

镓矿资源需求趋势分析与中国镓产业发展思考

赵汀^{1,2)}, 秦鹏珍³⁾, 王安建^{1,2)}, 王高尚^{1,2)},
李建武^{1,2)}, 刘超^{1,2)}, 刘毅飞³⁾

1)中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心, 北京 100037;

2)中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 3)中国地质大学(北京), 北京 100083

摘要: 镓是一种伴生矿, 主要与铝、锌、锗的矿物伴生, 没有独立的矿床, 我国金属镓资源储量丰富。作为重要的半导体材料, 镓广泛地应用于无线电通讯、光纤通信、汽车雷达、LED照明、太阳能电池等领域, 且金属镓所有用途几乎都和当前现代科技发展及低碳经济、绿色能源和环境保护相关。随着镓消费量的不断增长以及镓应用领域的拓展, 金属镓的重要性已经被越来越多的国家注意。本文采用部门分析法分别预测镓在砷化镓、LED、薄膜太阳能领域的应用, 预测出全球2020年镓金属需求约410~430 t, 并对中国镓产业发展面临的问题进行分析, 提出增强下游镓产品竞争力、保护镓金属产能的政策建议。

关键词: 镓砷化; 镓氮化; 镓太阳能; 铝土矿

中图分类号: P618.74; P578.965 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2017.01.12

An Analysis of Gallium Ore Resources Demand Trend and the Thinking concerning China's Gallium Industry Development

ZHAO Ting^{1,2)}, QIN Peng-zhen³⁾, WANG An-jian^{1,2)}, WANG Gao-shang^{1,2)},
LI Jian-wu^{1,2)}, LIU Chao^{1,2)}, LIU Yi-fei³⁾

1) *Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;*

2) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;*

3) *China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083*

Abstract: Gallium is a kind of associated mineral, which is associated with aluminum, zinc and germanium, with no independent deposit. Gallium resources are abundant in China. As an important semiconductor material, gallium is widely used in radio communication, optical fiber communications, automotive radar, LED lighting, solar cells, and some other fields. Almost all gallium products are related to the current development of modern science and technology as well as to low carbon economy, green energy and environmental protection. With the growing of the gallium consumption and gallium application fields, the importance of gallium has aroused more and more attention in many countries. The authors made use of the sector analysis to predict global gallium metal demand in 2020, which is about 410~430 t. The problem of gallium industry in China was analyzed, and suggestions for increasing downstream gallium product competitiveness and protecting gallium metal production were proposed.

Key words: gallium; arsenide gallium; gallium nitride; solar; bauxite

镓(Ga)在地壳中的含量仅为0.0015%, 是典型的稀有分散金属, 镓不单独形成矿物, 通常以类质同象的方式进入其它矿物中, 由于 Ga^{3+} 、 Al^{3+} 、 Cr^{3+} 和 Fe^{3+} 的离子半径相接近, 且价数相同, 所以镓多

出现在铝土矿、铅锌矿中, 自然界中的镓矿物主要有硫镓铜矿($CuGaS_2$)和硫铜镓矿($(Cu, Fe, Zn)GaS_4$), 但无矿床形成; 含镓矿物中, 铝土矿含镓为0.002%~0.02%, 闪锌矿含镓0.01%~0.02%, 锗石矿

本文由科技部国家国际科技合作专项项目“矿产资源需求预测和可供性分析技术研究”(编号: 2014DFG22170)和中国地质调查局地质大调查项目(编号: 12120113079500; 1212011220807)联合资助。

收稿日期: 2016-03-01; 改回日期: 2016-04-20。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 赵汀, 男, 1975年生。博士。长期从事矿产资源研究工作。E-mail: 771899460@qq.com。

中镓含量最高,约 0.1%~0.8%。另外,在煤中也含有镓,且储量丰富。

镓只能在生产主金属的同时,作为副产品综合回收,目前工业上的镓主要以副产品的形式从铝土矿生产氧化铝时的铝酸钠循环液中以及闪锌矿湿法炼锌时的粗锌蒸馏残渣中提取,少量从某些粉煤灰中回收。在氧化铝生产过程中,原料中 80%~85%的镓富集于循环母液中,少数进入赤泥中,且提镓方法不复杂,生产成本低,因此目前全球 90%的镓作为炼铝工业的副产物而产生,我国是氧化铝生产大国,且镓资源储量丰富,因此镓生产在我国铝工业中占有举足轻重的地位,中国是全球镓生产大国之一。

镓的用途广泛,砷化镓、氮化镓作为重要的半导体材料,大量被用来制造集成电路和光电设备(激光二极管、发光二极管、光电探测器和砷化镓太阳能电池)(单麟天,1992)。铜钢镓硒 CIGS(含 Cu10%,In28%,Ga10%,Se52%)薄膜太阳能电池作为第三代太阳能电池,具有生产、安装、使用成本低,光电转换率高的优势,因而在众多太阳能电池产品中发展最快,发展潜力巨大,其消耗镓的用量也在不断增加。在供应端,全球原生镓产量每年约 300 t 左右,且金属镓回收产业已有一定发展,每年再生镓回收量约占镓总消费的 40%~50%。随着镓消费量的不断增长以及镓应用领域的拓展,金属镓的重要性已经被越来越多的国家注意。2011 年,我国将镓列为战略储备金属,计划在适当的时候对镓进行战略储备,美国、日本数年前已经将金属镓定位为“战略资源”,欧盟则将镓列入了“紧缺名单”。

