

刘小珍 编著

XITU JINGXI HUAXUEPIN HUAXUE

稀土精细化学品

◀ 化 学 ▶



化学工业出版社

稀土精细化学品化学

刘小珍 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍了目前国内外迅速发展的稀土精细化学品组成、结构、性能、制备和应用。内容包括绪论、稀土元素的基本性质、稀土发光化学品、稀土染料、稀土涂料、稀土催化剂、稀土激光材料、稀土磁性材料、稀土超导材料、稀土信息化学品、稀土贮氢材料、稀土功能陶瓷、稀土纳米材料、稀土添加剂等。

本书可供从事应用化学、化学工程与工艺、材料科学与工程等,尤其是新精细化学品研究开发、生产、管理的科技人员参考,也可作为高等院校应用化学、化学工程与工艺、材料科学与工程等专业的高年级本科生和研究生的教科书和教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

稀土精细化学品化学/刘小珍编著. —北京: 化学工业出版社, 2009. 6
ISBN 978-7-122-05377-0

I. 稀… II. 刘… III. 稀土金属-精细化工-化工产品
IV. TL345

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 060296 号

责任编辑: 任惠敏

文字编辑: 林 媛

责任校对: 王素芹

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 17½ 字数 346 千字 2009 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究



前 言

我国是稀土的资源大国、生产大国和应用大国。稀土元素由于具有特殊的电子结构和独特的物理化学性质，是国内外科学家最关注的一组元素，被美国、日本等国家有关政府部门列为发展高技术产业的关键元素。稀土精细化学品是指含有稀土元素的精细化学品。精细化学品品种多、附加值高、用途广泛、产业关联度大，又直接服务于国民经济的诸多行业和高新技术产业的各个领域，大力发展精细化学品工业已成为世界各国调整化学工业结构、提升化学工业产业能级和扩大经济效益的战略重点。精细化学品工业已是当今化学工业中最具活力的新兴领域之一，而稀土精细化学品一直活跃在精细化学品领域的前沿。

稀土精细化学品领域的迅速发展表现在：其化学结构与其特殊性能之间的关系和规律，由于其具有的特殊性能已被应用到信息记录与显示、激光技术、超导技术、能量转换与储存、冶金机械、石油化工、轻工、农业、电子信息、能源、环保、国防军工等高新技术领域中；其学科的基础知识与材料科学、生命科学、信息科学、电子学、光学等多学科的知识综合交叉；新品种的研究开发将出现质的变化，从而创造出性能更优异的、具有突破性的、完全新型的精细化学品品种。

本书阐述了目前国内外迅速发展的稀土精细化学品组成、结构、性能、制备和应用，着重论述了稀土发光化学品、稀土染料、稀土涂料、稀土催化剂、稀土激光材料、稀土磁性材料、稀土超导材料、稀土信息化学品、稀土贮氢材料、稀土功能陶瓷、稀土纳米材料、稀土添加剂等。本书编写过程中，参考的文献很多，在每章后列出了主要参考文献。在此，谨向被书中引用的原作者们表示深切的谢意。

本书的出版得到了上海市高校本科教育高地、上海市重点培育学科建设项目(P1501)、上海市科委重点项目(072305113)资助。在编写过程中，得到了上海应用技术学院的支持。在此，表示感谢。

鉴于“稀土精细化学品化学”这一新兴学科所涉及的内容广泛，又是多学科交叉渗透，加之作者水平所限，书中缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

