

无机非金属材料研究 ——值得回忆的六十年

■ 文/严东生 郭景坤

无机非金属材料是材料大家庭的一个主要成员,类别繁多、品种复杂,性能涉及面甚宽,应用领域广阔,是一门比较典型的多学科交叉的学科。为了回顾我国新材料研究的60年,本文仅对无机非金属材料的研究概况作一非常简略的介绍,而且只能择几而述。

一、人工晶体

在20世纪50年代中期,我们已面向国家需求在从事人工晶体的研究,当时主要是用水热法生长人工水晶,之后投入生产,使我国成为人工水晶的生产大国。在此期间,我国还进行了用高压高温合成大颗粒人工金刚石的研究,自行设计制造5000t的大型压机,设计出特殊的单压力源六面顶压头,能在高温下合成直径约4mm的金刚石。1962年开题,1965年组织大会战,生长出直径为8~30mm、长度为80~1020mm大尺寸的红宝石激光晶体,输出功率达3000J。20世纪80年代,我国科学家用自创的籽晶导向温梯法研制出大直径的掺钛蓝宝石和掺铋钇铝石榴石单晶。半个多世纪以来我国在人工晶体方面的研究已经处于世界的前沿,在国际上具有相当的地位。

1. 人工合成云母

为了国家经济建设,1960年国家下达

人工合成云母的研究任务。我国科研人员创立一种多坩埚下降法,研制出大面积

40cm²人工合成氟金云母,并且成功地进行工业生产试验,顺利地实现批量生产,解决了国家的所需。同时,多坩埚下降法生长晶体的技术为日后闪烁晶体的研究奠定了基础。

2. 晶体理论的创立

我国科学家在多年人工晶体研究的基础上创立了2个晶体生长的理论。1974年,陈创天等在对各种不同类型氧化物晶体的非线性光学系数及其微观结构之间相互关系的系统研究的基础上,创立了晶体非线性光学效应的阴离子基团理论,他们认为晶体的线性光学效应是一种局域化效应,晶体中产生非线性光学效应的结构基元是阴离子基团。根据这个理论的指导和计算,他们于20世纪70年代末期提出新型的具有优异倍频性能的偏硼酸钡(β -BaB₂O₄,简称BBO)晶体和新型的紫外倍频晶体三硼酸锂(LiB₃O₅,LBO)。仲维卓根据多年对晶体的生长习性的研究和观察,从结晶化学的角度出发,根据晶体中配位多面体结晶方位与晶体形态的关系,创

无机非金属材料是材料大家庭的一个主要成员,类别繁多、品种复杂,性能涉及面甚宽,应用领域广阔,是一门比较典型的多学科交叉的学科。

立了负离子多面体生长基元理论,不仅很好地解释了晶体的生长规律,而且通过了热液条件下的电泳实验,并且在水热法制备纳米 ZrO_2 、 $\alpha-Al_2O_3$ 、 $BaTiO_3$ 粉体中得到验证,准确地指导了水晶YZ片籽晶新切型、彩色水晶、茶色水晶和黑色茶晶的生产工艺。

3. 非线性光学晶体

20世纪80年代起,我国先后用高温溶液法和水热法生长出大尺寸的磷酸钛氧钾($KTiOPO_4$,简称KTP),是倍频系数大、透光波段宽、损伤阈值高、化学稳定性好的频率转换材料,还在光参量振荡、和频与差频等方面得到应用。在实现大批量生产后,大量出口到国外,为我国赢得了很高的声誉。偏硼酸钡(BBO)晶体是我国自主发展的一种新型的非线性光学晶体,其倍频阈值功率较KDP晶体高3~4倍,能在200~3000nm波段内实现相位匹配,是高功率(1GW)激光倍频的优选材料。LBO晶体是我国自主发展的另一种新型非线性光学晶体,是激光损伤阈值最高的非线性光学晶体材料。

4. 闪烁晶体

1978年,我国开始研究锗酸铋($Bi_4Ge_3O_{12}$,简称BGO)晶体的生长;1979年研制出性能优良的BGO晶体,并成功地应用于我国第一台X射线断层扫描仪(XCT)中。西欧核子研究中心(CERN)是当时在建的、世界上最大的正负电子对撞机,其中一个探测器由丁肇中教授负责,称LEP3,拟选用BGO晶体来建造它的电磁量能器,在了解到我国已有的闪烁晶体生长经验后,提出要大量提供大尺寸(3cm×3cm×24cm)BGO晶体的要求。我国科学家采取了具有我国特色的多坩埚下降法,在很短时间内,实现了批量生长大尺寸BGO晶体