对镓金属供需的研究,国内多数学者集中在对

镓资源分布、镓生产技术、镓生产现状和历史、以及镓应用领域的阐述分析上。张云峰等(2014)对全球镓资源分布及其应用现状做了简要叙述,赵秦生(2001)对镓的市场及价格做了叙述,佟丽红(2002)、王顺昌(2011)对镓市场及供需现状做了阐述,并对我国镓资源开发利用提出了对策建议,苏毅等(2003a, b)对镓的生产工艺及进展进行了研究。目前的研究,缺乏对未来全球镓金属需求趋势的预测。本文将通过预测全球镓金属需求趋势,得出未来镓金属的需求量,并对中国镓产业发展进行分析并提出规划建议。

1 全球镓矿资源概况

目前公布的镓的世界总储量约为 23 万吨,我国的镓金属储量居世界首位(图 1),约占世界储量的 80%~85%,国外金属镓的储量约为 4~5 万吨,其中美国镓储量为 0.45 万吨,南美洲镓储量 1.14 万吨,非洲为 5.39 万吨,欧洲 1.95 万吨(周令治和陈少纯,2008)。截止 2014 年,我国镓基础储量为 32.67 万吨,2010 年在内蒙古准格尔发现的与煤伴生的超大型镓矿,探明储量 85.7 万吨,远景储量 310 万吨(张云峰等,2014)。

据估计全球镓的远景储量超过 100 万吨,其中铝土矿中含镓最高(周令治和陈少纯,2008),其次锌矿中还有一定储量的镓资源。虽然全球镓资源相对较多,但按目前的技术水平,可经济回收的数量仅仅是其储量的一小部分,目前能从中开发回收的镓资源量很少,在全球所有铝矿生产厂家中,只有 1/3 的铝厂回收镓。

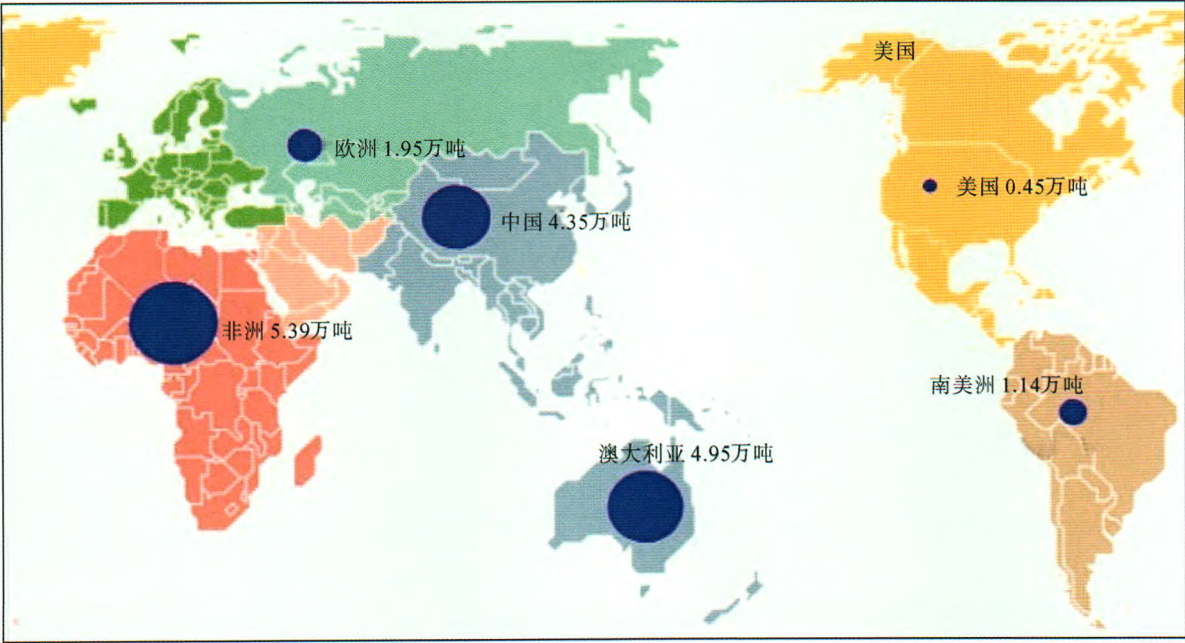


图1 全球镓储量分布图数据
Fig. 1 The distribution of major reserves in the world

表 1 2009—2013 年全球对镓的消费量
Table 1 Global consumption of gallium from 2009 to 2013

年份	全球精炼镓产量/t	全球粗镓产量/t	中国原生镓产量/t	全球镓消费量/t	中国镓消费量/t	镓消费中回收镓的占比
2009	118	79	26.7	222	12	45%
2010	161	182	26.2	280	18	50%
2011	310	292	200	218	20~30	50%
2012	354	383	200	234	40	40%~45%
2013	200	350	300	280	40	40%~45%