刘小珍
2009年2月
于上海应用技术学院

目 录

第一章 绪论

一、稀土精细化学品的定义	1
二、稀土精细化学品的分类	2
三、稀土精细化学品的特点	3
四、稀土精细化学品在高技术领域的应用	4
参考文献	5

第二章 稀土元素的基本性质

第一节 稀土元素概论	7
一、稀土元素和镧系元素的概念	7
二、稀土元素的发现	8
三、稀土元素在自然界中的存在	11
四、稀土元素资源的分布及我国的稀土资源	13
五、镧系收缩	14
第二节 稀土元素的一般物理性质及化学反应性能	15
一、稀土元素的一般物理性质	15
二、稀土元素的化学反应性能及氧化还原电位	16
第三节 稀土元素的化合物	17
一、稀土元素氧化物	17
二、稀土元素的氢氧化物	21
三、稀土元素的几种含氧酸盐	22
四、稀土元素的卤化物	26
五、稀土元素的氢化物	29
六、稀土元素的硼化物	30
七、稀土元素的碳化物和硅化物	31
八、第V A族元素的稀土化合物	32
九、稀土元素的硫化物	33
第四节 稀土配位化合物	35
一、稀土元素配合物配位键的特点	35

二、稀土配合物的配位数和几何构型	36
三、稀土配位化合物的稳定性	37
四、镧系配合物性质与原子序数关系中的四分组效应	38
五、稀土配合物的类型	38
第五节 非正常价态稀土化合物	40
一、稀土元素的价态异常与异常价态稀土离子	40
二、电离辐射作用下晶体中稀土的价态	41
三、非正常价态稀土化合物	42
四、非正常价态稀土化合物的发展趋势	42
参考文献	43

第三章 稀土发光化学品

第一节 材料的发光机理	44
一、稀土离子的 f-f 跃迁、f-d 跃迁和电荷迁移带	44
二、分立中心发光和复合发光	44
三、发光材料的发光特征	45
第二节 射线致发光材料	47
一、稀土阴极射线致发光材料	47
二、X 射线稀土发光材料	50
三、稀土光激励发光材料	52
四、射线致发光材料的应用	55
第三节 稀土光致发光材料	55
一、荧光灯用稀土荧光体	55
二、白光发光二极管芯的稀土发光材料	59
三、稀土上转换发光材料	64
四、光致发光材料的应用	65
第四节 稀土电致发光材料	65
一、电致发光机理	65
二、电致发光材料的发光特性	65
三、各种稀土电致发光材料	66
参考文献	67

第四章 稀土染料

第一节 染料的特征值和发色理论	70
一、染料的特征值	70
二、染料的发色理论	72
第二节 稀土助染剂和各种稀土染料	72
一、稀土助染剂	72
二、各种稀土染料	78
参考文献	81

第五章 稀土涂料

第一节 涂料的作用与涂料的组成	83
一、涂料的作用	83
二、涂料的组成	84
第二节 稀土涂料种类	86
一、稀土蓄能发光涂料	86
二、稀土电热涂料	93
参考文献	95

第六章 稀土催化剂

第一节 催化剂的特征值	97
第二节 稀土催化剂的应用及研究	99
一、石油化工催化剂	99
二、机动车尾气的净化催化剂	101
三、天然气等化石燃料的催化燃烧	106
四、固体氧化物燃料电池	108
五、稀土在有机合成催化剂中的应用	110
六、有毒有害废气、废水的催化净化	112
七、移动制氢催化剂	116
八、稀土在化肥催化剂中的应用	117
参考文献	117

第七章 稀土激光材料

第一节 激光产生的原理	123
一、光的吸收和发射	123
二、激光产生的原理	124
三、激光工质材料的特征值	125
第二节 稀土激光材料的种类和应用	127
一、稀土固体激光材料	127
二、稀土液体激光材料	131
三、稀土气体激光材料	132
四、激光工质材料的应用	132
参考文献	133

第八章 稀土磁性材料

第一节 材料的磁性	134
一、材料磁性的来源	134
二、磁场及其特征参量	134
三、物质磁性的分类	135
四、磁化曲线和磁滞回线	136
第二节 稀土永磁材料	137

