

图1 碳60的立体结构, 每一个球就是一个碳60分子

学习过高中化学课程的读者一定还记得“同素异形体”这个概念。所谓同素异形体是指由同一种元素构成的以不同物质形态存在的单质。

直到不久以前, 科学界仍然认为碳的同素异形体只有两种, 即石墨和金刚石, 高中化学课本中也一直是这么讲解的。

但自80年代中期以来, 科学家在实验中发现, 碳还存在第三种同素异形体, 即球状碳分子, 其代表即是碳60(分子式 C_{60})。

神奇的“足球”

1985年, 美国科学家克劳特和斯莫利等人在用激光束轰击石墨靶

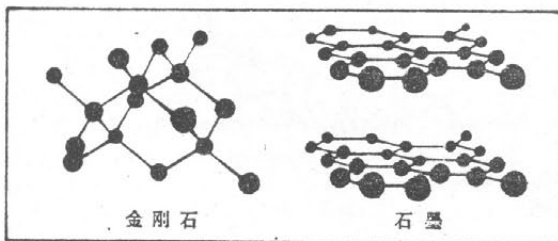
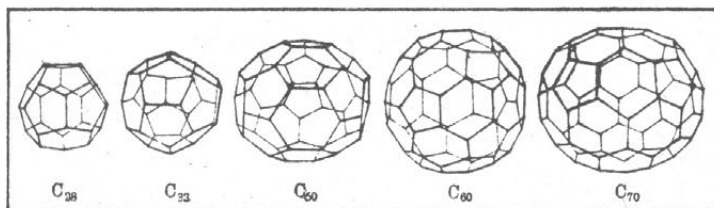


图2 巴基球是纯碳的第三种同素异形体。前两种是金刚石和石墨结构形式。巴基球具有一个非常紧密的笼状构造。除图示外, 科学家于最近又发现了 C_{70} , 并借助计算机预测更大的巴基球



奇妙的分子——碳60

中国科学院化学研究所 郭 军

表面时, 意外地发现了碳60。通过X射线衍射分析, 他们发现它是一个由60个碳原子构成的空心大分子。根据化学键理论及拓扑学原理推断, 碳60分子构型类似空间正二十面体, 碳原子之间的相互键联, 形成一个由十二个正五边形和二十个正六边形组成的闭合系统。想象一下这个分子的空间形状, 简直就是一个小足球。所以, 碳60还有一个别名: 足球烯, 亦称巴基球。与此相映成趣的是, 如果再增加10个碳原子, 就成为另一个具有对称性的球状碳分子—— C_{70} ; 这种分子的立体形状则像橄榄球。

1990年12月, 美国科学家利用扫描隧道显微镜, 首次对碳60分子的直观形貌进行了观察。计算结果表明, 碳60的分子直径只有7埃, 即千万分之七毫米。图4为由中科院化学所的科研人员于1991年10月初获得的规则排列的碳60分子的扫描隧道显微图象。

早在二十年前, 就有科学家预测过可能会存在一种球状碳分子结构。七年前, 美国科学家从煤烟中发现这种物

质后, 由于没有足够的获取量, 这种新材料的性能一直无法测定。

1990年9月, 美国与德国科学家合作, 在世界上首次采用电弧放电的方法, 小批量地制备出了碳60样品, 这才能够对它的性质进行全面的

研究。初步研究发现, 这种物质具有很好的化学稳定性, 不易与一些氧化性气体发生反应; 在常温常压下是绝缘体; 还具有较高的热稳定性, 加热到三百多摄氏度也不发生变化。

由于碳60具有稳定的球形结构, 科学家们起初预测, 这种材料可能会成为新一代润滑剂或催化剂。然而, 1991年4月, 美国贝尔实验室的研究人员发现, 在碳60分子中掺入少量钾原子会使它成为超导体, 其临界温度(即转变为超导体的起始温度)为18K(-255°C)。并将掺钾碳60分子置于与空气隔绝的环境中进行了导电试验。这一发现引起了超导科研工作者的极大兴趣, 纷纷组织力量对碳60分子的超导特性进行研究。

超导新军

1911年, 荷兰物理学家翁内斯首次在汞中发现了超导现象。75年来, 由于各种原因, 超导研究一直徘徊不前。

1986年, IBM公司苏黎世研究所的米勒和贝德诺尔兹使氧化物陶瓷超导体的临界温度一举突破液氮温区(-269°C)而进入液氦温区(-196°C), 从而掀起了一股世界性的超导热。由于氧化物超导体的工作温度(77K以上)比以前的金

属、合金超导体的工作温度(4K)要高得多,故被称为高温超导体。

如今,氧化物超导体有了很大发展,已由最初的镧系发展到钇系、铋系等多种复合体系,而且临界温度已达130K以上。人们普遍认为,高温超导体已处于实用化以前的最后阶段。在这种情况下,科学家为何还对临界温度只有18K的碳60产生兴趣呢?

