

寻找新材料——来自宇宙化学的启示

Looking for New Materials and Enlightenment from Cosmochemistry

萧小月 李龙土

(清华大学材料科学与工程系, 北京 100084)

徐 燕

(清华大学化学系, 北京 100084)

欧阳自远

(中国科学院地球化学研究所, 北京 100080)

现代高科技的竞争在很大程度上依赖于材料科学的发展。可以说任何高科技的进步都离不开新材料的开发和利用。人类已经深刻地意识到材料科学在人类生活中的重要地位,因而它被公认为 21 世纪六大高科技领域的基石。

材料科学发展的关键是新材料的发现和新工艺的开发。美国洛斯阿拉莫斯国家实验室的著名材料科学家约翰·L·沃伦(John L. Warren)和斯坦福大学著名的材料科学家西奥多·H·格鲍尔(Theodore H. Geballe)明确指出,合成新材料是材料科学发展的先导,认为新材料的合成是一个国家材料科学发达与否的标志。

很明显,材料科学的最初研究源于地球物质(矿物晶体)的分类和表征。自人类诞生以来,首先使用的材料是地球上的岩石。从石器时代发展到青铜器时代,又进化到铁器时代直至陶瓷时代,今天的社会已经进入到以现代材料科学为基础的高新技术时代。人类对自然资源的深刻认识和有效利用经历了漫长的道路。直到现在,材料科学与地球科学的紧密联系也是一目了然的。

然而,科学技术发展到今天,人类对材料的认识已经开始超越地球环境,这不但表现在以空间科技为主导的微重力场材料研究,更重要的是探索宇宙空间各种极端物理化学条件下产生的新材料, C_{60} 的发现就是其中一例。由于宇宙中物质的形成和演化是在大尺度范围内进行的,因此许多特殊的化合物和矿物晶体得以在极端的条件和环境中形成,因为宇宙空间具有它超越地球物理—化学条件的特点:(1)温度、压力和反应时间跨度大(温度: $0 \sim 10^9 K$;压力: $10^{-16} \sim 10^{12} Pa$;时间: $10^6 \sim 10^9$ 年);(2)氧化还原环境变化大(超临界体系中的超强酸到超强碱);(3)体系组分极端而且复杂,如以富碳组份为

主的碳星;(4)反应过程复杂,存在多阶段反应机制,反应体系可以是开放或封闭的,也可以是混合的;(5)驱动化学反应的能量形式多种多样,有撞击(势能)、激波、电磁波辐射(微波辐射)、高压放电(电能)、等离子体激活、放射能、宇宙射线辐射、光能、磁场能以及化学能等等;(6)物理场变化大,如在无重力场或微重力场中的化学反应就没有热对流传导现象。

当人们的视域从地球扩展到宇宙空间时,找到具有特殊结构和特殊性能的新材料也就显得很自然了。因此,作为研究地球之外物质的宇宙化学势将会对材料科学产生不可估量的推动作用,这已经由 C_{60} 的发现得到了有力证明。

宇宙化学的研究与 C_{60} 的发现

对于宇宙空间物质的化学研究源自 20 世纪初诞生的地球化学,进入 50 年代,美国加州大学圣地亚哥分校著名的化学家尤里(H. C. Urey)等人在地球化学学科的基础上,将空间科学和天文学引入,开辟了宇宙化学(cosmochemistry 或称作 Astrochemistry)这一新领域的研究。其研究目标从地球这颗行星扩展到了太阳系,其间发现共计有 40 种以上的新矿物晶体是在地球上没有被发现的。其中,在对还原条件下形成的 E 型球粒陨石的研究中,许多具有特殊结构特征的过渡金属和主族元素硫化物矿物及其复合晶体被鉴定出。近 20 年来,由于现代射电、红外、紫外和 X——光天文学以及空间科学技术等高科技领域的迅速发展,宇宙化学的研究进一步向外太空延伸。其子学科星际化学(Interstellar Chemistry)在这一基础上迅猛发展,业已成为异常活跃的科学研究领域之一。90 多种星际分

子已被发现,其中包括地球上没有发现的化合物。 C_{60} 作为材料科学研究的一个里程碑,就是星际化学研究的产物。它的发现被誉为材料科学领域的革命。其实更重要的意义在于它不仅带给人类一种新的材料,而且对寻找新材料提供了一个新的思路和方向。

1973年至1975年间,以英国苏萨克斯大学化学系的哈罗德·W·卡罗托(Harold W. Kroto)教授领导的研究小组陆续发现了 HC_5N 、 HC_7N 和 HC_9N 等长链星际有机分子。随后,更长链的星际有机分子 $HC_{11}N$ 等也被观察到了,这些激动人心的进展促使人们去探索更长链的星际有机分子以及它们的 σ 电子和 π 电子的空间构架和光谱谱线的解释。这期间,一些天体物理现象被观察到而没法解释,如弥散星际分子光谱(550~750 纳米)、2 170 埃吸收谱和未鉴别的 IR 光谱以及星际尘埃表面催化产生星际分子(如 H_2)的机理等等。这些问题都从理论上假设与富碳红巨星中产生的长链型或者笼型的碳基化合物相关联。