的相关技术。按当时情况,国际上还有2家可以生长大尺寸BGO晶体,但我国生长的晶体性能全面优于其他2家,由此,LEP3所需的12000根晶体,共计10t,全部由我国提供,并提前1年完成了任务。BGO晶体为我国在国际上赢得了很高的声誉,之后又被大量用于核医学领域,用以建造正电子发射断

空间飞行中进行5~6项晶体材料的空间生长研究,平均功耗仅70W,可以将 $\Phi 22mm \times 260mm$ 的容器加热到1000℃。先后参加了我国“神舟”1、2、3号飞船的空间微重力环境下BSO等多种晶体的生长实验,发现在微重力环境下可以制备组份更均匀的掺杂和位错缺陷少的晶体。

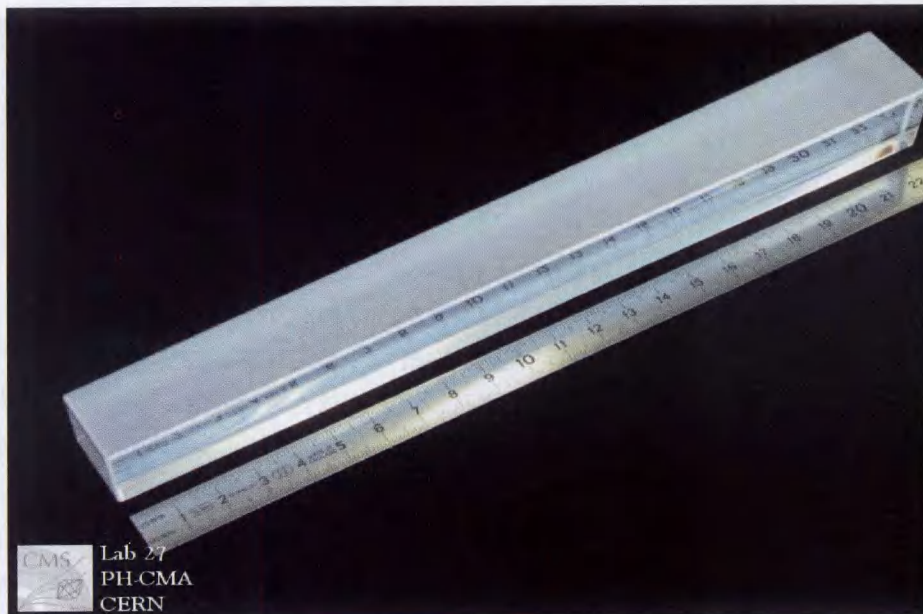


图1 钨酸铅(PWO)晶体

层扫描仪(PET)。

1994年,我国又发展了新型的钨酸铅($PbWO_4$,简称PWO)晶体,以 Y^{3+}/F^- 为主的阴阳双掺杂和多段浇料掺杂的特殊技术,生长出高光输出和快分量(10ns)占85%的闪烁晶体,大批量地供给CERN的大型强子对撞(LHC)工程中CMS探测器的核心——电磁量能器使用,随后又在美、意、德、日等国际大科学工程和我高能物理所的探测器中得到应用,图1是大尺寸PWO晶体。

5. 空间晶体生长实验及晶体生长的实时观察

20世纪80年代中期,我国开始从事空间晶体生长炉的研制,所研制的多工位空间晶体生长炉,可以在每次

我国设计和建立了晶体生长的高温实时观察装置,可以在动态下观察晶体生长的过程,参加了空间材料科学的实验,在表面张力对流空间实验的基础上提出了新的空间晶体生长理论,解释了表面张力对流模式转换机理。

二、特种玻璃

早在20世纪50年代初期,我国就已研究了航空用防紫外线玻璃、透紫外线灯管用高硅氧玻璃、红色的硒红玻璃和航空信号灯用的彩色滤光玻璃等。我国特种玻璃的研究在国际上有较高的地位,在多次的国际玻璃大会上都有我国科学家出席或主持或作主题报告。

