

* 学科发展 *

稀土研究的现状及战略

倪嘉缙

(长春应用化学研究所 长春 130022)

提 要 我国稀土资源储量大、品种全、分布广,具有很大的开发应用价值。本文重点论述了稀土研究的战略意义;我国稀土工业及研究的现状;国外稀土发展的趋势;我国稀土发展中存在的问题;发展我国稀土事业的对策等,并希望中国科学院能为建立稀土高新技术产业做出贡献。



一、稀土研究的战略意义

镧系元素具有特殊的电子结构,它们最外二层的电子壳层基本相同,而内层的 4f 轨道从镧到镱逐一得到填充。

$(1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^{10} 4s^2 p^6 d^{10}) f^{0-14} 5s^2 p^6 d^{0-1} 6s^2$ 相同的外层电子决定了它们的共性。有人把这一类元素比作“类同位素”,但因它们又有不同数目的 4f 电子,使它们之间产生明显的个性,甚至表现出惊人的差异。例如在 1000K 时镧的蒸汽压比镱小 1.5×10^{-14} ,它们三价离子的半径随着原子序数增加而有规律地缩小,这被称为“镧系收缩”。对应于镧系收缩,有些性质又呈现“镧系膨胀”,例如在含稀土的

ThCr₂Si₂ 型相中,晶格参数 c 有随原子序数的增大而增大的现象。如果将稀土元素中的铈、钇、镧相比较,可以看到它们之间有规律地逐一增加电子壳层,因而其半径逐渐加大(Sc: [Ar] 3d¹ 4s²; Y: [Kr] 4d¹ 5s²; La: [Xe] 5d¹ 6s²)。这些结构的特殊性就成为验证许多固体物理现象及研究结构与性质变化规律的理想模型,从而引起了许多理论研究工作者的兴趣。

稀土的特殊电子结构又是其光、电、磁等功能性质的基础,例如其原子或离子具有多达三万条可观察到的谱线,因而它们可以吸收或发射从紫外到红外光区的各种波长的光而形成多种多样的发光材料。它们光谱的另一特征是激发态的平均寿命长达 $10^{-2} - 10^{-6}$ 秒(一般原子或离子的激发态平均寿命为 $10^{-8} - 10^{-10}$ 秒),从而形成亚稳态。因此,稀土可以形成波长覆盖范围宽、性质优良的激光材料。

由于 4f 电子受外层 5s² 5p⁶ 电子的屏蔽,它们的轨道(L)和自旋矩(S)都能参与磁化,并具有较强的自旋-轨道偶合作用和通过导电电子发生 c-f 的相互作用从而产生间接交换作用。特别是某些轻稀土与 d 过渡元素的化合物,因产生磁矩的叠加使总磁矩增大而成为高性能的永磁材料。稀土的硫属化合物具有窄的禁带宽度及可浮动的价态,因而成为有希望的高温半导体。对一些半重费米子体系(如 CeSix 体系),随着 x 的改变,可使局域的 4f 态变为离域,从而电阻率发生极大变化。1986 年发现稀土高温超导体后,使超导从液氦温区进入到液氮温区。总

之,稀土的特殊性质几乎囊括了绝大部分的功能材料,因而被誉为新材料的宝库。各国科学家都在激烈竞争,企图能在稀土的新性质、新材料、新器件方面取得突破性的进展。

有趣的是,稀土还与生命科学有密切关系,因为它们的性质及离子半径均与钙相似,而钙对生物体的生长和功能起着极为重要的作用,如骨骼生长、调节肌肉收缩和细胞内的信使作用。不同配位数的钙离子可以找到离子半径几乎相同的稀土来取代,再测定稀土离子的光、磁性质,以研究钙在这些金属蛋白及金属酶中的结构,因而形成了稀土探针,并已被广泛应用于生物化学及生命科学中。

