

新技术革命技术讲座

“新的技术革命”与新型材料

航天工业部 北京材料工艺研究所

杨 敬 时

中国最优设计管理研究会

一九八四年六月

“新的技术革命”与新型材料

一、材料在人类文明与技术进步中的重要性

世界上每个人每天都在接触各种不同的、性能各异的材料，有时候我们认识它，有时候我们不认识它，但是我们都承认离不开它，没有材料就无法构成那五彩缤纷的客观世界。美国著名的物理冶金学家M. 柯亨 (Morris Cohen) 给材料下了这样一个简单的定义“材料是人们用来作成物品的物质，如结构件、机器、装置、工具、用具、衣着、武器、装饰品和不可胜数的各种产品。”人类的历史表明，材料在人类文明与技术进步中占有重要的地位。人们往往根据一片出土的陶器碎片的材料和工艺来推断当时人类文明发展的情况。日本学者岛村昭治把材料的发展分为五代。大约在一万年以前的中石器时代，人类所使用的是自然界的天然材料，例如岩石工具、木材、兽皮等等，这就是第一代材料。第二代材料仍然取自自然界，其特点是从天然原料中提取有用的成份，将其加工成形予以利用。最早的第二代材料是陶瓷制品，后来从矿石中提炼铜、青铜、铁等金属制作各种产品，这大约是公元前一两千年以前的事。十九世纪发生了产业革命，钢铁工业获得了很大的发展。1820年发现了铝，1833年发现了镁，廿世纪，钛被提炼成功，锗、硅相继出现，对于形成现代文明，第二代材料是起了主要作用的。

第三代材料的开发是从1907年贝克兰特 (Bakeland) 成功地合成酚醛树脂开始，因为它是合成材料而不是天然材料，所以称第三代材料为合成材料时代。后来合成橡胶、合成塑料、合成纤维和其他各类的合成高分子材料迅猛发展。至1973年全世界有机合成材料的体积已经与钢铁相等。就重要而言，八十年代中有可能超过钢铁。不仅是有机材料，其他无机材料如立方晶氮化硼，超铀元素如钚等也属于第三代材料。

第一、二、三代材料的共同特点是单体的 (Monolithic) 或以单体为基础的。从宏观来看，这些材料是均质、各向同性的。第四代材料的特点是可按人的要求在不同的方向上赋予不同的性能，简称为“可设计的材料”，例如复合材料就是第四代材料最合适的代表。随着人类对材料科学与工程的知识日益深入，可以设想第四代材料的品种会日益增多。第五代

材料是一种理想中的材料，它会随着它自己在部件中的位置以及环境时间的变化而自动地变化自己的性能。目前在机器中还没有使用这种材料，但是在生物体中却有这种材料的例子。例如经常拿工具劳动的手掌上会长出手茧，它产生的位置、厚度以及随后不劳动时逐渐变薄、消失的过程，描述了人们设想的第五代材料的特征。人们把这种理想中的第五代材料称之为智能材料(Intelligent Material)。这是廿一世纪要寻求的新材料，这种材料(群)产生之日，就会引起又一次材料革命，恐怕也会在各个技术领域引起一场革命。也可能这会是材料科学与生物工程的结晶。

从材料的发展，可以看到人类文明的进步，因此很多学者把发展新型材料看作是迎接新的技术革命的支柱或基础。纵观技术发展的历史，总可以看到，材料方面的新突破会促进技术的发展，甚至会引起技术革命，而新技术的出现又会促使新材料的诞生。这是一种“车轮”关系，但往往是以新材料的突破为先导。半导体单晶硅便是一个鲜明的例证。本世纪四十年代和五十年代，人们通过在单晶硅中掺杂成功，制造出晶体管，此后，发展出了集成电路、大规模和超大规模集成电路。在此基础上制作出了巨型计算机和微型计算机，促进了电子技术的飞跃发展。反过来，电子技术的发展，对于制作单晶硅、晶体管、集成电路等整个工艺过程就有可能进行高度精确的自动控制，同时对于生产设备、检测仪器的发展也起了巨大的促进作用，这样，产品质量有可能大幅度提高，特别是检测仪器如电子显微镜、表面分析仪等高、精、尖设备的发展，使我们有可能进一步认识物质世界的内部规律，从而促进新材料的诞生。钱学森同志特别强调新的技术革命是复数，不是单数，可以叫做新的技术革命群。如电子计算机、遗传工程、激光技术、核能、核技术、航天技术、海洋工程等都是技术革命的内容。很明显，这些技术都要以材料为基础来发展，某些新型材料的突破会对它们的发展具有重大的影响。我们如此强调材料是新技术的基础是因为存在着这样一种较为普遍的倾向，一提到技术的进步，往往只是看到了那些会直接起到某些重大作用的产品，例如通讯卫星发射、定点成功、巨型“银河”计算机投入使用等等，这些当然是巨大的成就，但是对于制造它们的材料有过哪些突破，有些同志却不甚关心或知之甚少。殊不知没有这些突破也许会造成某些失败。甚至根本就不会研制成功。有人统计一

