

全球镓矿资源分布、供需及消费趋势研究^{*}

敦妍冉¹, 荆海鹏², 洛桑才仁³, 张万益⁴, 宋泽峰^{1*}

(1. 河北地质大学资源与环境工程研究所 区域地质与成矿作用重点实验室, 河北 石家庄 050031; 2. 河北省秦皇岛市海港区自然资源和规划局, 河北 秦皇岛 066000; 3. 玉树藏族自治州自然资源局, 青海 玉树 815000; 4. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘 要: 镓是一种全球稀缺矿产, 在军事工业、无线通讯、新能源行业和航空航天中具有不可替代的重要地位。随着5G时代的到来, 全球对镓资源的竞争初见端倪。系统总结了全球与我国镓资源的储量、分布及供需现状及消费趋势。研究显示, 我国是镓资源储量大国, 也是全球最大的粗镓产品出口国; 我国镓的产业体系正处于从低端逐步走向高端的阶段, 其未来年需求量约为250 t。因此, 合理对我国镓资源开发利用以及推动镓资源的产业升级成为当务之急。

关键词: 镓; 战略矿产; 信息产业; 供需现状

中图分类号: P618.74 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0076(2019)05-0009-07

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.05.002

Current Situation and Utilization Trend of the Global Gallium Resources

DUN Yanran¹, JIN Haipeng², LUOSANG Cairen³, LUAN Wenlou¹, SONG Zefeng^{1*}

(1. Key Laboratory of Regional Geology and Mineralization, Institute of Resources and Environmental Engineering, HeBei GEO University, Shijiazhuang 050031, China; 2. Natural Resources and Planning Bureau of Haigang District, Qinhuangdao 066000, China; 3. Natural Resources Bureau of Yushu Tibetan Autonomous Prefecture, Yushu 815000, China; 4. Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: Gallium is a very scarce mineral resource in the world. It plays an irreplaceable important role in military industry, wireless communication, new energy industry and aerospace industry. With the advent of the 5G era, global competition for gallium resources has begun to emerge. The present situation and consumption trend of gallium resources in the world and China were systematically summarized. The research shows that China is a big country with large reserves of gallium resources and the largest exporter of crude Ga products in the world, but it has no international pricing right for gallium. China's gallium industry system is in the stage of gradual transition from low-end to high-end, and its next year. Demand will be less than 250 t. Therefore, it is urgent to reserve, develop and utilize gallium resources reasonably and promote industrial upgrading.

Key words: gallium; strategic minerals; information industry; current supply and demand situation

* 收稿日期: 2019-07-12

基金项目: 中国地质调查局项目“国家地质调查成果集成与规划”(DD20190464)和“境外大型矿产资源基地及资源潜力评价”(DD20190437)

作者简介: 敦妍冉(1994-), 女, 硕士研究生, 地球化学专业。研究方向为环境地球化学。E-mail: dyr1006@163.com。

通信作者: 宋泽峰(1984-), 男, 副研究员, 地球化学专业, 研究方向为环境地球化学。E-mail: 32586312@qq.com。

前言

镓 (Ga) 属于 IIIA 族 稀 散 金 属 元 素 (原 子 序 数 为 31), 主 要 赋 存 价 态 为 Ga^+ 、 Ga^{2+} 和 Ga^{3+} , 其 中 Ga^{3+} 最 为 稳 定, 镓 密 度 5.904 g/cm^3 , 熔 点 和 沸 点 分 别 为 $29.78\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $2\,403\text{ }^\circ\text{C}$, 具 有 高 沸 点、低 熔 点、低 蒸 气 压、反 常 膨 胀 等 特 点, 是 液 态 范 围 最 大 的 金 属^[1]。镓 化 合 物 (GaAs 、 GaN 和 Ga_2O_3) 被 广 泛 应 用 于 无 线 通 信、化 学 工 业、医 疗 设 备、太 阳 能 电 池 和 航 空 航 天 等 众 多 领 域, 被 称 为 “半 导 体 工 业 的 新 粮 食”^[2]。

镓 性 质 与 Zn 、 Al 相 似, 具 有 亲 S 、亲 石 和 亲 Fe 的 地 球 化 学 性 质。由 于 Ga 元 素 在 地 壳 中 品 位 为 15×10^{-6} , 属 于 极 分 散 元 素, 无 独 立 矿 物, 易 与 Al^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Fe^{3+} 以 类 质 同 象 形 式 置 换 在 其 他 矿 物 (硫 镓 铜 矿、羟 镓 石、莫 来 石 和 叶 白 岩) 中^[3]。赋 存 镓 元 素 的 矿 物 有 硅 酸 盐 矿 物 和 硫 化 物: 黄 铁 矿、闪 锌 矿、锗 石、磷 灰 石、霞 石、角 闪 石、黑 云 母、十 字 石 和 堇 青 石 等。更 为 重 要 的 是, 铝 土 矿 和 煤 也 是 镓 元 素 赋 存 的 主 要 介 质^[4]。据 不 完 全 统 计, 全 球 50% 以 上 镓 来 自 铝 土 矿 床, 小 于 40% 的 镓 来 自 于 富 镓 的 $\text{Pb}-\text{Zn}$ 硫 化 物 矿 床、煤 和 明 矾 石 矿 床^[5]。

