

- 它是现代电子工业的物质基础和大国技术竞赛焦点
- 它堪称信息技术自主可控、安全可靠的“守护神”
- 它在通信、空间、能源、国防等领域应用前景广阔

国防科技大学空天科学学院张为军教授为您讲述

电子新材料：信息时代的「基石」

■本报记者 王振文 通讯员 宁凡明 顾莹



备的功能。随着信息技术和新材料技术的发展，一批电子新材料应运而生。

宽禁带半导体材料：高功率电子器件的“核芯”

半导体材料是导电性能介于导体和绝缘体之间、导电性能随环境变化而发生显著改变的一类电子材料。

上世纪中叶，科学家首先使用硅基半导体材料，制备出半导体晶体管和集成电路，拉开了信息时代序幕。之后，在数十年的发展过程中，先后诞生了四代半导体材料。其中，第三代半导体材料具有宽禁带的物理特性，性能优势明显，在高功率电子器件、射频芯片、光电探测器等领域得到广泛应用。

禁带宽度是衡量半导体材料能带结构差异的参数，对半导体材料工作温度、导电性和光电性能等有决定性影响。具有宽禁带特性的半导体材料，抗击穿能力强、热导率及电子饱和速率高，可在高温和强辐射环境下稳定工作，在大量应用场景中，表现出比传统一、二代半导体材料更强的适用性。

例如，具有宽禁带特性的半导体材料氮化镓，已被用于手机快充充电器的主控芯片中，使体积较小的便携式手机充电器，轻松将充电功率提升至30瓦以上，从而有效改善智能手机用户的日常使用体验。

类似技术还被应用在新能源汽车、光伏逆变器、舰船全电推进系统等领域。使用宽禁带半导体制造的高功率射频器件，也在小到手机终端、民用网络基础设施，大到有源相控阵雷达、卫星通信模块中得到大量应用。

此外，宽禁带半导体制成的光电二极管，对紫外光的选择性探测能力极佳，因此被用来制成高灵敏度的紫外探测器。如战斗机上用于识别来袭导弹弹羽的紫外告警装置等。

发展中的第四代半导体材料，涵盖了超宽禁带和超窄禁带两类半导体材料。其中，超宽禁带半导体材料主要包括氮化镓、氮化铝、金刚石等材料。超宽禁带半导体材料展现出比宽禁带半导体材料更加突出的特性优势，具备满足相关领域未来发展需求的潜力。

柔性显示材料：让世界万物皆“显形”

显示材料能把电子设备内部的电信号转化为人眼可识别的光信号，是承载信息传递和人机交互功能的重要媒介。

显示材料的发展，经历了CRT时代的阴极射线荧光粉、LCD时代的液晶面板、LED/OLED时代的发光二极管/有机发光二极管阵列等一系列过程。其中，OLED技术使用的有机发光二极管材料，具有自发光特性，除传统的刚性玻璃衬底外，还能使用塑料等柔性材料作为衬底。因此，可在满足小型化、轻薄化需求的同时，实现显示器件的柔性化。

目前，柔性显示以OLED为主流技术途径，其发展经历了三个阶段——一是“曲面”阶段。也就是将柔性OLED器件压合在具有固定曲率的玻璃基底上，获得具有一定弧度的曲面显示屏。这类曲面屏虽然利用了柔性OLED器件的可弯曲性，但屏本身无法自由弯曲或折叠，因此还不是严格意义上的柔性显示。

二是“折叠”阶段。即除了使用柔性OLED器件外，基底材料也选用柔性材料，结合刚性的外部承载结构和可转动的铰链机构设计，整个显示屏能随铰链转动翻折。目前，世界上已有多个厂家推出搭载折叠显示屏的手机和笔记本电脑等电子设备。除了产生让人惊艳的视觉效果外，这些智能移动终端设备还兼具了大屏设备的便携性和大屏设备的易用性。但受限于现有柔性显示材料的强度、韧度、耐用性和可靠性问题，折叠屏还不能做到完全的自由弯曲，同时存在易起折痕、易受划伤等问题。

三是“揉卷”阶段。在这一阶段，显示屏将获得和纸张、布料相媲美的可变形能力和极佳的耐用性，实现真正的全柔性显示。已有厂家在近期展示了这种薄如蝉翼、可自由揉卷的全柔性显示器件样品。

未来，如能解决好控制器件、供能器件、集成电路等其他关键器件的柔性化问题，基于全柔性显示器件获得具有同样特性的显示设备，将引发智能终端设备形态和功能的革命，让人们的日常生活更加五彩缤纷。

超导材料：确保电子畅通无“拦截”