1. 激光玻璃

我国研制的掺钕玻璃和大尺寸磷酸盐激光玻璃获得了成功应用。之后研究较多的是玻璃纤维激光器和放大器,为了能获得上转换和高激光效率,更低声子能量的基质玻璃从氧化物向氟化物和硫系玻璃发展。系统地研究稀土离子的掺杂效应是激光玻璃发展的必由方向。

2. 微晶玻璃

微晶玻璃又称玻璃陶瓷,是通过热或光的处理,使玻璃中所含的晶核剂析出微晶而产生特殊的性能。1958年,我国开展了锂系光敏型微晶玻璃的研究,是以 Ag^+ 为晶核剂、 CeO_2 为光敏剂的锂-铝-硅系玻璃,经紫外线的辐照,可以使原来透明的玻璃变成不透明的微晶玻璃,因此,可以用作透镜和基板,在电子工业中得到应用。以 TiO_2 为晶核剂的镁-铝-硅系玻璃,经热晶化处理成为低膨胀、高强度及具有优良介电性能的镁系微晶玻璃,被用作飞行器的天线罩等。堇青石基微晶玻璃可制成高频、低损耗微波介质材料,以钛酸钡和钛酸镁为主晶相、以金红石和硅钛铈矿为主晶相的微晶玻璃的优异介电损耗性能,更是引人注目。

微晶玻璃的很多性能与组成有直接关系,具有可设计性,在国内已经成为一个热点研究方向。它可以制成零膨胀或低膨胀的玻璃,例如以氟金云母为主晶相的微晶玻璃,可以用作切削材料,也可制成微孔材料。微晶玻璃不仅应用于高端技术,而且在生物医用领域和日常生活器皿的应用中也备受欢迎。

3. 光导纤维

1973年,我国就开展了石英通讯光纤的研制。1978年在上海建立了我国第一条光纤通讯试验段,即在上海

电话局四川路分局和海宁路分局之间的1.8km四芯120路电话的试验光缆,成功地进行了光通讯的试验。到20世纪80年代,完成了二次群、三次群和四次群长波长多模光纤以及多种波长的单模光纤。光纤通讯已经成为当前通讯的主要手段。

20世纪90年代,开展了卤化银多晶光纤的研究,其光损耗 $<0.5\text{db/m}$,输出激光功率达20W,可以用作 CO_2 激光手术刀,刀头长度为300~400mm、可弯曲半径为15~20mm,临床试验效果很好。

4. 高折射率玻璃微珠

利用高折射率玻璃微珠和反射层材料可以产生极强的回归光反射效应,无需外加电源,即可成为极好的反光指示标志。含不同组分的 TiO_2 和 BaO 的玻璃,可以制成折射率为1.93和2.2的玻璃微珠,失透率 $<1\%$,已大量应用于交通等指示标志上。

三、结构陶瓷

20世纪50年代,我国开始从事氧化铝陶瓷(被称为微晶刚玉瓷)的研究,用作金属切削刀具;1958年开始向先进陶瓷的研究方向转移,针对高温方面的使用,首先进行了硼化钛和硼化锆粉体的合成,同时进行了一系列的高温氧化物陶瓷研究,如立方氧化锆陶瓷、氧化铍陶瓷。60年代初开展了氧化钙陶瓷坩埚的研制,主要是针对核工业方面的应用;与此同时,研究了稀土氧化物的相关相图。我国氧化物和氮化物相关相图的研究,除有短期的中断外,一直坚持至今,在国际上颇有影响。60年代中期,开始研究反应烧结氮化硅陶瓷和氮化硅结合碳化硅陶瓷,70年代末,反应烧结氮化硅陶瓷用作机械密封材料已投产。陶瓷材料的

脆性一直是人们关注的问题,70年代初,开始用纤维补强陶瓷的途径来研究陶瓷材料脆性的改善。80年代初,研究氧化锆相变增韧。80年代末,提出了复相陶瓷、纳米陶瓷和陶瓷材料的设计与剪裁的研究方向。经过半个多世纪的积累,我国高温结构陶瓷材料的研究已经在国际上确立了自己的地位。

