

文章编号: 1004-0609(2004)S1-0122-06

我国有色金属材料现状及发展战略^①

黄伯云

(国家“八六三”高技术新材料领域专家委员会)

摘 要: 有色金属新材料是新材料的一个极其重要的组成部分。大力发展有色金属新材料产业, 加速有色金属新材料的研究和开发, 对促进国民经济的可持续发展具有极其重要的战略意义。我国有色金属材料经过几十年的努力, 已经在产量和规模方面取得了重大进展, 是目前世界上的有色金属生产大国。然而, 我国有色金属材料行业在高附加值产品、降低能耗、可持续发展方面与世界先进国家还有很大差距。详细阐述了我国有色金属材料的发展现状, 指出了今后的发展方向和战略。

关键词: 有色金属; 新材料; 发展战略

Status and developing strategy for China's nonferrous metal materials industry

HUANG Baiyun

(National Advanced Materials Committee of China)

Abstract: Nonferrous metal materials are among the most important parts of advanced materials. Developing nonferrous metal materials industry and accelerating the R&D of advanced nonferrous metal materials will necessarily be of strategic significance. By tens of years' hardwork, China has made great progress in the production and the scale of nonferrous metal industry, and has been one of the biggest country in nonferrous metal industry. However, China has lagged behind developed countries in the high-valued products, lowering energy consumption and sustainable development. The status of China's nonferrous metals industry was described in details, and the strategy and route maps for China's advanced nonferrous metal materials industry were pointed out.

Key words: nonferrous metals; advanced materials; developing strategy

材料是人类赖以生存和发展、征服自然和改造自然的物质基础, 也是人类社会发展的先导。特别是现代高技术的发展, 更是依赖于新材料技术的进步, 如果没有现代超级结构材料的发展, 就没有当今世界航空航天事业的辉煌灿烂; 如果没有半导体材料的出现, 也就不可能有今天计算机技术日新月异的蓬勃发展。

有色金属材料是最重要的一类材料, 总计 60 多种。地壳中含量最高的铝、镁均为有色金属。其它有色金属还包括钛、铜、铅、锌、锑、锡、镍、钨、钼等以及稀土元素。有色金属材料涉及到结构材料、功能材料、环境保护材料和生物医用材料等,

其应用几乎涉及到国民经济和国防建设的所有领域。有色金属新材料是新材料的一个极其重要的组成部分, 其地位和作用十分突出。大力发展有色金属新材料产业, 加速有色金属新材料的研究和开发, 对促进国民经济的可持续发展具有极其重要的战略意义。

1 我国有色金属材料发展现状

1.1 成绩显著, 举世瞩目

1.1.1 产量规模发展迅速

我国有色金属工业经过 50 多年的发展, 已经

① 作者简介: 黄伯云(1945-), 男, 教授, 中国工程院院士

通讯作者: 黄伯云, 院士; 中南大学粉末冶金研究院, 长沙 410083; 电话: 0731-8879201; E-mail: hby@mail.csu.edu.cn

形成了比较完整的工业体系,建立了相当雄厚的物质基础。特别是近 10 年来,成绩显著,举世瞩目,产量和规模发展迅速,跃居世界前列,产品规格进一步增多,除基本满足国内需求外,还实现了部分出口。如 2002 年,我国 10 种有色金属产量首次突破 1000 万 t,达到 1 012 万 t,成为世界有色金属第一生产大国;其中铝、钨、稀土、铅、锑、锌、镁和锡等产量居世界第一位,稀土产量占世界总产量的 70% 以上,镁产量占世界总产量的 50% 以上。另外我国还是世界有色金属贸易大国之一,2002 年我国有色企业实现销售收入 2 690 亿元,实现利税 187 亿元,实现利润 80 亿元;出口量为 205 万 t,其中铅、锌、锡、锑、镁出口量居世界第一,预计 2003 年我国有色金属产量将达到 1 120 万 t,实现利税 250 亿元,实现利润 150 亿元。