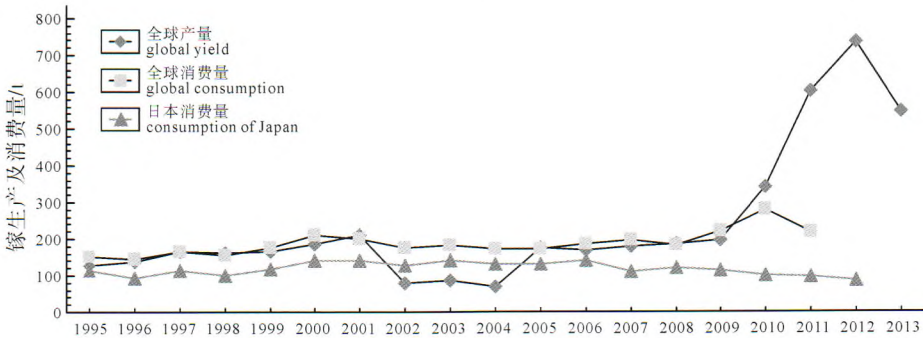


图2 全球镓生产消费及日本消费量(数据来源: Jewell and Kimball, 2015)
Fig. 2 Global production and consumption of gallium and the gallium consumption in Japan
(dada source: Jewell and Kimball, 2015)

2 镓资源的供需现状

2.1 供应分析

目前生产的镓主要有原生镓和再生镓。世界上原生镓产量每年约 200 t 左右,中国是主要的原生镓供应国,占原生镓总产量的 75%左右。2005 年美、日、德开始研究再生镓,目前全球镓回收产业已有一定发展,再生镓产量占全球总消耗量占比不断增加,且再生镓对原生粗镓的替代性较好。主要的镓回收国家有加拿大、德国、日本、英国、美国,我国的镓废料回收也有一定发展。

按产品品质市场上镓产品分为精炼镓和粗镓两大类,2014 年全球精镓的产量约为 170 t(精镓主要是制备砷化镓、氮化镓、磷化镓的原料),镓为 440 t (Jewell and Kimball, 2015)。

2.2 全球镓消费历史

自 40 年代镓开始其商业性应用,50 年代末期,世界镓的年消费量还不到 100 kg,进入 60 年代后,随半导体工业的迅猛发展,镓的用量迅速增加,之后由于电子及信息工业继续持续发展,加上镓的用途不断扩大,自 80 年代初开始,世界镓的需求量始终保持每年递增 15%~20%。1985 年世界镓的消费量达到了约 22 t,1997 年增至 160 t 以上,2000 年全球镓消费量约 191 t(王顺昌, 2011)。2004—2013 年,全球镓的消费量总体上呈现一个缓慢增长的趋势,年均增长 10 t,年均增速为 5%左右。2013 年全球镓消费量约为 280 t(表 1)。日本、美国、欧洲是目前世界上镓消费的主要国家和地区,其

中日本、美国两个国家消耗镓量占全球镓消耗的 80%(图 2)。

2.3 镓消费区域分布与消费结构

日本由于半导体工业发达,在过去若干年中,一直是世界上金属镓消费量最大的国家。2013 年日本消耗镓 97 t。日本所消费的镓主要依靠进口和从废料中回收(王顺昌, 2011),目前日本的镓回收技术先进,其再生镓的产量占日本镓供应总量的 55%(陆挺等, 2014)。

美国是继日本之后的第二大镓消费国(图 3),2015 年,美国消费镓 34 t,其中 64%用于集成电路。除以上两大镓消费国外,欧洲、韩国和中国也消耗一定的镓(Jewell and Kimball, 2015)。

自 2005 年以来,镓的消费领域发生了很大的变化(图 4),目前镓的主要消费领域为半导体行业,砷化镓作为重要的半导体元件,占全球镓消费量的 80%,用于制造集成电路等电子、光电子器件。作为镓的第二大消费领域,氮化镓是制备 LED 和雷达的重要材料,占全球镓消费量的 7%。铜铟镓硒太阳能薄膜电池作为镓的新用途,约占全球镓消费的 5%。其他消费应用占剩余的 8%,用于合金、医疗器械、磁性材料等领域(Jaskula, 2013)。

砷化镓主要用于制作无线通讯(卫星通讯、移动通信)、光纤通讯、汽车电子等用的微波器件。砷化镓在无线通讯方面的使用量约占砷化镓总量的 80%以上,手机作为无线通讯的主要器材,为砷化镓在无线通讯领域的应用有突出贡献。其次是在车载雷达及军事领域的应用。

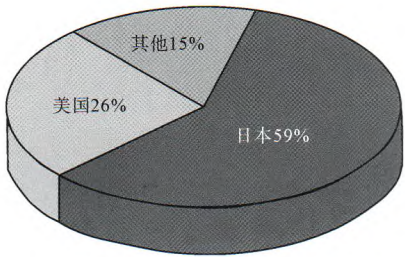


图3 镓消耗国家分布图
Fig. 3 The world's major consuming countries

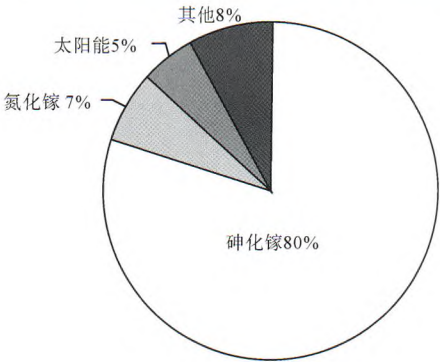


图4 镓消费结构分布图
Fig. 4 The main application fields of gallium

砷化镓在手机中充当 PA(发射端的功率放大器)、LNA(接收端的低噪声放大器和高速开关)等功能。汽车高悬尾灯为高亮度 LED，且其防撞装置用雷达的电子部件亦是由砷化镓器件构成，未来随着技术的成熟、成本的降低，汽车防撞雷达将由豪华轿车向产量大的中、低档轿车发展，一旦 GaAs 器件进入量产的汽车领域，汽车领域对 GaAs 的消费前景不可限量(万群, 1999; 郑畅, 2015)。

