

综述

# 稀散金属产业的现状与展望

邹家炎, 陈少纯

(广州有色金属研究院, 广州 510651)

**[摘要]** 概述了稀散金属——镓、铟、铊、锗、硒、碲、铼的资源、产业、应用、市场等方面的现状, 着重论述了稀散金属在当代高新技术发展中和在经济建设中所发挥的重要作用, 对我国稀散金属产业的发展提出了保护资源, 合理开发, 适度规模, 协调发展的思路。

**[关键词]** 稀散金属; 资源; 产业; 市场

**[中图分类号]** TF843 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)08-0086-07

## 1 稀散金属产业的重要性

稀散金属 (Scattered metals) ——镓、铟、铊、锗、硒、碲、铼7个元素, 是当代高新技术的支撑材料, 应用于计算机、数字通讯、宇航、农业、医药、医疗、军工及高科技装备等国民经济的各个部门 (表1)。自海湾战争以来, 在利用高科技的局部战争中, 电子技术和精确制导武器显示出强大威力是取得战争胜利的重要手段。1999年4月6日江泽民主席讲, 为了打赢未来高科技条件下的局部战争, 必须提高我军武器装备的高科技含量是一项紧迫的任务<sup>[1]</sup>。加快发展稀散金属产业, 加大应用开发的力度, 为国防现代化, 改善人民的生活质量作出贡献。

## 2 资源与产业

### 2.1 资源

世界稀散金属已探明的储量见表2<sup>[2]</sup>。

虽然在储量上稀散金属的数量并不贫乏, 但由于稀散金属大多没有独立的矿床, 往往伴生在铝土矿、铅锌矿、铜矿等矿物中, 其质量分数从百万分之几到万分之几的水平; 能回收利用的稀散金属是在主体金属冶炼过程中富集的部分, 按目前的技术

表1 当代高新技术所用稀散金属 (SM) 材料

Table 1 Scattered metals materials used in new and high technology

应用领域	元器件或装置	所用 SM 材料
a. 热成像仪与夜视仪	红外光学部件	Ge, 含锗硒碲玻璃, GaAs, (Zn, Sn) Se
	发光管 (LED, 后同)	GaAs, GaP, InP, GaAlInP, GaAsIn, GaAsP, GaN
	红外探测器	Ge, InSb, HgCdTe, PbSnTe, InAsSb
	微光管	ZnSe
	激光器	GaAlAs/GaAs, GaN, GaInAsSb/InP, ZnSe
	光探测器	Ge, PbSe, InSb, InGaAs, InAsP, InAsSb, HgCdTe, PbSnTe
b. 侦察、预警与制导	射电探测器	Bi <sub>4</sub> Ge <sub>2</sub> O <sub>12</sub> (即 BGO)
	红外光学部件	BGO
	LED	BGO
c. 电子干扰与反干扰	激光与红外雷达	Ge, GaAs, InSb, ZnSe, HgCdTe
	非线性光学部件	CdSe
	微波管与微波集成	Ge, GaAs, InP
	透明电极	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SnO <sub>2</sub> (即 ITO, 下同)
	微波管与微波集成	ITO
	宽频带微波管	GaAs, InP
延迟线	BGO	

