

新型材料及其应用

本书为高级科普读物。它全面地介绍了各种新型材料的类型、性质及其在国民经济和科技发展中的应用和前景。这些新型材料是下世纪高、新技术的基础。



华中理工大学出

内 容 简 介

本书系统地介绍了新型材料的分类、组成、结构、组织与性能之间的关系，全面地阐述了各种新型结构材料和功能材料的类型、性质及其在国民经济和科技发展中的应用和前景。本书既可作为高等院校各种材料专业的大专生、研究生的教学用书，也可供从事金属材料、高分子聚合材料和无机非金属材料的技术人员参考。

新型材料及其应用

刘云旭

责任编辑 漆文琰

责任校对 严志勇

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

*

开本：850×1168 1/32 印张：7.75 字数：193 000

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数：1—1 500

ISBN 7-5609-0427-0/TG ·12

定价：1.80元

湖北新华书店



前 言

我国的经济建设，肩负着既要推进传统的产业革命，又要迎头赶上世界新技术革命的双重任务，完成这个任务的关键是依靠科学技术。当前，如何更快地使科学技术直接成为生产力，是我国经济界和科技界十分重要的问题。

70年代以来，以信息技术为主导，以新型材料为支柱的技术群正迅速向发达国家的经济、社会等各方面渗透和扩散，导致了生产力的新飞跃和产业结构、劳动就业结构的新变化。在今后一个时期内，必须充分重视高技术及其产业对未来经济、社会发展的巨大影响，必须把发展有竞争力的高技术及其产业，作为国民经济发展的一个重要组成部分和增强参与国际经济竞争力的重要内容。

包括新型材料技术在内的当代六大高技术：生物技术、航天技术、信息技术、新型材料技术、新能源技术，海洋技术将在21世纪中加速发展，并通过更广泛的实用化和商品化而成为日益强大的高技术产业。

发展高技术的根本着眼点是形成高技术产业。高技术的真正价值，在于它的高增值性、渗透性和扩散性。它能带动一大批产业的发展，从而带来巨大的经济效益和社会效益。应该说新型材料技术是增值性、渗透性和扩散性最大的技术，也是发展高技术产业门类多、用途广和效益高的产业。

一般认为，以基因工程、细胞工程为标志的生物技术，将成为21世纪技术的核心；以光电子技术、人工智能技术为标志的信息技术，将成为21世纪技术的前导；以核聚变能、太阳能为标志

的新能源技术，将成为21世纪技术的支柱；以航天飞机、永久太空站为标志的空间技术，将成为21世纪技术的外向延伸；以深海采掘、海水利用为标志的海洋技术，将成为21世纪技术的内向拓展；而以超导材料、人工定向设计材料为标志的新型材料技术，则将成为21世纪各种新技术发展的基础。

作为下一世纪的高、新技术基础——新型材料，既可以为发展其它高、新技术服务，同时本身也可以发展为新兴产业。因而，开发新型材料及其产业，在未来的技术和经济发展中，将处于极其重要的地位。这是因为新型材料可以创造各式各样高功能、高效率、低成本的仪器、设备，并用这些产品解决科技和经济发展中的重大问题。

关于新型材料，目前国内外尚无系统论述的专著，资料多而零杂，有待归纳整理。为了使我国的科技工作者熟悉新型材料和运用新型材料，特编写此书。本书既注意了新型材料共性的阐述，又注意了新型材料个性的说明，同时还介绍了新型材料的实际应用。但是，鉴于许多新型材料的成分、具体制造工艺在世界各国都属专利而予以保密，因此，本书只能叙述文献、资料中已报导的各种新型材料的基本成分、制造过程和应用方向，为深入研究提供信息，使研究者有所借鉴，少走弯路。此外，由于新型材料日新月异、层出不穷，本书不能一一列出，望读者原谅。

目 录

前言	(I)
第一章 新型材料与现代科学技术	(1)
第 1 节 新型材料与临界技术	(1)
第 2 节 新型材料与新能源	(4)
第 3 节 新型材料与空间技术	(7)
第 4 节 新型材料与现代电子技术	(9)
第 5 节 新型材料与激光技术、红外技术	(11)
第 6 节 新型材料与海洋工程	(14)
第二章 材料的分类及进展	(17)
第 1 节 按材料的化学组成分类	(17)
第 2 节 按材料的用途分类	(19)
第 3 节 按材料的功能分类	(21)
第 4 节 按材料的结晶状态分类	(23)
第 5 节 按材料的物理性能分类	(23)
第 6 节 按材料发生的物理效应分类	(25)
第三章 材料的物性	(27)
第 1 节 材料的化学键与物性	(27)
第 2 节 材料的结构与物性	(41)
第 3 节 晶体的缺陷	(50)
第 4 节 材料的结构与力学性能	(55)
第 5 节 材料的物理性能	(64)
第 6 节 材料的化学性能	(69)
第四章 新型结构材料	(73)