1. 陶瓷发动机材料及其部件的研制

20世纪70年代中期,国家组织了转子发动机研制的会战组,研究了热压氮化硅陶瓷材料,并把它用作转子发动机气缸内的刮片,通过了600h的台架耐久考核和3万km的道路试验,解决了缸体径向密封问题。1983年起,我国开始从事陶瓷发动机材料及其部件的研制。1986年,国家组织了全国17个相关研究单位和大学,研制6105柴油机用陶瓷材料及其部件和整机的装车试验;研究的陶瓷材料有氮化硅陶瓷、碳化硅陶瓷、氧化锆陶瓷和莫来石陶瓷;研制的发动机部件有活塞顶、气缸套、涡轮转子、气门导管、气门座、挺柱、摇臂镶块和陶瓷电热塞等。1990年,我国研制成功第一台无水冷陶瓷发动机,安装在一辆大客车上进行道路行车试验,往返路线为上海-北京-上海,行程3105km。图2是油田用救援车,内装有无水冷陶瓷发动机,在



图2 装有无水冷陶瓷发动机的油田救援车

新疆油田的沙漠地区进行了1900km和11212km的行车试验,行车情况正常。通过陶瓷发动机材料的研究,我国先进陶瓷材料研究的水平上了一个台阶,提高了我国在这一领域的国际地位。

2. 纤维补强陶瓷基复合材料

我国从1973年开始研究陶瓷脆性问题。选择以纤维补强的途径,在系统地研究了各类纤维和陶瓷的物理与化学相容性的基础上,得到碳纤维/石英系统,研究出碳纤维补强石英复合材料,这种材料具有高的强度、高的断裂功,同时有高的耐烧蚀性能,被用于我国空间飞行器上。碳纤维/石英复合材料也被用于导弹上,用碳纤维或碳化硅纤维以三维四步法编织成预制体,然后采用化学气相浸渍法(CVI)制备出连续纤维增韧碳化硅复合材料,具有优越的高温性能,在航天事业中备受青睐。各种纤维和晶须与陶瓷的复合,对陶瓷材料的强化与增韧效果非常明显,所以,30多年来一直是我国热衷于研究的课题。

3. 陶瓷材料的强化与增韧

20世纪80年代开始,在国外研究的启发下,我国开展了氧化锆相变对陶瓷材料增韧的研究,在应力作用下,四方相氧化锆会发生向单斜相氧化锆的转变,同时发生小量的体积变化,可以起到能量吸收的作用,有效地提高陶瓷材料的断裂韧性。在纤维起到陶瓷补强效果的引导下,第二相颗粒特别是SiC颗粒在陶瓷基体中的弥散,表现出了诱人的强化与增韧效果,由此得到启发,提出了复相陶瓷的概念。1992年,在国家“攀登计划”中安排了纳米材料的研究,其中包括纳米陶瓷材料。当材料中的晶粒尺寸变小,往往会使材料的强度得到提高,陶瓷材料

也不例外,研究发现,纳米级四方相氧化锆陶瓷材料在温度达到熔点一半时即表现出明显的超塑性;在纳米-微米的复相陶瓷研究中发现,其强化与增韧作用是非常突出的。此外,通过添加剂的诱导和工艺上的调整,可以在陶瓷基体中产生出长径比较大的晶须状或板状晶粒,即所谓的自补强陶瓷材料;借鉴贝壳的组织结构,研究出了具有层状结构的陶瓷基复合材料;继而又开发了原位合成纤维独石结构的氮化硅陶瓷,表现出很好的强化与增韧效果;通过对陶瓷材料的晶界应力设计,同样可以得到较好的强化与增韧“协同效应”。

4. 纳米陶瓷

陶瓷材料的制备必须进行高温处理,因此陶瓷材料中的晶粒长大现象是不可避免的,于是“核壳结构”陶瓷颗粒的研制受到人们的关注。纳米陶瓷的研究首先要顾及纳米陶瓷粉料的研制,我国科学家研究了固相法、液相法和气相法等多种纳米陶瓷粉体制备方法,提出了直接以氨气氮化的方法,合成出多种纳米氮化物、Ti、Cr、Zr、Nb、Al等氮化物和具有发光性能的GaN、InN、具有优异磁性能的Fe₂N和在可见光下具有良好催化活性的Ta₃N₅,引起国际同行的重视;对纳米粉体的团聚及其机理也做了较深入的研究,为纳米粉体的应用奠定了基础。