[收稿日期] 2002-03-15

[作者简介] 邹家炎 (1936-), 男, 湖北武汉市人, 广州有色金属研究院教授级高级工程师

续表 1

	光纤	GeCl <sub>4</sub>
	集成电路(IC,下同)	GaAs
	光探测器	GaAs
d. 通讯	激光器	GaAs
	分布、反馈激光器	InP, GaAs 衬底
	中微子测定	GaCl <sub>3</sub>
	移动电话	GaAs, InP, GaP, SiGe
	微波与毫米波	GaAs, GaP
	LED 及 IC 与 ITO	GaAs, GaP, BGO
e. 电子计算机信息处理	光电电池	Zn (S, Se, Te)
	存储器	Ga <sub>5</sub> Gd <sub>3</sub> O <sub>12</sub> , (Y, Sm) <sub>3</sub> (Fe, Ga) <sub>5</sub> O <sub>13</sub>
	太阳能电池	GaAs Ge GaAlAs CdTe
	温差发电	GeSi/PbTe, GeTe/PbTe
	致冷	PbTe, Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> , TeSbBiSe
f. 能源	冷却回路	In-Ga-Sn, In-Ag-Cd, In-Bi-Cd
	辐射探测	Ge, CdTe, GaAs, Re-Me
	核屏蔽	甲酸铈, In-Ag-Cd, PbTe
g. 战斗机、导弹	超耐热合金	Ni-Re-Me, Re-W
	低熔合金(含代汞水封, 冷焊剂与涂层)	Ga-Me, In-Me, Ga-In-Me (Ga, In, Tl)-Me, Tl-Hg
	导航通讯及灾害报警	(同前 a-e)
	催化剂	Pt/Re-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (石油重整) GeO <sub>2</sub> (生产聚酯纤维 PET)
h. 重大民用	高精标准计量仪	Re-Mo, Re-Mo-W, In 涂层
	特种颜料	CdSSe
	硒鼓与感光板	Se-Te, Se-Te-As, As <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>
	冶金添加剂	Se, Te, Ge
	环境, 农牧业, 医药	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub> , Ge <sub>132</sub> , Ga <sub>72</sub> , Tl

注：表中 Me 代表有色金属

水平可经济回收的数量仅是储量的极小部分。保护资源、提高资源的回收程度，依然是稀散金属冶金的主要课题。

我国主要的稀散金属资源十分丰富，镓、铟、锗、铊的储量列世界首位，碲为第三，是我国的优势资源；相比之下铋较稀少，而硒则属净进口国。总的说，我国的稀散金属资源可以在较长的时期内对国家的经济发展有着较高的保障程度。我国的镓资源主要分布在广西、河南、山西的铝土矿中；铟主要分布在南方的铅锌矿，广西大厂则是世界著名的铟资源；锗有一部分分布在云南的会泽、广东的凡口和湖南的铅锌矿；另外有一部分分布在云南与内蒙的含锗煤田中，并以云南临沧最为著名；硒、碲主要分布在江西省内的铜矿；铋在一些铜、钼矿中如陕西金堆城钼矿等。随着资源勘探工作的进展会有更多的新发现，如四川的碲石棉矿、贵州的铊云母矿、湖北的硒矿都已初步勘探出来。近年来除我国大厂的铟外，世界上目前稀散金属新的资源并无重大的发现，资源的分布格局将维持一段时期。

矿物资源是不可再生的，有效的利用令其发挥更大的效益，是一项系统工程。

### 2.2 产业

国外从事稀散金属生产的企业约有 500 家，年产量约为 2 100~2 500 t (一半以上是硒)，产值 2~2.4 亿美元。我国从事稀散金属的产业有 60 家左右，外界估计年产量在 200 t 以上，主要产品是

表 2 世界及美国的稀散金属储量

Table 2 Reserves of SM in the USA and the world

元素	Ga	In	Tl	Ge	Se	Te	Re
世界储量/10 <sup>4</sup> t	16.5	0.57	64.5	0.86	62.9	14.9	1.0
美国储量/10 <sup>4</sup> t	0.45	0.06	0.015	0.39	8.26	2.45	0.45

表 3 世界稀散金属的产量与主要生产国

Table 3 Global total production and main major producer countries of SM

	Ga	Ge*	In	Re	Se	Te	Tl
产量/t	1998 年	110	56	230	45	1450	115
	1999 年	140	58	240	44	1260	110
	2000 年	210	58	220	43	1400	125
		澳大利亚	美国	法国	智利	日本	加拿大
						日本	比利时
		法国	中国		美国	加拿大	秘鲁
主要生产国				哈萨克斯坦			加拿大
	日本	比利时	中国	墨西哥	比利时	中国	德国
	中国	俄罗斯	比利时				
	俄罗斯	乌克兰	加拿大	秘鲁	德国		

\* 未计入氧化锗的量 (笔者注)