一、永磁材料的特征值	137
二、各种稀土永磁材料	139
三、稀土永磁材料的制备	141
四、稀土永磁材料的应用	144
第三节 稀土超磁致伸缩材料	145
一、稀土离子大磁致伸缩的原因	145
二、磁致伸缩材料的特征值	146
三、各种稀土超磁致伸缩材料	146
四、稀土超磁致伸缩材料的制备	147
五、稀土超磁致伸缩材料的应用	148
第四节 稀土磁制冷材料和磁蓄冷材料	149
一、磁制冷的起源	149
二、磁制冷材料的特征值	149
三、稀土磁制冷材料	150
四、稀土磁蓄冷材料	150
五、稀土磁制冷和磁蓄冷材料的应用	151
参考文献	151

第九章 稀土超导材料

第一节 超导材料的基本特征和超导电性理论基础	153
一、超导现象	153
二、超导体的特征值	153
三、超导体的种类	155
四、超导电性理论基础	156
五、超导材料研究的经验规律	158
第二节 稀土高温超导材料和性质	159
一、稀土高温超导材料	159
二、稀土高温超导体的性质	160
第三节 稀土超导材料的制备	161
一、稀土铜氧化物超导体的合成	161
二、YBCO 薄膜的制备	163
第四节 超导材料的应用	164
参考文献	166

第十章 稀土信息化学品

第一节 稀土磁光材料	167
一、磁光效应	167
二、稀土磁光的来源	168
三、稀土磁光材料的种类	168
四、稀土磁光材料的制备	170
五、磁光材料的应用	171

第二节 稀土磁泡材料	172
一、磁晶各向异性的概念	172
二、磁泡材料的特征值	173
三、各种稀土磁泡材料	174
四、稀土磁泡材料的制备	175
五、稀土磁泡材料的应用	176
第三节 稀土玻璃光纤	176
一、光导原理	176
二、光纤材料的特征值	177
三、稀土玻璃光纤的种类	179
四、稀土玻璃光纤的制备	181
五、光纤材料的应用	182
参考文献	183

第十一章 稀土贮氢材料

第一节 贮氢作用机理	184
一、氢化物类型和贮氢合金成分选择依据	184
二、金属氢化物贮氢原理	185
三、金属氢化物的结构	187
四、贮氢材料的特征值	187
五、贮氢材料应具备的条件	188
第二节 稀土元素的影响和 LaNi_5 三元系	189
一、稀土元素的影响	189
二、 LaNi_5 三元系	190
第三节 稀土贮氢材料的制备	191
一、合金熔炼法	191
二、化学合成法	191
三、物理气相沉积法	192
第四节 贮氢材料的应用	192
一、用于氢气的贮存和运输	192
二、用于氢气的提纯和分离	193
三、高性能充电电池	193
四、氢化物热泵用于空调与采暖	194
五、用于催化	195
参考文献	197

第十二章 稀土功能陶瓷

第一节 稀土压电陶瓷	199
一、压电效应	199
二、压电材料的特征值	200
三、晶体的铁电性	201

四、各种稀土压电陶瓷	202
五、稀土压电陶瓷的制备	202
六、压电陶瓷的应用	202
第二节 稀土透明电光铁电陶瓷	203
一、电光效应	203
二、各种稀土透明电光铁电陶瓷	204
三、稀土透明电光铁电陶瓷的制备	205
四、稀土透明电光铁电陶瓷的应用	206
第三节 稀土半导体陶瓷	206
一、半导体的能带结构	206
二、稀土半导体陶瓷的晶界效应	207
三、稀土半导体陶瓷的种类	208
四、稀土半导体陶瓷的制备	210
五、稀土半导体陶瓷的应用	210
第四节 稀土电介质陶瓷	211
一、电介质的特征值	211
二、各种稀土电介质陶瓷	212
三、稀土电介质陶瓷的制备	213
四、稀土电介质陶瓷的应用	213
第五节 稀土磁性陶瓷	214
一、各种稀土磁性陶瓷	214
二、稀土磁性陶瓷的制备	215
参考文献	216