台彩色电视机尚且应用了1618种材料，何况上述那些尖端产品！

世界上很多发达国家都十分重视新型材料的开发研究，日本通产省今年已经把新材料的技术研究开发作为下一年度最重要的课题，成立了“新材料对策室”，要它面向廿一世纪，并确定了四条措施：

- (一) 研究开发期定为7—10年；
- (二) 在金融税收上采取特别措施；
- (三) 为减轻民间企业冒险的损失，政府提供一半资金；
- (四) 设立新材料情报中心。

同时表示要与财界和产业界首脑组成的“新材料技术开发研究会”合作。

这表明日本已经把从国家到民间的力量都动员了起来开发新型材料而且有明显的紧迫感，把对策的时间定为7—10年。为什么这样迫切？美国有一些学者从航空材料的开发到实际应用的历史中得出：一种新型材料从开始发明，进行性能方面和工艺方面的研究，直到成熟可靠，设计采用，在民用方面大概需要20年，军用的可能快一些，据统计也要10年时间。这当然是指那些作为主要结构的新型材料。现代的功能材料可能不会需要那么长的时间。但是人类从发现某种新型材料到认识它、使用它总是要有一定的周期的。因此在一些领域里有的学者提出了“材料要先行”的意见，这是非常正确的。面对新的技术革命的挑战，如果新型材料抓晚了，就会拖全线的后腿。世界上很多学者把信息、能源和材料看作是当代文明的三大支柱，很明显，材料又是前两者发展的基础。没有新型材料作先导，信息技术、能源技术是很难发展前进的。

如何发展新型材料？我国的一些专家学者根据国内外情况提出了从信息材料、能源材料以及在特殊条件下使用的结构材料和新功能材料等三个方面抓起。

二、应该发展的新型材料

(一) 信息材料

信息的摄取、信息的再现、信息的传输、信息的存储、信息渠道的转换、信息的判别、信息的加工或变换、信息用于控制、信息的模拟。这是

信息技术的九个环节，几乎每个环节的发展，都和一系列新型材料紧密相关。我们只能从材料本身的分类来叙述信息材料。

1. 半导体材料

硅目前仍然是制造大规模集成电路最关键的材料。单晶硅的纯度、完整性、均匀性以及直径尺寸是衡量单晶硅质量及可达到功能的指标。国外单晶硅材料有：

(1) 探测器级单晶，目前这种单晶的电阻率已高达 10^9 欧姆·厘米，寿命 4500—6000 微秒、无位错、无旋涡缺陷，直径达到了 80 毫米。

(2) 大规模和超大规模集成电路用的硅材料，已经批量生产且质量不断提高，单晶硅无位错工艺早已普遍应用，旋涡缺陷也可基本消除，氧含量在 20—40 ppm 之间以 ± 3 ppm 精度控制，碳有害杂质已能控制在 0.2 ppm 以下。

(3) 大直径、大截面单晶。由于硅片的尺寸愈大、材料的有效利用率、电路成品率及劳动生产率就愈高，从而大大降低成本，所以很多公司都以发展大直径单晶为目标。目前直拉单晶硅直径已达到 125 毫米，太阳能电池硅单晶直径达 200 毫米。

目前我国拉制单晶硅虽然已有一定基础，但是只能满足生产 4 K 比特集成电路的要求，而且产量、质量尚且不能满足要求。

化合物半导体具有室温迁移率高（为硅的 5—6 倍）禁带宽度大的特点。有人预测砷化镓（GaAs）有可能成为“第三代半导体材料”，在发展超高速、高集成化电路方面有很大的潜力。目前砷化镓单晶的位错密度，水平法已能在生产中降到 $< 100 \text{ 厘米}^{-2}$ 。位错密度 $< 2000 \text{ 厘米}^{-2}$ 的液封直拉大截面半绝缘砷化镓也已经研制成功。总的讲它的单晶制造技术要比硅落后十年。砷化镓还不能大量代替硅，但是它与有关的 III—V 族化合物在激光、发光和微波方面都显示出优越的、有些是无法取代的性能。