第 1 节	新型金属结构材料	(73)
第 2 节	精细陶瓷结构材料	(95)
第 3 节	新型高分子结构材料	(110)
第 4 节	复合结构材料	(124)
第五章	新型功能材料	(137)
第 1 节	超导材料	(137)
第 2 节	储氢材料	(161)
第 3 节	敏感材料	(169)
第 4 节	信息材料	(191)
第 5 节	分离材料	(207)
第 6 节	形状记忆材料	(218)
第 7 节	新型磁性材料	(225)
第六章	人工人体功能材料	(230)
第 1 节	现用人工人体材料	(230)
第 2 节	对人工人体材料的要求	(231)
第 3 节	可用于临床的人体材料	(235)
第 4 节	人工脏器的展望	(238)

第一章 新型材料与现代科学技术

材料是人类进化的标志之一。70年代有人把材料、能源与信息称为现代文明的三大支柱，80年代人们又把新型材料、生物工程和信息作为新产业革命的重要标志。1987年我国政府把材料技术作为八大新科技重点发展的领域之一。

所谓新型材料，是指那些新近发展或正在发展的具有优异性能的材料，它们可能属于金属材料、有机合成材料或无机非金属材料。

新型材料的基础是材料科学，其主要特点是以科学为基础，与新技术、新工艺的发展有密切相互依存、相互促进的关系。新型材料的发展，会引起新技术质的变化，影响现代科学技术各个部门，同时也极大地影响着社会的变革和人民的生活。可以说，没有新型材料就不可能发展新技术。当然，新技术的发展，也为新型材料的研究提供了巨大的动力。同时，有些新技术又为新型材料的发展创造了条件。

第1节 新型材料与临界技术

1. 近期工业技术发展状况

世界近期的工业技术发展，大致可以分为如下几个阶段。从本世纪20年代中期到50年代初期为第一阶段。这一期间出现了原子能、硬质合金、喷气飞机、运载火箭、雷达、电视、电子计算机、半导体等技术。60年代初期到70年代中期为第二阶段。这一

期间，出现了大型复杂的成套设备，信息处理技术的重要性日益突出，电子计算机在生产过程控制领域内的作用愈来愈大，出现了100万千瓦级发电机组，年产30万吨乙烯的成套设备和50万吨级的油船等。

从70年代中期到本世纪末将进入第三阶段。这一期间随着宇宙空间开发技术的进步以及社会经济的发展，新型材料和先进设备的研究已经成为当务之急，世界将进入“临界技术”或“极限技术”发展的时期。研究工作主攻的目标，将向物性的临界状态探索。例如，研制速度接近于光速的开关；晶体点阵接近完整的高强度材料；电阻为零的超导材料；用极高纯度的锗和硅生产特异性能的半导体；利用超高压制造人工金刚石，利用能分辨原子直径级的超放大倍率的电子显微镜和激光技术，用于生物工程中遗传因子的改造，创造新的生物品种等。