5. 透明陶瓷

1959年,美国R.L.Coble教授公布研究成功了半透明氧化铝陶瓷,引起了陶瓷材料界的普遍关注。我国科学家凭借以往对纯氧化铝陶瓷和陶瓷材料烧结的经验积累,在1965年研制出半透明氧化铝陶瓷管,用它作为灯管的高压钠灯于1970年在上海和北京的街道上试点亮;接着以金属钨为

电极,用相应组成的玻璃作焊料,做成的高压钠灯得到广泛应用。2002年以后,用国产的纳米氧化铝粉料,采用螺杆挤出成型和共烧结技术,研制出了管、塞一体化的半透明氧化铝管,外径10mm、壁厚分别为1mm和0.75mm,光的总透过率达97%,适用作高压钠灯和陶瓷金卤灯的灯管。2007年又解决了中空薄壁、两端带尾的异型灯管制备技术,都即将投入生产。

1965年,由于红外技术的需要,国家下达了透红外线陶瓷的研究任务,通过大协作的方式,用热压烧结的工艺,研究成功了氧化铝、氧化镁、氟化镁、硫化锌和硒化锌等透红外陶瓷。

1995年,日本的A.Ikesue公布成功研制出掺铈钇铝石榴石(Nd:YAG)陶瓷,得到70mW的激光输出。2006年,美国利用日本研制的材料(100mm×100mm×15mm),实现了热容激光67kW的输出。2007年,日本将掺铈钇铝石榴石(Yb:YAG)激光透明陶瓷应用于核聚变的点火装置中。这些信息引起了全世界的关注。我国科学家从2000年起开始研究激光透明陶瓷,2006年6月,用3mm×3mm×3mm的Nd:YAG透明陶瓷片,得到了1W的激光输出;最近用39mm×22mm×4.5mm的试样,实现了100W的热容激光输出;用5mm×5mm×3.5mm的5%Yb:YAG试样测试,得到了39.6W的激光输出;Tm:YAG透明陶瓷在2015nm波长处的直线透过率达84%,最大输出功率为4.5W;在Er:YAG透明陶瓷的研究中,发现Er的掺杂量竟可达30%~90%,从可见光到红外波段的直线透过率均达到80%以上。图3是各种激光透明陶瓷的样品。

2000年,我国科学家开展了稀土离子掺杂的氧化钇、氧化镱、钇铝石榴

石和氧氮化铝等体系的上转换透明陶瓷的研究,采用湿化学的工艺,制备出上述体系的纳米粉体,在980nm近红外半导体激光器的激发下,均能表现出较好的上转换发光性能。其中, Yb^{3+} , $\text{Ho}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3/\text{Lu}_2\text{O}_3$ 体系的上转换发光的研究结果实属首次报道。同时发现,不同稀土离子掺杂的氧化钇透明陶瓷在980nm/808nm的LD激发下,在420~680nm范围内实现了蓝、绿和红色的上转换发射;在六方氧化铝陶瓷浇注成型时施以强磁场,可制备成光轴定向排列的材料,提高其透光率。

6. 碳化硅反射镜

碳化硅材料在尺寸上的高度稳定性,使其极适宜于制作大型反射镜,国内有多家研究单位和大学从事这方面的研究。用不同的途径制作轻量的底座,然后在表面用CVD的方法覆上一层致密的碳化硅,再抛光出高精度的镜面。

四、功能陶瓷

20世纪50年代,我国即组织了全国相关单位从事高压电瓷的研制。50年代末,为了国家通讯事业的需要,我国科学家开展了对含高铝氧量为75%和95%的2种高频陶瓷的研制,同时

研究了它们与金属的封接。60年代开始研究钛酸钡(BaTiO_3)和锆钛酸铅(PbZr/TiO_3 , PZT)压电陶瓷。之后陆续开展了磁性陶瓷、电容器陶瓷、微波介质陶瓷、透光的PLZT(含稀土的PZT)陶瓷、铁电陶瓷、铁电薄膜材料、光-电、光-声转换材料、高 T_c 氧化物超导材料、敏感陶瓷、正、负温度系数陶瓷等。我国功能陶瓷的研究在国际上颇具声誉,在弛豫型铁电体的微畴-宏畴相变理论以及对纳米尺度极性微区的观察结果受到国际同行的注目,很多种类的功能陶瓷已经投入生产。