1984年,卡罗托教授访问美国莱斯大学化学系的里克·斯莫利(Rick Smalley)教授。那时斯莫利教授领导一个研究小组正在利用激光气化装置研究非线性的 SiC_2 分子。卡罗托教授的第一冲动就是将石墨代替碳化硅来模拟碳星表面发生的化学反应,即长链碳基化合物的形成。卡罗托期望能够检测出象 $HC_{33}N$ 这样的长链分子。此时,美国 Exxon 石油公司的一个研究小组报道了他们发现碳分子簇化合物 $C_{30}\sim C_{190}$ 的研究成果。这一报道促成卡罗托教授与斯莫利等人很快拟定了一项合作研究计划。

1985年8月,卡罗托再次来到莱斯大学,在三位研究生的协助下开始模拟碳与氢,氧和氮的化学反应,以期获得聚合碳基氰化物,进而确证红巨星是星际长链碳基化合物的源地。毫无疑问,他们的实验取得了进展。9月4日,一个原子质量为720单位的强质谱峰被首次观察到。这个强质谱峰被认定为 C_{60} 。

随后研究小组围绕 C_{60} 的晶体几何构型展开讨论,并逐渐形成了共识,那就是球形结构或者封闭式笼形结构的 C_{60} 应该会比较稳定的。卡罗托与斯莫利从莱斯大学图书馆借来了一本全面介绍球形结构的书。大家的注意力慢慢集中到富勒(Fuller)圆顶建筑结构上来。最后经一位数学家论证, C_{60} 应该是一个标准的足球状分子。 C_{60} 的几何构型清楚了。对于 C_{60} 的命名,为了避免与全世界足球爱好者的冲突,大家一致同意将其命名为富勒球(Fullerenes)。

后续五年的工作集中在两个方面,一是制备足够的 C_{60} 晶体样品以证明其几何构型的正确性;二

是测量其光谱数据,以探讨其与弥散星际分子光谱的关系。然而,研究工作就象在沙漠中的艰难跋涉,尽管又发现了 $C_{60}La$ 和 C_{70} ,但是并没有获得关于 C_{60} 几何构型的更直接的证据。

新的突破却奇迹般地由另一个从事星际化学研究的小组实现了。1989年9月,一个由德国马克斯普朗克研究所和美国亚利桑那大学的研究人员组成的研究小组在一个星际尘埃讨论会上报道了他们在实验室制备的碳尘埃观察到了四条红外谱线,这与富勒球的理论红外谱线相一致。1990年8月,这个研究小组报道了他们成功地获得了 C_{60} 晶体的结果。这种棕色的物质在苯溶剂中呈红色。同时,核磁共振的分析结果也显示了与理论预测完全一致的单峰。至此, C_{60} 的晶体几何构型被完全证实了。

C_{60} 的发现迅速导致了全球 C_{60} 的研究热潮,它对材料科学以及化学等相关领域的发展产生着巨大的推动作用。 C_{60} 及其化合物和衍生物的高温超导性(45K)、导电性(2.5×10^{-3} 欧厘米)、铁磁性以及化学活性充分显示了它们在相关高科技领域中潜在的应用前景。这包括它们作为超导材料、铁磁性材料、储存元件中的电容器、转换电路中的晶体管、高效电池材料和催化剂等等的高科技应用。

寻找新材料

C_{60} 的发现从开始到最后确证都是源自星际化学的研究兴趣以及星际化学家和合成化学家的共同努力。它一经发现,立即导致了材料科学、化学和物理学等领域中全球性的研究浪潮。目前,星际化学的研究还进一步引导微管碳材料(又称为布基管)及金属碳化物分子族材料的研究方向。

当人们正在热衷于 C_{60} 的研究时,似乎忽视了另一项更重要的工作,那就是不失时机地抓住宇宙化学与材料科学碰撞的机会,积极地加强宇宙化学与现代材料科学的交叉,开辟材料科学新的研究方向。毫无疑问,这将会成为寻找新材料和开发新工艺的一个重要方向!因为宇宙之中蕴藏着许多还未为人类所认识的世界。人类对宇宙的认识就好象沧海一粟。因此,宇宙化学的研究必将会为材料科学以及相关领域带来许多新的课题。

在材料科学行将跨向21世纪的关键时刻,中国的材料科学要走在世界的前列,势必要加强新材料合成领域的研究。而宇宙化学与材料科学的交叉为这一设想开辟了一条道路。宇宙化学提供给材料科学的不仅仅是直接从宇宙中寻找新材料,更重要的是通过将近年来迅速发展起来的场化学、材料科学和航天航空等高科技领域的新概念和新的合成

(下转第18页)