钢、锗、镓、碲。1998—2000年世界的稀有金属产量与主要生产国见表3<sup>[2,3]</sup>。

表3的数据对中国的产量并没有充分的估计,但仍能反映出世界稀有金属产业的基本格局。我国的钢、镓、锗在世界上占有重要地位,而铟的产量很小,只有1~2 t。据我国每生产 $1 \times 10^4$  t有色金属带入的稀有金属价值约为540万元,按现年产 $450 \times 10^4$  t有色金属计,稀有金属的价值为23亿元,现今我国稀有金属产值仅为4亿元,其资源利用率只17%,其产值约占世界稀有金属产值的20%,可见我国的稀有金属的资源回收程度并不高,资源优势远未发挥出来。

过去的10年是我国的稀有金属产业高速发展的10年,在这10年间奠定我国在世界市场的地位。主要形成了以广西华锡集团等围绕大厂铟资源开发和株冶等为代表的铟产业;以会泽、韶冶、临沧为代表的锗产业;以长城、山东、山西等铝厂的镓产业;以江西铜业公司为代表的硒、碲、铟产业;以南京锗厂、上海冶炼厂等为代表的锗、镓、铟、硒的加工业。这些产业在形成过程中,技术进步扮演了重要的角色,如锌浸出渣中铟、锗的回收技术;在拜尔法氧化铝系统中树脂吸附法回收镓的技术;一步法从含锗煤中富集锗技术;真空蒸馏法从硬锌中回收锗的技术等都已实现了工业应用,有力地支持了稀有金属产业的发展,这些技术与产业的形成无疑是我国稀有金属产业发展的重要里程碑。

展望我国稀有金属产业的未来,应着重军民产品结合的开发研究,寻找更多的市场切入点,使之成为强势产业。

### 3 稀有金属的应用

稀有金属成功地应用于国民经济的各个部门:光导纤维和半导体工业;特殊合金和涂层;化学化工和催化剂;玻璃和颜料工业;焊剂、焊料;低熔合金;医药、医疗和能源材料。传统应用领域在缩小,新的应用特别在电子、信息等高新产业中的应用在扩大,这是稀有金属目前应用的基本状况。美、日两国是稀有金属消费大户,其应用结构具有代表性(见表4~10)<sup>[2~4]</sup>。

从表4~10可以看出近年稀有金属应用格局的基本趋势。

镓 44%用于光电子器件,如各种光色的发光二极管、激光二极管、太阳能电池等;54%用于集成电路,以GaAs为代表;2%用于其他。移动电话的高速增长带动了GaAs芯片的需求,这一趋势将持续。近年发展的GaN等高亮度蓝色发光二极管的产业化,为纯白发光二极管提供了条件。GaAs系的高亮度各种光色发光二极管在指示灯、激光打印机、医疗诊断设备、数字录像机及交通信号灯都有广泛的市场。正研究的Ga-Si系列的催化剂在石油工业与汽车废气净化方面的应用将有所突破。

表4 美(A)日(J)镓的应用结构

Table 4 Consumption distribution of gallium in the United States (A) and Janp (J) %

年份及国别	1996		1997		1998		1999		2000	
	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
光电元件	87.1	51.1	59.0	51.5	44.0	51.5	44	51.7	44	50.6
IC及半导体	11.8	47.7	40.0	47.6	51.0	47.5	55	47.4	54	48.7
其它	0.8	1.2	1.0	0.9	5.0	1.0	1	0.9	2	0.8

表5 铟的应用结构

Table 5 Consumption distribution of indium %

年份及国别	1996		1997		1998		1999		2000	
	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
ITO	45.0	60.0	45.0	70.0	50.0	78.9	50.0	81.9	49	84.1
低熔合金	35.0	20.9	35.0	20.0	33.0	2.9	33.0	2.2	33	2.1
半导体+荧光体	15.0	16.0	15.0	12.0	12.0	13.0	12.0	11.8	14	10.2
轴承	-	1.0	-	0.8	-	0.5	-	0.4		0.3
其它	5.0	3.1	5.0	2.4	5.0	4.7	5.0	3.7	4	3.3

