

JINSHU JI KUANGCHANPIN SHENJIAGONG

金属及 矿产品深加工

戴永年 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

云南省自然科学基金资助
昆明理工大学资助
真空冶金国家工程实验室资助

金属及矿产品深加工

戴永年 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2007

内 容 简 介

本书分为三篇共 32 章, 主要内容包括: 第一篇总论, 主要介绍了深加工材料的作用及其价值、现代高新技术对深加工材料的需求、深加工、新材料对高新技术产业发展的支撑等; 第二篇金属及矿产品深加工, 包括金属锂、铝、镁、钛、铜、钴、镍、硒、碲、铅、铋、锌、镉、铟、镓、锗、铊、铌、锡、锑、钨、铂族、金、银、稀土、钢铁及磷化工的资源、选冶、加工、应用等; 第三篇先进材料及器件。包括高新技术材料、硅材料、半导体材料、能源及环保材料、锂离子电池及材料、电动车、船等。

本书可供有色金属及相关部门的领导者、企业家、设计者、生产者、研究者以及该领域的师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

金属及矿产品深加工/戴永年主编. —北京: 冶金工业出版社, 2007. 1

ISBN 978-7-5024-4121-0

I. 金… II. 戴… III. ①金属加工 ②金属矿—加工 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 149684 号

出 版 人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 杨盈园 谭学余 美术编辑 李 心

责任校对 王贺兰 李文彦 责任印制 丁小晶

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2007 年 1 月第 1 版, 2007 年 1 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 39.5 印张; 955 千字; 607 页; 1-3000 册

118.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)



作者简介

戴永年, 1929年生, 云南通海人, 我国有色金属真空冶金学家。1951年云南大学矿冶系毕业留校任教, 1956年中南矿冶学院研究生班毕业, 同时在昆明理工大学(原昆明工学院)任教至今, 现为教授、博士生导师、有色金属真空冶金研究所所长、中国工程院院士。长期从事锡冶金和有色金属材料的真空冶金的教学和科研工作, 先后完成了30余项科研课题, 发表论文百余篇, 合著、主编了《有色金属材料的真空冶金》、《真空冶金》、《锡冶金》、《有色金属真空冶金》等著作。获得国家和省部级的各种奖励29项, 其中国家级奖3项、云南省科学技术突出贡献奖1项、中国真空学会“94'科技成就奖(HAYASHI AWARD)”一项。获发明专利和实用新型专利14项。荣获“全国五一劳动奖章”、全国“高校先进科技工作者”、“云南省劳动模范”、“云南省有突出贡献优秀科技人才”等荣誉称号。

序 言

我国多种有色金属产量已居全球之首，但随着时代的发展，在环境保护、能源消耗、资源循环利用、废弃物回收、二次资源利用、可持续性发展等方面与世界先进水平和我国发展的目标相比，还差相当的距离，我国已由过去的“地大物博”变为现在的许多资源不足，需要大量进口。这些问题在过去都不突出，甚至不成问题，可今天已成为我国发展中迫切需要解决的问题。同时，各地区矿产品加工程度不平衡，对产品深加工程度的认识存在差异，存在大量销售矿石和粗加工产品、精加工产品少等情况，这些问题都需要解决，要把发展模式由资源型逐步转变为技术型。国际上每种矿料的加工深度在迅速发展，高性能材料的产生显现出对人类的巨大作用，推动着人类生产、生活水平的不断提高。这种趋势要求我们必须重视金属及矿产品的深加工，并且能迅速达到世界前沿生产技术水平。

本书作者对这些问题做了长时期的观察，在许多地方进行过实地考察。根据他们对有色冶金及材料工业的长期研究，联系国际的发展情况论述上述问题，使本书有一定的参考价值，对我国有色金属工业的研究、规划、设计、建设、改造及发展起着参考作用。本书内容有三篇，第一篇为总论，主要包括深加工材料的作用及其价值、现代高新技术对深加工材料的需求、深加工、新材料对高新技术产业发展的支撑等；第二篇为金属及矿产品深加工，包括金属锂、铝、镁、钛、铜、镍、钴、硒、碲、铅、铋、锌、镉、铟、镓、锗、铊、锶、锡、锑、铂族、金、银、稀土、钢铁及磷化工的资源、选冶、加工、应用等。第三篇为先进材料及器件，包括高新技术材料、硅材料、半导体材料、能源及环保材料、锂离子电池及材料、电动车、船等。