军事应用是 GaAs 材料的传统领域。砷化镓在军事方面的应用主要是砷化镓在雷达、电子战争、通信等方面的应用，其中雷达应用占军事应用的比例约 60%。

LED(发光二极管)是利用半导体材料的特性将电能转化为光能的固体发光器件。LED 芯片衬底和外延的镓化合物不同，所发出的光色彩不同，外延为 AlGaAs 材料的 LED 芯片主要发红、橙、黄光，外延为 GaN 材料的 LED 芯片主要发蓝、绿、紫光，高亮度白光 LED 主要由蓝光 LED 覆盖黄色荧光粉树脂层制成，或者根据三基色的原理由红绿蓝 LED 制成(万群, 1999; 马天翼, 2010)。LED 应用领域广泛，未来主要的两大应用领域为大屏幕液晶背光源市场和照明市场。

2.4 镓价格历史

1999—2000 年，由于 GaAs 系电子器件发展，金属镓供不应求，金属镓价格开始上涨，到 2001 年达到峰值 640 美元/kg。之后，2001—2013 年，金属镓的价格保持在 400~700 美元/kg，呈周期性起伏，万方数据

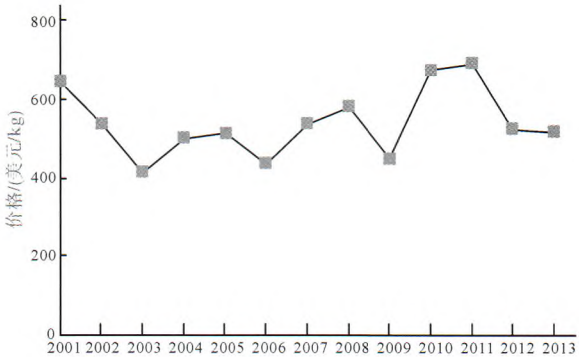


图5 2001—2013年全球金属镓价格曲线
Fig. 5 The price of gallium form 2001 to 2013

2011 年达到高价格 688 美元/kg，由于中国等国的氧化铝厂大量供应金属镓，技术进步降低生产成本，金属镓市场价格自 2011 年 5 月起开始逐年下跌，2013 年达到低谷，价格仅为 511 美元/kg。2014 年价格继续暴跌，为 200~300 美元/kg(图 5)。

3 镓矿资源需求趋势分析

镓的消费领域主要是砷化镓单晶和 LED 镀膜，现阶段这两部分的应用占到金属镓消费量的 85%(泛亚有色金属交易所, 2013, 2014)。未来，LED 照明是趋势，4G 智能手机市场前景广阔；且砷化镓、氮化镓单晶在卫星通讯系统和车载雷达的潜在市场巨大；太阳能工业方面，在未来几年中，铜铟镓硒薄膜太阳能应用可能会越来越广泛，是镓消耗未来的主要增长点，未来金属镓的需求潜力不可忽视。

本文采用部门分析法分别分析镓在砷化镓、LED、薄膜太阳能领域的应用，预测在 2020 年需求量，进而获得镓在 2020 年的总需求量。

3.1 砷化镓

手机作为无线通讯的主要器材，是砷化镓消费的主要领域。2013 年手机 GaAs 消耗量占 GaAs 设备总消费的比例超过 50%(Jaskula, 2013)。未来手机消耗 GaAs 仍将不断增加。

未来智能手机带动金属镓的需求增长表现在两方面。一方面，在于智能手机的升级换代将带动单个手机砷化镓元件的增长，另一方面，在于智能手机数量的增加。智能手机占全球手机销售总数的百分比将不断增加(郑畅, 2015)。2011 年，全球手机出货量约为 16 亿部，其中智能手机约为 4.5 亿部，2013 年全球手机出货量约为 18.2 亿部，智能手机销售量约 10 亿部，预计到 2015 年，全球手机出货量将达 19 亿部，其中智能手机将达到 15 亿部。

Ovum 公司预测全球手机总销量在 2014—2020 年间预计将从 18.8 亿部增长到 21.6 亿部，复合年增长率为 2.4%。到 2020 年，全球手机总销量约

21.5 亿部, 智能手机将占全球手机销量的 95%, 即 20.5 亿部, 将首次超过 20 亿销量。经估算一只手机消耗镓约 0.07 g, 则到 2020 年手机消耗镓量预计为 150.5 t。2020 年手机 GaAs 消耗量占 GaAs 设备总消费的比例预计为 60%, 因此到 2020 年 GaAs 消耗量镓量约为 250 t。