一些半导体材料的主要用途见表 1

表 1 一些半导体材料的主要用途

材料名称	制作器件	主要用途
硅	二极管 晶体管 集成电路 整流器 可控硅 射线探测器 太阳能电池	通讯、雷达、广播、电视、自动控制 各种计算机、通讯、广播、自动控制、电子钟表、仪表 整流 整流、直流输配电、电气机车、自控高频振荡器、超声波振荡器 原子能、分析、光量子检测、太阳能发电。
锗	三极管 晶体管 红外透镜 各种探测器	通讯、广播、音响设备 红外的透过、分离、聚光 红外检测、原子能、探矿、分析
砷化镓	各种微波管 激光管 红外发光管 霍尔元件 激光调制器 高速集成电路 太阳能电池	雷达、微波通讯、电视 测距、光纤通讯 小功率红外光源 磁场控制 激光通讯 高速计算机 太阳能发电
磷化镓 磷化铟 锑化铟 碲化镉	各种发光管 微波二极管 激光二极管及光集成元件 红外探测器 霍尔元件 激光调制器 射线探测器	信号、文字、数码显示 雷达 微波通讯 光纤通讯 光电子学 导弹追踪及其他红外应用 磁场控制 激光通讯 原子能、分析

(2) 传感器用敏感材料

传感器是利用材料具有不同的物理、化学和生物效应制成的对光、声、磁、电、力、温度、湿度、气氛等敏感的器件。是信息获取、感知和转换所必需的元件。它们是自动控制、遥感技术的关键。敏感材料的种类繁多包括半导体、陶瓷、有机膜及金属间化合物等。

光敏：可以利用半导体的光电效应制成光敏传感器。随着入射光的强弱，具有光电效应的半导体的电阻值会随着变化，一般说入射光增强，电阻减小，这是由于受光照射时半导体内部激发出电子——空穴对，参与导电的原故。随着欲感知光的波长，采用不同的材料。

0.2	0.4	0.76	3	6	15	100	波长
X射线	紫外线	可见光	近红外	中红外	远红外	无线电波	(微米)

如采用硫化镉、硒化镉等感知紫外光、可见光。

硫化铅、碲化铅等感知红外光。

声敏：各种频率的声波由于振动产生的压力在压电半导体中与自由载流子（电子或空穴）相互作用，产生压电效应，把信号送入系统，即可制成声敏传感器。大部分采用Ⅱ—Ⅳ族化合物如硫化镉、氧化锌等。也可以用压电陶瓷（如锆钛酸铅陶瓷等）压电晶体（石英等）以及新发展的压电高聚物（聚偏二氟乙烯等）感知声的振动。

磁敏：可以利用多种物理效应感知磁场的各种参数，与材料密切相关的如半导体的磁电阻效应。半导体材料的电阻率随着磁场强度的增强而加大，这是由于有磁场时载流子的运动发生偏转，它从一个电极到另一个电极所走的路程比起没有磁场时要长。常用的材料是铋化铟加1%镍，得到铋化铟、铋化镍共晶，还有铋化铟等材料。

电（压）敏：可以利用一种伏安特性为非线性的电阻元件制作电（压）敏传感器，当在它的两端施加的电压增到某一特定值时，其电阻值就急剧

变小。碳化硅、硅（锗）、金属氧化物、钛酸钡、硒化镉等都有这种特性。

力敏：可以利用材料电阻率随外加应力而改变的现象（压力电阻效应）制作力敏传感器。半导体在应力作用下晶格间距发生变化，禁带宽度改变，同时载流子的相互作用也改变，以致影响到载流子浓度和迁移率，因此电阻率就改变，采用的材料如硅、硒碲合金等。

热敏：通过制作其电阻值对温度极为敏感的电阻元件来制作热敏传感器，它可以由单晶、多晶以及玻璃、塑料等半导体材料制成。例如正温度系数热敏半导体是用钛酸钡半导体陶瓷加微量稀土元素制成，负温度系数热敏半导体是用多晶金属氧化物半导体制成，也可采用硅、锗、玻璃等半导体材料制成。这种传感器应用广泛，如温度测量（高温至超低温）、温度控制、火灾报警、气象探空、过荷保护……在空间技术、火箭导弹等军事技术上应用更为普遍。

湿敏：是由感湿层、基片以及感湿层上的两个电极组成。随着湿度的变化，感湿层吸湿的程度也发生变化，导致电阻率变化。感湿层多用氯化锂、碳、氧化物等，其中以氧化物感湿层性能最佳。氧化物有砷金属氧化物 + V_2O_5 + Si 粉； Cr_2O_3 ；镍铁酸盐； $Cr_2O_3 + V_2O_5$ ；氧化锡及氧化锑等。

气敏：一般是利用半导体表面吸收某种气体分子后发生氧化或还原反应，从而改变了导电的特性来制造对某些气体如氢、一氧化碳、甲烷（还原性气体）；氧、氯、二氧化氮（氧化性气体）以及乙醚、乙醇、碳链较长的烷烃等，甚为敏感的元件。N型气敏半导体用氧化钨、氧化锌、氧化锡、氧化钛、氧化钼等，遇还原性气体电阻减少，P型气敏半导体用氧化镍、三氧化二铬、氧化亚铜等，遇氧化性气体电阻减小。