合,使槽子形成密封毛细管。用环氧胶将注射气体用的皮下注射管接到毛细管输入口。此法制得的冷冻机可以在数秒内冷却到 -196°C 液氮温度,冷却容量1~100毫瓦。在治癌技术中,需将肿瘤部位的温度降到 -196°C ,使癌细胞凝固坏死,这种微型冷冻机正好能满足这一要求。将冷冻机毛细管端的液体收集器部分加以适当封装,插入体内的肿瘤部位,即可使肿瘤温度降到 -196°C 而达到使癌细胞凝固坏死的目的。

3. 集成多通道记录阵列

中枢神经系统的研究和假体的应用都需要能进行闭环控制的植入式记录电极阵列。这种阵列要求尺寸足够小、性能稳定、材料与生物体兼容,长时植入时阵列应能自由悬浮在皮层内,外接引线少。怀斯(K. D. Wise)等人针对上述要求,设计并研制了一种集成多通道记录阵列,其结构如图2所示。

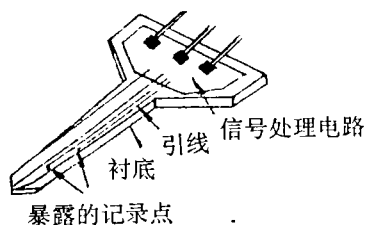


图2 集成多通道记录阵列的结构

其中,在浓硼扩散和各向异性腐蚀形成的硅载体上,制作有多晶硅或钛的薄膜导体阵列,阵列上面和下面都由 Si_3N_4 和 SiO_2 复合层绝缘,在上面一层介质上开窗口,用以确定各导体端点处的记录点。在上述阵列硅基底上,还集成了MOS信号处理电路和多路传输电路,记录的信号首先放大,后由12个数据通道在一根公共输出线上进行多路传输。记录探针长约3毫米,端部宽50微米,厚15微米,用5伏电源,外接线只有3根,即电源线、数据线、接地线。制造时采用(100)P型硅作基底,只用以下四道掩模即可完成:基底选择扩散;多晶硅淀积和绝缘;刻电介质、记录点金属化;硅片无掩蔽腐蚀。这种制

法的成品率在80%以上。制得的产品能同时以高振幅多通道方式记录皮层中的神经细胞活动,既可记录单个神经细胞活动,又可记录细胞群的活动。

四、发展趋向

1. 集成化

为使医用微机械更趋小型化,智能更高、功能更多,性能、可靠性及成本更加优化,向集成化方向发展已是势所必然。集成化有以下三种途径。第一,多种功能不同的微机械集成,例如,近年美国密歇根大学开发研制的气体流量传感器,是由气体流速、流向、温度、压力、气体类别等五种传感器集成在同一芯片上制成的。第二,由一种微机械的一维或二维阵列集成在同一芯片上制成,例如上述集成多通道记录阵列。第三,由微机械与相关微电路集成,将传感器、执行器、信号放大器、微处理器等微结构都集成于同一芯片上,构成一个既有指挥功能、又有传感和执行功能的全智能化系统。这种通称为微机电系统(MEMS)的概念,是德国专家在80年代首先提出的,是微电子、微机械的主要发展方向,被认为是未来竞争的关键技术。

2. 微型马达实用化

微型马达的实用化是微型机器人实用化的前提。1987年美国的法恩等虽已宣告微型马达的问世,但其转矩只有 10^{-12} 牛顿米的量级,离实用化要求还太远。因此,为了尽决实现微型机器人的实用化,目前各国都在大力进行微型马达实用化的研究。首先,对法恩最早开发的静电式微型马达进行改造,改为梳状横向振动式,后又由美国桑迪亚(Sandia)实验室将振动式改为转动式,但转矩仍只有 17×10^{-12} 牛顿米,意义不大。近年美国威斯康星大学改变思路,采用LIGA工艺制成电磁式微型马达,转矩可达 3×10^{-9} 牛顿米,向实用化迈出了一大步,但与最终要求还有距离。微型马达的研究迄今仍是医用微机械研究的热点,对此人们正迫切期待着有重大突破。

(责任编辑 肖庆山)

(上接第22页)

方法与宇宙化学的研究有机地结合起来,在实验室模拟各种物理化学条件下星际物质和各空间层次天体物质的化学反应和化学演化历程,从而达到寻找和合成新材料的目的。另一方面,宇宙化学反应过程的多阶段性和外部物理场的多变性,还为新型复合材料及其制备工艺提供了一个新的思路。

科学的本质就是认识自然世界并使这些认识

为人类服务。现代科学史表明,当学科之间发生碰撞时,就意味着产生学科研究的重大突破。这种突破不仅仅意味着基础理论研究的突破。而且意味着对高新技术开拓和发展的巨大推动作用。宇宙化学与材料科学的交汇产生了耀眼的光环。然而可以大胆地预言,这种交汇将会在材料科学以及相关学科中产生更加灿烂的光芒。

(责任编辑 刘先曙)