1.1.2 研究开发取得重大进展

我国有色金属材料经过多年的发展,在高性能材料、新型材料加工技术等方面已取得了重大进展。

铝合金新材料的性能大幅度提高,部分高强高韧铝合金、铝锂合金、喷射沉积快速凝固耐热铝合金的性能达到国际先进水平。从 20 世纪 80 年代开始,我国先后研究开发了 $2 \times \times \times$ 系列和 $7 \times \times \times$ 系列高强高韧抗应力腐蚀铝合金,合金性能达到了美国相应标准的水平,并能提供小批量产品。研制的喷射沉积 8009 合金挤压棒 $\sigma_b = 395 \text{ MPa}$, $\sigma_{0.2} = 320 \text{ MPa}$, $\delta = 7.5\%$; 8009/3% TiC 挤压棒 $\sigma_b = 435 \text{ MPa}$, $\sigma_{0.2} = 330 \text{ MPa}$, $\delta = 7.0\%$ 。Al-Li 合金被列为国家科技攻关项目,包括中强可焊和高强 Al-Li 合金。含 Sc 铝合金的研究也取得了进展,研制出 Al-Zr-Mg-Sc-Zr 合金板材,其性能与俄罗斯的 01970 合金性能相当。我国在近年已成功开发了高压阳极电容器铝箔,性能超过了日本同类产品,已能批量生产,并建成了大规模生产电子铝箔的工艺技术体系。在这种形势下,2002 年从日本进口到我国的电容铝箔的价格被迫从 15~16 万元/t 降至 6~7 万元/t。高速列车和地铁车辆用大型高性能铝合金型材已研制成功,并投入大批量生产。铝材制备技术也得到了迅速提升,铝合金在多元外场作用瞬时连续大变形下,凝固组织控制技术取得突破;电解铝大多采用 200 kA 以上大型预焙电解技术,个别还采用了 350 kA 大型预焙槽技术;铝锭综合交流电耗平均水平由 1978 年的 17 146 kW·h 下降到 2002 年的 15 362 kW·h/t,即每吨铝节约用电 1 784 kW·h,按全国年产 500 万 t 铝计算,每年节

约用电 $8.92 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

我国是镁资源丰富的国家,但对镁合金材料的研究与应用还处于起步阶段。到 20 世纪 90 年代,随着国际镁合金应用的扩大,镁的价格上升,在全国范围内出现了硅热法炼镁热潮,全国镁产量由 1990 年的 0.59 万 t 猛增至 1999 年的 16 万 t。虽然我国原镁的产量和出口量剧增,但镁合金材料深度加工制品的发展相对滞后。近几年,国家将发展镁合金材料列为重大科技攻关项目,镁合金新材料的研究水平因而得到了明显提高,开发了 ZM1~ZM10 等十几个牌号的镁合金。通过细化、净化、微合金化等手段,使铸造镁合金的性能大幅度提高。镁合金铸件、压铸件已应用于汽车和摩托车等领域。2001 年我国生产镁铸件 1 040 t,压铸件 2 120 t。镁合金制备技术得到了发展,现已装备 2 000 t 的镁合金压铸机,能生产出 0.3 mm 厚的变形镁合金薄板,并开发了镁合金阻燃技术、镁合金熔体环保型保护技术和镁合金微弧氧化表面处理技术等先进制备技术。

到目前为止,我国研制的钛合金有近 50 种,已列入国家标准的钛及钛合金牌号有 40 余种。20 世纪 80 年代以来,我国钛合金开始进入由纯仿制到独立研究与仿制相结合的阶段。经过“八五”、“九五”攻关,我国已形成 4 大钛合金系列:1) 具有不同使用温度的高温钛合金;2) 具有不同抗拉强度与塑性、韧性匹配的结构钛合金系列;3) 具有不同屈服强度的舰用钛合金;4) 适用不同环境(介质)的耐蚀钛合金。我国钛合金的研究水平大体与国外接近。在开发研究新材料的同时,我国也在钛加工技术方面开展了大量的工作。在钛熔炼方面,我国广泛采用两次真空电弧熔炼,航空级钛材采用三次熔炼,最大铸锭为 $d 800 \text{ mm} \times 2 600 \text{ mm}$ (质量为 6 t)。目前我国已具备了自行设计制造大型真空电弧炉的能力,并在试验研究中采用冷壁铜坩埚感应熔炼和悬浮熔炼,正计划发展电子束冷床炉熔炼。我国开发的中强钛合金 TC4 已应用于 J10、J11 飞机和人造卫星。“九五”期间开发的中强 TA15 钛合金将应用于 J11 飞机的承力件、钣金、型材、铸件,TC18 将用作 J11 系列飞机的承力构件,开发的 TB8 超高强钛合金将用作 J11 系列飞机后机身;“十五”期间开发的高强、高韧、损伤容限型 TC21 将应用于未来战斗机的重要承力件和钣金。