近期科学技术发展阶段的划分及典型代表技术如图 1-1 所示。

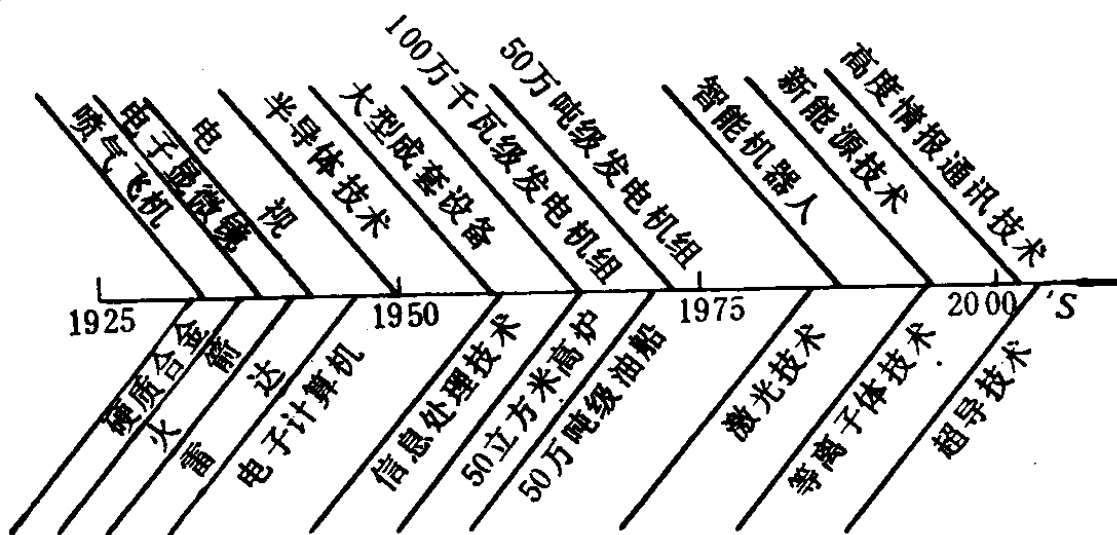


图1-1 近代科技发展阶段及其典型代表技术或产品

当前的科学技术，正处在上述两个发展时期交替的门槛上，既具有上个时期技术发展的特点，又具有未来临界技术发展时期的动向。人们在临界技术上的突破，将促进新的技术革命的出现

和新兴产业的发展。可以预测，从本世纪末到下世纪初或近几十年内，已经突破和将要突破的临界技术，一旦运用于生产和社会，必将带来社会生产和人民生活新的飞跃。

临界技术与新材料有着密切的关系，具有特种功能或性能的新型材料一经出现，必然会对临界技术的发展起着巨大的作用。而且，新型材料的生产本身就是知识密集、技术密集高科技型的一种新的产业，同时它的发展在很多情况下，又是要在临界条件（如超高温、超低温、超高压、超高真空、超高纯、超高速冷却等）下形成的。

2. 新型材料在发展临界技术中的作用

随着宇宙空间、核能开发技术的进步以及社会和经济发展的需要，新型材料的研究已经成为关键所在。今后的科学技术，必须适应高精度、高速度、高效率以及其它方面的要求，这就必须创造和利用超低温、超高温、超高真空等临界状态的临界技术。临界技术对于开发其它新技术和提高现有技术水平有着极其重要的作用。如何利用新的原理来制造临界技术发展所需要的新型材料和元件，将是支配今后产业结构转变的关键技术。

低温技术，一般以液化天然气温度（ -100°C ）以下的温度为对象，重点是材料呈超导状态的温度（一般都在 -160°C 以下）。由于普通材料都有随着温度的降低，韧性、塑性降低的特性，因此需要研究适应低温下使用的材料，如低温合金和低温钢，这些材料在低温下必须具有高的韧性和塑性，以防脆裂。

超高压技术是指几十至几百兆帕压力下合成氨、甲醇、聚乙烯等物质，在大于1000兆帕压力下人工合成金刚石技术，以及据推测在1700~5600兆帕压力下，氢可以变成金属态。这种材料在室温下也呈超导性，这些都是尖端技术，无需特殊资源而可合成有用的材料。为此必须研究能够承受巨大等向压力的强韧材料，如

超高强韧合金等。

在元件工作速度的高速化方面，最引人注目的是利用具有超导现象约瑟夫森元件、砷化镓元件、高电子迁移率半导体元件等，有希望使开关速度在10微微秒以下的高速半导体可以实用化。此外，约瑟夫森逻辑元件也可以用于电子计算机。采用无晶体缺陷的完整硅单晶，可以制成能够应用的1000千兆赫超高频或开关速度小于50微微秒的超速半导体器件。

超纯、超净、超精细加工是推动半导体科学技术发展的关键技术，而且它已成为现代科学实验和工业技术的手段。例如，正在发展的光通讯关键材料，要求一根直径100微米左右的光导纤维，在长达几万米时仍保持质地均匀、非常透明。这种新型材料的开发，是一种要求很高、难度很大的技术，它要求材料中的杂质含量在 10^{-9} 以下。

新型材料，正在由过去的结构材料转向功能或自我修复功能的人工智能材料和精密混合材料。只有掌握能以分子水平或原子水平任意设计或控制物质的技术，才能制造出各种新型材料和新元件，为此必须广泛使用各种新技术，尤其是采用临界技术或极限技术，如采取在无重力超纯净的宇宙空间这一极限条件下制取新型材料。