表 6 锗的应用结构

Table 6 Consumption distribution of germanium

%

年份及国别	1996		1997		1998		1999		2000	
	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
红外	15.0	-	10.0	-	11.0	-	15	-		
催化剂	25.0	71.4	20.0	66.7	22.0	75.2	20	77	15	-
光纤	40.0	10.7	40.0	13.3	44.0	10.1	50	13.3	20	70
医药	-	3.6	-	3.3	-	-	-	-	50	20
探测器	-	7.1		6.7					-	
半导体	15.0	3.6	20.0	6.7	17.0		10		10	
其它	5.0	3.6	10.0	3.3	6.0	14.7	5	9.7	5	10

表 7 美国铊的应用结构

Table 7 Consumption distribution of thallium in USA

%

年份	1996	1997	1998	1999	2000
超导材料	>80	>80	>80	>80	80
电子					
合金、玻璃及医药等	<20	<20	<20	<20	20

表 8 硒的应用结构

Table 8 Consumption distribution of selenium

%

年份及国别	1996		1997		1998		1999		2000	
	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
电子	25.0	32	20.0	26.3	15.0	23.8	14.0	22.8	13	9.8
化学制品	20.0	22	20.0	8.3	20.0	3.7	20.0	5.4	20	9.9
玻璃	25.0	12.7	35.0	15	35.0	25.3	35.0	25.5	35	34
冶金及农业	20.0	-		-						
其它	10.0	32.9	25.0	50.4	30.0	47.2	31.0	46.3	32	46.3

表 9 碲的应用结构

Table 9 Consumption distribution of tellurium %

年份及国别	1996		1997		1998	1999	2000
	W	A	W	A	A	A	A
冶金	36.2	60.0	41.8	60.0	60.0	60	60
化学制品	14.0	25.0	1.7	25.0	25.0	25	25
电子	3.0	10.0	1.7	10.0	8.0	8	8
其它	46.8	5.0	54.8	5.0	7.0	7	7

表 10 铼的应用结构

Table 10 Consumption distribution of rhenium %

年份及国别	1996		1997		1998	1999	2000
	W	A	W	A	A	A	A
催化剂	30	75	20	40	20	35	40
超热合金	60	25	60	10	60	55	50
其它	10	-	20	50	20	10	10

锗 50% 用于光纤, 20% 用于聚脂片, 15% 为红外器件, 10% 为电子器件, 5% 为其他。随着通讯线路光纤化的进程,  $GeCl_4$  是值得重视的应用

产品。日本 70% 用于聚脂片, 近年受到  $Sb_2O_3$  催化剂的竞争。

铟 ITO 涂层玻璃是铟的最大用户, 占 49% ~ 55%, 低熔点合金及焊料是传统的用途占 33% ~ 40%, 另 14% 用于发光二极管。值得注意的是无汞电池的用铟, 随无汞化进程, 无汞电池很可能取代 ITO 成为用铟第一大户。

铱 40% ~ 50% 用于高温合金与耐热涂层材料, 其余大部分用在石油催化重整与无铅汽油生产的 Pt-Re 催化剂; 少量用于热电偶、加热器、触点材料、电子管等方面。

硒 在电子材料的应用已在萎缩, 只占有 13%, 玻璃的脱色中应用占 35%, 化学品与颜料占 20%, 其他占 32%, 包括电解锰生产的添加剂、橡胶助剂、枪械发兰、催化剂、缺硒地区的食物及饲料添加剂等。新用途出现在饮用水管道无毒黄铜件上, 以取代原需加入的铅。

碲 应用有新的发展, 就是半导体致冷件的兴

起。中国是致冷器件的最大生产国，碲在中国的应用数量将大大增加。传统的应用领域主要是在高速切削钢与可锻铸铁的生产；钢铁 50%，催化剂与化学品 25%，有色合金 10%，热电材料 8%，其他 7%。今后，用于记录光盘的靶材、太阳能电池等将是新的增长点。