第十三章 稀土纳米材料

第一节 纳米材料和发展的历史	217
第二节 纳米微粒材料	218
一、纳米微粒的基本特征	218
二、纳米微粒的结构	220
三、纳米微粒的特性	221
第三节 纳米块体材料	222
一、纳米块体材料的特征	222
二、纳米块体的结构	223
三、纳米块体的特性	224
第四节 纳米复合材料	227
一、纳米复合材料的特征	227
二、纳米复合材料的种类	228
第五节 稀土纳米材料的种类	229
一、稀土纳米发光材料	229
二、稀土纳米磁性材料	233

三、稀土纳米陶瓷材料	234
四、稀土纳米复合材料	235
五、稀土纳米合金	238
参考文献	239

第十四章 稀土添加剂

第一节 稀土电镀添加剂	241
一、稀土镀铬添加剂	241
二、水溶液中电沉积稀土合金	245
三、稀土化学镀添加剂	248
四、稀土镀锌添加剂	252
五、稀土复合电镀添加剂	254
六、其它稀土电镀添加剂	254
第二节 稀土导电粉	255
一、导电粉	255
二、稀土和 Sb 共掺杂 SnO_2 导电粉	262
参考文献	263

第一章 绪 论

稀土元素由于具有特殊的电子结构,独特的物理化学性质,是国内外科学家最关注的一组元素,被美国、日本等国家有关政府部门列为发展高技术产业的关键元素^[1],2006年美国国防部公布的35种高技术元素中,包括了除钷以外的16种稀土元素,占全部高技术元素的45.7%,而日本科技厅选出的26种高技术元素,16种稀土元素包括在内,占61.5%^[2]。有人认为,随着稀土元素的开发,将会引发一场新的技术革命。随着超导、计算机、光纤通信、航空航天、原子能等高新技术的飞速发展,稀土元素及其化合物在这些领域所起的作用越来越重要。特别是近年来,稀土元素及其化合物在农业、轻纺工业、建筑装饰业、食品工业、石油工业、汽车工业、功能高分子材料和医药卫生等与人民生活息息相关的行业得到广泛应用,稀土精细化学品工业这一新型工业门类正逐渐形成^[3]。

一、稀土精细化学品的定义

精细化学品(Fine Chemicals)又称精细化工产品,有关专业工具书把产量小、纯度高的化学品泛称为精细化学品^[4]。

日本把凡具有专门功能,研究开发、制造及应用技术密集度高,配方技术能左右产品性能,附加值高、收益大、小批量、多品种的产品称为精细化学品。

按美国克林(Kline)分类法,将专用化学品这一术语代替精细化学品。将化工产品分为两大类:通用化学品(Heavy Chemicals)和专用化学品(精细化学品)。

① 通用化学品指从廉价、易得的天然资源(如煤、石油、天然气和农副产品等)开始,经一次或数次化学加工而制成的最基本的化工原料。它用途广泛、生产批量较大,通常以其主要成分的化学名称来命名;具有应用范围广、生产中化工技术要求高、产量大而附加值低等特点。

② 专用化学品(精细化学品)是指全面要求产品功能和性能的一类化学品,可按商品使用性质分为准商品、多用途功能化合物和最终用途化学品。精细化学品是以通用化学品为起始原料,合成工艺中步骤繁多、反应复杂、产量小而产值高,

并具有特定的应用性能的产品。所以通常将年产量较少的或用途专一的化学产品划分为精细化工产品。

在我国精细化学品一般指深度加工的、技术密集度高、产量小、附加价值大、一般具有特定应用性能的化学品。

稀土精细化学品是指含有稀土元素的精细化学品。生产稀土精细化学品的工业,则称为稀土精细化学工业,简称稀土精细化工。一般不把稀土的采选、常规分离和冶炼列入稀土精细化工的范畴。涉及的较成熟的有实用价值的稀土精细化学品的范围是:稀土试剂与高纯品,稀土发光材料、磁记录材料和信息用化学品,稀土农药、农肥及植物生长调节剂,稀土化工、轻工和纺织助剂,稀土涂料助剂及建材添加剂,稀土食品和饲料添加剂,稀土石油制品添加剂与石油炼制助剂,稀土功能陶瓷、贮氢合金、功能高分子材料和永磁材料,稀土医药卫生用品。随着今后科学技术的发展。稀土精细化学品领域和范围将不断扩展。