过去未见到类似的书籍，本书自然成为“抛砖引玉”之作，它将成为有色金属及相关部门的领导者、企业家、设计者、生产者、研究者以及该领域的教师学生的参考读物。期待本书能有利于推动我国金属及矿产品向更高水平发展，既有利于现代，也有利于造福于后代。

本书力图集中各有关方面的学者，就他们的研究领域论述所得进行探讨，

故邀请了昆明理工大学、昆明贵金属研究所以及西南林学院的一些教授、专家就各自所长分工撰稿。各章节的作者是：戴永年、李伟宏、谢刚、伍继君、雷金辉、何蔼平、杨部正、魏昶、刘永成、陈为亮、刘大春、韩龙、周里一、姚顺忠、朱云、张昆华、徐宝强、谢蕴国、江映翔、朱浩东、杨斌、马文会、代建清、王华、姚耀春、姚发权。

书中各产品的价格数据，由于市场变化很快，故仅能说明其相对价值，而不能作为其现实的市场价格。还有许多深加工产品，很难得到其价格数据，它们中有的可能是高价值产品，这也只能由读者根据经验去估计了。

本书为云南省科技厅支持的自行选题的研究项目，我们选定了“金属及矿产品深加工”这个题目，希望能对金属工业发展有所裨益。本书还得到许多专家、公司领导的支持，在此一并向他们致以诚挚的感谢和深深的敬意。

书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2006年12月

目 录

第一篇 总 论

1 概述	3
2 深加工材料的作用及其价值	4
2.1 硅产品	4
2.2 铜产品	5
2.3 锡产品	5
2.4 铝产品	6
2.5 钛产品	6
2.6 锗产品	7
2.7 铟产品	7
2.8 其他	8
3 现代高新技术对深加工材料的需求	9
4 深加工新材料生产的应用及发展方向	11
4.1 硅材料产业	11
4.2 太阳能电池产业	12
4.3 发光二极管 (LED) 照明产业	12
4.4 半导体材料产业	13
4.5 电动车、船产业	14
4.6 高能蓄电池产业	15
4.7 其他产业	16
参考文献	17

第二篇 金属及矿产品深加工

1 锂	21
1.1 概述	21
1.2 锂的物理化学性质	21
1.3 锂的资源状况	22
1.3.1 国外资源状况	23
1.3.2 国内资源状况	25

1.4 金属锂的用途及其发展趋势	26
1.4.1 冶金工业	26
1.4.2 硅酸盐及化学工业	27
1.4.3 锂电池	27
1.4.4 核工业及军用领域	27
1.4.5 其他	28
1.5 锂的产量、价格、消费量及其发展趋势	28
1.5.1 锂的主要产地及其产量	28
1.5.2 锂产品价格及其消费量	29
1.6 锂的选矿及金属锂的生产	30
1.6.1 锂的选矿	30
1.6.2 锂的提取	31
1.6.3 金属锂的精炼	35
1.7 目前中国锂工业的发展现状	35
1.7.1 金属锂主要生产厂家及现状	35
1.7.2 其他锂产品生产厂家及现状	37
1.8 锂的深加工及发展趋势	37
1.8.1 锂材	37
1.8.2 锂合金	38
1.8.3 锂化合物	40
1.9 云南省发展锂工业的必要性、优势及可行性	40
参考文献	41
2 铝	43
2.1 铝冶金状况	43
2.1.1 金属铝的性质及应用	43
2.1.2 铝冶金资源	44
2.1.3 冶炼工艺现状	44
2.1.4 金属铝深加工现状及发展	45
2.2 铝合金生产	49
2.2.1 概述	49
2.2.2 铝-硅合金	50
2.2.3 铝锂合金	51
2.2.4 Al-RE 合金	53
参考文献	58
3 镁	59
3.1 概述	59
3.2 镁的冶炼方法	59

3.2.1 电解法炼镁	59
3.2.2 热还原法炼镁	60
3.2.3 镁的精炼	63
3.3 镁矿石及其资源	63
3.3.1 世界镁资源	63
3.3.2 中国镁工业状况及发展方向	64
3.4 镁的生产、消费与价格	65
3.4.1 镁的生产	65
3.4.2 镁的消费与价格	66
3.5 镁的用途	66
3.5.1 镁合金在军事工业的应用	67
3.5.2 镁合金在汽车工业的应用	67
3.5.3 镁的其他应用	68
3.6 镁产品的深加工	68
3.6.1 镁锭	68
3.6.2 镁粉	68
3.6.3 镁合金	70
3.6.4 镁牺牲阳极	74
3.6.5 镁合金表面处理	76
3.6.6 镁合金新材料的发展方向	77
3.7 镁的市场及中国镁竞争力	77
3.7.1 国内外镁市场需求分析	77
3.7.2 中国镁应用水平现实分析	79
3.7.3 中国镁竞争力的分析	79
3.7.4 当前制约中国镁工业发展的突出问题	80
参考文献	81
4 钛	83
4.1 概述	83
4.2 钛的物理化学性质	83
4.3 钛的资源状况	84
4.3.1 钛的矿物	84
4.3.2 钛资源储量情况	85
4.4 钛的生产状况	85
4.4.1 全球钛原料的生产、供应	85
4.4.2 钛白粉和海绵钛工业分析	86
4.5 钛的消费结构	87
4.5.1 钛白粉消耗	87
4.5.2 钛原料在钛白、海绵钛及其他领域的消耗分配	88