**铊** 具有极高的毒性且难以解毒，其应用受到严格管制，主要用于电子材料。如  $\gamma$  射线探测器、红外探测器、光通讯中光折射的晶体过滤器、低温测量仪等。铊的需求一直稳定且原料来源充足。

## 4 市场态势与展望

需求增加、价格下滑、供求关系失衡是近年来稀散金属市场的显著特点。其中以钢为甚。表 11 为近 5 年大致价格。

以下从供求的角度讨论稀散金属的市场态势，由于数据较为粗略，加之市场上的投机等因素，所作的讨论未必准确。

### 4.1 镓

镓 90% 用于电子工业，近年来移动通讯与光电子技术的高速发展，对镓的需求仍将保持旺盛，预计 10 年内镓的需求量将达 300~400 t<sup>[2]</sup>。其主要的需求在于：

1) 移动通讯产品每年以 10%~18% 的幅度增长，导致对 GaAs 的需求增加，且暂无替代品的冲击。

2) GaN 等新一代高亮度的发光二极管的出现，使发光器件面临新一轮的更新换代。

3) Ga-Si 系列的催化剂正在开发，在石油炼制特别在汽车尾气净化方面的应用，可望突破而产生对镓新的需求。

4) 镓的价格在 2001 年上半年内暴升至 2200 美元/kg 这一前所未有的高位，下半年又回落到 400~460 美元/kg 这一合理的价位上，其中主要是市场的投机，此外还有其它的背景：**a.** 移动电话的增长大大低于预期，特别是 WAP 手机全面替代普通手机的期望并未迅速来临；**b.** 镓的高价位拉动了各大氧化铝厂对回收镓的投资规模，加上技术上的突破，消除了对镓供应不足的担忧；**c.** 库存多年的镓废料投入再生回收，镓的来源增加。

目前新增的镓生产能力在今后几年内将逐步释放到市场，对镓的价格构成明显的压力。因此几年内镓市场并不乐观。

表 11 稀散金属的价格

	Table 11 Price of SM						USD/kg
	Ga	Ge	In	Re	Se	Te	Tl
2001 年	400	860	65	-	7.48	-	-
2000 年	640	1150	488	1110	8.40	30.8	1295
1999 年	640	1400	303	1100	5.61	33.0	1295
1998 年	595	1700	296	500	5.48	39.6	1280
1997 年	595	1475	309	900	6.47	41.8	1280
品质	6N	区熔镓	4N	4N	3N	99.7%	5N

注：品质栏中的 3N, 4N, 5N, 6N 为有色冶金界高纯金属的习惯表示法，即分别表示 99.999%，99.9999%，……之意。

### 4.2 钢

在 1995~1996 年间，钢价达到 540 美元/kg 的高峰。这是 ITO 的崛起需求。液晶显示器等信息产品的发展仍是钢需求增长的主要因素。值得关注的是电池无汞化进程，这将是今后钢的巨大增长点，仅按我国每年产电池 200 亿只计，全部无汞化估计耗钢 80 t。无汞电池用钢将有可能超过 ITO 成为第一耗钢大户。低的钢价也刺激了钢在焊料、低熔点合金的应用，无铅焊锡的可能成为另一个钢的增长点。预计今后几年需求钢将达 300 t/a 的水平，对钢的需求今后依然是乐观的。

近三年来，钢价持续走低，已跌至 60 美元/kg 的历史低位，这与我国钢产量增长过快不无关系。估计 2001 年全球钢产量如把中国的钢量充分估计在内后，将接近 300 t 的水平，加上用户的库存因素，今后几年仍将是消化过量钢的过程，钢价有可能在低价徘徊。我国在资源开发上调整的新举措如能奏效，将会产生直接有效的影响，使钢的价位恢复到正常合理的水平。

### 4.3 锗

世界的经济放缓令对光纤、PET 切片需求的减少，而使锗受拖累，锗价逐年走低后已趋于平衡。近期的阿富汗战事有可能在今后促使相关国家增加锗的储备。锗的资源不多，年需求量将维持 110~130 t 之间（含氧化锗量）而不会有显著增加，除非世界经济快速复苏。

### 4.4 硒与碲

1987 年全球耗硒突破 2 000 t 大关，但近年在电子产品的应用萎缩，又无新用途，故用硒量下降。硒价由过去 8~12 美元/kg 下降到 4 美元/kg 的最低位。世界硒碲协会（STDA）呼吁开发新用途，添硒无铅无毒黄铜管如大量为自来水管件等管