稀土在农业中也有广泛应用。我国经过长期的工作,已证明稀土微肥对许多作物均具有增产作用,目前每年有 300 多万公顷粮食作物施用这种微肥,稀土用量近 500 吨(REO)。最近报导,稀土及其含氮大环配合物有可能成为基因工程中的“剪刀”,能高效地切断 DNA 及 RNA 中的磷酸二酯键。例如当有 Ce^{+4} 存在时环腺苷(C-AMP)的断裂速度比没有 Ce^{+4} 时加速 10^{12} 倍。

因此,人们将稀土誉为 21 世纪的战略金属,是工农业的“维生素”,是新材料的宝库,是研究生物活性物质结构的有力工具,是验证结构与性能的理想模型。大量的研究工作促进了学科的发展,围绕稀土已形成了稀土化学、稀土材料、稀土物理、稀土生物化学等分支学科,并已出版了这方面的专著。

二、我国稀土工业及研究的现状

我国稀土资源具有储量大、品种全、分布广的特点,仅以白云鄂博铁矿为例,每年随铁矿石而采出的稀土多达 30 万吨左右(REO),由于市场有限,所以只提取 2 万余吨,采出的稀土大部分又流入尾矿坝,至 1987 年底尾矿坝中的稀土已达 270 万吨。因此,当包头的铁矿石被采完后,在尾矿坝中又将会形成世界罕见的人造稀土矿。同时南方离子型稀土矿已遍及五省,并具有容易开采、中重稀土及重稀土含量高的特点。这就形成了我国南北两大稀土基地,因此我国长期以来一直把开发利用这得天独厚的资源作为一项战略任务加以重视。“七五”期间中国科学院及国家自然科学基金会将稀土研究作为重大项目给以资助,“八五”期间稀土科学的基础研究被列为“攀登计划”,中国科学院也将发展稀土新材料作为重点继续给以支持。

经过近 40 年的努力,我国的稀土研究已形成了一支专业齐全的队伍。据 1989 年统计,全国从事稀土研究的约为 5300 人,其中高级职称 2800 人,涉及 81 个研究单位及 42 所高等学校。70 年代以前,主要研究力量集中在分离、提取工艺及其基础问题研究方面,如溶液络合物、离子交换、溶剂萃取,特别是对萃取剂的合成、性质、结构的研究及以后的萃取串级理论等。大量的基础研究推动了稀土新分离工艺的发展,在不长的时间内使我国的稀土分离工艺处于国际先进水平。70 年代以后逐渐将研究重点转向稀土材料及稀土应用。据统计,在这方面现有研究人员占总人数的 80%,几乎覆盖了所有的稀土新材料领域,出现了许多具有我国特色的研究成果,如稀土催化剂用于合成橡胶,稀土硅合金的生产及应用,稀土在铝合金中的应用,稀土在农业及轻纺工业中的应用等。目前无论是稀土产量、用量,都只仅次于美国,居世界第二位。我国每年稀土产品的出口量接近一万吨,在国际上处于举足轻重的地位。

三、国外稀土研究发展的趋势

目前国外稀土研究极为活跃,主要研究范围涉及稀土理论、稀土新材料、稀土在各个领域

中的应用及稀土生物化学等方面,因每一方面的进展均有许多专论,故不在此赘述,现仅就本人认为稀土研究中的一些具有发展前景的领域作一概述。

(一)稀土结构理论

稀土结构理论研究在早期的成键理论、晶场理论及性质与原子序的变化规律等镧系理论的基础上又进一步从固体物理的角度开展了稀土固态结构理论的研究,例如研究稀土原子简接交换作用(RKKY 理论)及稀土与 3d 过渡金属间化合物中的 R-R, R-3d, 3d-3d 相互作用等与稀土磁性的关系。在稀土发光理论方面集中研究了稀土离子的能级、能量传递、适用范围广的稀土光谱强度理论、跃迁几率等及其与化合物结构、组成等环境的影响。研究激活中心局域环境的不同引起能级位置的分布将成为发展光子选通光烧孔技术的基础。研究光致发光中的双光子发射将有可能大幅度地提高发光物质的能量效率。与稀土半导体及导电性质等有关的能带理论及价态浮动理论则是近年来稀土理论中非常活跃的领域。有些稀土化合物中最外层的 4f 能级位于导带费米能级附近,价电子在 4f 能级与导带之间变动,重电子的现象存在于某些化合物(如 CeAl_3 、 YbAl_3)中。当低温下产生电子的磁矩冻结而出现强的电子相互作用时,可观察到比热系数比通常高出几百倍,电子比热系数与质量成正比,因此,这种状态便成了重电子。重电子本身在极低温度(0.7K)下转变成超导。上述这些问题的深入研究,有助于进一步发展稀土理论,并能对稀土新性质的发现、新材料的开发提供理论依据。