过去 10 年,我国在金属间化合物材料研究方面取得了突破性进展,已应用于水轮机、航空发动机和汽车发动机等。研制出的 Ti_3Al 合金棒材,其

室温延伸率达 2%~7%; TiAl 合金棒材其室温延伸率达 5%, K_{IC} 为 $34 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 超塑性达到 520%, 并通过渗 C 表面处理, 大大提高了合金的抗氧化性能, 为 TiAl 合金的工程应用打下了良好基础。我国新近研制开发的定向凝固 Ni_3Al 基合金具有密度小、强度高、塑性好和高温抗蠕变性能优异等特性, 是一种具有广泛应用前景的高温结构材料。该合金适合于在 950~1100 °C 使用, 可用作航空发动机的涡轮导向叶片材料, 其工作温度比 K3 铸造高温合金提高 50~100 °C, 在 1100 °C 的持久强度超过美国的 EX-7 合金, 现已应用于生产航空发动机 2 级涡轮导向叶片。

1.2 问题依然严重, 与先进国家的差距较大

经过 50 年的发展, 我国有色金属尽管在产量规模、研究开发、科研和工业体系以及人才培养等方面已取得了举世瞩目的成就, 但在资源及资源利用、产品质量及结构、科研创新、产业结构 and 环境保护等方面, 问题依然严重, 与发达国家存在较大差距。

1.2.1 资源严重短缺

我国是有色金属大国, 但铜、铝等有色金属资源短缺。随着大幅度的提高产量, 原材料短缺的矛盾越来越突出。国内多数有色金属矿山的可采储量急剧下降, 资源接近枯竭。近年来, 我国大量进口铜精矿和氧化铝, 导致全球原料紧张, 价格上涨。

1.2.2 低效率、粗放型发展模式导致产品总体质量不高, 结构不合理

我国有色金属产业深、精加工技术落后, 低档次产品产量过大, 高档产品依赖进口, 如 2002 年我国有色金属出口 58.51 亿美元, 而进口达 109.33 亿美元。具体表现在如下几个方面。

1) 铝材 建筑用型材产量过大, 供过于求, 附加值低, 而高精度饮料罐板铝材、高强高韧铝合金等基本依赖进口。铝合金饮料罐板已是发达国家铝板行业的主导产品, 技术难度不断提高, 罐板向越来越薄的方向发展。我国的饮料罐板在精度、制耳率控制等方面存在较大问题。目前我国饮料罐板绝大部分依赖进口, 占整个进口铝合金总量的近 1/3。高性能铝合金, 如高强高韧抗应力腐蚀铝合金、铝锂合金、快速凝固粉末冶金铝合金和含钕铝合金是现代航空航天、汽车和武器系统的重要材料, 而我国大多仍处于实验室研究或小批量试制阶段, 不能进行大规模工业化生产。在合金品种牌号方面, 我国与发达国家也存在较大差距。目前我国铝合金只

有 143 个牌号, 而美国有 350 个; 我国热处理态铝合金只有 75 个品种, 而美国有 356 个品种。

2) 铜材 经过 40 多年的建设, 我国目前已具有 260 万 t/a 的铜材生产能力, 实际年生产铜材 130~150 万 t, 基本能满足国民经济发展和国防建设对铜材的需要。但在高性能铜合金新材料的研究开发能力和生产水平方面, 我国与发达国家相比还存在很大差距, 表现在产品性能、精度、表面质量等达不到用户要求, 品种、规格、数量也不能满足需要, 所以每年需要进口大量高性能、高精度、高质量铜材。如 1998 年我国共进口铜材 54.6 万 t, 占当年我国铜材全年用量的 43.2%。特别是引线框架材料, 薄的水箱铜带、宽幅带材、铜箔、空调管、冷凝管都需大量进口。