制造各类敏感元件应该以陶瓷作为重点，还是某些学者的观点，因为它稳定可靠，价格低廉，资源比较丰富，他们认为用特种电子陶瓷有可能制成压敏、光敏、热敏、气敏及湿敏等单功能或多功能的传感器。陶瓷的显微结构是由晶粒、晶界和气孔所组成。陶瓷晶粒本身的物理性质如半导、介电、磁性等会随温度参量而变化，这是构成温度敏感元件的基础。另外，在特定的工艺中可以构成一定量的气孔，气体或水分通过气孔造成表面吸附，与晶粒表面之间相互作用，使多孔陶瓷表面的化学、物理性能随之变

化(如电导率的变化),这就是构成湿度或气体敏感元件的基础。东芝综合研究所发展了 ZnO 、 Li_2O 、 Cr_2O_3 和 V_2O_5 烧结而成的新型陶瓷湿度传感器,用于空调和自动控制。松下材料研究所发展了 $\text{MgCr}_2\text{O}_4-\text{TiO}_2$ 陶瓷湿度—气体传感器, $\text{BaTiO}_3-\text{SrTiO}_3$ 湿度—湿度传感器。这已是属于双功能传感器了。另外还有一种动向值得重视:松下材料研究所用超微粒子技术在硅平面器件上形成 SnO_2 超微粒子膜,对湿度异常敏感。大阪大学滨川试验室研制成 PbTiO_3 薄膜硅独石超声多功能传感器,使增幅和信号处理一体化,可望用于振动及加速度传感器。这些,把传感器与电路集成化了,发展成了“灵巧”传感器。

传感器好比人的“五官”,是信息摄取的重要工具,目前在世界上已发展成一个具有相当规模、相当水平的产业,而且还在迅速发展。

(3) 信息记录材料

磁记录材料主要应用于计算机存储器中,遥感、自动控制以及人民教育文化生产也离不开磁记录材料,国外磁记录材料的记录密度已达到每英寸十万位,我国在这方面水平很低,相差有几十倍。为进行磁记录,使用的磁介质材料是针状 $\alpha-\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 Fe_3O_4 、 CrO_2 等金属氧化物,其中以 $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ 应用得最广泛,用适当的粘合剂把磁介质材料涂敷在聚酯衬底上,用这种技术在国外已使记录密度达到极限。为了提高记录密度把磁性膜做得很薄是一种有效的办法。因此发展了合金薄膜技术,现在已做到膜厚为 $0.5\mu\text{m}$,采用蒸发的方法做到了 $0.08\mu\text{m}$,一般使用的材料是 FeCo 、 Co-Ni 合金正进入实用阶段。采用光磁记录也可以提高信息记录密度,为此使用了 Ga-Fe-Tb 合金膜,面密度达到 2×10^7 位/ cm^2 这比现在使用的磁盘密度高约10倍。垂直磁记录介质的研究是最近发展起来的新题目,也是磁盘存储器的一个重要发展方向,人们期待着记录波长能到达 $0.4\mu\text{m}$ 的程度。

(4) 光信息材料

A 光导纤维:光导纤维是传输光信息的关键材料,也是发展光电子技术所必需的重要材料。光导通讯是非常诱人的。一根头发丝粗细的光导纤维可传输几十万路电话或几千路电视,有人计算铺设10000公里光导纤维的通讯线路比常规电缆可节约12000吨铜、38000吨铅,

而且不受腐蚀、不受干扰，保密性好。光导纤维采用石英型，用 $1.55\mu\text{m}$ 波长，损耗已经可以达到 $0.2\text{dB}/\text{km}$ 以下。目前认为光导纤维的发展方向是向着使光通讯在 100km 中无中继站，光导纤维损耗低于 $0.1\text{dB}/\text{km}$ ，各种杂质含量低于 1ppm 方向努力。制备光导纤维采用化学气相沉积方法(CVD)，目前又用改进的CVD和气相轴向沉积方法(VAD)，一般认为后者对加长尺寸有利。日本准备在1986年用 $1.55\mu\text{m}$ 波长单模半导体激光在直径 $10\mu\text{m}$ 光损耗 $0.1\text{dB}/\text{km}$ 的光导纤维中实现 200km 无中继通讯。日本、美国 10000 公里无中继光缆也在计划铺设之中，为此要研制含氯化锗的光导纤维(光损耗预计可降到 $0.02\text{dB}/\text{km}$)，含硫化锗的光导纤维(光损耗预计可降到 $0.001\text{dB}/\text{km}$)。以卤化物如：氯化物、溴化物、碘、砷化合物：如 ZnSe 、 GaTe 为原料，拉制单晶，再制成多晶纤维用作红外光导纤维。目前此种纤维已进入开发阶段。短距离通讯采用重氢化PMMA(甲基丙烯酸树脂)塑料纤维也达到 $10\text{dB}/\text{km}$ (波长 680nm)的低损耗，也是值得发展的材料。