1911年，荷兰物理学家卡末林·昂内斯在研究低温下金属电阻变化规律时意外发现，将水银冷却到-270℃左右时，水银的电阻突然消失了。

卡末林·昂内斯将这种低温下导体电阻突变为零的现象称为“超导”，并将使导体进入超导态的温度称为超导临界温度。之后，科学家又发现超导态下材料具有完全抗磁性，即材料内部没有

磁场。具有这种神奇特性的电子材料，就是超导材料。

超导材料的发现，引起人们极大兴趣。从最简单应用设想来看，如果用超导材料取代导体材料制成电线，能使远距离电能传输的损耗降低到忽略不计。然而，诸如水银的超导临界温度低至-270℃左右，难以得到实际应用。

随后，科学家致力于提升超导材料的超导临界温度，取得了令人瞩目的成就。尤其是成功获得了超导临界温度在液氮温度(-196.56℃)以上的超导材料，从而开启了超导材料实用化进程。这些借助廉价而丰富的液氮即可进入超导态的超导材料，被称为高温超导材料。

高温超导材料用途广泛，包括超导发电、超导输电、超导储能、超导磁悬浮等。人类探索可控核聚变技术的托卡马克核聚变实验装置，也安装了高温超导材料制成的超导线圈，用以产生约束高温等离子体的强大磁场。

多年来，研究超导材料的科学家还有一个梦想，就是获得在室温下呈现超导态的超导材料，即室温超导材料。通过大量实验尝试和验证，科学家在液氮温度的基础上，艰难提升着超导材料的超导临界温度，目前已有材料在极高高压强环境下表现出室温超导特性。

电磁超材料：微观结构让其很“另类”

传统材料的性能设计和优化过程，像烹饪一道菜肴，确定菜谱、选好食材之后，通过不断调整火候和调料配比，可让菜品呈现不同的口感和风味。然而，这种方法难以突破材料固有物理属性的限制。

那么，能否通过一种手段突破这一限制呢？答案是肯定的。科学家通过对材料微观尺度上的结构进行人工定制，就能让材料在宏观尺度上表现出天然材料无法具备的反常物理性质，如负折射率、负介电常数、负磁导率等。这种借由特定微观结构获得超常电磁特性的特种复合材料，就是电磁超材料。

电磁超材料在原子、分子层面上，与天然材料并无本质区别，但具有几何尺寸大于原子、分子直径而小于电磁波波长的亚微观结构。这些微观结构，针对不同的电磁波，具有特定的响应行为。通过对微观结构形态和排列规律的精确调控，电磁超材料可表现出既和天然材料差异巨大、又具有高度可设计性的物理性质。这使得电磁超材料在无线通信、电磁隐身、超分辨率成像等技术领域，具有极高应用价值。

电磁超材料最为引人注目的应用设想是制作“隐身衣”——通过合理设计电磁超材料的电磁参数，可使电磁波从目标表面覆盖的一层电磁超材料中绕射而过，从而实现目标隐身。

由于可见光也是一种电磁波，如果把电磁超材料的工作频段设计为可见光频段，那么就能得到神奇的光学“隐身衣”。该技术已在理论和实验中得到初步验证，在军用伪装隐身材料领域或将发挥重要作用。