3) 钨、钼材 我国钨、钼等难熔金属制品产量已占世界总产量的 1/3 左右, 但存在中低档产品供大于求, 产品积压等问题, 而技术含量高的产品, 如性能可靠的抗震、抗下垂钨丝, 特种灯泡钨丝, 显像管用钨合金丝, 高精度的钨窄带和钼窄带, 超大规模集成电路亚微元件用超高纯钨、钼材等又不能生产或产量很小, 或质量达不到要求; 缺乏高档管、棒、丝等深加工产品。我国每年出口低档钨制品 1200~1500 t, 但同时又以出口价的 5 倍从国外引进高档钨制品。我国钨、钼制品行业的利润也远低于先进发达国家, 如我国硬质合金总产量为 Sandvik 公司的 2.5 倍, 但总利润仅为其 1/4。

4) 半导体有色金属材料 国外 IC 生产线主流产品采用 $d8$ 英寸硅晶片, 并正在向 $d12$ 英寸硅晶片过渡; GaAs 单晶的研制水平为 $d(6\sim 8)$ 英寸, $d4$ 英寸和 $d6$ 英寸 Si-GaAs 单晶已分别达到商品化和批量生产; InP 单晶实验室已研制出 $d4$ 英寸样品, $d3$ 英寸晶片达商品化, $d(2\sim 3)$ 英寸抛光片已达外延“开盒即用”。而在国内, 单晶硅已具备 $d8$ 英寸小批量生产能力, 但目前只能作陪片使用。实用化水平为 $d(4\sim 6)$ 英寸; GaAs 单晶已研制出 $d4$ 英寸 Si-GaAs 单晶样品, 实用化水平为 $d(2\sim 3)$ 英寸, 抛光片达不到“开盒即用”; InP 单晶已研制出 $d(2\sim 3)$ 英寸, 实用化水平为 $d2$ 英寸抛光片, 但未达到外延“开盒即用”的水平。

1.2.3 环境和资源负担过重

由于我国有色金属行业产业结构不合理, 企业规模小, 资金缺乏, 特别是许多主管部门和企业缺乏环境和资源保护意识, 造成我国环境和资源负担过重。一方面, 对有限资源实行破坏性开采, 加速我国资源枯竭的速度; 另一方面, 生产工艺落后。

据统计,我国目前电解铝产量中仍有 117 万 t(约占总产量的 22%)采用 60kW 自焙阳极电解槽生产;30% 以上的粗铝采用烧结锅、烧结盘生产;鼓风炉炼铜、竖罐炼锌等落后工艺仍占相当大的比例。这些落后的生产工艺效率低、能耗高、污染大。

2 我国有色金属材料发展战略

2.1 总体思路

- 1) 加强技术创新、提升产业水平;
- 2) 突出重点、有限目标;
- 3) 实施精品战略,发展高附加值产品;
- 4) 新材料与基础产业并重;
- 5) 发挥资源优势,重视环境保护。

2.2 具体目标

2.2.1 发展铝合金材料仍是今后的重点

铝合金在国民经济各领域及国防建设中占有很大比重。由于铝合金具有密度低、强度高、耐腐蚀、导电导热性能好、可铸造、可焊接以及加工性能好等优良品质而发展非常迅速,已广泛应用于国民经济和日常生活中,其用量之多、范围之广仅次于钢铁,成为第二大金属,其产量占整个有色金属产量的 1/3 以上。高性能铝合金主要用于航空航天和包装等领域。由于轻质的需要,铝合金一直是航空航天飞行器的主要结构材料,主要用于飞机蒙皮和舱体等部位,在军用飞机上,其用量达 50%,在民用飞机上最高达到 80%。我国在高性能铝合金方面主要应解决以下几个关键问题:1) 铝合金加工重大装备的研发。目前影响我国铝合金产品质量和产量的主要问题是加工装备研制能力弱,很多关键装备都需国外进口;2) 大力开发高强高韧轻质铝合金,如 Al-Li、Al-Mg-Sc、快速凝固粉末冶金铝合金等等,其发展重点是降低成本、扩大产业化规模;3) 开发特种铝合金,如高性能电容铝箔、铝合金制罐板等。

铝合金的研究重点主要集中在如下几个方面。

1) 高精度铝合金板、带、箔材加工技术

高性能饮料罐板铝合金的研究开发。饮料罐板是发达国家铝板行业的主导产品,可代表一个国家铝加工的技术水平,属高精技术产品,附加值高,需求量大。应在解决热连轧生产线后,尽快解决结构控制,降低制耳率以及其它质量问题,使产品具有国际竞争力,满足国内需求,实现部分出口。年产达 20 万 t 以上。