(二)稀土原材料的制备

单一稀土的传统分离方法是利用稀土元素之间微小的差别进行多次重复操作,如离子交换和溶剂萃取法等。但这些方法级数多、工艺复杂、成本高,因而在分离工艺方面要有新的突破。例如利用膜分离方法解决低浓度稀土溶液中稀土的浓缩,利用超临界二氧化碳与稀土形成碳酸盐的方法分离三价及四价稀土,用激光及紫外光等光化学方法分离变价稀土,在强磁场及强电场中利用其磁性差别进行分离等。

稀土原料的另一方向是高纯化,这是发展高技术新材料的需要,例如制备低损耗的氟化物光纤所用的氟化镧,要求含光吸收的杂质小于 ppb 级。制备超磁致伸缩材料的金属铽及金属镱要求尽量低的呈间隙原子的气体杂质。对稀土金属的本征性质的研究,更需要纯度极高的金属,例如对含有 2 原子%的钇,其饱和磁化的外磁场为 30T,而经过用 SSE 法(Solid-State electrolysis)提纯的钇,其氧含量降低到 0.01 原子%(100ppm),其饱和磁化的外磁场仅 0.5T。

超微稀土(即颗粒粒径在 10Å — 1000Å 之间)用于材料的制备有其特殊的优越性。如使用超微粉末制备以 Y_2O_3 稳定的氧化锆陶瓷体以及钇钡铜氧的超导材料,可以大大降低反应温度及改善材料的品质。因此制备大小均匀、高分散的稀土氧化物及稀土复合氧化物,是开发高性能稀土材料的保证。

(三)稀土发光材料

稀土发光材料及磁性材料是稀土材料中研究得最为广泛的领域,同时也是单一稀土使用量增长率最大的领域。

稀土荧光粉几乎已主宰了目前的发光材料市场,不少划时代的荧光材料如彩色电视红粉、三基色灯等已投入工业生产。目前正致力于研究及开拓有突破性的新应用领域,如能贮存及擦除 X 射线影像,用于新一代医用 X 光机的光激励发光材料 BaFC1:Eu^{+2} 等;用于高密度信息储存的光子选通光烧孔材料(如 $\text{BaF(Cl,Br):Sm}^{2+}$ 、 SrFC1:Sm^{2+} 等);用于光化学超分子器件

(photochemical supermolecular devices)及具有天线效应(antenna effect)的超分子发光体系;用于高清晰度大屏幕电视的阴极射线发光材料及等离子显示(PDP)材料;用于彩色显示屏的场致发光(EL)材料;用于高亮度、高清晰度的阴极射线发光屏的稀土单晶薄膜,如掺不同稀土的YAG单晶薄膜、掺 Eu^{+3} 的GGG单晶薄膜、掺 Ce^{+3} 、 Tb^{3+} 等的稀土正硅酸盐单晶薄膜;以及研究光致发光中的双光子效应,从而寻找量子效率大于1的体系并使光致发光的能量效率得到大幅度的提高,如能找到实用的白光材料,将是照明光源的又一次革命。稀土与生物大分子作用后的荧光增强作用,以及稀土离子在胶束中的发光将用于生命过程中的“稀土荧光探针”及“免疫荧光分析”。