原来,尽管超导研究取得了很大成就,但超导理论仍很不成熟,至今还无法预测具有何种结构的材料能呈现超导现象,也无法推断已发现的超导体临界温度能提高到多少。因此,没有理由认为氧化物陶瓷就是理想的超导材料。另外,绝大多数应用领域都要求将超导体加工成线材或薄膜,而氧化物陶瓷的质地很脆,加工难度较大。所以,科学家们在继续研究氧化物超导体的同时,仍在努力寻找更理想的超导材料。

图3为具有超导性能的掺钾碳60的扫描隧道显微图象,其颜色及密堆积结构在掺钾后未发生变化。但这种分子的化学性质与单纯的碳60分子迥然不同,一遇空气,其中所含的钾原子便会发生剧烈的氧化反应。这一缺陷,也许会影响到它的实际应用。

科学家们还尝试在碳60分子中掺加其他元素。1991年5月,美国好几家研究所用铷取代钾,使临界温度提高到30K。7月,日本电气研究所通过加铯,使它和铷在碳60中生成化合物,又使临界温度提高到33K。

1991年6月17日,我国北京大学率先在国内制出碳60样品,8月初又制得掺铷碳60超导体,使我国的碳60超导研究迅速跟上世界步伐。现在,北京大学及中科院化学所、物理所等单位的近百名科技人员,在集中从事碳60性质及其应用的研究工作。

在短短三个月的时间里,碳60超导体的临界温度提高了近一倍,这使科学家们看到了碳60这类碳集束分子作为超导体的巨大潜力。有化学家认为,如能制得碳540,即使碳60分子内的碳原子数目增加8倍,它将可能成为室温超导体。

美国一所大学的研究人员已在碳60分子中成功地注入了铜原子,并进行了碳240的合成实验。

贝尔实验室的研究人员还发现,碳60超导体比氧化物超导体具有更多的优点。首先它是三维导体,能在任何方向上导电,在同等温度下还可能使电流流量高于其他超导体。但它的超导性会随着加压而减弱,在某一压力下可能会完全消失。此外在用电弧法制取碳60的同时,科学家还获得了碳70、碳74、碳76、碳90、碳94等微量的碳集束分子,这些分子具有和碳60类似的结构,因此非常可能成为新的超导体。在碳60中掺加各种元素的工作还刚刚开始,也许会有一些效果更好的元素,能使碳60超导体的临界温度大幅度提高。

科学研究表明,碳很容易被加工成细纤维。所以,碳系超导体的加工性能将比陶瓷系超导体要好得多。这也是科学家对碳60寄以厚望的重要原因。

化学新部落

球状碳分子家族的出现,也许会在化学领域中产生一个新的部落。

美国化学家预测,在某些高分子化合物,如聚苯乙烯长链中,可以嵌入许多碳60分子,从而制成新型的以碳60分子为骨架的长链高分子材料,如图5a所示,有人形象地称之为“珍珠项链”;或

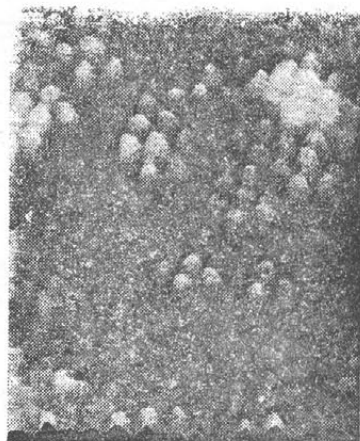


图3用隧道扫描显微镜拍摄到的C₆₀和C₇₀混合物照片

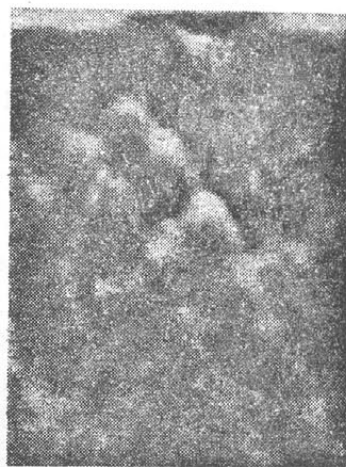


图4中科院化学所拍摄到的单层碳60分子LB膜扫描隧道显微图象:中部显示出两排碳60分子

者经过适当的化学反应,使碳60分子与高分子链上的某些基团结合,产生如图5b所示的“手镯”式长链。

目前,国际上有上万名科学家和工程师在从事有关碳60性质、用途的理论和实验研究,其主要研究

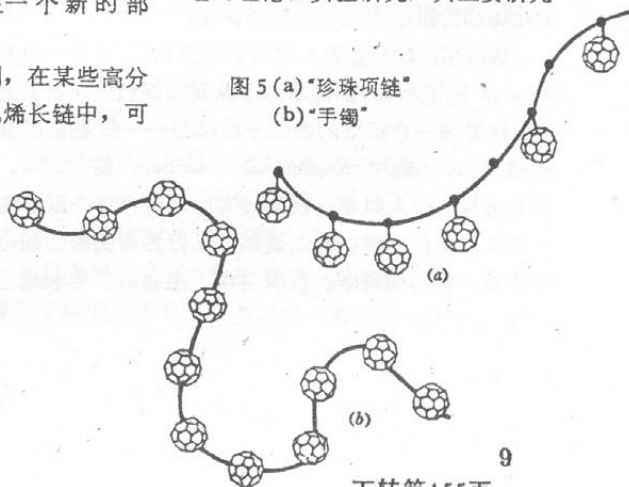


图5(a)“珍珠项链”
(b)“手镯”