

# 有色金属与 功能材料

日本科学技术资源调查研究所稀有金属资源研究会编



YOUSE JINSHU · GONGNENGCAILIAO

中国有色金属工业总公司科技部

中国有色金属工业总公司情报研究所

# 有色金属与功能材料

日本科学技术厅资源调查所  
稀有金属资源研究会 编

崔阴宇 陈革涛 谭金起  
金 屹 庞 洗 白 岩 译

刘雅庭 崔阴宇 审校

中国有色金属工业总公司科技部  
中国有色金属工业总公司情报研究所

## 《有色金属与功能材料》

日本科学技术厅资源调查所稀有金属资源研究会

崔阴宇、陈革涛、金屹、谭金起、庞洗、白岩译

责任编辑：谭金起

封面设计：张仲华

中国有色金属工业总公司科技部

中国有色金属工业总公司情报研究所 出版

北 京 三 环 印 刷 厂 印 刷

## 内 容 提 要

《有色金属与功能材料》一书译自日本アルム出版社1984年2月出版的《工业稀有金属》总第86期。原著是由日本科学技术厅资源调查所的稀有金属资源研究会编写的。

本书内容涉及稀有金属(按我国对金属的划分,应该说是涉及了绝大部分有色金属,故译者将书名改为《有色金属与功能材料》,而全书内容仍按原文译)及功能材料的各个方面,包括稀有金属定义和范围;应用现状与展望(在功能材料方面的应用现状、在新一代材料方面的应用展望、功能材料所使用的主要稀有金属元素);主要稀有金属资源的现状与研究课题(重点介绍了二十一种稀有金属元素的世界储量、产量、消费量、今后预测及在功能材料方面的应用现状与展望等)。书末还有五个附属图表资料是日本有关功能材料与稀有金属的研究开发现状;世界稀有金属的贮备现状;有关功能材料与稀有金属的情报及情报系统;功能材料的应用现状;稀有金属在新一代材料中的应用展望。

本书可作为参考手册,供从事稀有金属和功能材料生产、科研、设计、计划、管理人员使用,也可供大专院校有关专业师生参考。

参加本书翻译的有崔阴宇、陈革涛、金屹、谭金起、庞洗、白岩、刘雅庭和崔阴宇对全书进行了最终审校。由于水平所限,翻译中难免有不当之处,请广大读者批评指正。

## 前 言

近年来,人们对于稀有金属日益非常关注。至今,在电子、航空、宇宙、原子能、化学等广泛工业领域中,就所研制的促进尖端科学技术迅速发展的各种高性能材料来说,稀有金属起了极其重要的作用。在这一发展历史中,稀有金属数量也不断增加,当今对稀有金属寄予了热切关注。

在此背景下,进一步刺激了围绕材料技术的世界性开发竞争。对于高性能材料的开发要求是无止境的,最近,在由日本科学技术会议提出的11号咨询中,也包括了下列作为今后重要研究开发的领域:推进有关新性能材料的设计理论和探索方法等的基础性研究及推进有关稀有金属性能的研究等。隐藏着未知可能性的稀有金属,可以说对于今后材料的开发是完全不可缺少的元素。

但是,如此之多的稀有金属资源分布的极为明显不均,受到各种资源条件的限制,特别是资源缺乏的日本,在工业先进国中也不得不认为是处于不利的状况。

随着尖端科学技术的发展,对于重要性预计会进一步增大的那些稀有金属资源,日本必须从长远的观点出发,迅速探索综合的、积极的对策。

从这一问题出发,日本资源调查所于1983年11月设置了“稀有金属资源研究会”,收集、整理、分析关于稀有金属资源和与稀有金属有关材料开发的各种情报。

本资料,是汇集了研究会至今所调查的结果。该资料对于今后起草日本有关材料开发的综合性政策规划是有一定作用的,同时,对于关心稀有金属的有关人员也很有参考价值。

最后,对于在汇集本资料中作出极大贡献的中川委员长和各位委员表示深切的感谢。

1984年12月

科学技术厅资源调查所所长 长柄喜一郎

CAL-7/06

## 序

近年来,尖端科学技术的进展,是伴随远远超过原来材料所具有的诸性能的高功能材料之开发而发展的。丢开高功能材料的开发也就谈不上技术的进展,研制材料的人们配合着尖端科学技术的发展,正进行世界性的激烈的开发竞争。

在此背景中,作为高功能材料开发的核心原料而崭露头角的是稀有金属。

在至今的材料开发中,主要采用了适应当时需要的方法,摸索试验得到新的原料,所以在材料的微观方面,不能解释发现功能的机理以前,就首先只在应用方面开展了工作。但是,最近以在材料开发中的新发展为目标,以材料功能发现的机理解释为前提,按照这一前提,通过材料设计和实现被设计材料为目的的结构控制技术,而新材料研制成功的趋向增加了。