近年来人们对低价稀土离子的光谱及其发光行为十分重视,因低价稀土离子的 $4f^n$ 到 $4f^{n-1}5d^1$ 的跃迁强度大,容易用基质的结构及其晶场对光谱进行调控,有些离子还可以同时存在 $f \rightarrow d$ 的宽带发射及 $f-f$ 窄带发射,因此深入研究它们的发光行为将有助于发展近紫外发光材料及短波可调谐固体激光晶体。

再谈谈有关稀土晶体材料。在基质晶体中掺杂不同稀土离子时可以得到波长从0.3微米到3.0微米范围内的激光发射,但目前常用材料仍局限于1.06微米掺 Nd^{+3} 的晶体,其效率不够理想,可用双掺的方法进一步提高输出效率,如YAG: Nd^{+3} 、 Ce^{+3} 、GSGG: Nd^{+3} 、 Cr^{+3} 等,后者的效率比通用的YAG: Nd^{+3} 高。对掺 Er^{+3} 、 Ho^{+3} 等的YAG可输出1.5—2.9微米波长的激光,将有利于在大气中的传输。

利用稀土晶体实现固体可调谐而使可调谐激光器件小型化,是长期以来人们所追求的。例如利用宽带 $d-f$ 跃迁,有可能实现在近紫外区的可调谐晶体(如 LiYF_4 : Ce^{3+} 及 KMgF_3 : Eu^{+2} 等),对YAG: Tm^{+3} 晶体因单个Stark能级加宽,许多可能的Stark跃迁线重叠在400nm范围内而形成了连续荧光,并实现了在一定波长范围内的调谐作用。

稀土晶体用于非线性光学材料虽有所报导,如掺 Nd^{+3} 的硼酸钪铝(Neodymium-yttrium-aluminum borate)、掺杂 Nd^{3+} 的 LiNbO_3 及 $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$,但因为无法得到高质量的大晶体而未达到实用阶段。上江洲由晃等对 LaBGeO_5 等一系列稀土的锆硼酸盐进行了晶体结构及非线性光学性质的基础研究,最近C. A. Ebbers等提出一类水溶性的非线性光学晶体 $\text{K}_2\text{La}(\text{NO}_3)_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (KLN)及 $\text{K}_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (KCN),其非线性光学系数比KDP大三倍,可使 $1.064\mu\text{m}$ 及 $0.90-0.95\mu\text{m}$ 的近红外激光变为兰绿光,其制备并不困难,并可以得到 $2.1\text{cm} \times 2.1\text{cm}$ 的大单晶。

作为探测高能粒子及X射线等的稀土闪烁晶体,由于它可以有效地抑止这类晶体中的慢分量,例如 BaF_2 : Ce^{+3} 能有效地抑制慢分量又能保持良好的抗辐射性能, Gd_2SiO_5 :Ce(GSO:Ce)是一种响应比BGO大五倍,而对 γ 射线吸收系数大的闪烁晶体。最近还报导了 LaF_3 : Ce^{3+} 、 YAlO_3 : Ce^{+3} 、 $\text{Lu}_2(\text{SiO}_4)\text{O}$:Ce(LSO:Ce),后者发光效率比GSO: Ce^{+3} 高两倍半,且衰减快,被认为是已发现的闪烁晶体中性质最优者。利用热等静压等技术可制备新型的陶瓷闪烁体也是值得注意的。如含 Y_2O_3 50mol%的 Y_2O_3 - Gd_2O_3 : Eu^{3+} 、 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$:Pr、Ce、F这类材料具有发光效率高、余辉短和制备成本低等特点,有望取代单晶闪烁材料而应用于X射线CT仪。

稀土磁光单晶是另一类具有广泛用途的稀土晶体,如可用于光纤通讯稳定光源,提高信号传输质量的光隔离器,早期应用的是钇铁石榴石 $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (YIG)及 $\text{Y}_3\text{Fe}_{3.66}\text{Ga}_{1.34}\text{O}_{12}$ 等单晶,以后又发展了高质量的铽铈石榴石(TGG)单晶。