电子铝箔的研究开发。电容器电极铝箔是技术含量高、附加值高的产品,特别是高压阳极电容器铝箔只有日、法、德等少数国家能生产,垄断了全球市场。我国已试制成功并实现批量生产,其综合性能基本达到日本水平。今后应开展稳定化研究,扩大生产规模;继续研究阴极箔,使性能达到国际先进水平,把电子箔作为我国的主产品参与国际竞争。

陆地车辆用新型铝合金型材的开发。如高速列车、地铁车辆用大型多孔空心厚板铝合金型材及轿车车身板材、散热器材料等。

2) 新型高性能铝合金

在高强、高韧、抗应力腐蚀铝合金方面,研究微合金化、超细化、高均匀度、高纯度的超级铝合金,降低成本,提高性价比是关键。重点发展 $2 \times \times \times$ 系和 $7 \times \times \times$ 系高强高韧抗应力腐蚀铝合金,实现批量生产,质量满足飞机制造要求和国防建设需要。

在含 Sc 铝合金的研究开发方面,由于在铝合金中加入 Sc,能大幅度提高铝合金的性能,因而含 Sc 铝合金成为最有吸引力的新型高性能铝合金。但 Sc 的价格昂贵,阻碍了含 Sc 铝合金的应用。采用低纯氧化钪取代金属 Sc 的研究目前已取得进展,可大幅度降低成本。继续加大 Sc 资源的提取利用力度,进一步降低氧化钪和铝钪中间合金的价格。

在快速凝固粉末冶金铝合金新材料的研究开发方面,喷射沉积耐热铝合金的研制已取得重大突破,在此基础上,应进一步提高其性能,尽快实现在航空航天器上的应用。进一步完善改进喷射沉积技术和装备,开发研究新的高合金化的快速凝固铝合金新材料。还可将喷射沉积技术扩大到镁合金、复合材料甚至镍合金的生产上。

2.2.2 镁合金材料的研究开发也是今后有色金属材料发展的重点

Mg 在地壳中的含量为 2.35%,仅次于 Al 和 Fe,海洋中 Mg 含量极为丰富,达 2100 万亿 t,我国 Mg 储量居世界第一。目前我国 Mg 年产量达 26 万多吨,居世界第一,出口量也为世界第一,但国内消耗不到 30%。因此大力发展高性能镁合金材料,提高镁合金制品附加值是我国面临的艰巨任务。由于 Mg 的比强度、比刚度高,导热、导电性能好,电磁屏蔽、阻尼性能好,对环境友好,且价格低廉,而成为新世纪最有发展潜力的金属材料。近 10 年来,镁及镁合金的研究开发和应用得到了广泛关注,目前镁合金主要有 Mg-Al-Zn 系列、Mg-

Al-Mn 系列、Mg-Al-Si 系列和 Mg-Al-Re 系列。特别是为了节能,世界各大汽车公司争相开发镁合金汽车零件,如福特汽车公司 Aerostar Mimir Vans 牌号汽车的中座及后座支架采用镁合金,每年就需要 100 t 以上的 AM60 镁合金铸件。1997 年全球十大汽车公司的 Mg 用量为 4.5 万 t,到 2000 年猛增至 9 万 t。目前全球用于汽车零部件的镁合金用量将以每年增长 15% 的速度发展。公开应用于航空航天飞行器的镁合金材料包括 AZ91E、QE22(MSR)、ZE41(RZ5)、EQ21、EZ33(ZRE1)和 WE43 等。此外镁合金在笔记本电脑、手机、照相机等电器 3C 产品上的用量也越来越大。

镁合金的研究和开发应围绕提高材料的强度、塑性、韧性、耐蚀性以及抗疲劳等综合性能来开展,新型合金的开发可以通过采用新的合金元素、采用新的抗腐蚀处理工艺等途径实行。镁合金研究的关键问题在于:1) 开发适合于镁合金大批量生产的重要装备,如真空压铸、挤压压铸装备等;2) 新型高性能镁合金体系的开发;3) Mg 合金熔炼过程的气氛保护;4) Mg 合金的阻燃技术和表面处理技术;5) Mg 合金与异种材料的焊接问题。