二、 稀土精细化学品的分类

精细化学品的范围非常广泛,各国对精细化学品范畴的规定有差别,特别是随着科学技术的不断发展,精细化学品涉及的行业也越来越多,所以各国对其分类也有差别。目前,各国较统一的分类原则还是以精细化学品的特定功能和行业来分类。我国1986年3月6日原化学工业部颁发的《关于精细化工产品分类的暂行规定》将精细化学品分为11大类,即:①农药;②染料;③涂料(包括油漆和油墨);④颜料;⑤试剂和高纯物;⑥信息用化学品(包括感光材料、磁性材料等);⑦食品和饲料添加剂;⑧黏合剂;⑨催化剂和各种助剂;⑩化学药品和日用化学品;⑪功能高分子材料(包括功能膜、感光材料等)。但该分类并未包含精细化学品的全部内容,如医药制剂、酶制剂、精细陶瓷等。现在我国有的教科书将精细化学品分为18类,如:①医药和兽药;②农药;③黏合剂;④涂料;⑤染料和颜料;⑥表面活性剂和合成洗涤剂、油墨;⑦塑料、合成纤维和橡胶助剂;⑧香料;⑨感光材料;⑩试剂和高纯物;⑪食品和饲料添加剂;⑫石油化学品;⑬造纸用化学品;⑭功能高分子材料;⑮化妆品;⑯催化剂;⑰生化酶;⑱无机精细化学品。

日本是精细化学品发展较早也是较快的发达国家,他们在1984年《精细化工年鉴》中将精细化学品分为35个类别:①医药;②兽药;③农药;④合成颜料;⑤涂料;⑥有机染料;⑦油墨;⑧黏合剂;⑨催化剂;⑩试剂;⑪香料;⑫表面活性剂;⑬合成洗涤剂;⑭化妆品;⑮感光材料;⑯橡胶助剂;⑰增塑剂;⑱稳定剂;⑲塑料添加剂;⑳石油添加剂;㉑饲料添加剂;㉒食品添加剂;㉓高分子凝聚剂;㉔工业杀菌防腐剂;㉕芳香消臭剂;㉖纸浆及纸化学品;㉗汽车化学品;㉘脂肪酸及其衍生物;㉙稀土金属化合物;㉚电子材料;㉛精细陶瓷;㉜功能树脂;㉝生命体化学品;㉞化学促进生命物质;㉟盥洗卫生用品。

1985年,又新增了以下16个品种:酶、火药和推进剂、非晶态合金、贮氢合

金、无机纤维、炭黑、皮革用化学品、溶剂与中间体、纤维用化学品、混凝土添加剂、水处理剂、金属表面处理剂、保健食品、润滑剂、合成沸石、成像材料。

稀土元素在精细化学品中差不多均有应用，稀土精细化学品的分类可按精细化学品分类。

三、稀土精细化学品的特点

小批量和具有特定功能的专用性质构成了稀土精细化学品量与质的两个基本特性。稀土精细化学品的生产全过程不同于一般化工产品，它是由化学合成、复配增效、制剂和商品化四个生产部分组成的，在每一个生产过程中又派生出各种化学的、物理的、生理的、技术的、经济的要求。随着其服务的各工业领域的工艺革新和对品质的要求提高，自身产品的升级换代比较频繁，故稀土精细化工是高技术密集度的产业，需投入大量的人力、物力进行研究与开发。稀土精细化学品的综合生产特点可归结为以下几方面。

1. 小批量、多品种生产

由于大多数稀土精细化学品的产量较小，商品竞争性强，更新换代快，因此，稀土精细化学品的生产必然是以小批量为主。与大型石油化工、大化肥和冶金工业等大生产装置生产的产品相比，稀土精细化学品的批量要小得多，而相似的品种却较多。原因：一是其特定的应用行业的用量不多，效果却很大，故其生产批量不会太大，也不能太大。二是为达到最佳使用效果，每一特定的使用条件下都有一种类型的产品与之配合。