4.6 钛的价格走势	88
4.6.1 钛原料的价格状况	88
4.7 钛冶炼生产工艺	90
4.7.1 Kroll 法	90
4.7.2 工艺新动向	90
4.8 钛的再生资源及回收	91
4.9 钛的深加工	91
4.10 钛的发展	92
4.10.1 中国钛工业的发展	92
4.10.2 对钛发展的建议	92
参考文献	93
5 铜	94
5.1 概述	94
5.2 铜的资源状况	94
5.3 铜的生产状况	95
5.4 铜的用途及消费结构	97
5.4.1 铜的用途	97
5.4.2 铜的消费结构	98
5.5 铜的价格走势	99
5.6 中国铜冶炼工艺	101
5.6.1 火法冶炼	101
5.6.2 湿法炼铜	102
5.7 铜的再生资源及回收	103
5.8 铜的深加工	104
5.8.1 铜的深加工概况	104
5.8.2 铜深加工产品需求情况	105
5.8.3 中国铜材加工的主要厂家	108
5.8.4 中国急需发展的铜深加工产品	108
5.9 关于云南铜的深加工发展的建议	110
参考文献	114
6 镍和钴	115
6.1 概述	115
6.2 镍	115
6.2.1 镍的资源状况	115
6.2.2 镍的生产状况	116
6.3 钴	127
6.3.1 钴的资源状况	127

6.3.2 钴的生产状况	128
6.3.3 钴的消费状况和钴的市场	129
6.3.4 钴的深加工发展趋势	130
6.3.5 对钴深加工发展的建议	131
参考文献	131
7 硒和碲	133
7.1 概述	133
7.1.1 硒、碲原子的电子亲和能	134
7.1.2 硒、碲的电离势	134
7.2 硒和碲的国内外资源	135
7.3 硒、碲的制取与提纯	136
7.3.1 硫酸化焙烧回收硒和碲	136
7.3.2 苏打熔炼法回收硒、碲	136
7.3.3 硒、碲的提纯工艺	137
7.4 硒和碲的应用与发展	140
参考文献	141
8 铅	142
8.1 铅资源	142
8.1.1 铅资源储量情况及其分布	142
8.1.2 国内铅资源	143
8.1.3 有关铅资源可持续发展的建议	146
8.2 铅的生产、消费及其市场预测	147
8.2.1 国外铅生产、消费和价格统计	147
8.2.2 中国铅的生产与消费	150
8.2.3 未来铅市场预测	151
8.3 国内外铅工业概况及发展趋势	151
8.3.1 国内外铅矿的开采	151
8.3.2 中国铅矿的选矿工艺	152
8.3.3 铅的生产方法介绍	153
8.3.4 对传统工艺的反思	155
8.3.5 湿法炼铅工艺	156
8.4 再生铅的生产	156
8.4.1 国外再生铅回收利用现状	157
8.4.2 中国再生铅生产与国外的差距	157
8.5 铅及铅制品深加工和发展方向	158
8.5.1 铅基合金	158
8.5.2 铅蓄电池合金产品	159