镁合金的研究重点有:1) 开发汽车及 3C 产业用压铸及变形镁合金,包括应用于汽车等交通工具的压铸镁合金,应用于 3C 产品的变形镁合金等。2) 开展超轻、高强、耐蚀 Mg-Li 合金的研究。Mg-Li 合金的密度只有 1.5 g/cm^3 ,具有“超轻合金”之称。通过添加合金元素可提高合金的强度和组织稳定性;但 Mg-Li 系合金的高温性能和抗蚀性尚有待解决。3) 开发高强度耐热镁合金,如应用于未来航空航天领域的镁稀土合金、快速凝固镁合金。4) 开展镁合金制备与表面处理技术的研究,主要包括镁合金熔体净化技术、无污染镁合金熔体保护技术、压铸新工艺技术与装备、镁合金表面微弧氧化处理技术和镁合金表面钝化处理技术等。

2.2.3 大力发展高技术含量、高附加值的难熔金属材料

钨、钼、钽、铌 4 大难熔金属在我国的资源很丰富,已探明的储量均居世界前列,特别是钨、钼具有很大的资源优势。钨、钼及其合金广泛应用于军事工业和民用工业,如照明用抗下垂抗震钨丝、W-CeO₂ 和 W-La₂O₃ 等电极材料、焊接电极用 W-Cu 触头材料以及 W-15Cu、W-20Cu 电子封装材料、W-(3~5)Re 热电偶以及 γ 辐射屏蔽、平衡锤、陀螺转子、各种穿甲弹和手机震子等高比重合金等。钽是钽电容器的关键材料,应用在电容器的钽粉、

钽丝一直是钽的第一大消耗领域。

我国难熔金属今后发展的重点是:

1) 高性能钨、钼合金

重点开发新型掺杂抗震钨丝,把钨的软化效应同掺杂机制结合起来,使抗震钨丝的质量达到国际水平;在喷涂钼丝方面,提高钼丝锭坯单重($> 20 \text{ kg/根}$),适应汽车工业发展的需求;稀土钨方面,单一型稀土钨(W-Y、W-La 电极)实现商品化生产;稀土钼方面,用复合强化机制提高钼材的耐热性,改善钼材电性能;开发纯度 $\geq 99.999\%$ 的高纯钨和高纯钼,特种规格的钨材、钼材,钨 $\geq 450 \text{ mm}$,钼 $\geq 1000 \text{ mm}$ 的特宽板材,直径 $\geq 100 \text{ mm}$ 的粗钼棒材,晶粒度小于 $10 \mu\text{m}$ (W)和 $5 \mu\text{m}$ (Mo)的薄带材以及 W-Cu 功能材料,如电子封装材料、触头材料等。

2) 钼、铌及其合金

重点开发高质量高比容钼粉;进一步提高细径钼丝质量,使我国成为电容器钼丝的生产强国;开发全钼电容器用钼杯,达到规模化生产,完全取代进口。

3) 硬质合金

重点发展梯度结构硬质合金,达到规模生产水平,年生产量达 2000 t;扩大复合涂层硬质合金的品种与生产规模,达到年生产 2000 t 以上;为适应汽车(轿车)工业及高新产业的发展,开发可转位涂层刀具和模块工具系统,满足国内汽车工业的需要;进一步稳定提高超细硬质合金制品质量,发展纳米硬质合金,达到年产 2000 t 以上。

2.2.4 大力发展有色金属新型功能材料,满足国民经济建设的新需求

1) 有色金属信息新材料

当今世界正处于信息时代,电子信息产业的发展推动着人类社会的进步,改变着人们的生活模式。半导体材料是信息技术的基础,Si 材料的研制引发了微电子技术革命。目前,95% 以上的半导体器件和 99% 以上的集成电路都是用高纯优质的硅材料制成的。随着集成电路的特征尺寸逐年缩小,硅晶片尺寸不断扩大,集成度不断提高,对硅单晶片的质量要求也越来越高。GaAs 单晶是应用最广的化合物半导体材料之一,它具有禁带宽度大、电子迁移率高等特点,可用于制造超高速集成电路、微波器件、激光器件、光电以及抗辐射、耐高温等器件,对于国防和高科技研究具有重大意义。近年来,由于大量用于民用移动通信,已显示出广阔的市场前景。第三代半导体 GaN 材料的出现又将引