镓 是 重 要 战 略 资 源, 卫 星 通 讯、太 阳 能 电 池、半 导 体 和 人 工 智 能 等 科 技 前 缘 产 品 的 研 发 和 生 产 都 离 不 开 镓。美 国 将 镓 列 为 35 种 关 键 矿 产 目 录, 欧 盟 将 其 列 入 61 种 关 键 原 材 料 目 录。本 文 通 过 对 全 球 镓 的 资 源 分 布 情 况, 预 测 发 展 趋 势, 并 提 出 合 理 化 建 议, 为 国 家 资 源 决 策 提 供 一 定 的 技 术 支 撑。

1 镓资源分布特征

1.1 全球镓资源储量分布

全 球 镓 的 金 属 储 量 约 为 23 万 t, 其 中 中 国 镓 金 属 储 量 19 万 t、美 国 0.45 万 t、南 美 洲 1.14 万 t、非 洲 5.39 万 t 和 欧 洲 1.95 万 t^[6]。

据 统 计 全 球 镓 远 景 储 量 超 100 万 t^[6], 其 中 伴 生 在 铝 土 矿 中 的 镓 资 源 约 100 万 t, 主 要 分 布 在 非 洲、大 洋 洲、南 美 洲 (含 加 勒 比)、亚 洲 和 其 他 地 区^[7], 所 占 比 重 分 别 为 32%、23%、21%、18% 和 6%, 如 中 国 豫 西 铝 土 矿 矿 床。伴 生 在 $\text{Pb}-\text{Zn}$ 矿 中 的 镓 资 源 量 约 19 万 t, 主 要 分 布 于 北 美 中 部; 涉 及 国 家 有 美 国、加 拿 大、意 大 利、波 兰、奥 地 利 等, 典 型 矿 床 为 美 国 三 州 (Tri State) 矿 床、上 密 西 西 比 (Upper Mississippi) 矿 床 等 (表 1 和 图 1); 富 镓 的 沉 积 型 多 金 属 矿 床 多

分 布 在 非 洲 和 北 美 洲 等 地, 如 墨 西 哥 的 Tizapa 矿 床 (图 1 和 表 2)。

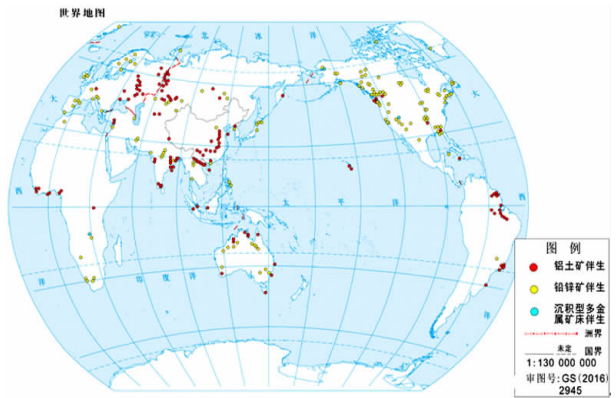


图 1 全球镓资源分布图 (数据来源 USGS, 2017)
Fig. 1 The map showing global distribution of Ga deposits by type of deposit (the date of deposits from USGS, 2017)

表 1 Ga 的潜在储量			
Table 1 Estimates of Ga potential reserve			
矿石	预测储量/ 10^6 t	Ga 的平均含量/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	Ga 的潜在资源/ 10^6 t
铝土矿	10	50	>1
铅锌矿	1.9	50	0.095
煤	> 1 000	10	10

注: 数据源自 BP, 2015^[8]; Thakur, 2017^[9]。

1.2 中国镓资源分布特征

截至 2014 年, 我国镓金属储量为 18.4 ~ 19.55 万 t^[10], 基础储量 32.67 万 t。镓资源分布内蒙古、四川、广西, 所占比重分别为 79%、8% 和 3%, 其它省份占 10%。其中内蒙古镓主要伴生在煤矿中, 四川镓主要伴生在攀枝花铁矿中, 广西镓主要伴生在铝土矿中。我国镓矿床类型多样, 成因复杂。部分学者将含镓矿床划分为岩浆矿床、伟晶岩矿床、气成-热液矿床、热液矿床、风化矿床和沉积矿床等 6 种类型^[11-12]。然而, 镓做为典型的分散稀有金属, 按其赋存介质划分类型更有意义。就赋存介质而言, 我国镓资源主要赋存在煤矿、岩浆型钒钛磁铁矿、沉积型铝土矿中以及少量斑岩型 $\text{Cu}-\text{Mo}$ 矿中。其各自矿化特征如下:

(1) 沉积铝土矿型镓矿石的品质以广西最好, 矿石 Ga 品位在 $3\,000\times 10^{-6}\sim 8\,700\times 10^{-6}$ 之间, 平均品位为 $5\,500\times 10^{-6}$ ^[13]; 此外, 沉积铝土矿型 Ga 矿在河南和山西也有分布, 品位一般位于 $4\,000\times 10^{-6}\sim 15\,000\times 10^{-6}$ 之间^[13-14]。