B 光学功能材料

声光材料(如二氧化碲晶体和碲酸盐玻璃)、电光材料(铁电体 LiNbO_3 、 LiIO_3 、KDP、ADP等)、弹光材料(钨酸铅、硫酸三甘钛、铅玻璃等)、磁光材料(YIG铁磁晶体、 TbAlG 、含稀土氧化物玻璃等)，都是各种探测器、换能器中的关键材料。

举磁光材料为例。磁光效应的表现是在磁场作用下物质的电磁特性(如磁导率、介电常数、磁化强度、磁畴结构、磁化方向等)发生变化，从而使光的传输特性(偏振状态、光强、相位、频率、传输方向等)也发生变化。磁光材料就是在可见光和红外光波段具有显著磁光效应的强磁性材料。这是一种新型的光信息功能材料。1958年，著名的贝尔公司狄龙首先发现钇铁石榴石(分子式为 $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ，常以YIG表示)，后又发现低温透明强磁晶体溴化铈单晶，利用物质的磁光效应可制成具有光调制、光显示、光录象、光偏转、光复制、光偏振及光电磁转换功能的磁光器件。70年代液相外延石榴石单晶薄膜及高频溅射稀土——过渡族金属非晶态薄膜问世，使磁光材料的应用扩展到磁泡、光计算、光纤通讯、激光陀螺、光信息处理等领域。正在探索的 GdTbCo 、 GdTbFe 等非晶态

合金薄膜，可以利用其磁光效应作为可擦除的光存贮介质，这是很有前途的。

(二) 能源材料

现代人类利用的主要能源是石油、煤和天然气。世界上已经查明的石油、天然气资源只能供人类再开采几十年，煤也只能再开采几百年。千方百计开发新能源已成为世界各国为保证经济持续发展的主要措施之一。在我国，为实现四个现代化的目标，能源是短线。从在我国已经探明的煤、石油和天然气的储量以及开发的进度，与我国的人口不相称。因此，我们必须开发新型能源，节约使用现有的能源。可以明显看出，研究发展新型能源材料是完成上述任务的基础。

能源材料大体可以分为能源类型的转换材料、节能材料、储能材料以及开发新型能源所需的特殊材料。

1. 太阳能材料。这是当前世界上各个主要发达国家都在致力研究的能源转换材料。太阳是地球能量的来源，取之不尽，用之不竭。按照每平方米的地表面每年接受太阳能为120大卡来计算。在我们祖国960万平方公里的土地上每年接受的太阳能折合标准煤是16450亿吨。如果有十分之一的土地铺上太阳能电池板，转换效率为10%，就可以得到165亿吨标准煤。而我国现在煤的产量每年为6亿吨，到2000年为12亿吨。由此可以看到发展太阳能的意义和潜力。太阳能的光热转换是一种低级的利用方式，这种方式主要是利用聚热器、聚光镜获取热能。这种热能一般只能就地使用，难以贮存和传输。太阳能的光电转换则是太阳能利用的主要方面。实现光电转换的元件是太阳能电池。最先应用的单晶硅太阳能电池，已用于人造卫星、无人灯塔、无人气象站、铁路信号灯、无线电中继站和浮标等方面。转换效率较高($>15\%$)但造价贵，如聚光100倍，可达效率20%多晶硅商品电池，不聚光效率10%，这是国外的性能水平。我国制造的单晶硅太阳能电池，转换效率11—14%，多晶硅太阳能电池的转换效率为7—8%。目前国外除了为提高单晶硅太阳能电池的转换效率，降低成本而继续研究工作外，正在努力研究非晶态硅薄膜半导体，包括有硅、硅氢、硅氮。(后者： $\alpha\text{-Si:H}$ ， $\alpha\text{-Si:H}$)

α -Si:H:F)。制备非晶硅薄膜的方法是把SiH₄在高频电场中放电分解，使之在衬底上生长。在国外，最高转换效率小面积大于10%（美国RCA公司）大面积为5—7%（日本三友和富士电气公司）我国处于试验阶段，转换效率约为4%。如果转换效率达到15%的话，则经济上可以和常规电能相当，有人估计，到九十年代中期可能达到这个目标。有人乐观地估计，光电特性良好的非晶态元件可能使巨大的火力发电站变为废物。专家们则认为，要把非晶态薄膜变成一种大面积的、便宜的能源转换材料，要发展合金型和化合物型的光电转换薄膜，就必须研究薄膜结构，表面光学的光电性能并寻找不同的薄膜制备方法。目前实用的例子是用在计算器、手表等物件上。