综上所述可以认为,稀土单晶应用面广,大多涉及高技术领域,形成产业及制成器件后经济效益极为可观。据1990年的报导,美国市场仅激光晶体一项就达1.4亿美元。

(四)稀土磁性材料

稀土磁性材料是又一个最能体现稀土元素特性,发挥4f电子作用的功能材料领域。它不仅包括的品种多,如永磁材料、超磁致伸缩材料、磁光材料及磁致冷材料等,而且用途广、产值高,仅就Nd-Fe-B永磁体的产值而言,1990年为10亿美元,到2000年将达62.7亿美元。稀土磁性材料也是单一稀土消耗增长速率(16%/年)最大的一个领域。稀土永磁材料自70年代初SmCo₅问世后,短短十多年已进入到第三代的Nb-Fe-B,其磁能积提高了一倍多。各国除了集中大量人力从事已有稀土永磁材料的改进外,还加强了对新材料的探索,因而进展极为迅速。当出现了第一代SmCo₅和第二代Sm₂Co₁₇材料后,其性能虽然理想,但因钴的资源缺乏从而研制成了Nd-Fe-B。以后又为克服Nd-Fe-B居里温度低、易氧化的缺点而提出了用添加DY,Co等提高矫顽力和居里温度,用各种镀层保护的方法解决了不耐腐蚀、易氧化等问题。预测至2000年Nd-Fe-B的产值将占全部永磁体产值的40%。但对开发性能优于钕铁硼的第四代稀土永磁体仍是世界各国竞争的焦点。1987年发表了Sm₂Fe₁₇体系经氮化处理后得到Sm₂Fe₁₇N_x,它具有高的居里温度(749K)及抗氧化等优点,但也存在着难于烧结成型等困难。目前正在研究NdFe₁₁TiN、Nd(Fe,M)₁₂N_x、Sm-Fe-C-N系等各种稀土永磁的新体系。

稀土超磁致伸缩材料($\lambda = (1500 \sim 2000) \times 10^{-6}$),因其性能远远优于第一代Fe、Co、Ni及其合金($\lambda = (10 \sim 70) \times 10^{-6}$)和第二代压电材料($\lambda = 400 \times 10^{-6}$)而成为新一代声纳的关键材料,因而一开始就受到美国海军的重视。经过了长达10多年的研制,到80年代后期,商品名为Terfenol-D的准二元合金Tb_{0.27}Dy_{0.73}Fe_{1.9}才投入商品生产。从此世界各国均在集中力量进行应用及器件的开发,除了用于声纳外还制备了各类精密控制的阀门、无弹簧阻尼器和驱动器等,估计其很可能形成一个仅次于永磁材料的新应用领域。

磁光材料是一类具有磁光效应的材料,它能起到光、电、磁相互转换的作用,被用于多种功能器件,如信息领域的磁光传感器及激光陀螺的磁镜偏频材料等。所用的材料早期偏重于单晶如YIG等,但随着信息技术的发展,具有优良磁光性能的多元单晶薄膜如(Gd、Yb)₃(Fe、Al)₅O₁₂、(BiTm)₃(FeGa)₅O₁₂、(BiNb)₃Fe₅O₁₂等,已进入实用阶段。

实现不用气体循环及氟里昂的小型致冷机而使用磁致冷材料是稀土磁性材料研究中又一令人感兴趣的领域。磁致冷是利用磁介质在磁化及退磁化过程的放热,吸热作用而完成冷冻的,一般可分为Carnot循环、GM循环及Ericsson循环,有的循环除了磁致冷材料外还需用磁蓄冷材料。Carnot循环适用于得到4.2—20K的极低温,一般使用Gd₃Ga₅O₁₂(GGG)晶体,因它在该温度范围内具有显著的磁热效应及高的热导率。实现小型磁冷冻机是人们长期追求的目标。已有报导利用金属Gd在反复施加H=7T磁场的过程中从室温得到了 $\Delta T = 47K$ 的冷却效果。因此,采用串联多级等技术进行合理的设计有可能实现小型室温磁冷冻。