在如此潮流之中,期待有可能发现具有多种多样物理性能的稀有金属,随着其物理性能的明朗化,有可能开拓越来越广泛的用途。

由于各方面的专家参加了调查,所以这次调查注重了稀有金属所具有的特殊物理性能,阐明稀有金属在功能材料方面的应用现状、研究开发动向等,同时探讨了稀有金属作为新一代材料的原料之应用展望等,此外,对于各种稀有金属元素所存在的供应问题等也进行了探讨,对于今后的材料开发,期待制定新的方针。

最后,对于参与规划的各位委员表示衷心感谢,同时对资源调查所的诸位表示深切谢意。

1984年12月

稀有金属资源研究会委员长 中川龙一

## 日本稀有金属资源研究会成员

|        |        |                                      |
|--------|--------|--------------------------------------|
| 委员长    | 中川 龙一  | 科学技术厅金属材料技术研究所所长                     |
| 委 员    | 青木 健一郎 | 日本钢铁联盟特殊钢部部长                         |
| 委 员    | 五十嵐俊雄  | 通商产业省工业技术院地质调查所北海道分析所所长              |
| 委 员    | 伊藤 洋一  | 三菱化成工业公司第三事业本部新材料事业部部长代理             |
| 委 员    | 内田 干和  | 日立制作所研究开发部研究开发推进中心主任                 |
| 委 员    | 熊代 幸伸  | 通商产业省工业技术院电子技术综合研究所材料部高温电子材料研究室主任研究员 |
| 委 员    | 黑田 和夫  | 新金属协会常务顾问                            |
| 委 员    | 过 义 行  | 三菱金属公司规划开发部科长                        |
| 委 员    | 西泽 利夫  | (原)新技术开发事业团规划查调室副调查员(现为专利厅审查员)       |
| 委 员    | 藤木 良规  | 科学技术厅无机材料研究所第七研究组综合研究员               |
| 委 员    | 町田 育彦  | 松下技术研究公司主任研究员                        |
| 委 员    | 身内 茂   | 住友金属矿山公司研究开发部技师长                     |
| 委 员    | 吉松 史朗  | 科学技术厅金属材料技术研究所炼铁研究部部长                |
| 委 员    | 吉本 秀幸  | 科学技术厅资源调查所第二调查组主任调查员                 |
| 事务员    | 中山 纈一  | 资源调查所第二调查组调查员                        |
| 事务员    | 宇野 孝   | 资源调查所第二调查组副调查员                       |
| 事务员    | 小畔 敏彦  | 资源调查所第二调查组                           |
| 事务员    | 五岛 登美子 | 资源调查所第二调查组                           |
| (原)事务员 | 井上 义夫  | 资源调查所第二调查组调查员                        |
| (原)事务员 | 武藤 英一  | 资源调查所第二调查组                           |

## 要 点

1.调查的目的与背景

2.稀有金属的范围与调查方法

### 3. 稀有金属的应用现状与展望

#### 4.主要稀有金属资源的现状与研究课题

# 目 录

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 要点.....                  | ( 1 )   |
| 1. 调查的目的与背景.....         | ( 11 )  |
| 2. 稀有金属的范围与调查方法.....     | ( 12 )  |
| 2-1 稀有金属的定义.....         | ( 12 )  |
| 2-2 调查的范围.....           | ( 13 )  |
| 2-3 调查的方法.....           | ( 17 )  |
| 3. 稀有金属的应用现状与展望          |         |
| 3-1 作为功能材料的应用现状.....     | ( 21 )  |
| 3-1-1 特殊钢.....           | ( 21 )  |
| 3-1-2 特殊合金.....          | ( 27 )  |
| 3-1-3 电子光学材料.....        | ( 34 )  |
| 3-1-4 半导体材料.....         | ( 42 )  |
| 3-1-5 电池材料.....          | ( 46 )  |
| 3-1-6 磁性材料.....          | ( 48 )  |
| 3-1-7 超导材料.....          | ( 53 )  |
| 3-1-8 原子能、核聚变材料.....     | ( 57 )  |
| 3-1-9 新型陶瓷材料.....        | ( 61 )  |
| 3-1-10 触媒材料.....         | ( 67 )  |
| 3-2 作为新一代材料的应用展望.....    | ( 72 )  |
| 3-2-1 特殊合金.....          | ( 72 )  |
| 3-2-2 形状记忆合金.....        | ( 74 )  |
| 3-2-3 贮氢材料.....          | ( 76 )  |
| 3-2-4 电子光学材料.....        | ( 79 )  |
| 3-2-5 半导体材料.....         | ( 85 )  |
| 3-2-6 磁性材料.....          | ( 90 )  |
| 3-2-7 超导材料.....          | ( 93 )  |
| 3-2-8 原子能、核聚变材料.....     | ( 96 )  |
| 3-2-9 新型陶瓷材料.....        | ( 99 )  |
| 3-2-10 触媒材料.....         | ( 103 ) |
| 3-3 作为功能材料原料的主要稀有金属..... | ( 107 ) |
| 3-3-1 硼 ( B ).....       | ( 110 ) |
| 3-3-2 钡 ( Ba ).....      | ( 112 ) |
| 3-3-3 铋 ( Bi ).....      | ( 114 ) |
| 3-3-4 钴 ( Co ).....      | ( 115 ) |
| 3-3-5 铬 ( Cr ).....      | ( 118 ) |
| 3-3-6 镓 ( Ga ).....      | ( 121 ) |
| 3-3-7 锗 ( Ge ).....      | ( 124 ) |
| 3-3-8 锂 ( Li ).....      | ( 125 ) |