3.2 LED

镓是制作 LED 芯片必不可少的原材料。在 LED 芯片生产中, 主要以三甲基镓(TMGe)和三乙基镓的形式消耗镓, 消耗方式为三甲基镓等挥发性金属有机反应源与高纯气体通过 MOCVD(金属有机化学气相沉积)等设备生成氮化镓、氮化镓等化合物材料, 从而形成芯片的外延材料。未来 LED 消耗镓的增长, 主要是由于 LED 在大屏幕液晶背光源市场和照明市场的增加而增加。

LED 灯发光效率高、寿命长、电压低、响应时间更短, 并且非常环保没有污染。随着 LED 技术的逐渐成熟, LED 照明产业已成为 LED 的重要发展方向之一(马天翼, 2010), 欧盟、日本于 2012 年便全面禁止使用白炽灯, 美国、加拿大从 2012 年至 2014 年逐步淘汰大多数白炽灯。2011 年我国也明确了中国逐步淘汰白炽灯路线图。可以说, 白光 LED 作为第四代普通照明光源已经进入了我们的生活。预计到 2020 年白光 LED 将达到荧光灯的 2 倍, 届时 LED 将成为全球照明的主要光源。据估计到 2020 年, 全球 LED 照明消耗的镓将占全球镓消耗的 33%。

液晶屏幕越大, 背光模组所用的 LED 芯片数量也越多, 目前 LED 背光源已广泛应用于中小尺寸领域, 如手机、相机、笔记本电脑等。未来 LED 背光源在大尺寸液晶屏(液晶电视背光源)领域的广泛应用将推动 LED 产业的发展。

总体而言, 未来 LED 产业消耗的镓将不断增加, 尤其是高亮度 LED。据 Displaysearch 数据, 2007 年全球 LED 芯片消耗 686.6 亿只, 2008 年消耗 707.9 亿只, 2009 年消耗 758 亿只, 2010 年消耗 958.8 亿只, 2011 年消耗 1175.5 亿只, 2012 年为 1 670 亿只, 2013 年为 2805 亿只, Strategy Analytics 预测未来 LED 平均增长率为 5%~10%, 2013 年 LED 消耗镓约 70 t (Jaskula, 2013; 泛亚有色金属交易所, 2013, 2014), 本文预计到 2020 年全球 LED 芯片将消费镓约 100~130 t。

3.3 太阳能需求

太阳能电池根据所用半导体材料的不同, 可以分为硅太阳能电池、多晶体薄膜电池、有机薄膜电池、纳米晶电池、塑料电池等, 现阶段, 有市场前景并且已实现产业化的主要是非晶硅、碲化镉和铜

铟镓硒太阳能电池。

铜铟镓硒 CIGS(含 Cu10%, In28%, Ga10%, Se52%)薄膜太阳能电池作为第三代太阳能电池, 具有生产、安装、使用成本低, 光电转换率高的优势, 因而在众多太阳能电池产品中发展最快, 发展潜力巨大, 虽然金属镓在 CIGS 的原材料中所占比重仅为 5%~10%。随着 CIGS 生产规模的扩大, 该行业对金属镓的需求会有明显增长, 成为镓具发展潜力的需求市场。

目前世界上已投产或在建的 CIGS 工厂已超过 40 多家, 中国汉能控股集团有限公司、日本 Solar Frontier K.K、台湾半导体制造有限公司是三个主要的薄膜太阳能制造商(Jaskula, 2013)。

随着铜铟镓硒薄膜太阳能产品的规模化生产, 作为吸收层材料的镓消耗将增加, 以 CIGS 薄膜太阳能电池光电转化率为 10%, CIGS 薄膜太阳能电池吸收层厚度为 3 μm , kW 的组件需要约 13 kg 的镓(伍祥武, 2010), 2012 年 CIGS 薄膜太阳能电池组件产量 770 MW, 消耗镓 10 t, 2013 年 CIGS 薄膜太阳能电池组件产量超过 1 050 MW, 对高纯镓的需求量约 14 t, 预计 2015 年铜铟镓硒薄膜太阳能电池产量将达到 1 500 MW, 对高纯镓的需求量将超过 19 t。到 2020 年铜铟镓硒薄膜太阳能电池产量将达到 2 000 MW, 将消耗镓 26 t。

短期来看, 铜铟镓硒薄膜电池会有较好的市场前景。但铟是非常稀缺的稀有金属资源(全球所有伴生矿中铟含量只有 1.5 万吨), 硒也稀缺, 因此从长期来看, 铟和硒的稀缺可能制约铜铟镓硒太阳能的发展。

3.4 其他行业需求

镓的其他应用包括: 硝酸镓可用于化学工业中的催化剂和医学工业, 氧化镓可用作冶金添加剂, 粗镓用作牙科合金、磁体添加剂及电池真空装置中的液封和制造高温温度计等。

镓在其他行业的消费将保持相对平稳增长, 每年消费约 30~40 t。

综合上述预测, 预计 2020 年全球镓的总消耗约为 410~430 t(图 6)。

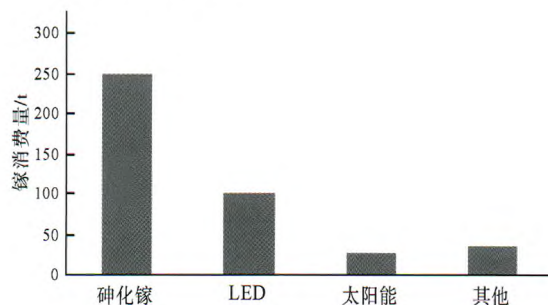


图6 2020年镓消费量预测

Fig. 6 Gallium consumption in 2020

4 我国镓资源保障程度分析

我国镓资源储量丰富,截止 2014 年底,我国镓资源,储量为 32 万吨,基础储量为 4.35 万吨,而 2013 年全球镓消费量仅为 280 t,供应量远远超出生产所需,因此中国镓资源能够满足未来 10 年保障国民经济建设的需求。