2 高温结构陶瓷

高温结构陶瓷在我国或者称为高效能陶瓷，在日本则称之为精密陶瓷，是以节能为目的来发展这类陶瓷材料的。众所周知，热机的效率随着工作温度的提高而增加，所以人们一直在设法研制更高工作温度的耐高温材料，因此考虑到陶瓷。陶瓷作为结构材料遇到的最大问题是脆性、抗热震性等。日本为此从1978年起制定了研究发展精细陶瓷的月光计划，81年秋又制定了一个十年计划。人们期待着这类陶瓷材料用于内燃机，省去冷却系统，所以称这种内燃机为绝热内燃机。美国、日本、西德等国已有上千小时的试车结果，装入汽车后已进行了十几万公里的行车试验。实践证明，这种绝热发动机可减少燃料消耗20—30%，提高热效率30—40%，在国外，预计十年内可能有重大突破，并形成产业。另一个目标则是用于作燃气轮机的动叶片，可望在1200℃—1400℃的高温下工作，又能够抗腐蚀和磨损。

高温结构陶瓷主要是指氮化物系统（以Si₃N₄为基）和碳化硅（SiC）制作的陶瓷材料。发展这类材料所遇到的关键问题是：

1) 原料细粉的制备与合成、陶瓷件的成形与烧结以及表面加工与焊接等技术。这类陶瓷需要的原料细粉要求颗粒细（亚微米级），表面活性高、粒度范围窄。制备Si₃N₄亚微米细粉一般采用SiO₂还原法、先定形SiO₂还原和氮化、化学气相沉积（CVD）等方法。陶瓷件则采用热压、反应烧结和常压烧结等工艺方法制备，除Si₃N₄细粉外，还有各

种添加物如 Al_2O_3 、 CeO_2 、 Y_2O_3 、 La_2O_3 、 MgO 等。SiC 的粒度在 $2.5\mu m$ — $5.0\mu m$ 之间。据称丰田工业大学 Si_3N_4 材料的室温抗折强度为 $650 MPa$ 并能一直保持到 $1300^\circ C$ 。东芝陶瓷 Cerasio 组成为 SiC 90%，Si 10% 室温强度 $500 MPa$ ，到高温 $1400^\circ C$ 以上时强度明显下降，热压 SiC，室温强度为 600 — $700 MPa$ ，但 $800^\circ C$ 时即开始下降。日立研究所研制的高强度 SiC， $1600^\circ C$ 时约为 $750 MPa$ ，这是目前工艺达到的水平。

2) 对陶瓷制品如何进行强度评价、力学及断裂性能评价、非破坏性检验以及寿命的保证试验等。在这方面不像金属那样有比较坚实的理论基础、比较成熟并为大家公认的试验方法及数据处理方法。

3) 对于脆性材料的设计和用它造出的样机的运行试验也都没有成熟可靠的设计规范和试验结果的评价方法。

基于以上原因，有些专家持慎重态度。

为将陶瓷用为结构材料，发展氧化物的增韧、纤维补强无机复合材料，不论在科学上和应用上，也都是值得研究的新材料系统。

3 非晶态合金

本世纪五十年代末，美国加州大学 P. Duwez 教授从熔融金属急冷制成了非晶态合金材料。这一事实告诉人们，如果以超过 $10^3^\circ C/秒$ 的冷却速度对金属或合金进行高速淬火，则某些合金系统可能成为非晶态合金（金属玻璃）。1969 年发明了液态快冷法制造连续非晶态合金条带，至今某些牌号（如 Metglas 2605 系列等）的非晶态合金已经商品化。条带最大的供货宽度已经达到 100 毫米，试验室中则达到宽度 170 毫米。非晶态合金具有非常优异的电磁性能，主要用于制作脉冲变压器、磁放大器、电源变压器等。在 400 赫兹交流电使用时，这类合金的铁损小于 4 密耳 3% Si—Fe 合金的一半。非常适合于制作航空、航天机载器件。由此亦可看出，只要制作出尺寸足够的非晶态合金半成品，其最大的应用前景是代替硅钢片制作变压器，比目前最好的硅钢片可以节能一半，据美国估计，用非晶态合金取代硅钢后，仅配电变压器一项每年就可节省电能达 10 亿美元。日本、美国已经制作了 10 KVA、15 KVA、25 KVA 配电变压器，并认为有可能制作 1500 KVA 配电变压器和