(2) 富镓煤矿分布范围广泛, 主要赋存在我国北方和四川盆地, 以内蒙古和山西最为典型, 主要涉

表2 全球富Ga矿床类型及典型矿床
Table 2 Gallium-rich deposits types and typical deposits in the word

矿床成因	主要特征	主要金属元素	典型矿床
浅成热液型	浅成低温金矿床	Au	陶波 (Taupo) 火山带
高硫化浅成金矿	晚期蚀变带中的硫酸铝矿物	Au	阿吉奥斯菲利比奥斯 (Agios Philippos) 矿床
火山成因硫化物矿床	第三系安山岩流纹岩	Au、Ag 和 Hg	
铅锌矿矿床	碎屑物为主的铅锌矿,赋存于页岩、砂岩、粉砂和或混合碎屑物中,或以碳酸盐置换作用存在于以铅锌矿为主的沉积岩层序中	Zn、Pb、Cu、Ag、Ga、In 和 Ge	红狗 (Red Dog) 铅锌矿矿床、苏利文 (Sullivan) 矿床
密西西比河谷型 (MVT)	碳酸盐性铅锌矿矿床,位于碳酸盐岩层中	Pb、Zn、Cu、Ge、Ag、Ga、As 和 Cd	三州 (Tri-State) 矿床、派恩波因特 (Pine Point) 矿床
多金属沉积型	位于褶皱与断裂的沉积地层中,常与粉砂岩、砂岩、页岩呈不整合接触。	Cu、Pd、Zn、Co、Ge、Ag、Ga、As 和 Cd	格林内尔 (Grinnell) 矿床、埃佩克斯 (A-pex) 矿床
铝土矿矿床科斯特	由深层风化、搬运、堆积的夹层黏土或由黏土溶解残留形成的石灰岩、碳酸盐、岩溶环境堆积而成的氢氧化铝矿物	Al 和 Ga	阿肯色 (Arkansaa) 州铝土矿矿床
铝土矿矿床红土型	由花岗岩、片麻岩、玄武岩、正长岩、页岩等多种硅酸盐岩石红壤化形成的。矿物水解导致高岭石溶解和氢氧化铝沉积而形成的矿物	Al 和 Ga	主要分布在南美洲、西非、印度、东南亚与澳大利亚地区
表生铁冒	含硫化砷的富铜矿床	Ge 和 Ga	基普希 (Kidoui) 矿床、碳酸盐型 Cu - Pb - Zn 矿床
煤	在粉煤灰中富集	煤和 Ga	

注:数据源自 USGS,2017。

及7个成矿带:二连-海拉尔、天山、阴山南麓、太行山东、祁连-秦岭、四川盆地和川滇黔成矿带^[15],典型矿床主要为五一煤矿、红旗煤矿等。主要特征为储量大、品位变化和经济开发价值变化大,目前经济开发利用价值小。

(3)在岩浆型钒钛磁铁矿中伴生的镓矿石主要分布在四川攀枝花,矿石镓品位在 $1\ 400\times10^{-6}\sim2\ 800\times10^{-6}$ 之间,均值为 $1\ 900\times10^{-6}$,选矿后精矿中镓含量更为富集,平均品位达到 $5\ 200\times10^{-6}$ 。攀枝花钒钛磁铁矿中镓储量巨大,镓金属量总计达9.24万t,占全国储量约50%^[16]。

综上所述,我国镓矿的分布特征主要为:(1)我国探明镓矿资源储量大,占全球储量的85%,是我国优势的稀散金属资源;(2)我国镓矿多为伴生矿床,其成因类型齐全、矿床数量众多,赋存方式多样,分布区域广;(3)富镓铝土矿和钒钛磁铁矿是提取镓资源的主要来源,其开采价值和经济价值高;(4)我国煤矿赋存有丰富的镓矿资源,但开发利用价值小。

2 镓产品生产现状

2.1 全球主要镓矿企业

目前,生产镓产品主要有原生镓与再生镓^[17],根据产品品质的不同,原生镓分为粗镓与精镓。据最新数据统计,全球共有30余镓企业生产粗镓,主要分布在中国、日本、乌克兰、哈萨克斯坦和加拿大

等国,其中中国出产粗镓产量约为470t,占全球产量的83%。生产粗镓的企业主要为有色金属冶炼厂和大型氧化铝厂,如中国的中国铝业股份有限公司,乌克兰尼古拉耶夫铝厂(Nikolaev Alumina Refiner),哈萨克斯坦的巴甫洛达铝厂(Pavlodar Alumina Plant)等。全球精镓的主要生产企业分布在日本和美国。主要有日本同和矿业和美国世界镓股份有限公司(GEO Specialty Chemicals, Inc)等。再

表3 世界和中国Ga产品主要生产企业^[2]
Table 3 Major gallium metals production enterprises in the world and China^[2]