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 3-3-9 锰 (Mn) .....        | ( 127 ) |
| 3-3-10 钼 (Mo) .....       | ( 129 ) |
| 3-3-11 铌 (Nb) .....       | ( 131 ) |
| 3-3-12 镍 (Ni) .....       | ( 134 ) |
| 3-3-13 铂族金属 (Pt族) .....   | ( 137 ) |
| 3-3-14 稀土金属 (RE) .....    | ( 141 ) |
| 3-3-15 硅 (Si) .....       | ( 147 ) |
| 3-3-16 锶 (Sr) .....       | ( 151 ) |
| 3-3-17 钽 (Ta) .....       | ( 152 ) |
| 3-3-18 钛 (Ti) .....       | ( 154 ) |
| 3-3-19 钒 (V) .....        | ( 157 ) |
| 3-3-20 钨 (W) .....        | ( 158 ) |
| 3-3-21 锆/铪 (Zr/Hf) .....  | ( 160 ) |
| 4. 主要稀有金属资源的现状与研究课题 ..... |         |
| 4-1 稀有金属资源的现状 .....       | ( 165 ) |
| 4-1-1 硼 (B) .....         | ( 165 ) |
| 4-1-2 钡 (Ba) .....        | ( 168 ) |
| 4-1-3 铋 (Bi) .....        | ( 172 ) |
| 4-1-4 钴 (Co) .....        | ( 176 ) |
| 4-1-5 铬 (Cr) .....        | ( 182 ) |
| 4-1-6 镓 (Ga) .....        | ( 187 ) |
| 4-1-7 锗 (Ge) .....        | ( 193 ) |
| 4-1-8 锂 (Li) .....        | ( 198 ) |
| 4-1-9 锰 (Mn) .....        | ( 202 ) |
| 4-1-10 钼 (Mo) .....       | ( 207 ) |
| 4-1-11 铌 (Nb) .....       | ( 212 ) |
| 4-1-12 镍 (Ni) .....       | ( 219 ) |
| 4-1-13 铂族金属 (Pt族) .....   | ( 234 ) |
| 4-1-14 稀土金属 (RE) .....    | ( 239 ) |
| 4-1-15 硅 (Si) .....       | ( 249 ) |
| 4-1-16 锶 (Sr) .....       | ( 258 ) |
| 4-1-17 钽 (Ta) .....       | ( 261 ) |
| 4-1-18 钛 (Ti) .....       | ( 269 ) |
| 4-1-19 钒 (V) .....        | ( 285 ) |
| 4-1-20 钨 (W) .....        | ( 289 ) |
| 4-1-21 锆/铪 (Zr/Hf) .....  | ( 294 ) |
| 4-2 稀有金属资源的综合性研究课题 .....  | ( 307 ) |
| 4-2-1 稀有金属资源的分布不均匀性 ..... | ( 307 ) |
| 4-2-2 稀有金属资源的赋存和制约 .....  | ( 314 ) |
| 4-2-3 日本稀有金属资源所处的位置 ..... | ( 317 ) |
| 4-2-4 今后的方向和研究课题 .....    | ( 320 ) |
| 附属资料 .....                | ( 332 ) |

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 1. 日本对功能材料和稀有金属的研究开发现状..... | ( 322 ) |
| 2. 世界各国的稀有金属贮备现状.....       | ( 356 ) |
| 3. 关于功能材料和稀有金属的情报及情报系统..... | ( 363 ) |
| 4. 功能材料的应用现状.....           | ( 375 ) |
| 5. 作为新一代材料的应用展望.....        | ( 447 ) |