此外，电磁超材料还能为传统电子材料的性能革新提供新思路。即通过调控组分来优化材料本身性能的同时，实现材料微观结构的可控制备，以提升材料的综合性能。

左上图为外军使用宽禁带半导体材料研制的有源相控阵雷达。

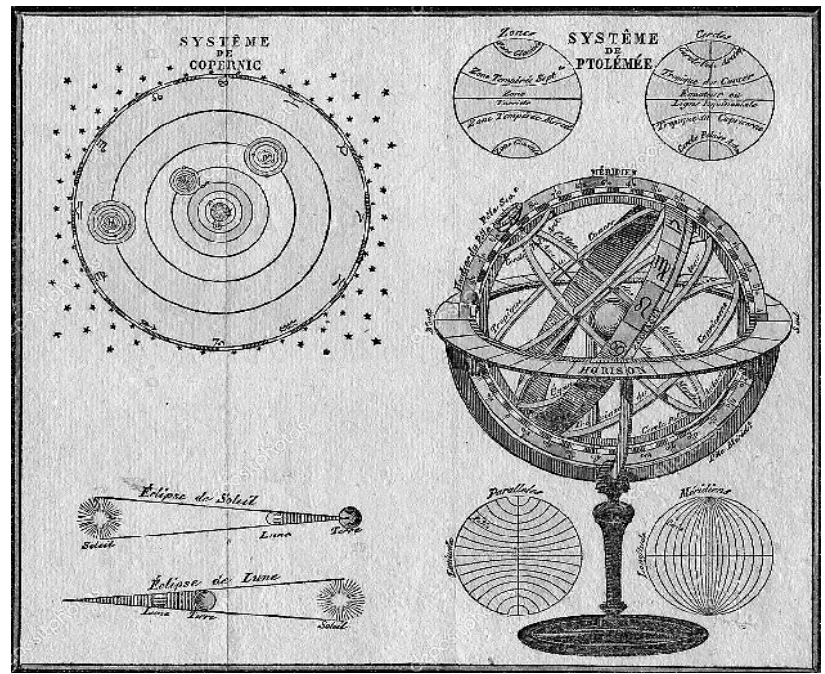
【开栏的话】

纵观人类文明发展史，科学技术每一次重大突破，都会引起生产力的深刻变革和人类社会的巨大进步。每一项科技成就的取得，往往有着来之不易的创新过程。这其中蕴含着生动的创新故事，启迪和激励着后人不断攀登新的科技高峰。

即日起，本版开设“刻进历史的经典创新”专栏，回到那些引领时代潮流的创新现场，呈现那些激动人心的经典时刻。

日心说：让自然科学挣脱神学枷锁

■王皓凡 唐军伟 周子杰



刻进历史的经典创新

从公元5世纪到文艺复兴时期，欧洲始终处在罗马天主教会统治之下。为了巩固神学地位，教会宣称地球是上帝特意安排供人类居住的宇宙中心。因此，地心说成了当时神圣不可侵犯的天条，有关科学知识则被斥为“异端邪说”。

直到15世纪，哥白尼创立日心说，才让自然科学挣脱神学枷锁，从而得到解放。

从13世纪开始，随着航海业兴起，对日历与定位精度要求提高，各方面迫切需要新知识新技术来为生产服务。

哥白尼就出生于这一时代背景下。大学毕业后，他在波兰的一所教堂任职，并开始了长达30年的天象观测和研究。因此，人们戏称他“白天是神父，晚上是天文学家”。

在大量天文数据支撑下，哥白尼发现了地心说的致命错误，并在《天体运行论》一书中驳斥了地球不动的谬论——地球同其他行星一样，是在自己轨道上绕着太阳运行的。他还根据运动相对性原理以及三角学原理，详细论证了太阳、地球、月球和其他行星的运动规律。

这些理论，今天看来并不复杂，但当时可谓站在了科学的顶峰。

在教会阻挠下，《天体运行论》直到哥白尼去世前夕才得以发表。日心

说的问世，像一把利刃刺穿神学地心说的要害。哥白尼所建立的科学宇宙观，彻底颠覆了当时人们的思想。人类从此迎来了文明时代的曙光。

继哥白尼之后，又出现了另一位大破神学的创新斗士——伽利略。这位意大利科学家，利用近代力学和物理学中的数学、实验方法，论证并发展了哥白尼的相关学说与猜想。其利用科学观察诠释自然科学的方法，也推动了不同科学领域的长足发展。他出版的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》一书，有力批驳了神学教义的种种谬论，以至于教会和神父们不顾一切地把他监禁起来。

出狱后，伽利略仍坚定不移地开展科学研究。他在教堂看到灯在风中摆动，发现了摆的等时性原理，后人根据这一原理，制成了钟表；他以著名的“比萨斜塔实验”证明，重量不同的物体，下落速度是一样的；他对重力、速度、加速度等运动基本概念作了详尽研究，并给出严格的数学表达式，为创立经典力学打下了坚实基础。

可以说，哥白尼打破了神学对自然科学的限制，伽利略更是开辟了科学研究方法的新纪元。之后的100年里，牛顿、莱布尼茨、惠更斯等著名科学家不断涌现，物理学、数学、天文学等自然科学得以快速发展。

图为哥白尼日心说和天仪体系示意图。

中国版“海事卫星”

■郭浩然 王然 本报记者 安普忠

新看点

今年1月20日，我国用长征三号乙运载火箭将天通一号03星送入预定轨道。卫星定轨后，与天通一号01星、02星以及后续发射的卫星共同组网运行，为中国及周边地区乃至太平洋、印度洋大部分海域用户，提供全天候、全天时、稳定可靠的卫星移动通信服务，支持语音、短信息和数据业务。

天通一号系统，是中国首套拥有自主知识产权的卫星移动通信系统，由空间段（天通一号01星、02星、03星等多颗地球同步轨道移动通信卫星）、地面段（卫星管控运维站）和用户段（多类型用户终端）组成。

天通一号卫星全部基于东方红四号平台研制。卫星搭载的大口径环形天线，具有极其复杂的电气机构、电磁特性和火工控制器件等。天通一号卫星的成功应用，标志着我国在大口径柔性折叠天线技术上取得重大突破。