道工程采用,则有可能使硒用量回升。近年硒价的回升与硒产量减少有关,我国仍是硒的进口国,每年约进口硒 400 t。

碲的新用途是近年迅速发展的半导体致冷器件。最大的生产国是中国,按目前的产量,致冷器件每年耗碲 40~50 t,但今后几年所产出的废料将陆续进入回收再生行列,令原生碲用量减少。碲的传统用途在缩小,使碲价逐年走低,近年来碲在低价位上有所回升,表明碲的供求趋于平稳,今后碲价不会波动太大。

#### 4.5 铼

用于石油重整的铂铼催化剂和汽车尾气净化器添加铼,催化剂用铼为第一大用途。由于含铼 5%~30%以上镍基耐热合金的兴起,近年耐热合金的耗铼量已上升到第一位超过催化剂用量。2001年预计美国消耗铼将达到 50 t 的水平,铼的产量受到铜、钼市场的影响,增产能力有限,铼价格有上升的空间。

#### 4.6 铊

铊是有毒元素,安全阈值小。近年在应用上无重要的发展,产量逐年减少,供求基本平衡。目前市场价格已升到高位降价在所难免。

## 5 我国稀散金属产业的发展方向

### 5.1 保护资源 合理开发 适度规模 协调发展

我国稀散金属产业大发展的同时,初期市场经济下的发展无序,造成稀散金属产业的整体效益下降,这是稀散行业共同面对的问题。稀散金属量小,数量变化对市场十分敏感。市场的价格基本上由供求关系而非成本因素来决定,盲目扩大生产规模或期望产生规模效益,往往适得其反。铟的发展如此,镓的发展若不予控制也可能覆铟的后辙。因此除国家制定政策、法规引导外,行业间在共同利益下,在市场规则基础上协调发展,应有所作为。同时适当增加企业的库存有时是必要的。

### 5.2 加强新技术的开发

如在湿法炼锌系统中铟、锗的富集新方法;窑渣中锗、镓的回收;铅锌鼓风炉烟化炉炉渣中的镓回收;氧化铝系统中回收镓的萃淋树脂与工艺及其对氧化铝生产系统影响的深化研究;含锗煤富集锗的工艺与装备;铼资源的普查与回收等新技术的开发,对提高稀散金属资源的回收程度都是值得深入探索的课题。

### 5.3 增加产品的品种

品种单一,初级产品居多,是我国稀散金属产品的基本状况。增加高纯金属品种的生产是可以考虑的,如 5N~6N 级的 In, Ga, Te 等。随着我国制造业发展光纤级的  $\text{GeCl}_4$ , ITO 靶材用的纳米级 In-Sn 氧化物粉体,无汞电池用的铟盐等都是近期有开发价值的产品。

### 5.4 努力跻身高端材料产业

如 ITO 靶材的国产化已初现曙光,大直径 GaAs 单晶生产线在引进,Te-Bi 系的半导体致冷器件与材料已形成规模产业。加强与此相关材料的研究,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。

### 5.5 重视回收再生

今后 GaAs 废片、废屑、ITO 的废靶、致冷器件的废屑等都会有充足的来源,从中回收稀散金属可望成为有效益的产业。

### 5.6 产业与环境保护协调发展

我国稀散金属资源丰富,受经济利益的驱动,不良从业者对矿产资源乱采乱挖;如大厂的铟资源,金堆城铼资源等。生产工艺落后,三废治理失控,对资源和周边环境生态造成恶劣影响,应加大执法力度,使资源、产业和环境保护协调发展,让资源发挥更大、更持续的经济效益。

稀散金属的毒性小,近年发生稀散金属的中毒事件较少。我国多年研究与实测环境中人体与稀散元素的相关数据是一大贡献。

## 6 结 语

回顾我国稀散金属产业的发展历史,令人鼓舞。在过去 10 年期间,我国从一个仅是在储量上的资源大国,发展成名符其实的稀散金属产业大国,其中镓、铟、锗对国际市场具有举足轻重的影响,这是历史性的进步。同时也应看到,发展无序、产品单一、回收程度较低等因素在制约着稀散金属产业的发展。在新世纪中;在世界经济一体化,科技高速发展的大环境下,努力调整与实施好自身的资源战略,必将使我国稀散金属产业有一个更大的发展。