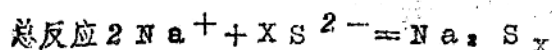
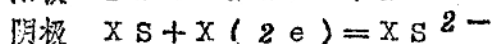
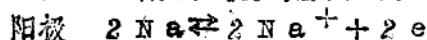
大于1马力的电动机。高频用非晶态合金。零磁致伸缩型非晶态合金（制作磁头）是另外两个研究方向。目前开发的非晶态合金主要是金属—类金属型（加入Si、C、B等）如 $\text{Fe}_{82}-\text{B}_{12}-\text{Si}_6$ 系。正在开发金属—金属型如 $\text{Fe}-\text{Co}_{15}-\text{Ni}_{40}-\text{Zr}_{20}$ ； $\text{Fe}-\text{Co}_{17}-\text{B}_3-\text{Zr}_{20}$ ； $\text{Fe}-\text{Co}_{14.5}-\text{B}_{6.5}-\text{Zr}_{20}$ 等，效果良好，非晶态合金还具有强度高、抗腐蚀、抗辐照等特性，有可能发展成为多种用途的材料。目前，非晶态合金距普遍推广使用还相差很远，它的成本还很高，（比硅钢高十倍）稳定性也还不及硅钢片。应加紧进行应用基础的研究，同时开发用于其他领域如信息贮存、磁敏元件、磁屏蔽、钎焊料等。

4. 高密度储能材料

发展高密度储能材料是节约能源的一项重要措施。我国电力不足，但夜间用电低谷期间又有大量富裕，可行的办法有两条，一是应用高密度二次蓄电池蓄电，一是利用低谷电电解水来制造氢，然后储存起来。

目前使用的铅酸蓄电池比能量（每公斤重量能够贮存的能量）很低。理论值为171瓦时/公斤，实际值为30瓦时/公斤。现在发展的快离子导体（又叫超离子导体、固体电解质）储能技术，设计出了钠硫蓄电池，在国际上已进入了扩大试验阶段，预计1990年可进入市场。钠硫蓄电池的比能量理论值为760瓦小时/公斤，实际值已做到150瓦时/公斤，比铅酸蓄电池的效率5倍。

所谓快离子导体是这样一种材料，组成它的一种离子构成了适于另一种离子（迁移离子）运动的通道。例如 $\alpha\text{-AgI}$ ，碘的离子按体心立方排列，银离子分布在四面体的位置上，单晶胞内12个四面体24个三角形的位置只有两个Ag离子，无序程度可以和液体相比。已知的快离子导体除 Ag^+ 以外，还有 Cu^+ ， Li^+ ， Na^+ ， K^+ ， H^+ ， F^- 等。这种离子导电现象，在导电的同时要发生物质的传递。钠硫蓄电池示意图如左图所示（图1）钠为阳极，硫为阴极，纯硫中加入碳是为了改良导电性。



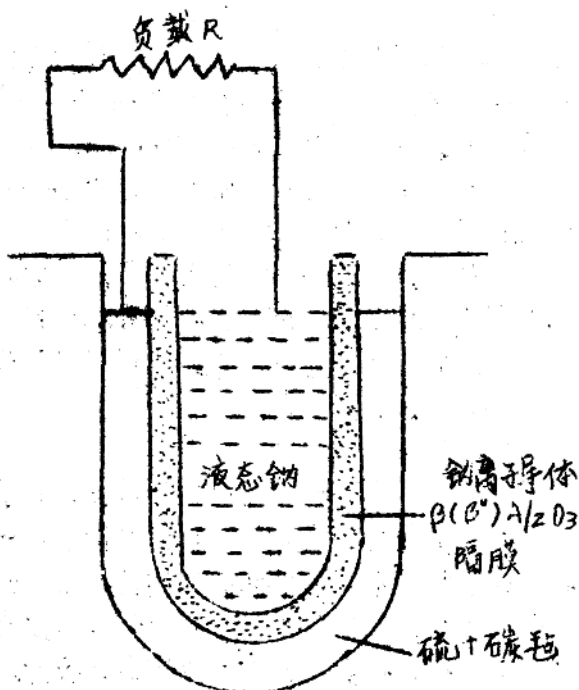


图1 钠硫蓄电池示意图

这种蓄电池的工作温度为 350°C ，美国已准备在三年之内进行 1 兆瓦时、5 兆瓦时的大型储能试验。

为了贮存氢气能源，传统的方式是高压气并贮存气体氢和杜瓦瓶装贮液态氢。但是压缩、液化都需要消耗能量而且不安全。金属氢化物能够充真的氢将大于同容积的液态氢，也就是说贮氢金属可以贮存比液态氢更多的氢，另外贮入时不需要消耗能量而且会放出热量，释放时所需的热量也不高、操作简便安全。

目前贮氢金属材料可以归纳为四个系列：

- 1) 稀土系，以 LaNi_5 为代表
- 2) 钛系，以 FeTi 为代表
- 3) 镁系，以 Mg 、 Ni 、 La 、 Mg_2 为代表
- 4) V 、 Nb 、 Zr 等金属及其合金。