第2节 新型材料与新能源

能源紧缺是当前世界上重大问题之一，已经成为制约经济发展、影响人民生活提高的重要因素，因此，如何提高现有能源的利用率、节约能源以及开发新能源已成为当务之急。要解决这一问题，必须研究出新型材料与之配合。例如，用精细陶瓷代替钢铁来制造发动机，可以节油30%，提高热效率50%。如果能进一步研制出可以在1400℃条件下工作的涡轮发动机陶瓷叶片，节能

效果将更为显著。

城乡供电存在着电网不平衡问题，迫切需要有高密度的蓄电池在低负荷时蓄能，以补充高负荷时的不足。制造这类高效蓄电池，需要有一系列的新型材料。

所谓新能源，它是相对已经比较广泛应用的“旧能源”而言的。当今人们所谓的新能源，主要是指太阳能、海洋热能、铀²³⁵、铀²³⁸、钍²³²、氘、硼¹¹等核燃料和新的“二次能源”氢、甲醇等。

太阳能是取之不尽、清洁、干净的可再生能源，利用太阳能电池是一条比较经济有效的途径，此外，风力、潮汐和地热发电等都少不了各种性能的新型功能材料和结构材料。

太阳辐射能，虽然仅有22亿分之一到达地球大气的最高层，并且还有一部分被大气反射和用以加热空气，然而每秒钟到达地面上的总能量已高达80万亿千瓦，相当于60万吨标准煤燃烧产生的能量，这是一个非常巨大并且能连续供应的能源。

太阳能的直接应用基本上有三种方式，都需要特殊的新型材料。

(1) 太阳辐射能直接转换成热能即光-热转换。光-热转换需要用高效率的聚光集热材料制造聚光集热器。还需要储存热能的材料，以克服夜间和阴天得不到太阳辐射能的缺点。

(2) 太阳辐射能直接转换成电能即光-电转换。利用光电效应使太阳能直接转换成电能，太阳能电池就具有这种功能。太阳能电池的关键是光电转换材料。硅、硫化镉、砷化镓等材料，都可用来制造这种电池。

(3) 太阳辐射能直接转换成化学能即光-化转换。绿色植物的光合作用，就是光-化转换，但它不能完全受人控制。人们正努力寻找完全可控的光-化转换方法，看来只有研制一种模拟绿色植物发生光合作用的材料，才能实现。如果这种光-化转换实

现了，人类生理活动的能源——食物和生产过程的能源都可以通过这个转换得到，它将会引起科学技术和社会生产的巨大变革。

综上所述，直接利用太阳能的关键是提供各种新型的光-热、光-电和光-化转换材料。

地热就是地球的内热，火山爆发、地震等都是地球内部能量的释放过程，也都是能源。例如，已知的一次大地震，释放的能量相当于100万千瓦发电厂25年的总发电量。在现代的技术条件下，主要是开发地下热水、地热蒸汽和热岩层。目前，效率较高可以较为普遍应用的地热是热岩层。为此，首先要在地下3000米以下临近岩浆的地方进行爆破或地下核爆破，再从地面上将水注入爆炸后形成的空洞中，水吸收热岩层的热量后变成蒸汽，然后引出蒸汽发电或作其它用途。

应该指出，地热蒸汽中或水中的盐和矿物质含量很高，而且地热井中也常会产生一些有害气体，如硫化氢等，因此，开发地热必须有耐热、耐蚀结构材料，以保证钻井和机械设备的正常运行。

原子能是利用核反应时原子核与原子核或原子核与基本粒子间在相互作用时，原子核发生变化而释放的能量。核反应释放的能量是非常巨大的，最重要的核反应是“裂变反应”和“聚变反应”。裂变反应是原子较重的原子核分裂成较轻的原子核而结合成较轻原子核的反应，重要元素是铀²³⁵、铀²³⁸、钍²³²等；聚变反应是较轻的原子核结合成较重原子核的反应，重要元素是氘（氢²）、氚（氢³）、氦³、锂⁶、锂⁷等。

目前已勘探到的铀、钍矿所包含的能量相当于地球上化石燃料总量的几十倍。普通的核反应堆用的核燃料主要是铀²³⁵，可是铀²³⁵在地球中的含量很少，只占天然铀的0.7%，目前所采用的富铀矿，不要很久就会用尽。所以人们设计了一种新的核反应堆——增殖反应堆，它可以使大量至今尚未使用的铀²³⁸、钍²³²