### 参考文献

- [1] 新华社.江泽民在观看北京军区科技强军成果网上演  
示时讲话[N]. 1999-04-07(1)

- [2] Kramer A, Brown D, Blossom W, et al. gallium, germanium, indium, selenium, tellurium, thallium [J]. U S Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2001, (1):3~4
- [3] 鈴木康生, 米光有文, 安藤正樹, 等. ガリウム, グルマニウム, ヤレン, テルル, インジウム [J]. 工業レアメタル, 2000, (116):24~123; 2001, (117):23~123
- [4] 編集部. 注目ろれるガリウム事業の新展開 [J]. 金屬時評, 1998, (1717):466~467

## The Current Situation and Outlook of Scattered Metals

Zou Jiayan, Chen Shaochun

(Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

**[Abstract]** This paper summarizes the present situation and outlook of scattered metals (gallium, indium, germanium, thallium, selenium, tellurium and rhenium) including their geological resources, industry, uses and market both at home and abroad in recent years. It especially indicates that the scattered metals play an important part in developing economical construction and high-new technology, such as electronic components, semiconductors, indium-tin oxides, speciality alloys, optoelectronic devices, and so on.

The paper also makes some proposals for developing scattered metals industry as follows: protection of resources, rational exploitation of mines, reasonable production scale and coordination of development among factories and companies.

**[Key words]** scattered metals; resources; industry; market

## 第二届电磁波波速学术会议在北京举行

第二届电磁波波速学术会议于2002年5月25—26日在北京举行。会议由中国电子学会电磁波波速专家工作组主办,北京石油化工学院承办。北京大学、清华大学、北京师范大学、首都师范大学、北京广播学院、北京石油化工学院、北方交通大学、成都电子科技大学、西北工业大学、石家庄大学、中国科学院物理研究所、中国科学院电子学研究所、中国计量科学院、信息产业部电子第12研究所等单位的近40名专家学者参加了会议,他们当中有物理学家、天文与天体物理学家、电子学家、计量学家、化学家等。会议邀请了美国Alabama大学张操教授和美国NEC基础研究所王力军研究员出席,并介绍他们的理论研究与实验研究成果。

电磁波的速度问题实即光的速度问题,但“电磁波波速”的含义更为广泛。这是一个处在多种学科边缘和交叉点上的研究领域,涉及基础科学的许多艰深问题,国外的研究者很多;在我国,研究的人员也在增加。2001年3月,中国电子学会成立了“电磁波波速专家工作组”,其成员在国内外发表了13篇论文,取得了初步的成绩。本次会议则涵盖了以下内容:超光速理论与实验;反常色散与反常群速;相对论;量子力学;中微子;Lorentz变换;光速可变理论与实验设计;电磁诱导透明与Bose-Einstein凝聚;隧穿时间问题;飞秒激光器等。

张操教授首先在报告中讲了推广的Galileo变换,为自旋1/2的快子(tachyon)设计的新的Dirac型方程,“真空不空”和以太场等问题,认为应在新的基础上解释Michelson-Morley实验;并提出,中微子可能就是超光速粒子。其次,会议以很大兴趣听取了旅美中国青年科学家王力军博士的演讲。2000年7月,王力军曾在Nature上发表“增益辅助的超光速光传播”论文,反响较大,当年被美国Science News评为2000年“物理

学 10 大新闻”之一。在本次会议上,王力军作了题为“负群速及与光速有关的问题”的报告,不仅详细阐明了 2000 年实验的实质,且以生动地表演说明了负群速的物理意义;指出新的信号速度定义应在同一信号噪声比条件下比较信号的到达时间。他还回答了大家提出的有关问题。