国家	矿业公司	产品
国外企业		
加拿大	锡加公司 SN Plus Inc	精镓
日本	同和矿业株式会社 Dowa Holdings Co	精镓
	拉莎工业株式会社 Rasa Industries, Ltd.	再生镓
	住友化工株式会社 Sumitomo Chemical Ltd.	再生镓
哈萨克斯坦	巴甫洛达铝厂 Pavlodar Alumina Plant	粗镓
乌克兰	尼古拉耶夫铝厂 Nikolaev Alumina Refinery	粗镓
美国	AXT	精镓
	世界镓股份有限公司 GEO Specialty Chemicals, Inc	精镓
中国企业		
	中国铝业股份有限公司	粗镓
	东方希望(三门峡铝)业有限公司	粗镓
	珠海经济特区方源有限公司	粗镓
	南京润隆半导体材料有限公司	精镓

生镓的生产国家主要是美国和日本。日本再生镓的主要生产公司主要有住友化学株式会社 (Sumitomo Chemical Ltd.) 和拉莎工业株式会社 (Rasa Industries, Ltd.) 等(表 3)。

2.2 全球镓生产现状

2018 年,全球精镓产量达 205 t,精镓主要生产国为日本和美国,加拿大、中国也有产出。2005—2012 年金属精镓提取工艺不断进步,随着全球通信和半导体需求量增加,使全球精镓产量逐年增加,2012 年精镓产量达到顶峰 354 t,随后开始下滑,截至 2017 年,产量为 180 t,下滑近 50%,2018 年全球精镓产量稍有回升。

根据欧盟统计(2016 年)全球粗镓产量达到 450~600 t,主要生产国为中国(400~500 t)、德国(25~40 t)、哈萨克斯坦(25 t)、俄罗斯(5~10 t)等国家,分别占全球粗镓总产量的 83%、6%、4% 和 1%,其他国家占 6%。

镓产品种类、产能和产量的变化趋势为:

(1)2005—2014 年间粗镓产量持续增长,2014 年全球粗镓突破 440 t,致使全球镓市场供过于求,哈萨克斯坦和德国分别于 2013 年和 2016 年被迫停产。2016 年,由于中国政府加强了供给侧改革,使粗镓的产量迅速下降,2017 年,全球粗镓产量回落到 315 t(图 2a)。与此同时,粗镓产能与产量变化趋势基本一致。2004—2012 年,全球粗镓产能迅速上升,由 160 t 增加至 730 t,增量为 350%(图 2b)。自 2016 年以来,其产能基本维持在 730 t。

(2)2005—2012 年,精镓产量迅速增长,2012 年全球精镓突破 350 t,随后全球精镓产量大幅度下降,2017 年回落到 180 t,降幅为 49%,主要原因是市场精镓需求量低,全球精镓产量过剩,2018 年精镓产量小幅度提升。精镓产能增长缓慢,2005—2011 年持续增长达到 320 t,2012 年下降了 15%,近年来起伏不定,在 230~320 t 之间徘徊(图 2a 和 b)。

(3)再生镓呈现出日益重要的地位。加拿大、德国、日本、英国及美国是镓资源的主要回收国。随着提取工艺的不断成熟,镓的回收水平也逐渐提升。2009 年,镓资源的回收率达到了 40%。尽管 2009 年后全球市场原生镓供应量加大,回收率呈现降低趋势。2016 年,全球原生镓产量减少,再生镓回收率再次上升,目前回收率小于 40%(图 2a)。

2.3 中国镓生产及出口现状

中国镓矿资源储量和产量均高居世界首位,生产粗镓的矿业公司的产量和产能大,是世界粗镓矿资源主要出口国。就我国消费历史而言,主要分为三个阶段:(1)1990—2000 年,我国粗镓资源主要用于出口,国内消费小于 10%;(2)2000—2008 年,我国粗镓资源产量和产能不断扩大,主要出口美国和日本等发达国家。需要指出的是,由于我国本土企业盲目增加产量,导致国际镓价格下跌。(3)自 2009 年以来,尽管我国出口镓资源保持了较高的增长态势,高端镓产品的比重在逐年增长,且比例不断升高(图 2c)。

就出口而言,我国是高端镓产品的主要进口国。近年来,由于我国电子产业、LED 和光伏电池行业迅速发展,砷化镓、氮化镓和氧化镓等消费量迅速增长,粗镓资源出口比例有所降低。然而,由于缺乏相关技术,高端精镓产品(高端电子元件)高度依赖进口,尤其是发光二极管的管芯完全依赖于美国和日本的进口。

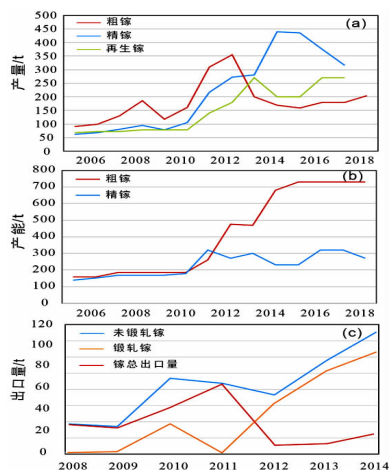


图 2 2005—2018 年全球镓生产总量
(a) (数据来源 USGS,2005—2018)、2005—2018 年全球镓产能(b) (数据来源 USGS,2005—2018)和 2008—2014 年我国镓出口情况(c) (中国海关,2008—2014)
Fig. 2 Total global Ga production in 2005—2018
(a) (Source USGS,2005—2018), Global Ga production capacity in 2005—2018(b) (Source USGS,2005—2018) and Ga export situation of China in 2008—2015
(c) (Source China metal 2008—2015)