4.1 中国镓产业发展历史

镓从 1875 年被发现,直到 1940 年镓才开始其商业性生产,1941 年德国人从氧化铝中作为副产品第一次得到 140 kg 镓,1942 年美国开始从锌浸出渣及氧化铝生产过程中回收镓,我国从 1957 年开始回收镓。90 年代以前我国镓主要生产厂家有山东铝厂、株州冶炼厂和郑州铝厂。1957 年,我国山东铝厂建成第一个镓生产车间,采用石灰法从铝循环母液中生产镓,当年镓产量为 1.85 t。1984 年郑州铝厂建成镓生产车间,设计能力为年产镓 6 t,但该厂只在 1987 年生产了 300 kg 镓后就一直停产。之后由于镓价大幅度下降,1990 年山东铝厂、株州冶炼厂镓生产线相继停产(单麟天, 1992; 杨志民等, 2001; 李长江, 2013)。

50 年代镓用量很少,主要消耗在其用途开发研究上; 60—70 年代镓的用途取得突破性进展,80 年代镓半导体应用广泛增加,90 年代初蓝色 LED 研究成功,白色 LED 的开发也随之展开,一场“照明革命”由此开始。镓的消费量剧增,镓的市场出现了供不应求的局面,随着供求关系的变化,粗镓的价格也一路猛涨。1995 年仅为 170 美元/kg 而 1999 年为 400~420 美元/kg,再加上商业炒作,镓的价格大幅上涨,2001 年 3 月末,中国生产的现货粗镓达到 2 300 美元/kg。在这种供求失衡的状况下,促使各主要镓生产厂积极扩产,我国迎来镓生产高潮。2000 年国内六大氧化铝厂中山东铝厂、长城铝业公司(采用离子交换树脂吸附法回收镓)、贵州铝厂均形成了一定的镓生产规模,另外,山西铝厂、平果铝业公司、中州铝厂,韶关冶炼厂等国内主要氧化铝生产企业和铅锌冶炼企业纷纷投资建设镓生产线,国内镓产量猛增。2000 年日本住友化学公司向中国铝业提供技术,签订了委托生产粗镓年产 20 t 的合同(单麟天, 1992; 王顺昌, 2011; 李长江, 2013)。

2000 年 7 月,日本住友化学工业又向长城铝业公司提供了镓精炼技术专利。之后山东铝业公司也曾试图提纯高纯镓,但市场障碍大,未取得明显进展。

2013 年中国金属镓产量为 300 t。主要的原镓生产商有中国铝业公司; 北京吉亚半导体材料有限公司; 中科晶电信息材料(北京)有限公司; 东方希望澠池镓工业有限公司; 珠海方圆有限公司。

主要的精制镓生产商包括北京吉亚半导体材料有限公司; 5N Plus inc.(深圳); 南京金美镓业有限公司; 株洲科能新材料有限责任公司 (Jaskula, 2013)。

4.2 镓产业链

如表 2, 原材料是指用于镓冶炼的铅锌矿或氧化铝冶炼的废渣、烟尘以及褐煤等; 初级产业为原生镓(粗镓)的生产,粗镓指纯度为 99.9%(3N)和纯度为 99.99%(4N)的镓; 深加工产业主要指通过进一步电解精炼或拉晶提纯法制得高纯镓及氮化镓、砷化镓、磷化镓、锑化镓等化合物; 应用产品指铜钢镓硒薄膜、红外光学镜、光纤预制棒等产品的生产; 应用领域指镓在通信领域, 军事领域、太阳能电池领域以及其他领域的应用。

4.3 中国镓产业发展存在的问题和建议

- (1)镓资源浪费, 镓生产企业规模分散。
我国铝土矿中镓资源储量丰富, 但国内对铝土矿中伴生稀散元素的研究程度很低, 我国 6 大氧化铝厂中, 镓的回收率不到 1/3, 近年崛起的氧化铝民营企业, 尚未进行伴生组分镓的回收, 因此, 从铝土矿中回收镓, 应该引起足够的重视。同时铝土矿中伴生的有益组分多。除利用好伴生镓外, 也要深入做好矿产资源的综合研究与利用工作, 提高铝土矿矿石其他伴生有益组分镓的综合回收率。
其次由于镓是伴生矿, 含量不高, 并且建设符合环保标准的镓生产线也需要投入较多资金。考虑到投入产出等方面因素, 很多大中型矿业公司并未对伴生的镓资源进行提取。我国中小型镓生产加工企业由于提取工艺相对简单, 投入资金相对较少。
- (2)我国镓资源储量丰富, 但镓产品的生产技术基础薄弱, 且目前国内初级产品产能过剩。我国