1. 压电陶瓷

压电陶瓷是我国研究最多和最广的陶瓷材料,良好的机电换能功能使之应用极为广泛,研究最多的是PZT陶瓷。用不同的掺杂离子,可以制成发射型或接收型的电-声转换器件,应用在声纳、超声波、滤波器、压电变压器等方面。利用PLZT陶瓷灵敏的开关特性,可以将其用作观察核闪光的护目镜。为了环保的要求,无铅压电陶瓷的研究也是人们关注的课题。

2. 正温度系数(PTC)陶瓷

在其居里温度附近,这类陶瓷的电阻率会发生几个数量级的变化,因

而在可控电加热器、电子器件中的过流保护、冰箱压缩机的启动器、电视机中的消磁器等方面都有使用,是一类热销的出口产品。

3. 微波介质陶瓷

系列化的介电常数(ϵ_r),不同的品质因素(Q)和频率温度系数(τ_f)接近于零的微波介电陶瓷材料,一直是我国所关注的研究课题,其低温共烧(LTCC)研究更是研究者所追求的。

4. 电容器陶瓷

早期,我国研制高频陶瓷电容器,之后向高压、中介和高介方向发展,近期趋向于多层陶瓷电容器(MLC),又称独石电容器。研究得较多的是PMN($\text{PbO-MgO-Nb}_2\text{O}_5\text{-ZnO}$)基陶瓷,为了保证陶瓷中的主晶相为钙钛矿型、抑制焦绿石相的形成,原料需采取二步法合成,也有的用溶液包裹法合成。

5. 高临界温度(T_c)超导体陶瓷

1986年国际上报道发现具有高 T_c 的钇钡铜氧超导陶瓷后不久,我国立即组织了全国相关单位的大会战,除了钇系的组成以外,还有铋系、铊系和其他组成体系的研究。目前包银的超导带材已经批量生产。

五、无机涂层材料

在器物的表面加涂一薄层保护性或装饰性涂层,确有如画龙点睛的神奇功效。1958年,我国即建立了火焰喷涂装置,为喷气机的加力锥体加涂高温隔热涂层。1959年,建造了等离子高温喷涂装置,对金属材料进行各种防热、隔热、抗腐蚀、抗氧化、伪装涂层和空间飞行器的热控涂层以及生物医学涂层。60年来,无机涂层研究为我国的经济、国防、医学和航天事业作出了重大的贡献!

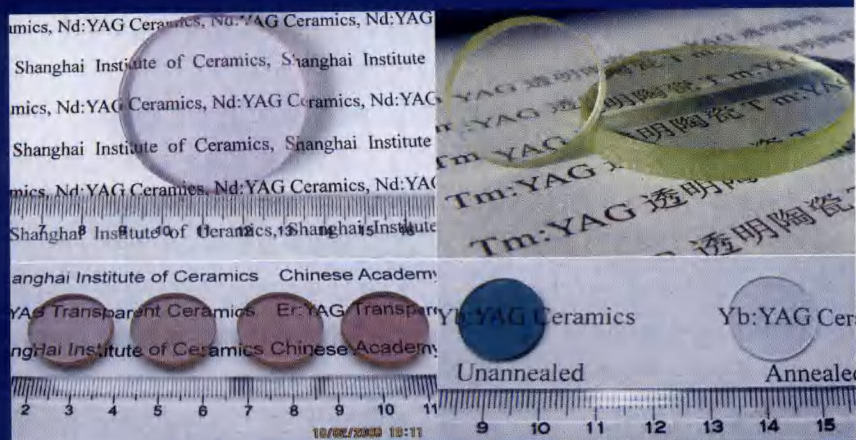


图3 各种透明激光陶瓷样品

1. 热控涂层

为了能耐久地正常运行,人造卫星、载人飞船等空间飞行器,都要采用涂层以防止环境对它们的侵害以及保持人员和仪器能正常工作环境温度。如电化学型的光亮阳极氧化、黑色阳极氧化、高低辐射热控涂层、涂料型热控涂层、薄膜型热控涂层。