3 镓产品消费特点

3.1 全球镓产品消费特点

2005—2010 年,精镓的市场价格维持在 535 ~

600 美元/kg 之间。2011 年,精 Ga 的价格达到峰值 688 美元/kg,2011—2015 年,精镓的价格持续走低,由 600 美元/kg 下降到 317 美元/kg。主要原因是全球铝产业迅速扩张和欧美债务危机导致全球经济危机。2016 年以来,全球进入“后危机”时期,全球经济呈现出复苏迹象,精镓的需求量加大;同时,我国环保成本加码及经济产业结构不断调整,国内镓供应量有所减少,致使精镓的市场价格呈现短暂上升。然而,2017—2018 年,精镓价格迅速回落,价格维持在 350 美元/kg(图 3)。

2005—2012 年,全球粗镓市场价格持续攀升,2012 年达到 740 美元/kg,2012 年以来,全球镓产能过剩,使镓价格持续下跌,截至 2017 年,价格回落至 124 美元/kg,需要指出的是,2018 年粗镓市场价格在持续下降 6 年后首次上涨(图 3)。

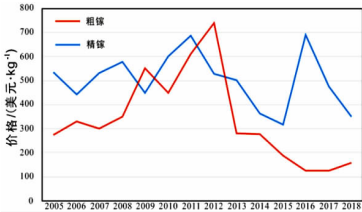


图 3 2005—2018 年全球镓价格
(数据来源 USGS,2005—2018)

Fig. 3 Global price of Ga in 2005—2018
(Source USGS,2005—2018)

全球镓消费国主要是日本、美国和中国。其中,日本半导体产业发达(图 4a),年消费量涨幅较大,是镓资源的第一消费大国,截至 2013 年,日本消耗的镓达到了 97 t,主要依赖进口和再生镓(镓资源回收)^[18,10]。美国是继日本之后第二大消费大国,主

表 4 2009—2016 年镓消费量

Table 4 Global consumption of gallium from 2009 to 2016

年份	全球 消费量/t	美国 消费量/t	日本 消费量/t	中国 消费量/t
2005	180	18.7	/	/
2006	200	20.3	/	/
2007	210	25.1	/	/
2008	200	28.7	/	3
2009	222	24.9	110	12
2010	280	33.5	95	18
2011	218	35.5	90	20
2012	234	34.4	80	20
2013	250	37.8	97	150
2014	300	35.8	/	170
2015	320	39.7	/	/
2016	340	/	/	/

注:数据来源 USGS,2016。“/”表示无统计。

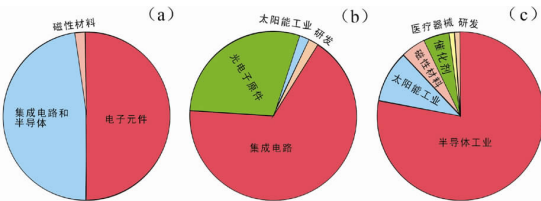


图 4 镓消费结构分布图:日本(a)、美国(b)和中国(c)
Fig. 4 The main application fields of gallium: (a) Japan, (b) U. S. and (c) China

要应用于集成电路、通信产业和半导体产业(图 4b),据 USGS(2019)统计显示,2015 年美国镓资源消费量达到 40 t(表 4)。

目前,全球镓需求量在 2009—2016 年由 222 t 增长到 340 t,粗镓以每年约 6% 的增速增长,精镓以每年 7% 的速度增长。预计 2020 年需求量将达到 420 t,消费量最大的产品是砷化镓(GaAs)约为 92%,主要应用于智能手机和太阳能电池等领域,近年来我国 4G 智能手机的普及以及我国清洁能源的发展,砷化镓需求量仍会进一步增长,仍是全球最大消费领域;其次是氮化镓(GaN)约为 8%,LED 与雷达产业是重要的消费领域,未来 15 年需求量仍会增长,将成为主要增长点。

3.2 中国镓消费特点

镓资源产业是技术密集和资本密集型产业,其产业链是现代化、国际化和信息化的重要体现。镓产业链分为三部分,第一部分是上游提炼加工过程,开采难度大,资源消耗高;中游深加工技术,只有个别国家掌握此产业链;下游技术应用领域,分布广泛。我国部分矿业公司仍处于镓产业链底端,负责原材料开采,资源浪费量大,资源开采过程中对环境破坏程度高。深加工行业主要国家是美国与日本,生产能力高,对环境破坏能力小。

国内镓资源消费的最初始于高性能磁性材料。近年来,随着我国半导体和信息产业的发展,镓资源在半导体行业的消耗已远远超过了磁性材料方面的消耗。据最新数据显示,我国镓产品以半导体和太阳能产业为主,分别占比 78% 和 10%。此外,其它镓产品包括磁性材料、石油工业催化剂、医疗器械和新材料科研实验,所占比重均小于 5% 等(图 4c)。