8.5.3 铅的化工产品	161
8.5.4 铅深加工的发展方向	161
8.6 中国铅工业的未来	161
8.6.1 新形势下中国铅工业的发展	161
8.6.2 中国铅工业发展面临的问题与发展前景	161
参考文献	162
9 铋	164
9.1 概述	164
9.1.1 铋的物理性质	164
9.1.2 铋的化学性质	164
9.2 国内资源状况	165
9.3 铋的生产方法	165
9.3.1 粗炼	165
9.3.2 精炼	166
9.4 铋的应用及发展趋势	166
9.4.1 冶金添加剂	166
9.4.2 铋基低熔点易熔合金	166
9.4.3 医药治疗	166
9.4.4 铋在阻燃剂方面的应用	167
9.4.5 铋在化工中的应用	167
9.4.6 电子陶瓷	167
9.4.7 半导体	167
9.4.8 核工业	167
9.5 铋的应用前景及发展方向	167
9.6 对云南省铋深加工发展的建议	168
参考文献	169
10 锌	170
10.1 概述	170
10.1.1 锌的性质及其化合物	170
10.1.2 锌的用途、消费、产量及价格	172
10.1.3 锌的资源及炼锌原料	174
10.1.4 锌的冶炼方法	175
10.1.5 中国锌的主要生产企业	176
10.1.6 中国锌冶炼工业现状及存在的问题	177
10.2 金属锌的深加工及高附加值锌产品的延伸	179
10.2.1 锌基合金	179
10.2.2 锌材深加工	186

10.2.3	锌粉	186
10.2.4	铜金粉	190
10.2.5	锌的化工产品	191
10.2.6	对锌深加工发展的建议	203
	参考文献	203
11	镉	205
11.1	概述	205
11.1.1	镉的性质	205
11.1.2	镉的用途、生产与消费	206
11.2	金属镉的生产	208
11.2.1	从铜镉渣中回收镉	208
11.2.2	从高镉锌(锌镉合金)中提取镉	210
11.2.3	从锌焙烧烟尘中提取镉	210
11.2.4	从镍镉电池厂的废料中提取镉	210
11.3	高附加值镉产品的延伸	211
11.3.1	电池材料	212
11.3.2	电子材料	215
11.4	对镉深加工发展的建议	217
	参考文献	217
12	铟	218
12.1	铟的性质、用途及市场	218
12.1.1	铟的性质及用途	218
12.1.2	铟的市场及价格	220
12.2	铟的资源	220
12.3	铟的生产方法	222
12.3.1	置换法提铟	222
12.3.2	硫酸化提铟法	222
12.3.3	电解铟法	223
12.3.4	萃取铟法	224
12.3.5	离子交换提铟法	224
12.3.6	火法冶金中有效提铟法	225
12.4	铟的深加工产品	225
12.4.1	高纯铟的生产方法	226
12.4.2	有机铟的生产方法	226
12.4.3	ITO产品的生产方法	227
12.5	云南省铟产业的现状及发展建议	228
	参考文献	230

13 镓	231
13.1 概述	231
13.2 镓的性质	231
13.2.1 镓的物理性质	231
13.2.2 镓的化学性质	232
13.3 镓的矿物资源	232
13.3.1 镓的矿床	232
13.3.2 镓矿床的工业评价	232
13.3.3 镓的原料	233
13.4 镓的提取方法	233
13.4.1 从铝冶炼的物料中富集提镓	233
13.4.2 从锌工业废渣中回收镓	234
13.4.3 从煤气厂烟尘中提取镓	235
13.5 镓的生产现状	235
13.5.1 原镓的生产	235
13.5.2 再生镓	236
13.6 镓的市场需求状况	236
13.7 镓的价格和价格趋势	236
13.8 镓的应用领域及发展前景	237
13.8.1 电子工业	237
13.8.2 低熔点合金	237
13.8.3 冷焊剂	237
13.8.4 氮化镓 (GaN)	237
13.8.5 砷化镓 (GaAs) 太阳能电池	237
13.9 镓的发展前景及建议	238
参考文献	238
14 锗	240
14.1 概述	240
14.2 锗的资源及生产概况	240
14.2.1 锗的资源	240
14.2.2 锗金属的生产现状及发展趋势	241
14.3 锗的应用领域及发展前景	242
14.3.1 锗的应用领域	242
14.3.2 锗的供应和消费状况	245
14.3.3 锗的价格、关税与市场	247
14.4 国内外锗深加工的现状与发展动向	247
14.4.1 锗单晶的制备	248