发世界照明技术的革命。GaN 是固体照明光源的关键材料。随着世界信息化浪潮迅猛发展和节能环保等可持续发展的需要,国外对高亮度 GaN LED 的市场需求剧增。预计 1999~2006 年间,年销售额每年增长 20.6%,2006 年将达到 20 亿美元,约占整个化合物半导体销售总额的 20%。因此,GaN 高亮度蓝、绿和白光 LED 等新型元器件是发展我国电子工业不可或缺的组成部分。

2) 有色金属能源材料

目前化石能源占世界总能源的 80% 以上,高速度的消耗使得这些能源的储量剧减,化石能源的消耗过程排放出大量 CO_2 ,造成日益严重的温室效应。目前氢能、太阳能等清洁能源的开发与利用是研究热点。有色金属在新型能源利用和开发方面具有非常重要的作用。

为了有效利用各种能源,储能材料和能量转换材料无疑是极其重要的。以有色金属为主要原材料的 Ni-H 电池和 Li 离子电池近年来发展非常迅猛。高功率 MH/Ni 电池是电动汽车的主要动力电源。电动汽车以其零排放、低噪声和节能等显著特点成为发展城市环保汽车的理想车型,美国、日本、法国、德国等国家的电动汽车已进入小批量商业化生产的实用化阶段。美国能源部调查显示,2020 年混合型电动汽车(HEV)将占世界汽车总数的 50%,而 HEV 的发展将促进高功率 MH/Ni 动力电池的发展。锂离子电池在手提电脑、摄影机、手机等电器方面具有巨大的应用市场,开发生产锂离子电池需要大量的 Ni、Co 等有色金属。未来 10 年,低成本锂离子电池将可能被大规模使用于汽车上,并将占有 95% 的便携式计算机用电池市场。氢能是未来最受重视的清洁能源,而有色金属氢化物在氢的储存方面具有重要作用。Mg 及 Mg 基复合材料由于质量轻,储氢容量大(为 5%),在未来 10 年将成为发展热点。

3) 超导材料

超导材料被认为是 21 世纪具有战略意义的高新技术材料。目前,超导材料主要有 NbTi 合金低温超导材料和 Bi 系高温超导材料,它们都需要大

量有色金属原材料。NbTi 超导材料具有良好的加工性能和超导电磁性能,已占据整个超导材料用量的 90% 以上,主要应用于大型基础科研装置和民用项目以及大型低温工程装置,如高能粒子加速器、受控热核聚变装置、超导磁悬浮列车、超导储能系统、超导电机、磁分离装置等。每年 NbTi/Cu 超导导线的需求量在 1 000 t 以上,所需的 NbTi 合金棒在 700 t 左右。低温超导的民用市场主要是医用核磁共振成像仪(MRI),每年约有 2000 台投放市场,使用的 NbTi/Cu 超导线约 1 500 t,所需的 NbTi 合金棒为 300 t 左右。高温超导自 1986 年发现以来,经过十几年的发展,已开始进入大规模应用研发阶段。Bi 系高温超导已用于核磁共振、卫星通信和石油勘探,正用于大型传输电缆、变压器、电机、限流器和储能器的试制。国外产业界预测,2020 年全球与超导相关产业的产值可能达到 2400 亿美元。我国在超导研究领域已有相当的工作基础,获得了 108 项专利,为超导技术在中国的发展奠定了很好的基础。“九五”期间我国研制成功了 6 m 长、2 400 A 的 Bi 系高温超导直流输电电缆。

4) 有色金属生态环境材料

现代工业的高速发展带来了严重的环境污染问题,有色金属在改善环境和促进工业可持续发展方面具有重要作用。例如,汽车尾气是城市大气污染的主要来源,全世界的汽车每年排出的 CO、有机烃(HC)和氮氧化物(NO_x)总量约 30 亿 t。采用含稀土复合氧化型催化剂用于治理汽车尾气,可使汽车尾气的有害气体排放量减少 70% 以上。有色金属工业在我国国民经济中占有相当的比重,发展短流程、低能耗、零污染的有色金属生产工艺,也是改善生态环境的重要手段。此外,在许多有色金属工业废物中含有大量的有用成分,如氧化铝生产残留物赤泥含有大量 Al、Ti、Fe 以及少量的 Si、Ca 等,而世界每年大约产生 3000 万 t 赤泥,大部分作为填埋物而废弃。因此,综合利用有色金属工业的废气、废渣、废液,不仅可以化废为宝、节约资源,更重要的是能够明显降低环境污染。

(编辑 杨 兵)