我国镓产品的消费领域如下(图 5):

(1)粗镓通过碱液电解,制成氧化镓和镓铝(锡)合金,用于牙科合金、磁体添加剂、电池真空装

置的液封、制作高温温度计。

(2)粗镓通过提纯精炼,制成精镓,并进行物化处理,制作成 GaAs、氮化镓、磷化镓、铜铟镓硒矿,可作为 Si、Ge 掺杂剂或热交换机制,被广泛应用于电子工业、通讯领域等领域,主要镓产品有半导体器件、微波元件(整流器、晶体管、光电器件、二极管、光电探测器等)、太阳能电池材料、集成电路等(图 5)。

GaAs 单晶享有“半导体贵族”称号,可制成半绝缘材料和半导体材料两种。前者可制作 MESFET、HEMT 和 HBT 结构的电路,应用在雷达、电视广播、微波及毫米波通信、无线通信及光纤通信等领域。后者主要应用在光通信有源器件(LD)、半导体发光二极管(LED)、可见光激光器、近红外激光器、量子大功率激光器和高效太阳能电池等光电子领域(图 5)。

GaN 具有高稳定性、高硬度和高熔点等独特的电磁和光学特性,是优良的微波功率晶体管、微电子和光电子器件等原材料,被广泛应用在雷达、军用电子作战系统中,无人驾驶汽车系统、WiFi 技术、无线通信基站和 5G 通信中^[19]。

GaO 用于冶金添加剂,乙醇或丁烯脱氢合成 H_2O_2 的催化剂,高温下 NO 离解的催化剂,用作高纯分析试剂、电子工业半导体材料制备(图 5)。

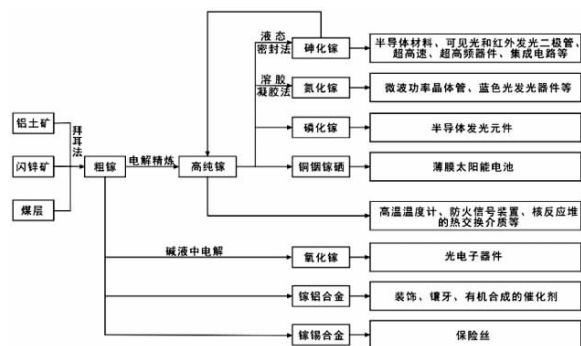


图 5 镓产业链示意图^[2]

Fig. 5 Schematic diagram showing the chain of gallium industry^[2]

3.3 中国镓产品消费趋势

自 2015 年以来,我国社会经济进入新时代,经济发展呈现中高速增长趋势。国家不断推进“一带一路”“乡村振兴”和“中国制造 2025”战略,与镓相关的信息产业、半导体产业、新能源以及军工产业将飞速发展。由于镓资源具有不可代替性,其需求量将会大幅增长。因此,随着我国高端产业的发展,势必带动国内镓产品的产业升级。因此,随着我国高

端产业的发展,势必带动国内镓产品的产业升级。此外,美国推行贸易保护主义,实施贸易战,而我国镓产业结构不尽合理,高端镓产品尤为短缺,许多高端镓产品需从美国和日本进口。因此,我国镓产业必须在这一关键时刻勇于创新,推进镓产业结构的优化调整,提高产品质量,参与国际竞争,在高端材料产业中力争占有一席之地。预计未来几年,能拉动镓产品消费的产业如下:

(1)5G 网络 + 智能手机等信息产业有望带动 GaAs 和 GaN 产品的消费。GaAs 和 GaN 产品主要应用于互联网接入、视频播放、APP 程序、全球定位系统以及 Wi-Fi 技术等,且暂无替代品。我国是全球智能手机第一消费大国,市场占比高达 70%,且我国移动通讯产品(手机和平板电脑等)每年以 10%~18% 的幅度增长,导致对 GaAs 的需求增加。此外,随着我国 5G 网络的兴起,GaN 可能在未来几年保持 16% 的增速,因此到 2020 年砷化镓的销量预计将达到 240 t。

(2)GaN 等新一代高亮度的发光二极管的出现,推动 LED 产业更新换代。节能减排成为我国社会共识,我国政府也不断出台激励措施,LED 产业方兴未艾。预计 2019—2021 年,我国 LED 产业将以每年 18% 增长率增长。截至 2021 年底,LED 照明市场将达 77%。这一行业将推动镓产品的消费。

(3)随着我国“土十条”等环保法规的出台,促进以 Ga-Si 为原料的新一代催化剂的研发,并取得了一定的进展。预计未来几年,其在石油炼制和汽车尾气净化等方面得到应用推广,有望对 Ga-Si 产品产生新的需求。

(4)以太阳能和风能为代表的新能源不断优化我国能源的消费。作为第三代太阳能电池原材料,铜铟镓硒具有使用成本低、光电转换率高等优点,铜铟镓硒技术将会最终取代传统的非硅晶电池。

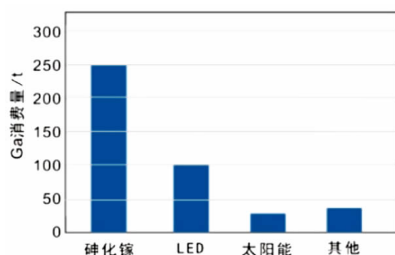


图 6 2020 年镓消费量预测^[10]