黄志洵教授作了题为“近年来国外的超光速实验”的报告,除介绍了近 20 个超光速实验的情况之外,还着重谈了国际上通过类星体测量研究早期宇宙的光速可变和超光速以及相速方面一些情况。例如 1999~2000 年间,K. Wynne 关于“相速超过光速甚至为负值”的太赫实验,最早报道了“脉冲进入装置前就出现在输出端”的现象。此外,指出原子激光器在国外的成功为进行物质波的实验创造了前提,将来有可能以实验研究物质波相速超光速的物理意义等。

北京师范大学曹盛林教授作了题为“狭义相对论与超光速问题”的报告,不仅谈到 20 世纪 70 年代以来国际科学界所报道的天文学与天体物理学领域中的超光速现象,而且作了颇有新意的理论分析,认为狭义相对论的应用范围是亚光速区域,如不把时序绝对化,超光速运动就可能存在。在超光速条件下因果性有新表述,不是对因果律的破坏。王力军实验正是对 Einstein 否定性意见的否定。实际上,如用 Finsler 时空取代 Minkovski 时空,得到的时空变换既能保留狭义相对论的要点,又能包容超光速运动。中国科学院电子学研究所白同云研究员作题为“Lorentz 变换与超光速变换”的报告,以数学推导分析说明 Lorentz 变换只适用于亚光速系统,应当建立适用于超光速系统的理论。西北工业大学杨新铁副教授作了题为“超光速现象的理论基础”的报告,认为可以借鉴空气动力学理论方法研究时空、电磁、引力的有关现象;实际上,协变不变原理只是可压缩流动的一种近似处理方式,离开其局限性就消除了光速不可超越限制,得到 Sommerfeld 预言的快子特性——粒子超光速后减小能量反而加速,吸取能量反而减速。而 Lorentz 变换只是从波速无限大波方程到波速有限情况的中间变换。

1999 年,英美科学家发表文章提出“光速可变理论”,并由于澳大利亚科学家 J. Webb 为首的研究组于 2001 年公布了通过对类星体的观测结果的旁证而引人注目。在我国,北京石油化工学院董晋曦教授多年前即发表文章,提出对光速不变假说仍需实验验证。在本次会议上,他作了题为“光速可变理论及其地面判别实验”的报告,认为“光速与方向无关”尚未被实验证实,建议对遥远星系作观测以研究地球运动方向上的各向异性;另外着重讨论了用脉冲光源重做 Michelson-Morley 实验的方案,以期在地面实验室证实光速可变。

中国科学院物理研究所顾本源研究员的“量子力学中电子对位(势)垒的隧穿时间”、上海大学李春芳教授的“反向 Goos-Hänchen 位移与负群时延”、北京大学陈徐宗教授和研究生郭瑞民的“电磁诱导透明的实验研究及超冷原子气体中波速的若干问题”等报告,引起了与会者的兴趣,并使与会者对我国的相关研究情况有了较全面的了解。

会议发扬学术民主,气氛非常活跃。大家认为这些报告显示了较高的学术水平,内容丰富,介绍了国际科学界的情况和中国科学家的成就。中国科学院电子学研究所宋文森研究员指出,关于电磁波的理论研究非常重要;具体到运动速度问题,物流速度、能流速度、信息流速度三者情况不同,要考虑到前两者为亚光速而信息按超光速流动的可能性。清华大学李宗谦教授认为,相对论、量子力学二者均有争论,而光速问题是争论焦点之一。要考虑到相对论是发生大爆炸 150 亿年后的稳态宇宙中的理论,而早期宇宙时则可能存在光速可变以及超光速的情况。首都师范大学李福利教授指出,在某些特殊条件下能量和信息是否可能比光速快,值得考虑;耿天明教授则说,相对论与量子力学二者关系微妙,既有协调又有冲突;它们相结合时(如 Dirac)造成了理论上的飞跃,而它们相抵触时(如超光速问题、量子纠缠态问题),矛盾暴露也很明显。对超光速问题应坚持“实践是检验真理的唯一标准”,对 Einstein 不要搞“两个凡是”。

会议认为,任何新科学理论的建立均应继承与发展前人成果的合理、正确部分,而与波速相关的理论的研究是对电磁波和光进一步深化认识的过程,尚需作持续的努力。肯定已有实验结果,并正确估价和发展现有理论是当前刻不容缓的任务。

(京微)