效应的特殊场合。碲化铟适于用来发展新的高速开关器件和霍耳器件，同时它也是多种滤光片、光导元件和陶瓷电阻的重要材料。碲化铟还可以用于发光二极管探测器，这种探测器在红光区 ($3 \sim 6 \mu\text{m}$) 具有良好的灵敏度。由于碲化铟有特殊异带结构，而且有电压控制式负阻效应，若加以高电场，则其体内形成高场畴，利用畴的运动可做高速逻辑器件。

第二节 铟矿物及提铟的主要原料

铟在地壳中的含量为 0.00001% （按质量）。铟单独存在的矿物极少，仅在不久前发现，主要矿物有：铜铟矿 CuInSn_2 、铟石 FeIn_2S_4 和氢氧铟石 $\text{In}(\text{OH})_3$ 。此外还发现了天然铟。据报道，世界上有经济价值的铟的储量可能超过 10000 吨，主要来源于秘鲁、玻利维亚、加拿大、中国、法国、比利时、英国和美国。

铟主要存在于闪锌矿、菱锌矿中，还存在于锡矿、方铅矿、黄铜矿、脆硫铅铋矿中，锌矿物中的铟含量稍高。

广西大厂矿区的多金属硫化矿含铟非常丰富，属于世界罕见。其中，含铟最高的矿物有：硫铅铋锡矿 $\text{Pb}_6\text{Sb}_2\text{Sn}_6\text{S}_2$ （含铟 $0.1\% \sim 1\%$ ）、辉铋锡铅矿 $\text{Pb}_5\text{Sb}_2\text{Sn}_2\text{S}_{12}$ （含铟 0.1% ）、黄锡矿 CuFeSnS_4 （含铟 0.1% ）。

铟在闪锌矿中的含量在 $0.0001\% \sim 0.1\%$ 范围。

在铁、锡含量高的闪锌矿床中，铟的含量也较高。

铟主要从锌、铅冶炼生产过程的各种中间物料中提取。近年，从精锡生产的中间物料中也可以综合回收铟。

第三节 铟冶炼工艺综述

一、铟冶炼的原料

原料的组成对生产工艺流程起决定性作用，不同的原料成分，不同的物相含量，所选择的工艺流程也会不同。另外，即使是相同的原料，所选择的工艺流程也会存在差