## 1. 调查目的与背景

作为支撑近年来尖端科学技术迅速进步的材料, 高性能材料的开发是极其重要的, 作为今后开创新一代创造性技术的主要材料, 预计其重要性会越来越大。在这一背景下, 作为开发高性能材料的核心原料而引起人们关注的是稀有金属。

稀有金属的诸性能虽然还不十分明确, 但至今已有的也已对实现广泛性的功能作出了极大贡献, 被引以注目的是按照材料设计的开发方法, 所以, 今后随着材料诸物理性能的机理在微观上被解释清楚, 可望稀有金属的用途会越来越多样化。

但是, 多数稀有金属赋存极为不均, 受到各种各样的资源限制, 资源贫乏的日本, 不得不承认处于不利的状况。为此, 为了应付供应不稳, 日本也以贮备一部分稀有金属为方针, 但今后若意识到稀有金属越来越重要, 从长远的观点考虑, 在采取综合性、且积极的对策下, 有必要确保和充分应用稀有金属。

本调查就是从这一观点出发, 在明确稀有金属的供应及应用现状的同时, 也依据从功能材料为中心的研究开发动向, 探讨稀有金属作为新一代材料的原料之展望和今后资源问题的观点等出发, 以收集、整理、分析有关稀有金属的情报为目的。

进而, 本调查是作为今后有关日本材料开发的综合性政策规划与设计的基础性资料, 以此为意图而汇编成的。

## 2. 稀有金属的范围与调查方法

### (1) 稀有金属的定义

1954年发行的“稀有金属手册”(美国莱因/尔特公司出版)中把符合于如下任何一项的称为稀有金属。

(i) 在地球上自然存在量极为稀少;

(ii) 地球上的存在量虽然很多, 但值得提取的、有经济价值的某品位矿石却很少;

(iii) 地球上的存在量虽然很多, 但用化学的、物理的方法却难以提取出纯金属来;

(iv) 没有被提取的金属之用途, 因其性能也不明确, 所以还未开发。

但是, 这一定义并不科学, 因为是定性的, 所以根据技术的进展等, 成为稀有金属的金属也有变化。

概括地说, 若将Fe、Cu等常用金属与稀有金属相比较的话, 对于稀有金属来说, 可以例举出以下特征: 应用历史短; 还有许多不清楚的物理性能; 作为尖端科学技术领域的功能材料的原料是很重要的; 可开采量有限; 流通量和价格的市场变动很大等。

本调查是从广泛地以稀有金属作为功能材料原料的可能性这一立场出发, 将至今作为稀有金属的以下诸元素为调查对象。

其中有几个元素作为主要的稀有金属在后面进行了详细调查。

Ag, As, Au, B, Ba, Bi, Be, Cd, Co, Cr, Cs, Ga, Ge, Hf, Ia, Li, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pt族 RE, Re, Sb, Se, Si, Sr, Ta, Te, Th, Tl, Ti, V, W, Zr

### (2) 调查的范围

本调查注重于稀有金属所具有的特殊物理性能, 调查了有关在功能材料方面的应用现状、

研究开发动向,进而作为新一代材料原料的应用展望等,同时调查了有关各种稀有金属元素的供应及流通现状和存在的问题,资源存在状况等。

本调查中主题是作为功能材料的稀有金属,但这儿所说的功能材料是指物理或化学的感应材料。材料的功能大致可以分类如下:

- ①绝缘功能(高绝缘、强感应、压电、热电、离子导电)
- ②半导体功能(整流、放大、振荡、光传导、发光、接收光、光检测、记忆)
- ③金属功能(超导、超塑性、防振、形状记忆、发射电子)
- ④光学功能(荧光、透光、反射、吸光、导光、双折射、偏振光、变调、光弹性、光磁)
- ⑤磁功能(软磁性、硬磁性、磁致伸缩、磁变态、转移)
- ⑥机械功能(耐磨、切削、润滑)
- ⑦热功能(耐热、绝热、热传导)
- ⑧化学功能(载体、触媒、贮氢、耐蚀)
- ⑨核功能(照射特性、抗膨胀、抗放射线特性)

### (3)调查的方法

本调查是从稀有金属作为功能材料的应用现状和作为新一代材料原料的应用展望方面进行调查的,接着从这些调查中选择出主要的稀有金属。进而对每一种主要稀有金属考察其作为材料的特征和今后展望及课题,最后从原料资源方面,对各主要稀有金属进行研究。本调查的程序如图1所示。