(五)其它比较活跃的稀土研究领域

在稀土催化裂化方面,由于限制了加铅汽油的生产,使Y型稀土沸石在石油催化裂化中的使用量迅速下降,因而研究能生产高辛烷值汽油的稀土催化剂将受到重视。用于汽车尾气净化的催化剂,如其性能达到贵金属催化剂的水平,则将成为一个相当可观的稀土市场。

稀土化合物电输运性质的研究将有可能发现从绝缘体、半导体到导体及超导体的新材料。

稀土快离子导体的研究将促进燃料电池的发展。除了对以 Y_2O_3 稳定的 ZrO_2 氧离子导体的改进外,对一系列取代的钙钛矿型的化合物的研究,如 LaMnO_3 、 $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ 等,被认为是具有希望的 SOFC 定气电极材料。

对新型稀土层状化合物的结构及其层间离子性质与导电关系的研究,如在 $\text{Na}_2\text{Ln}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ ($\text{Ln}=\text{La}, \text{Sm}, \text{Gd}$)、 $(\text{LaO})\text{AgS}$ 、 $(\text{LnO})\text{CuS}$ ($\text{Ln}=\text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}$) 及 $\text{AgLaNb}_2\text{O}_7$ 等系统中,有可能发现新的离子导体。

稀土金属间化合物是一类具有多种结构的化合物,用途很广,如磁性材料、储氢材料、蓄冷材料等,预期对该类化合物的相图、结构及性能的研究有可能发现更多的新材料及新应用。

稀土生物无机化学及稀土生物化学是稀土研究中又一个活跃的领域,特别是在我国更具重要性及迫切性,因我国的农业稀土应用具有特色,同时稀土作为饲养业中的饲料添加剂已逐渐进入实用阶段,因此亟需从细胞水平、分子水平深入研究稀土元素进入动植物体后的作用机理,为稀土在农医等领域的大量推广应用提供科学依据。

稀土在研究金属蛋白及金属酶中 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 的位置及结构是一种有力的工具,已形成一个单独的分支领域——稀土探针。稀土离子及其化合物对 DNA 及 RNA 具有催化断裂的作用,例如对 APA 的催化断裂,则 Tm^{+3} 及 Lu^{+3} 的活性最高,但对 C-AMP 则 Ce^{+4} 的催化断裂作用最大。而对其催化断裂机理及体系的研究,除了能深入了解稀土与核苷酸的作用外,还可能成为基因工程中的“剪刀”。

四、我国稀土事业发展中存在的问题

虽然我国稀土科研与生产已取得了巨大的成就,但与先进国家相比差距仍很大,如稀土产品大部分为初级产品,经济效益差;稀土科研许多理论问题尚属空白,如价态浮动、重电子体系等;对新材料缺乏系统研究,独创的新材料少,大部分处于仿制阶段。稀土生产自 80 年代后期,各地大量建设小型厂,南方资源出现乱采乱挖现象,生产过剩,致使国内外市场处于供过于求,从而竞相压价,出口失控。以氧化钇为例,1986 年售价每千克近 100 美元,而目前降为 30 美元,生产厂几乎已无利润,结果是外商渔利,企业处于困境,国家受损。经过治理整顿,国家制定了统一的出口最低限价,北方的稀土生产企业形成集团,实现了产销一体化;同时国外对氯化稀土的需求增加迅速,因而北方稀土工业又重新进入了新的发展时期。前几年稀土工业形成的这种被动局面,使我们付出了惨重的代价,其原因是多方面的,如缺乏宏观调控机制,一哄而上,小规模冶炼厂建设过多,但最关键的是我国尚未形成稀土高技术产业,只能大量出口原材料。同时对开拓国内市场注意不够,过多依赖出口,即使已建立的少数稀土新材料产业亦因受到国外专利限制而难于大量进入国际市场,某些稀土新材料的产业如彩色电视用荧光粉消耗大量外汇重复引进。因投入不足,一些稀土科研力量转向生产,使队伍削弱,故无法进入良性循环。