卫星管控运维站是天通一号卫星移动系统“联天通地”的关键枢纽。“联天”——实现对卫星的平台与载荷管控；“通地”——实现对卫星通信网的规划、建立、资源调配及用户管理。卫星管控运维站的所有硬件设备，包括接入网的基带处理设备、信号转换设备、核

心网的信令处理设备、信息交换设备等，均为国产自主可控产品。在软件方面，操作系统平台、数据库、通信信令等，均为国内厂商开发的自主知识产权产品。

作为天通一号卫星移动通信系统用户终端的核心，芯片组是实现用户终端易用性和小型化的决定性因素，也是实现系统自主可控的核心环节。从用户需求到芯片设计，从仿真测试到流片验证，从系统联试到回归测试，芯片研发团队克服了重重困难，成功打造出核心芯片组，并完成第一个语音通话。这是国内卫星通信领域第一套芯片，拥有完全自主知识产权，能够确保中国卫星移动通信实现自主可控。

随着天通一号系统开始提供服务，我国正式进入“地球同步轨道移动通信卫星俱乐部”。它和国外海事卫星系统一样，采用地球同步轨道卫星和窄带移动卫星系统。不同的是，用户频段不一样，天通卫星使用的S频段信号传输损耗小，且终端设备小型化、手机化，便于携带。基于这种星座设计与通信体制的相似，有人将天通一号卫星移动通信系统称作中国版“海事卫星”。



科学家聊宇宙

事物创生的过程，在很大程度上决定了事物本质与特性，唯有明确过去，才能更深入地了解现在，进而预测未来。

对于包罗一切的宇宙来说，科学家也希望能确定宇宙诞生和成长过程。可我们无法进行时光穿梭，回到宇宙诞生的那一刻对这个过程进行观察，只能根据当下所能观测到的现象和已了解的物理学规律，提出宇宙诞生的理论模型，来描述宇宙诞生过程。

牛顿在数学和力学方面的工作，奠

定了近代物理学体系基础。他认为，时间既可向前又可向后无限延伸，宇宙一直处于当前状态，不存在诞生的问题。然而，依照牛顿发现的万有引力定律，在这样的宇宙模型中进行计算后，会得出宇宙中任意一点都受到无穷大的引力的悖谬，因此牛顿的宇宙学模型无法自洽。

爱因斯坦在发现广义相对论后，依然主观地认为宇宙是静止不变的。但前提是，需要在基于广义相对论的引力场方程中，增加一个难以证实是否存在“宇宙项”，才能得出宇宙静止不变的解。

1929年，天文学家哈勃通过光谱中的多普勒红移现象，发现所有我们能观

宇宙是如何诞生的

■李会超

测到的其他星系，都处在远离我们的过程中，且距离我们越远的星系，远离我们的速度越快。这与宇宙处于静止稳定状态的假说是矛盾的。唯一可能的解释，就是宇宙本身正在变化和膨胀。

实际上，爱因斯坦本可以通过引力场方程得出宇宙膨胀的解。然而，由于他对宇宙静止不变深信不疑，强行在方程中加入抵消膨胀的“宇宙项”，才得出了错误的解。在哈勃发现宇宙膨胀后，爱因斯坦曾坦言，“宇宙项”是他一生中犯下的最大错误。

如果宇宙自诞生之日起就处于膨胀和伸展过程中，那么从现在回溯，自然得到在过去某一时刻，宇宙中所有物质都聚集在一点的结论，这也是目前人们普遍接受的“宇宙开端”之说。在宇宙诞生的那一刻，这个密度无限的点发生了猛烈爆炸，随即开始向各个方向均匀膨胀。

在爆炸发生初期，物质是以目前我们能认识到的最小单元——夸克、反

夸克等形式存在。之后，随着宇宙诞生过程的进行，宇宙温度开始逐渐下降，物质也随之进行着由小到大的聚集过程。首先是质子、电子等粒子的出现，之后由这些粒子聚集成了各种元素的原子核。氢、氦等原子数较小的元素先产生，原子数较大的重元素则稍晚一些产生。接着，这些元素组成的物质再进一步聚合成恒星、星系等我们现在能够观测到的天体，形成了我们现在的宇宙。宇宙诞生和发展的这种理论模型，一般被称为“大爆炸理论”。

需要指出的是，这个理论模型所描绘的宇宙开端，既没有被实际观察到，也无法被实验完全证实。今后，随着物理学和天文学的发展，这个理论模型可能被进一步改进，也有可能被完全否定。当然，这也是接近宇宙真理的必由之路。

图为宇宙大爆炸想象图。