2. 微波防热天线窗

在人造卫星和载人飞船上都装有微波天线窗,是采用纤维补强陶瓷基复合材料为框架,在天线窗和框架上均加涂复合厚膜涂层,已成功地用于飞行器的USB和GPS天线上。

3. 隔热、防热涂层与材料

利用低发射率反射屏和低热导率材料组成的多层隔热材料、高吸收发射比的耐高温热控涂层的高、中、低温隔热组件作为载人飞船的隔热屏,解决了飞船推进舱底部的隔热与保温问题。

六、能源材料

无机化合物应用于能源材料种类繁多,本文只提及一些主要偏重无机非金属材料工艺方面的材料。

1. 钠硫电池

1968年,我国即开始研究钠硫电池核心部件——含钠的氧化铝(β - Al_2O_3)陶瓷,其独特的晶体结构极适合于 Na^+ 在其中的运输,因而是钠硫电池理想的固体电解质材料。全国有多家单位从事该项研究。1977年,组装成6kW的电池组进行了累计2083km的行车试验。“七五”期间,研究出 β - Al_2O_3 固体电解质长管。目前已建成年产2MW(650Ah)的单体钠硫电池中试线。此外,我国还从事了一些具有三维通道晶体结构的锂离子固体电解质材料研究。

2. 固体氧化物燃料电池

我国在“九五”期间已将固体氧化物燃料电池(SOFC)列为攻关计划项目,是用钇稳定氧化锆(YSZ)陶瓷作为电解质,主要研究平板式中温电池堆。

3. 燃料敏化太阳能电池

我国用特殊工艺制成的纳米 TiO_2 溶胶,对含钌染料具有优异的吸附功能,而且制作成本低廉,用它来制作染料敏化太阳能电池,是硅基太阳能电池的有力竞争对手,而且广谱的光电效应更是诱人,对我国新能源的发展极为有利。

七、生物医用材料

20世纪70年代,我国曾用高纯氧化铝陶瓷制作人工关节。具有生物活性的 $\text{MgO-CaO-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ 系微晶玻璃、具有可切屑功能的微晶玻璃,在医学方面的应用也得到重视。羟基磷灰石(HAP)对人体蛋白质的亲和性及其在水溶液和体液中能保持稳定的性质,使之成为生物医用材料的优选对象。我国科学家提出的模仿动物长骨的哑铃状 SiC 晶须的研究很有创意,将非生物材料变为具有生命性质材料的生物医用材料生物化的概念,令人期望。

1. 羟基磷灰石基陶瓷

国内研究较多的是羟基磷灰石基陶瓷及其复合材料,磷酸盐的生物活性和能降解的功能,使其极适宜于骨科方面的应用,如颌骨的修复再造、耳听小骨的重建、人工牙齿再植等。磷酸钙骨水泥(CPC)材料由磷酸四钙和无水磷酸氢钙调合而成,固化后生成含微孔的HAP,其生物活性和可塑性使之成为极受欢迎的骨修复材料。

2. 生物相容无机涂层

用等离子喷涂技术,在钛合金假

体基材上涂上致密钛层-粗糙钛层-羟基磷灰石层的多层结构涂层,取得了极好的临床效果,目前已有产品在临床上使用。

3. 药物缓释和靶向材料

用磁性材料做成具有核壳结构的介孔空心球,可以达到药物储藏、缓释和靶向施用的效果。

八、耐火材料

20世纪50年代,利用我国丰富的高铝矾土和菱镁矿资源,我国科学家研制成功了具有我国特色的镁铝砖和高铝砖。针对我国包头铁矿中含氟炉渣对耐火材料的侵蚀,在对侵蚀机理研究的基础上,提出了高炉各部位耐火材料选材的建议,解决了国家急需。

1. 矾土基、碱性和含碳耐火材料

我国早期发展的各种高铝砖和铝镁砖系列的耐火材料,已用于平炉、水泥回转窑和高温隧道窑中。为了适应我国钢铁工业的发展,研制出各类含碳耐火材料用于水泥回转窑中,如用于氧气转炉的镁碳砖、用于连铸钢包中的铝碳砖、用于钢包中的铝镁碳砖和具有更强的抗炉渣渗透性能的高铝尖晶石碳砖、具有较好抗热震性能的引入锆英石的铝锆砖;含硅线石或石英和氧化铝而形成莫来石的低蠕变高铝砖,用于热风炉中。