Fig. 6 Gallium consumption in 2020^[10]

综上所述,赵汀等(2017)通过部门分析预测

法,分别对国内2020年不同镓产品消费量进行了预测:预计2020年,我国砷化镓消耗量约250 t。其中,LED芯片消耗100~130 t,太阳能领域铜铟镓硒应用消耗约26 t,其他行业消耗30~40 t(图6)。未来镓的主要消费领域仍将是移动通讯、LED和太阳能等领域^[17]。

4 结论与思考

4.1 主要结论

通过对全球镓的应用、生产、消费状况的总结及全球消费趋势、方向的预测,主要得出以下结论:

(1)镓属于分散稀有金属元素,也是全球稀缺金属资源。全球镓金属储量仅23万t。其中我国是全球最大的镓资源产出国,占全球探明资源量80%。由于优良的物化性质,被广泛应用在国防、通讯和医疗领域,先后被美欧等发达国家视为重要原材料或关键矿产目录,同时也是我国战略储备资源之一。

(2)我国也是全球最大的粗镓产品出口国,其产量和产能多年来位居世界第一位。美、日是我国粗镓产品的主要出口国。由于国内盲目开发粗镓资源,国际价格普遍较低。因此,合理分配我国镓资源在全球市场的份额,并合理对我国镓资源进行储备成为当务之急。

(3)我国粗镓产品所占比例过高,仍处于镓产业链的底端。我国高端镓产品自主生产能力普遍较低,高度依赖美、日进口。这已成为发达国家控制国际镓矿定价权的重要原因。

(4)随着全球信息化和高新技术的发展,预计2020年,全球对镓的需求量大于410 t。而我国不断推进“一带一路”“乡村振兴”和“中国制造2025”等战略,必将带动国家高端制造,促进信息、新能源和军工等产业的快速发展。我国镓资源的需求量将大幅增加。预计2020年,我国镓需求量为250 t。

4.2 思考

(1)优化找矿机制,在抓好镓矿资源勘查开发的同时,尽早建立镓矿的储备资源库。镓是一种稀缺金属资源,在信息、新能源和军事工业等高端产业中具有不可替代的重要地位。进一步加大镓矿的勘查工作,增加我国镓矿资源量。与此同时,由于我国镓产业先前无序扩张,镓金属产业的整体效益下降,甚至失去国际镓矿话语权。因此,规范市场环境,制

定镓矿资源开发利用的监管制度,做到适度规模、合理开发。在市场规则基础上协调发展,应有所作为,适当增加企业的库存,建立镓矿的储备资源库。

(2)科技引领,推动镓上游和下游产业链关键技术的研发应用,实现我国镓产业链协调发展。在勘查开发过程中,提高镓矿资源的回收率和利用率是重中之重,尤为重要的是,加快研发从煤炭提取镓金属的技术。在镓产业链下游,国内企业应加强交流合作,注重吸收国外先进制造工艺,推动精镓产品的研发,增加产品种类和提高产品质量,参与国际竞争,跻身高端材料产业。

(3)推动镓产业链的生态文明,做到绿色开采、绿色回收。在产业链上游,注重环境效益,实施绿色开采,提高采矿回收率,做到“贫富兼济,颗粒归仓”;与此同时,借鉴“日本经验”,注重再生镓的相关产业。注重回收GaAs废片(屑)、ITO废靶、致冷器件废屑,从中提取再生镓资源,实现产业链镓元素物质流的循环。

致谢

在数据收集和图件绘制过程中,得到张伟波博士和郭襄博士的帮助,在此表示感谢;尤其感谢吴建设教授级高工提出的建设性建议和对文章的修改。

参考文献:

- [1] MOSKALYK RR. Gallium: the backbone of the electronics industry[J]. Minerals Engineering, 2003, 16(10): 921-929.
 - [2] 陈其慎,于汶加,张艳飞,等. 点石:未来20年全球矿产资源产业发展研究[M]. 北京:科学出版社,2016:527-536.
 - [3] Andrews J N. Handbook of environmental isotope geochemistry [J]. Physics of the Earth & Planetary Interiors, 2011, 56(3): 409-411.
 - [4] 王瑞江,王登宏,李健康,等. 稀有稀土稀散矿产资源及其开发利用[M]. 北京:地质出版,2015. 322-333.
 - [5] 涂光炽,高振敏,胡瑞忠. 分散元素地球化学及成矿机制[M]. 北京:北京地质出版社,2004:368-380.
 - [6] 周令治,陈少纯. 稀散金属提取冶金[M]. 北京:北京冶金工业出版社,2008:368-380.
 - [7] Beazley, Tammy M. Events and trends in metal and mineral commodities[J]. JOM, 1996, 48(4): 45-49.
 - [8] Buyanov V. BP: statistical review of world energy 2011[J]. Economic policy, 2011, 4: 38-55.
 - [9] Pramod Thakur. Chapter 1 - Global Reserves of Coal Bed Methane and Prominent Coal Basins[M]. Elsevier Inc.: 2017-06-15.
 - [10] 赵汀,秦鹏珍,王安建,王高尚,李建武,刘超,刘毅飞. 镓矿
- (下转第25页)