2. 以添加剂的形式出现，大量采用复配技术

由于稀土及其化合物在一些材料、工业过程甚至动植物生长过程中，添加少量即起着独特的作用，被人们誉为“工农业的味精”。故在稀土精细化学品行业大量采用配方技术，通过添加一定量的稀土及其化合物来改善一些精细化学品的性能。

3. 采用多用途、多功能特别是间断式生产装置较多

稀土精细化学品在生产上表现为经常更换和更新品种，并往往是在一套设备上、不同时间内生产不同类型的产品。因此，通常采用间断式的生产装置，广泛采用多品种综合生产流程和多用途、多功能生产装置，使其发挥最大的经济效益。

4. 高技术密集度

稀土精细化学品是以商品的综合功能出现的，这就需要在化学合成中筛选不同的稀土元素、不同的化合物和结构类型，在制剂生产中充分考虑产品的自身功能与其它配合物质的协同效应，如在橡胶、塑料制品加工中就需要各种助剂的相互配合与协同作用。就新技术密集度而言，化学工业是高技术密集指数工业，而稀土精细化工又是化学工业中要求更高技术密集指数的工业。这是因为稀土化合物的许多理论及合成技术都是在近几十年才建立和发展起来的，对于生产工艺、设备和操作人员的要求比较高。

5. 商品性强, 市场竞争激烈

稀土精细化工企业极其重视产品的生产技术、产品的应用技术和售后服务这些环节间的协调。科学技术的日新月异、产品的不断更新换代, 使得用户对商品的选择性提高, 市场竞争十分激烈。这就要求不断地更新产品, 提供优质的技术服务, 紧跟各应用领域的发展步伐。

6. 新品种开发成功率低、时间长、费用高

这一特点与这一行业技术密集度高且为一新兴的工业门类、相应的理论发展还不够完善是相一致的。

7. 技术垄断性强、销售利润高、附加价值率高

一旦产品开发成功, 其技术垄断性是很强的。一般来说, 化学工业属于资本型工业, 资本密集度高, 但稀土精细化工投资少, 投资回报率高, 资本密集度仅为整个化学工业平均指数的 0.3~0.5, 稀土精细化工原材料费率(原材料费占产值的百分比)低, 附加价值率(附加价值占产值的百分比)高。高科技含量同时也决定着其附加价值率高。

四、稀土精细化学品在高新技术领域的应用

稀土元素具有独特的 4f 电子结构, 内层 4f 轨道未成对电子多, 电子轨道相互作用较强, 因而决定物质磁性强弱的原子磁矩高。稀土与铁、钴(三元素)结合形成具有强大磁力的超级永磁、旋磁(微波)、旋电(磁光)、压磁(磁致伸缩)、磁制冷材料和器件对科学技术产生着极大的影响。很多稀土离子具有丰富的能级, 现已查明, 仅三价离子的 4f 组态中就有 1639 个能级, 能级对之间的可能跃迁数目高达 199177 个^[5], 在 199177 个可能跃迁能级之中只有 48 个已被用于激光和发光材料, 只占可能跃迁数目的 1/4000, 有待研究开发的潜力很大^[6]。稀土金属活泼, 几乎可与所有元素发生作用, 容易失去外层电子显示极高的化学活性, 它们的配位数可以从 3~12 大范围内变化, 并且稀土化合物的晶体结构也是多样化的。稀土元素独特的物理化学性质, 在与有色金属生成金属间化合物和合金材料时表现出优异的力学性能, 从而决定了它们具有极为广泛的用途^[8]。人们利用稀土元素的特殊性质开发出了一系列不可取代的、性能优越的新产品。如磁性材料、贮氢材料、发光材料、催化材料等功能材料, 并被广泛应用于冶金机械、石油化工、轻工业、农业、电子信息、能源、环保、国防军工和高新材料等 13 个领域的 40 多个行业^[7]。稀土精细化学品在高新技术中的应用从 20 世纪 70 年代开始进入了高速发展阶段, 其应用和产业化开发的速度愈来愈快, 一般以 5 年左右的周期出现一个新成果, 并迅速形成了高新技术产业。中国稀土产业结构的趋势是稀土原料向深加工方向发展, 稀土应用向高科技方向发展。由稀土元素开发的稀土精细化学品在高新技术领域发挥着重要的作用。