表 2 镓产业链
Table 2 Gallium industry chain

原材料	初级产品	中间产品	应用产品	应用领域
氧化铝循环母液 与锌冶炼废渣	粗镓, 及 3N, 4N 镓	5N~8N 高纯镓	LED 芯片	磁性材料、合金
		TMG、TEG	电子元件	照明、显示屏
			电池薄膜	手机, 雷达、电子战争 太阳能领域

是全球主要的粗镓生产国。2013年, 中国生产金属镓 300 t, 占世界比例 78%, 而我国镓的直接消费量只有几十吨, 世界镓消耗总量也仅为 280 t, 我国镓生产产量远大于消费量。虽然国内初级镓产品过剩, 但我国依然大量进口镓高端产品和制成品, 如高端射频半导体器件、LED 芯片等。我国的移动通信市场和 LED 产业市场都很大, 但我国的镓化合物半导体材料行业, 研究基础比较薄弱, 发展也比较缓慢。虽然我国 LED 芯片产能占世界产能较高, 但产品质量较差, 并且我国 LED 行业总体仍然处于较低的发展水平, 景观照明、交通信号灯等低端应用占 LED 比例较高。较高端的应用如手持设备背光源、LED 显示屏等占比低(万群, 1999)。

为促进我国镓行业的持续稳定发展, 国家应加强对镓资源的保护和管理。应有意识地限制初级产品的生产, 逐步发展回收产业, 形成初级产业与回收产业并重的上游产业格局。

同时镓资源的需求主要依赖于下游高端产品和制成品的消耗, 镓价格的走势也主要由下游需求决定, 且下游行业利润高, 因此掌握砷化镓等化合物半导体的发展动向是调整产品结构, 获取高的经济效益的必要条件。因此, 我国要加大高纯镓回收技术及LED芯片技术的研究与开发, 对促进国内半导体行业的发展具有重大意义。

(3)未来随着我国经济技术的发展, 国内金属镓的需求会进一步大幅增长。而镓是伴生资源, 主要从铝、铅锌生产过程中回收, 中国的铅锌产能、氧化铝等产能消减对镓资源原料的供应会有一定影响, 因此一方面要逐步建设回收产业, 建立回收机制, 另一方面也要研究开发镓的其它回收途径, 如从粉煤灰中回收。弥补未来铝、铅锌行业对镓原料供应的影响。

煤粉灰中镓含量丰富。我国是燃煤大国, 粉煤灰资源丰富, 2011年国内粉煤灰产量达到5.4亿吨。煤矸石/粉煤灰中除含有镓外, 还含有其他稀散元素, 如锗、钒、铀、镍、铂等。为了充分利用废弃的资源, 变废为宝, 保护环境, 提高经济效益, 应加强对煤矸石/粉煤灰中镓元素的提取、分离。

王雪峰等(2014)对粉煤灰资源综合利用潜力进行了分析评价, 提出形成煤—电—粉煤灰—铝及镓产业链的构想。他认为不仅可以提高资源的综合利用, 减轻环境污染, 还可以打破我国进口铝土矿生产氧化铝的局面。但是这一产业链的技术难度较大, 对于其产业化和规模化还需要时间。

万方数据

5 结论

(1)本文运用部门消费法预测, 到2020年全球对镓的需求将为410~430 t;

(2)镓资源的需求主要依赖于下游高端产品和制成品的消耗, 镓价格的走势也主要由下游需求决定, 且下游行业利润远比矿山高, 未来随着我国在全球LED市场和手机通讯市场的拓展, 对镓下游制成品的需求量将继续增长, 因此提升下游镓制成品国际竞争力是中国镓产业发展的必由之路;

(3)未来随着经济技术的发展, 世界对金属镓的需求逐年增大, 我国镓资源储量丰富, 但镓只能作为副产品综合回收, 随着铝、煤市场需求下滑, 冶炼企业产能会受到主产矿影响, 因此保护镓金属产能, 充分利用铝土矿、煤矿中的伴生元素镓, 提高企业的综合经济效益, 具有十分重要的现实意义。

Acknowledgements:

This study was supported by International S&T Cooperation Program of China(No. 2014DFG22170), and China Geological Survey (Nos. 12120113079500 and 1212011220807).

参考文献:

- 单麟天. 1992. 国内外镓资源、提取、应用及供需状况-攀枝花矿提镓的可行性研究[J]. 钢铁钒钛, 13(8): 44-52.
- 泛亚有色金属交易所. 2013. 2013年泛亚有色金属交易所镓品种年报[EB/OL]. [2015-03-10]. <http://www.fyme.cn/a/fan-yadongtai/2015/0115/26925.html?1421302816>.
- 泛亚有色金属交易所. 2014. 2014年泛亚有色金属交易所镓品种年报[EB/OL]. [2015-03-10]. <http://www.fyme.cn/a/fan-yadongtai/2015/0115/26925.html?1421302816>.
- 李长江. 2013. 中国金属镓生产现状及前景展望[J]. 轻金属, (8): 9-11.
- 陆挺, 刘璇, 张艳飞, 李颖, 黄翀, 黎斌林. 2014. 基于产业链分析的中国钢锗镓产业发展战略研究[J]. 资源科学, 37(5): 1008-1017.
- 马天翼. 2010. LED行业的发展趋势与投资机会分析[D]. 上海: 上海交通大学.
- 苏毅, 李国斌, 罗康碧, 毕莉. 2003a. 高纯金属镓制备技术研究进展[J]. 稀有金属, (4): 495-499.
- 苏毅, 李国斌, 罗康碧. 2003b. 金属镓提取研究进展[J]. 湿法冶金, (1): 9-13.
- 佟丽红. 2002. 镓的生产及需求[J]. 有色金属工业, (6): 57-58.
- 万群. 1999. 砷化镓的市场发展形势看好[J]. 世界有色金属, (3): 26-29.
- 王顺昌. 2011. 世界镓的供需状况[J]. 世界有色金属, (11): 28-29.