转变成裂变性物质。为此，必须具备引发裂变反应的中子。

聚变反应的燃料，储量很大、释放能量很高，例如每1吨水中含有140克氘，而1千克的氘释放的能量相当于1万吨优质煤的能量。关键是聚变反应必须在超高温（ 1×10^8 ℃以上）时才能发生，这就需要性能很好的超导材料以产生强磁场而形成磁绝热。

无论是普通反应堆还是增殖反应堆，都需要使用多种具有特殊性能的功能材料和结构材料，如对中子减速能大、中子吸收截面小的减速材料、反射材料、控制中子数量的控制材料、耐高温、耐腐蚀、抗中子吸收、抗放射线损伤的高强度、高韧性结构材料等。

磁流（等离子体）发电是一种将化学能或热能直接变成电能的过程，它可以大大提高热效率而且无需高速运转部件，还具有体积小、启停迅速等优点。为了使气体达到磁流发电所要求的电导率，必须提供7000℃高温的环境，即使在气体中加入低电离电位的物质钾、钠等，也要提供高达3000℃的环境。要适应如此高温的环境，必须有耐高温、耐热震和抗碱金属腐蚀的导体和超导材料。

燃料电池是将物质的化学能直接转变为电能的发电方法。燃料电池主要由燃料、氧化剂、电极、电解液四个部分组成，它具有结构简单、使用维护方便、燃料利用率高等优点。但是，发展燃料电池需要解决固体电解质的材料问题。

氢能是一种储量大、无污染的、新的二次能源。利用这种能源的关键是如何实现用太阳能来分解水和制造一种能简易储运氢的装置，这些都需要有相应的高效光-化转换材料和高容量的储氢材料。

第3节 新型材料与空间技术

第一颗人造卫星进入轨道，标志了空间时代的开始。随着空

间活动的发展，为科学研究提供了新的科研实验手段，开辟了新的研究领域。空间科学和技术，既是军事需要，又具有极其重要的科学研究价值。例如，现代间谍卫星，可以迅速发现别国的军事演习、部队调动、武器调运、试验新武器、地下导弹发射井等几乎全部军事秘密。近年来空间活动中也发展了多项新技术，如遥感技术、卫星通讯技术、遥控操作技术、自动化技术、极端条件技术等，这些都可为人类经济发展服务。

空间技术与新型材料的关系是：空间技术发展需要新型材料，同时空间技术又为研究新型材料提供了特殊条件。

空间技术与运载工具（火箭）、人造卫星、飞机等航天器有着密切的关系。相对而论，70年代以来的十几年间，空间活动在很大程度上集中在发展火箭、制导系统以及其它有关装置。今后空间科学技术活动，将从近地空间向远地空间，从内行星向外行星扩展，同时太阳系以外天体的研究以及空间载人飞行、空间实验和航天飞机等，这些制造宇航运载工具用的材料，既要能承受外部环境的作用，又要能够使内部处于稳定的工作状态。由于制造运载工具、航天飞行器的材料是在重力场、无重力场、空气流摩擦和冲刷、振动、高温、低温、高压、真空、太阳光照射、放射线辐照、地磁场作用等极端环境中工作，同时人们为了能以最小的推力使机体达到最大的速度或承载更多的物件，则要求材料的比强度（强度/比重）高。火箭喷嘴材料，要求耐热（燃烧气体高于4000℃）、耐蚀、耐高压、比热潜热大，同时还要承受抗热震等载荷。

现代的科学技术进展，在很多领域内取决于材料。例如，可控硅或功率晶体管受硅晶体的尺寸和纯度的限制；集成电路受半导体内均匀性的限制；重力在液体和气体中会造成对流，引起了晶体结构的扰动和位错，使熔体中不同密度的组分分离，使半导体材料中掺杂物形成不均匀分布，这都影响了材料的质量。在空

间实验室内，研制合金的科研成果报告表明：金、锗、铅、锌、铋，以及铋、锡、铟三种合金在实验时，其合金的组分，由于密度相差很大，所以在地面上熔融时不可能形成合金，而在空间实验室内熔融时，则形成了均匀的合金。根据这一结果，可望利用空间实验室来研究高质量的新型材料，如超纯半导体和药剂等材料。

此外，在地面上用气相沉积法形成极薄的金-锗膜材具有超导性，但是固化了的金-锗混合物，则无超导性。可是，在空间实验室制备的金-锗混合物则又显示了超导性。这说明空间技术的发展，由于提供了特殊的极限条件，所以促进了新型材料的发展。