稀土精细化学品已成为现代产业和军工的重要组成部分^[9~17]。

1. 电子信息产业

- (1) 稀土永磁材料 用于电脑磁盘驱动器、微小型电机、高档音响。
- (2) 稀土镍氢电池 用于笔记本电脑、计算机、移动电话。
- (3) 荧光粉 用于彩电、监视器、平板显示及荧光灯、复印机等。
- (4) 稀土磁记录材料 用于高密度磁光盘等。
- (5) 稀土光纤放大器 用于光通信。

2. 汽车工业

- (1) 钕铁硼 用于车用小电机、电动车用电机、磁吊。
- (2) 稀土镍氢电池 用于电动汽车和混合动力汽车电源。
- (3) 稀土三效催化剂 用于汽车尾气净化。

3. 现代军工

(1) 在常规兵器中的应用 利用稀土受摩擦与冲击发生火花而制成各种燃烧武器，如纵火榴弹和信号弹。

(2) 在军事防护技术中的作用 稀土元素具有防辐射特性，如用 1% 的硼和 5% 的钆、钷和镧做成的混凝土，用于屏蔽游泳池式反应堆裂变中子源。将稀土防辐射涂料涂在坦克、舰艇上可掩蔽部队防辐射。

(3) 在高新军事技术的作用

① 激光技术：掺钕的钇铝石榴石 (YAG : Nd)，测距 4000~20000m，精度 $\pm 5\text{m}$ ，制成激光武器具有快速、反应灵活、命中率高和抗电子干扰等优良性能。

② 超导技术：超导磁探仪可探测坦克、潜艇等活动目标，并且能测定尺寸大小。

③ 军事通信技术：稀土永磁已用在人造地球卫星、雷达等方面的行波管、环形器中。稀土永磁体还用于转动制导导弹的方向舵。

④ 海军中的应用：稀土巨磁致伸缩材料用作潜艇、鱼雷、声呐等装置。

据悉，在先进的军用雷达系统、雷达屏幕、干扰用电子及雷达、侦察卫星、多国部队在海湾战争中使用的现代武器和先进仪器仪表中都用了稀土功能材料与技术。

参 考 文 献

- [1] 刘小珍等编著. 稀土功能材料学. 南昌: 江西高校出版社, 2003.
- [2] 潘杏平. 科技情报开发与经济, 2008, 8 (5): 130.
- [3] 章伟光等. 稀土, 2001, 22 (5): 73-75.
- [4] 闫鹏飞等. 精细化学品化学. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [5] Kaminskii A A, Laser Crystals: Their Physics and Properties. Baedin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981.
- [6] 徐光宪主编. 稀土. 第 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
- [7] 赵增祺. 稀土信息, 2006, 264: 12.

- [8] 包斯文. 稀土信息, 2008, (5): 33.
- [9] 陈占恒. 稀土, 2000, 21 (1): 54.
- [10] 涂铭旌等. 四川稀土, 2001, (2): 2.
- [11] 杨遇春等. 中国稀土学报, 1996, 14 (1): 72.
- [12] 李永绣. 稀土, 1999, 20 (4): 73.
- [13] 杨燕生等. 中国稀土学报, 2001, 19 (4): 298.
- [14] 刘力等. 中国稀土学报, 2001, 19 (3): 193.
- [15] 师昌绪. 自然科学进展, 1999, (1): 2.
- [16] 国家高技术新材料领域专家委员会. 材料导报, 1999, (1): 1.
- [17] 王富华. 中国民航报, 2008-09-22.