王雪峰, 薛亚洲, 刘保顺. 2014. 粉煤灰资源综合利用潜力评价方法及实例分析[J]. 国土资源科技管理, 31(6): 65-71.

伍祥武. 2010. 铜铟硒薄膜太阳能电池应用研究与进展[J]. 大众科技, 88: 105-106.

杨志民, 李晓萍, 邬晓梅. 2001. 镓生产现状及其化合物的应用前景[J]. 轻金属, 95(5): 21-23.

张云峰, 郭昭华, 池君洲, 王永旺, 陈东. 2014. 金属镓的资源分布情况及应用现状[J]. 中国煤炭, 40(S1): 36-38.

赵秦生. 2001. 镓的市场、生产、价格与发展[J]. 稀有金属与硬质合金, (4): 42-44.

郑杨. 2015. 4G物联网带动砷化镓需求大增[J]. 半导体信息, (2): 97-103.

周令治, 陈少纯. 2008. 稀散金属提取冶炼[M]. 北京: 冶金工业出版社.

References:

- FANYA Metal Exchange. 2013. Gallium annual reports in 2014[EB/OL]. [2015-03-10]. <http://www.fyme.cn/a/fanyadongtai/2015/0115/26925.html?1421302816>(in Chinese).
- FANYA Metal Exchange. 2014. Gallium annual reports in 2014[EB/OL]. [2015-03-10]. <http://www.fyme.cn/a/fanyadongtai/2015/0115/26925.html?1421302816>(in Chinese).
- JASKULA B W. 2013 Minerals Yearbook(Gallium [Advance Release])[EB/OL]. [2015-03-10]. <http://minerals.jaskula.gov/minerals/pubs/commodity/gallium/myb1-2013galli.pdf>.
- LI Chang-jiang. 2013. Gallium production status and prospect in China[J]. Light Metal, (8): 9-11(in Chinese with English abstract).
- LU Ting, LIU Xuan, ZHANG Yan-fei, LI Ying, HUANG Chong, LI Bin-lin. 2014. Development strategies for the Chinese indium, germanium and gallium industry based industry chain analysis[J]. Resources Science, 37(5): 1008-1017(in Chinese with English abstract).
- MA Tian-yi. 2010. the trend and investment opportunity analysis of led industry[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University(in Chinese with English abstract).
- SHAN Lin-tian. 1992. Gallium's extraction, application and the supply and demand status - a feasibility study on the extraction of gallium from Panzhuhua mine[J]. IronSteelVanadium-Titanium, 13(8): 44-52(in Chinese).
- SU Yi, LI Guo-bin, LUO Kang-bi, BI Li. 2003a. Progress of Technology on Preparing High Purity Gallium[J]. Chinese Journal of Rare Metals, (4): 495-499(in Chinese with English abstract).
- SU Yi, LI Guo-bin, LUO Kang-bi. 2003b. Research Progress on Extraction of Metal Gallium[J]. Hydrometallurgy of China, (1): 9-13(in Chinese with English abstract).
- TONG Li-hong. 2002. The Production and Demand of Gallium[J]. China Nonferrous Metals Industry, (6): 57-58(in Chinese).
- WAN Qun. 1999. The Market Development of Gallium Arsenide[J]. Light Metal, (3): 26-29(in Chinese).
- WANG Shun-chang. 2011. World's Gallium supply and demand[J]. World Nonferrous Metals, (11): 28-29(in Chinese).
- WANG Xue-feng, XUE Ya-zhou, LIU Bao-shun. 2014. Evaluation method and example analysis of comprehensive utilization of fly ash resources[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 31(6): 65-71(in Chinese with English abstract).
- WU Xiang-wu. 2010. The application research and development of CIGS Solar Cells[J]. Popular Science & Technology, 88: 105-106(in Chinese with English abstract).
- YING Zhi-min, LI Xiao-ping, WU Xiao-mei. 2001. Gallium production status and application prospect of its compounds[J]. Light Metal, 95(5): 21-23(in Chinese with English abstract).
- JEWELL S, Kimball S M. 2015. Mineral Commodity Summaries[M]. Virginia: USGS.
- ZHANG Yun-feng, GUO Zhao-hua, CHI Jun-zhou, WANG Yong-wang, CHEN Dong. 2014. Gallium resource distribution and application status[J]. China Coal, 40(S1): 36-38(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Qin-sheng. 2001. The Market, Production, Price and Development of Gallium[J]. Rare Metals and Cemented Carbides, (4): 42-44(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Chang. 2015. 4G drive the gallium arsenide boosted[J]. Semiconductor Information, (2): 97-103(in Chinese).
- ZHOU Ling-zhi, CHEN Shao-chu. 2008. Scarc metal smelting[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press(in Chinese).