- stry/201804/633815. html.
- [12] 2017 年全球锗矿资源状况分析[J]. 新疆有色金属, 2017, 40(6):87,96,98.
- [13] 张苏江,季根源,王楠等. 中国锗矿资源现状及其可持续发展对策研究[J]. 矿产保护与利用, 2017(2):6-12.
- [14] Roderick G. Eggert. Nonferrous metal prices in the united states through 1998[J]. Resources Policy, 1990, 16(4):314-315.
- [15] USDI and USGS. <http://www.usgs.gov/centers/nmic/titanium-statistics-and-information>.
- [16] 刘麦. 2018 年锗市场分析报告[R]. 安泰科, 2019.
- [17] 陈其慎,于汶加,张艳飞等. 点石:未来 20 年全球矿产资源产业发展研究[M]. 北京:科学出版社, 2016.
- [18] 胡永达,冯君从,张福良,徐爱华,杜秩伦等. 主要有色金属矿产供需及开发趋势分析[M]. 北京:地质出版社, 2016.
- [19] 叶霖,李珍立,胡宇思等. 云南会泽铅锌矿床中锗的分布与富集规律[C]//2017 中国地球科学联合学术年会论文集(五十)—专题 104:深部矿产资源评价理论方法、专题 105:中国“三稀”矿产资源分布与成因, 2017-10. 北京:中国和平音像电子出版社, 2017:43.
- [20] 徐冬,陈毅伟,郭桦,等. 煤中锗的资源分布及煤伴锗提取工艺的研究进展[J]. 煤化工, 2013, 41(4):53-57.
- [21] 王婷灏,黄文辉,闫德宇,等. 中国大型煤-锗矿床成矿模式研究进展:以云南临沧和内蒙古乌兰图嘎煤-锗矿床为例[J]. 地学前缘, 2016, 23(3):113-123.
- [22] 陆挺. 中国钢镓锗产业链发展战略研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2016.
- [23] 有色金属协会. 2018 年有色金属行业锗锗行业研究报告[EB/OL]. [2019-05-28]. 2018. <http://www.3mbang.com/p-344814.html>.
- [24] 郭全文,李正阳,邓姜天坛. 浅析中国光纤光缆 40 年发展现状及未来形势[J]. 中国新通信, 2018, 20(9):6.
- [25] 李辉,史辉,朱永刚等. 基于 5G 应用的新型光纤[J]. 现代传输, 2018(6):13-15.
- [26] 全球光伏将迎黄金期 中国或成最大赢家[J]. 变频器世界, 2019(5):41-42.

引用格式:马奎,洛桑才仁,陈超,张万益,王丰翔. 全球锗资源分布、供需及消费趋势研究[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(5):16-25.

MA kui, LUO sangcairen, CHEN chao, ZHANG wanyi, WANG fengxiang. Global germanium resource distribution, supply and demand and consumption trends[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(5):16-25.

投稿网址: <http://kebh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kebh@chinajournal.net.cn

(上接第 15 页)

- 资源需求趋势分析与中国镓产业发展思考[J]. 地球学报, 2017, 38(1):77-84.
- [11] 刘英俊,于镇藩. 某地铝土矿中镓的地球化学特征[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1963(13):93-100.
- [12] 张勇,秦身钧,杨晶晶,张健雅. 煤中镓的地球化学研究进展[J]. 地质科技情报, 2014, 33(5):166-169, 175.
- [13] 吴鹏,宋公社,杨文博,等. 陕西省三稀矿产调查研究回眸与展望[J]. 陕西地质, 2018, 36(2):9-16.
- [14] 汤艳杰,刘建朝,贾建业. 豫西铝土矿中镓的赋存状态研究[J]. 地球科学与环境学报, 2002, 24(4):1-5.
- [15] 宁树正,邓小利,李聪聪,等. 中国煤中金属元素矿产资源研究现状与展望[J]. 煤炭学报, 2017, 42(9):2214-2225.
- [16] 刘佳媛. 攀枝花钒钛磁铁矿中镓的研究进展[J]. 现代矿业, 2019, 35(1):102-105.
- [17] 杨志民,李晓萍,邬晓梅. 镓生产现状及其化合物的应用前景[J]. 轻金属, 2002(2):3-5.
- [18] 王顺昌. 世界镓的供需状况[J]. 世界有色金属, 2000(11):28-29.
- [19] 盛蔡茂. 氮化镓 GaN 的特性及其应用现状与发展[J]. 科技创新, 2018(31):48-49.

引用格式:敦妍冉,荆海鹏,洛桑才仁,张万益,宋泽峰. 全球镓矿资源分布、供需及消费趋势研究[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(5):9-15, 25.

DUN Yanran, JIN Haipeng, LUOSANG Cairen, LUAN Wenlou, SONG Zefeng. Current situation and utilization trend of the global gallium resources[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(5):9-15, 25.

投稿网址: <http://kebh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kebh@chinajournal.net.cn