五、发展我国稀土事业的对策

建议对我国稀土工业的发展加强宏观调控,集中资金建设好具有规模经济的大型生产企业,提高产品质量,降低成本,增强竞争能力。加强外销的管理协调,控制初级产品的出口量,重视开拓稀土应用的国内市场,加快稀土深加工产品的产业化。总结稀土发展过程中的经验及教训,避免一哄而起重复建设、重复引进的现象。进一步加强稀土的科研,增强后劲。要安排好三

个层次的科研:第一个层次是组织好一支多学科、高水平的队伍从事稀土理论的研究;第二个层次是要集中较多的力量,开展对具有重大应用前景的新材料、新应用领域的系统研究,不断积累基础数据,逐渐建立智能化的专家系统并实现对新材料的设计,争取在若干年后能出现一批具有突破性、创新性的应用成果,推动稀土高技术产业的发展;第三个层次是要将目前已达到应用阶段的高新技术产品进行中间试验,掌握工业化过程中的一些技术关键,使之实现产业化。如能安排这三个层次的科研及发展工作,经过广大科技人员坚持不懈的努力,我国的稀土事业将会尽快步入世界先进进行列,从而使资源优势转变为全面的技术经济优势。

六、中国科学院要为建立稀土高新技术产业做出新贡献

中国科学院是我国开展稀土研究最早的单位,始于50年代初,以后随着包头矿和南方离子型矿两大稀土资源矿的发现,对其成矿规律及矿物学等进行了系统的研究,并相继开展了稀土的分离、冶炼和综合利用等工作,在稀土事业发展的各个阶段都取得了一批创新性的成果。例如对包头白云鄂博矿进行了系统研究,提出了硅铁合金的冶炼方法,首次完成了全部单一稀土的制备,完成了所有用于稀土分离的萃取剂的合成工艺及提出了一系列新的分离流程,在稀土应用领域中,提出了双稀烃定向聚合的稀土催化体系,并发展了稀土异戊橡胶并使稀土顺丁橡胶达到了国内外领先水平。科学院的稀土研究经过近40年的不断努力,已形成了一支多学科、综合性的研究队伍,参加与稀土研究有关的科研人员约600余人,涉及20多个研究所。稀土研究的内容亦不断深化,在“七五”、“八五”期间中国科学院均将稀土研究列为全院的重点。目前在若干稀土新材料领域的研究及开发方面已形成一定的优势。鉴于此,对应如何安排“九五”期间的工作提出如下建议:

(一)选择若干项我院具有优势的稀土高新技术项目,如稀土晶体、稀土磁性材料、稀土发光材料、高纯稀土原料(包括金属氧化物、纳米粉料等),充分发挥科学院的综合优势,组织力量开展从原料制备到材料及器件的研究。采用新的管理及运行模式,打破研究所之间的界限,建立若干基地,采取集中与分散相结合的模式,加强中间试验,尽快掌握工业生产中的关键技术,从而为发展稀土高新技术产业作好技术准备。

(二)对我院已有相当积累及较高水平的研究如稀土矿床的成矿规律,稀土新型萃取剂的合成性质及结构,稀土新分离原理及分离方法等应继续给以支持使之继续保持领先地位。

(三)关于稀土的基础研究,建议进一步发挥已建立的稀土化学与物理开放实验室的作用,增加从事稀土物理、稀土生物化学等不同学科的人员,鼓励学科交叉,尽快填补稀土理论研究中的空白领域。加强对具有功能性的稀土化合物的合成、性质、结构的研究,逐步实现对稀土新材料的设计,为发展稀土新材料提供依据。

倪嘉缱 中国科学院院士,化学家。1932年5月1日生于上海,1949年考入上海大同大学,1958—1961赴苏留学,获副博士学位。1988—1992年任中科院长春应化所所长,1980年当选为中国科学院学部委员(院士)。现为中国科学院稀土化学与物理开放实验室主任,国家攀登计划“稀土基础研究”项目首席科学家。主要研究领域是无机化学,涉及络合物化学、原子能化学、稀土化学及生物无机化学等,已发表论文130余篇。