按释氢条件可分为低温氢化物，即一个大气压下平衡分解温度低于 100°C ，其代表是 LaNi_5H_6 ， FeTiH_2 ；另一类称为高温氢化物，即一个大气压下平衡分解温度高于 100°C ，通常是指镁系合金分解温度在 250°C 左右。

金属贮氢技术目前还存在的问题是：贮氢按重量计所占比重甚小，理论值仅为 $1.37\sim 7\%$ ；导热性差；金属易受氢中所含的 O_2 、 CO_2 、 SO_2 等气体的毒化。

但是氢作为二次能源是极为优异的，因为氢的发热值高（低热值为 33.9 千卡/公斤）约为汽油热值的三倍，且燃烧产物无污染、来源丰富。因此努力发展贮氢技术极为重要。

5. 超导材料

超导材料是指那些在极低温度下没有直流电阻和焦耳热损失的材料。自 1911 年发现超导现象以来，已发现有 27 种元素和几千种合金、化合物具有超导性。目前已发现的具有最高临界温度为 23.2°K 的超导材料为铌-锗化合物（ Nb_3Ge ），它已可以在液氢下工作，但是这种化合物太脆，制造工艺困难。目前能够实用的超导材料是铌钛合金及铌锡、钒铱化合物，它们的临界温度为十几度（ $^{\circ}\text{K}$ ）。超导材料的世界年产量为 $100\sim 200$ 吨，其中 90% 是铌-钛合金，目前这些超导材料都是在液氮中工作，研制能够在液氢（ 25°K 以上）和液氮（ 77°K 以上）温度下具有超导性能而且容易加工的超导材料是奋斗的目标。有人预测九十年代将突破液氢超导体， 2005 年将突破液氮超导体，这将是具有极其伟大意义的技术突破。凡是需要强磁场下才能工作的装置，如磁流体发电、核聚变发电站“托克马克”装置，都必须使用超导磁体，否则体积太大，能量消耗太大。

开发新能源所需的材料

1) 原子能发电材料

1981 年世界上已投产的原子能发电站共 291 座，发电量为 1.61 亿千瓦，占世界总发电量的 9% ，预计到本世纪末原子能发电站将达到 586 座，占世界总发电量 15% 以上，到 2000 年据乐观的预测，

可以达到16.5亿千瓦，占世界总发电量32—34%，我国的原子能发电站正在建设中，预计到2000年可达12座。

除了铀等放射性元素作为核燃料外，在结构材料方面应用了大量稀贵的有色金属材料。例如，锆是原子能发电站堆芯的结构材料和铀燃料棒的包套材料，世界上锆产品的90%用于原子能发电，一个32.5万千瓦的原子能发电站需要锆材24吨，且每年需更换1/3。铪是用作海军用原子能动力装置的控制棒，氧化铪是快中子高通量反应堆的控制材料，每座这种类型的反应堆约需要氧化铪600公斤。铀及氧化铀是原子能发电站及反应堆的慢化材料及反射材料，钛是原子能发电站，特别是用海水冷却的热交换器的材料，抵抗海水腐蚀的性能优异，一个110万千瓦的原子能发电站需要钛150吨。这些有色金属，除了钛及钛合金在航空、航天技术得到广泛应用，并已逐步推广到民用以外，其他材料几乎都是以原子能发电站作为它们的主要用户。

2) 核聚变发电站材料。受控核聚变发电在现阶段是以从海水中提取的氢同位素氘(D)及由金属锂同位素 $6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ 核反应得到的另一种氢同位素氚(T)为燃料，D-T核聚合反应为基础的新能源，是未来人类取之不尽的廉价能源。根据计算，一吨海水中含有的氘所释放的能量相当于300吨石油；每公斤锂相当于4000吨煤。D-T核反应要在1亿度的高温下进行。因此要用以8—12万高斯或更高的磁场以约束1亿度高温的等离子体装置——“托克马克”装置。创造这样高的磁场强度只能使用超导材料，不然的话，能量消耗和体积都会大得惊人。

1982年美国普林斯顿大学耗资3亿美元建成的大型“托克马克”装置首次实验成功。后来，欧洲共同体和苏联的“托克马克”装置也相继实验成功。如果美国“托克马克”装置1985—1986年达到正常运转，预计几分之一秒的时间里就能发出3000万度电，从美国设计的UW-MAX II型核聚变电站来看，每100万千瓦发电装置将需要超导材料1000—2000吨、锂570—1150吨、铍580吨、铌90吨、钼600—700吨、钛50—60吨、锆58—70吨、钇2—3吨。

3) 磁流体发电用材料，磁流体发电可以不经过机械能把热能变为电能。以煤或柴油为燃料，将燃烧所产生的高温等离子体以1000米/秒