2. 非氧化物及其复合材料

非氧化物如碳化硅、氮化硅和氮化硼等在抗碱性、抗氧化性、耐磨性和抗热震性等方面均有独特的优势。 Si_3N_4 结合 SiC 砖在高炉中使用,得到了7年无中修的纪录。锆刚玉莫来石-碳化硅复合材料的抗热疲劳性能、锆刚玉莫来石-氮化硼复合材料的较高强度和韧性以及抗热震性能、O-Sialon-ZrO₂复

合材料的优良抗氧化性能,在我国冶金、水泥及其它高温设备中都得到了很好的应用。

3. 不定型耐火材料

不定型耐火材料可以用于高炉出铁沟的铝碳化硅碳浇注料、用于连铸钢包的矾土基高铝-尖晶石浇注料以及用作高炉内衬维修的热态喷涂料和硬质压入料。铝硅基的耐火纤维和高纯氧化铝空心球是高温设备的优选隔热材料。

九、水泥

在21世纪初,我国的水泥产量就已跃居世界第一,但是,水泥工业的结构优化和产品升级是当前要务。大量利用废弃的粉煤灰、矿渣、钢渣、硫酸铁渣、废石膏、污泥等作为水

泥的原料和掺合料是我国的特色,几乎占水泥产量的1/3,这是“资源循环利用”的重大举措。研制的抗氯盐腐蚀、水化热低、抗微收缩和后期强度高水泥,已成功应用于我国几个超大型的海工工程中。在混凝土中,除水泥、黄沙、石子、水和添加剂(如减水剂)的5组分外,为获得更为优异的性能,第六组分的研究也是一个研究热点。

十、结语

无机非金属材料是一门相对年轻的学科,门类繁杂。各类材料之间,既有它们的共同性,更具有它们各自的特性。本文仅对无机非金属材料研究简况作一个有选择性的罗列,难以包容全貌。将此拙文作为对60年来无机非金属材料研究、发展的回忆,是很有意义的。□■



严东生 1918年出生,无机材料与材料科学专家。1935年进入清华大学,1941年毕业于燕京大学获硕士学位,1949年在美国伊利诺大学获博士学位。曾任中国科学院副院长,现任中国科学院特邀顾问、上海硅酸盐研究所研究员、名誉所长。是我国无机材料科学技术的奠基人和开拓者之一。研究的高温熔烧及扩散涂层、碳纤维增强陶瓷复合材料等,均成功地应用于飞机发动机、人造卫星和远程运载火箭等领域;在先进陶瓷特别是氮化物材料设计与微结构调控等方面的研究具有开创性;主持参与制订了我国第一套冶金工业用耐火材料标准,1956年的十二年科技发展规划和1962年的十年科技发展规划。1992-1997年任“纳米材料科学”首批攀登计划首席科学家,现在从事纳米介孔有序结构及其复合材料研究及材料的组合制备研究。获国家级自然科学奖、科技进步奖及发明奖7项。发表学术论文数250余篇,专著4本。1980年当选为中国科学院院士,1994年当选为中国工程院首批院士。



郭景坤 1933年出生,材料科学家。1958年毕业于复旦大学化学系。1991年当选为中国科学院学部委员(院士)。中国科学院上海硅酸盐研究所研究员,曾任该所所长、国家高性能陶瓷和超微结构国家重点实验室主任。国家八六三计划新材料领域第二届首席科学家。20世纪60年代在高铝氧高频绝缘瓷与金属的真空气密封接工作中,提出的活化钨锰金属化方法,适合于多种氧化物陶瓷及蓝宝石单晶与金属的封接,提出的铂金属化法适应于酸碱环境中应用。70年代起从事陶瓷材料的强化与增韧研究,所提出的纤维补强陶瓷基复合材料已在我国空间技术上应用。80年代末期,从事多相复合陶瓷及陶瓷发动机材料的研究。90年代从事高性能陶瓷及其超微结构研究,参加和组织了中国第一台有若干陶瓷部件的柴油发动机的研究、开发工作。曾获国家技术发明奖一等奖、二等奖等。