14.4.2	超高纯锆单晶的制备	248
14.4.3	重掺杂锆单晶的制备	248
14.4.4	锆合金的制备	248
14.4.5	高纯四氯化锆的制备	248
14.4.6	几种有机锆的制备	248
14.5	关于云南拓展锆深加工途径及措施的建议	249
	参考文献	250
15	铊	251
15.1	概述	251
15.1.1	铊的物理性质和化学性质	251
15.1.2	铊的主要化合物	251
15.1.3	铊的毒性	252
15.2	铊的资源概况	252
15.2.1	铊的世界资源	252
15.2.2	中国铊矿物资源	256
15.3	铊的生产状况	256
15.3.1	铊矿湿法提取高纯铊	256
15.3.2	酸浸出法	257
15.3.3	水浸出法	257
15.3.4	酸浸-萃取法	258
15.3.5	酸浸-氯化沉铊法	259
15.3.6	酸浸-铬盐沉淀法	259
15.3.7	碱浸-硫化沉铊法	259
15.3.8	离子交换法	260
15.3.9	电解提铊法	260
15.3.10	选冶联合法	261
15.4	铊的应用及发展前景	261
15.4.1	铊的应用	261
15.4.2	铊的应用前景	263
15.5	对云南省今后铊的深加工的建议	263
15.5.1	云南省铊生产的必要性和紧迫性	263
15.5.2	铊产品生产的建议	263
	参考文献	264
16	铟	266
16.1	铟资源	266
16.1.1	世界铟资源分布	266
16.1.2	中国铟资源分布	267

16.1.3 云南省锶资源	267
16.2 锶的生产、用途及市场	267
16.2.1 锶的生产	267
16.2.2 锶的用途	268
16.2.3 锶的市场	269
16.3 锶加工技术	269
16.3.1 碳酸锶加工技术	269
16.3.2 高纯碳酸锶加工技术	271
16.3.3 钛酸锶加工技术	272
16.4 金属锶的制备工艺研究现状	273
16.4.1 真空热还原法	273
16.4.2 熔盐电解法	274
16.4.3 “熔-浸”热还原法	274
16.4.4 真空热还原法、熔盐电解法、“熔-浸”热还原法的优缺点比较	274
16.5 锶合金的研究现状	275
16.5.1 Al-Sr 合金	275
16.5.2 Sr-Si 合金	276
16.5.3 其他锶合金	276
16.6 锶合金相图及热力学研究进展	276
16.7 金属锶及其合金的应用现状	277
16.8 锶发展趋势与云南锶工业发展方向建议	277
参考文献	278
17 锡	281
17.1 锡资源	281
17.1.1 国外锡资源及其分布	282
17.1.2 国内锡资源	282
17.2 锡的生产、消费及其市场预测	284
17.2.1 国外锡生产、消费和价格统计	284
17.2.2 国内的锡生产、消费	285
17.2.3 国内外市场需求情况和预测	286
17.3 国内外锡工业概况及发展趋势	287
17.3.1 国内外锡矿的开采	287
17.3.2 中国锡矿的选矿工艺	288
17.3.3 锡的冶炼工艺和生产实践	288
17.4 锡及锡制品深加工和发展方向	289
17.4.1 中国锡及锡制品深加工产品	289
17.4.2 中国锡深加工产品与国外先进产品的差距	296
17.5 国内外废杂锡资源的回收与利用	297

17.5.1 国外再生锡回收利用现状·····	297
17.5.2 国内再生锡回收的发展前景·····	297
17.6 中国锡工业的未来——问题与对策·····	297
17.6.1 中国加入 WTO 对中国锡工业的影响·····	297
17.6.2 中国锡工业发展面临的问题与对策·····	298
17.7 中国锡工业的科技发展展望·····	299
参考文献·····	300
18 铈 ·····	301
18.1 铈资源·····	301
18.1.1 国外铈资源及其分布·····	301
18.1.2 国内铈资源·····	302
18.2 铈的生产、消费及其市场预测·····	303
18.2.1 国外铈生产、消费和价格统计·····	303
18.2.2 国内的铈生产、消费·····	304
18.2.3 国内外市场需求情况和预测·····	304
18.3 国内外铈工业概况及发展趋势·····	306
18.3.1 国内外铈矿矿床·····	306
18.3.2 中国铈矿的选矿工艺·····	306
18.3.3 铈的冶炼工艺和生产实践·····	306
18.3.4 铈品深加工和发展方向·····	307
18.3.5 国内外废杂铈资源的回收与利用·····	312
18.4 中国铈工业的未来——问题与对策·····	313
18.4.1 中国加入 WTO 对国内铈工业的影响·····	313
18.4.2 中国铈工业发展面临的问题与对策·····	313
18.5 中国铈工业的可持续发展战略·····	315
参考文献·····	315
19 铂族、金银 ·····	316
19.1 贵金属的特点·····	316
19.2 贵金属的资源状况·····	317
19.2.1 铂族金属资源状况·····	317
19.2.2 金资源状况·····	318
19.2.3 银资源状况·····	318
19.3 贵金属的生产·····	319
19.3.1 矿产铂族金属的生产·····	319
19.3.2 矿产金的生产·····	320
19.3.3 矿产银的生产·····	321
19.4 贵金属二次资源及回收·····	323