第4节 新型材料与现代电子技术

电子学是研究电子和电磁场上运动、电路理论以及信息传输系统的一般规律及其应用的学科，运用这些规律研究出各种电子元件、器件、设备和系统，使之广泛地应用于国民经济、国防以及科学技术各个领域，是电子学的技术目标。

自50年代发明了晶体管以来，由于固体电子学的发展，电子技术发生了惊人的变化。引起这种变化的主要原因是，各种固体电子材料和器件的研制成功和不断改进。在半导体材料的发展中，每种新型材料的出现，都会促进许多独特的新器件发明。因为每种材料的微观结构不同，它们的性能也有差异。例如，锗的应用促成了晶体管半导体工业的出现；硅的应用在晶体管的基础上制成了集成电路，使小型化跨入了集成化的时代；砷化镓材料的实际应用，发明了微型半导体激光器和体积效应器；铋化铟等材料特性，则可发展红外探测器。

与各种半导体材料发展的同时，材料和器件的制备工艺也有

了很大的发展。在探索新型材料时,结合各种器件应用的需要,发展了新的生长技术,例如用分子束外延技术制备新型材料,可获得许多新结构的器件,已研制的有激光器和超突变结变容管等。

在半导体器件的设计中,是假定加工制造所用的半导体材料(例如硅)是没有缺陷的,同时加工中掺入的杂质也是按照预定的设计分布的。但实际上,目前半导体材料不仅原来就有缺陷,而且加工还会产生缺陷,掺入的杂质也不是精确地按人们的设想分布,在局部还会出现杂质偏析、沉淀,这些都将影响所制器件的成品率和可靠性。当器件尺寸日趋缩小、集成电路规模迅速扩大后,这些问题的重要性就更为突出。因此,必须深入观察分析半导体材料微区中的缺陷和杂质情况,进而采取措施实现有效控制。器件尺寸小至亚微米级后,在这样小的区域中,当扩散、外延、掺杂加工时,应不出现随机性,否则会影响到器件的设计效果。

除了半导体材料之外,各种磁性材料、压电材料、铁电材料和非线性介质材料的研制成功,都对电子技术的发展起了重要的作用。随着固体器件向小型化、高可靠性、高速化发展,对封装材料、衬底材料、接点材料、焊接材料也提出了新的要求,这些材料的研制对电子技术的发展也将会作出重要的贡献。

近几年来,迅速发展的集成电路,对材料提出了更高的要求。大尺寸、高完整性的硅单晶和薄膜单晶的生长技术,将是电子材料研究的重要内容。

光电子技术,自激光出现之后,有了新的发展,它主要应用于光通讯、光信息处理、显示等方面。调制、变频、偏转使用的材料与激光技术相同。光源主要是用激光,也可以用化合物半导体制成的注入型发光二极管。随着显示技术的改进,对发光材料的需要日益增多,因此,制造发光管用的化合物半导体和各种发光材料的研究有了相应的发展。除固体材料外,还发展了以液

晶为代表的液体显示材料。为发展光信息处理技术，研究出了多种储存材料，其中有晶体、非晶体和有机材料。光导纤维是实现光通讯的关键材料。这类材料发展迅速，质量也有很大提高，同时传输损耗降低，因此实用化即将实现。

电子计算机是20世纪的重大发明之一，现已广泛应用于社会各个领域，推动了科学技术、经济和军事技术的发展，成为现代社会不可缺少的科学工具。

电子计算机的发展极为迅速，大约每5~8年运算速度提高10倍，可靠性提高10倍，而体积仅为原来的1/10，成本也为原来的1/10，并且正在向微型、网络、巨型和智能模拟方向发展。

应该指出，电子计算机的发展，需要研制相应的新型材料与之配合。例如，近年来国外生产的大型电子计算机，已大部分采用MOS金属氧化物半导体大规模集成电路作主存储器，用双极半导体大规模集成电路作高速缓冲存储器。如果一旦某些关键性的材料和加工工艺得到解决，开发全息储存技术，将为信息的大容量和高密度储存提供十分可行的方法，可以把一本几百页的书的内容储存在只有指甲大小的全息记录材料之中。

第5节 新型材料与激光技术、红外技术

1. 新型材料与激光技术

激光是一种新颖的光源。激光于1960年刚一出现，便受到了很大的重视。

人为地把材料中处于低能级的电子，运送到高能级上并积累起来成为粒子反转分布，然后再人为地给高能级上的电子一个适当的激发力量，电子便会突然从高能级跃回到低能级。伴随着这种跃迁，原子会以光的形式释放能量，这种能量很大的光就是激