#### ①从作为功能材料的应用方面进行调查

首先就“作为功能材料的应用现状”,对于稀有金属目前被用作功能材料的每一领域进行了如下探讨:(i)被人们注目的稀有金属元素;(ii)应用形态和引起注目的材料性能;(iii)需求规模;(iv)应攻克的课题等。(本书3.1,附件4)

接着,就“作为新一代材料的应用展望”,对于期待作为新一代材料原料的稀有金属之应用的每个领域,探讨了有关各种需求与今后的研究开发课题。(本书3.2,附件5)

#### ②主要稀有金属的选择

对于上述①的各应用领域,结合现有材料和新一代材料,将各种被引起注目的稀有金属提取出来,以各个领域的15个元素作为上限,进行了重要稀有金属的选择。进而,将此汇总进行判断,最终选择了如表1所示的21种主要稀有金属(本书3.3(1))。

当进行重要性的评价时,按照以下的(i)~(v)评价项目进行判断。

- (i)现在需要量大,预计今后也会稳定地增大或扩大的;
- (ii)虽然现在需要规模小,但预计将来会迅速扩大的;
- (iii)尽管有一定的需要规模,但难以用其它元素来代替的;
- (iv)国内外正在积极研究开发的有关新型需要的。

在本书3.3.1~3.3.2中,关于21种主要稀有金属元素,分别就各个元素的应用现状和今后的展望进行了详细论述。

#### ③主要稀有金属资源的现状与课题

对于21种主要稀有金属元素,分别就其资源存在状况、资源生产状况、供需现状及展望资源供应上的问题等进行了探讨(本书4.1)。

①从作为功能材料的应用方面调查

作为功能材料的应用现状

②主要稀有金属的选择

作为功能材料原料的主要稀有金属元素

评价

作为新一代材料的应用展望

主要稀有金属资源的现状与课题

图1 调查的程序

③从原料资源方面的调查

作为功能材料的主要稀有金属元素与其主要应用领域

表 1

|       |     | 特殊合金 | 形状记忆合金 | 贮氢合金 | 电子光学材料 | 半导体材料 | 电池材料 | 磁性材料 | 超导材料 | 原子能核聚变材料 | 精密陶瓷材料 | 航天材料 |
|-------|-----|------|--------|------|--------|-------|------|------|------|----------|--------|------|
| B     | 硼   |      |        |      |        |       |      |      |      |          | ○      | ○    |
| Ba    | 钡   |      |        |      |        |       |      | ○    |      |          | ○      | ○    |
| Bi    | 铋   |      |        |      |        |       |      |      | ○    |          | ○      | ○    |
| Co    | 钴   | ○    | ○      |      |        | ○     |      | ○    |      |          |        | ○    |
| Cr    | 铬   | ○    | ○      | ○    |        |       |      | ○    |      |          |        | ○    |
| Ga    | 镓   |      |        |      |        | ○     |      |      | ○    |          | ○      |      |
| Ge    | 锗   |      |        |      |        |       |      |      | ○    |          |        |      |
| Li    | 锂   |      | ○      |      |        |       | ○    |      |      | ○        | ○      |      |
| Mn    | 锰   |      |        |      |        |       | ○    | ○    |      |          |        |      |
| Mo    | 钼   | ○    | ○      |      |        | ○     |      |      | ○    |          |        | ○    |
| Nb    | 铌   | ○    | ○      |      |        | ○     |      |      | ○    |          | ○      |      |
| Ni    | 镍   | ○    | ○      | ○    | ○      | ○     | ○    | ○    |      |          |        | ○    |
| Pt族   | 铂族  |      |        |      |        |       |      |      |      |          |        | ○    |
| RE    | 稀土  |      | ○      | ○    | ○      |       |      | ○    |      |          | ○      |      |
| Si    | 硅   |      |        |      |        | ○     |      |      | ○    | ○        | ○      | ○    |
| Sr    | 锶   |      |        |      |        |       |      | ○    |      |          | ○      |      |
| Ta    | 钽   |      | ○      |      |        |       |      |      |      |          | ○      |      |
| Ti    | 钛   |      | ○      | ○    | ○      | ○     |      |      | ○    | ○        | ○      | ○    |
| V     | 钒   | ○    | ○      |      |        |       |      |      | ○    |          |        | ○    |
| W     | 钨   | ○    | ○      |      |        | ○     |      |      |      |          |        | ○    |
| Zr/Hf | 锆 铪 |      | ○      |      |        |       |      |      | ○    |          | ○      |      |

注1: RE为在15个镧系元素上再加上Y、Sc两个元素后的总共17个元素的总称。