

微光电子科学与技术基础的研究是微系统创新的突破口 The Research on Microoptoelectronics Science and Technology Is a Breakthrough of the Microsystems Innovation

钟先信

(重庆大学微系统研究中心 重庆 400044)

当今计算机芯片技术已发展到相当高的技术水平,渗透到人们生产、生活的许多方面,人们已离不开计算机芯片。但是,以计算机芯片为基础的高技术,也存在一些不足,受到一定的局限。目前,高技术领域正处于变化的边缘,很多高技术公司研究开发一些功能远远超过现有芯片的微型装置。就信息技术而言,多媒体、网络化和智能化的发展,促使微电子信息处理已向系统级芯片集成发展。从微型化或性能价格比来看,信息获取(传感)技术和信息执行(执行器)技术都已成为瓶颈。为此,迫切需要研究把信息获取、处理和执行一体化地集成在一起的微型装置,特别是光机电一体化集成芯片。这种微型装置是继微电子之后,在微机械、微光学等基础上把驱动器、传感器、执行器和信号处理器等集成在一起的微智能装置,或称微光机电系统(MOEMS)。

MOEMS是在微电子工艺的基础上发展起来的多学科交叉的前沿研究领域,涉及电子工程、光学工程、机械工程、材料工程、信息工程、物理学、化学、生物学、医学等等。MOEMS的发展将大大地促进许许多多产品的集成化、微型化、智能化,成倍地提高器件和系统的功能密度、信息密度与互连密度,大幅度地节能降耗。因此,它有广阔的应用领域。正如美国北卡罗来纳州科研三角园 MOEMS 主任克伦·马卡斯所说:“MOEMS 将像塑料一样到处都用,像细菌一样无孔不入”。例如,用于国防、航空航天、生物医学、制造业、通讯、交通、农业、环保和家庭等等。展望 21 世纪,MOEMS 就像当今微电子技术给世界带来的影响那样,将会引发一场新的产业革命。因此,有人把这种微型化技术称为下一次浪潮。面对这一场高技术的挑战和机遇,我们必须认真对待,力争使其成为我国赶超世界先进水平的高技术跃进的一个突破口。

MOEMS 涉及许多学科和多种技术的交叉和综合,但从知识创新工程的角度来研究,笔者认为应从以下几方面入手。

一、微光电子学和技术的研究 可能突破传统的计算技术

作为计算机芯片的单元器件,其电路和器件的间隔不得小于 $0.1\mu\text{m}$,否则由于隧道电流而产生短路,因此用传统的理论设计制作芯片是不行了。而在分子的世界里,服从量子物理学理论,由于电子大量存在而产生量子效应,因此必须研究新理论和新技术。

分子电子学是研究分子在电子作用下性质的变化,并加以利用的电子工程科学,表现为研究分子导电性或某种特定波长的吸收能力的变化,应用这种电子学和技术制造分子电子装置。例如,在薄膜上 Cu 原子和 TCNQ(tetra-cyano-quinodimethane 小氰基醛啉并二甲烷)结合,用高压脉冲、激光等激发,可使 Cu 原子与 TCNQ 分离或结合,这样这个膜就产生导电的通和断两种状态。又例如,用 bacteriorhodopsin(细菌感光粒子)开发高速 RAM。当激光入射时,只需 3PS 就可使这种物质在两种状态下切换(晶振计算机的 CPU 时钟是 12ns),实际的变化可到毫微微秒($< 10^{-16}$ 秒)。这样的元件只能用光控。这种器件不会发热,因此一般计算机集成制造时发热问题也就自然解决了。有关这方面的理论问题和如何设计制造等许多工程问题都值得很好研究。

二、新的信息获取、传输、处理 和网络理论及技术的研究

朗讯公司、西门子公司和 Tellabs 公司正研究如何使下一代电话机和数据网络完全集成在 MOEMS 上。这项研究称作波分复用新的高速光传输技术。朗讯公司下属的实验室已展示了如何用 MOEMS 上的微光学镜片取代目前的昂贵装置。把这种高速传输方式同卫星技术结合起来就能使长途通讯费用

十分便宜。

美国加州大学一个研究小组正在研制单芯片微机电系统无线电接收发射装置,用来取代目前无线数据网络上使用的价值 500 美元的通讯卡;而且所有个人计算机和掌上型计算机都可使用这种微机电系统。

当今采用 MOEMS 的微型检测分析专用集成仪器在技术上是一场革命。例如,美国新成立的 Affymetrix 公司用激光光刻技术在玻璃上制造 DNA 分析芯片,简称为基因芯片。将血液或细胞注入到芯片上,用少量采样就能快捷检测判断 AIDS 病人、肝炎病毒携带者和分析精液细胞等。在临床应用方面其优点更突出。它无需分析采样的预处理,可实时检测分析,甚至实时研究细胞的功能。因此,它可广泛应用于临床、医生的办公室或家中。新发明的一种不是基于硅材料的细胞分析芯片,是由发射激光的半导体 GaAs 和许多列阵探针的玻璃片构成,称为生物逻辑分析芯片,或称为机敏芯片。与传统的激光血细胞分析仪不同,细胞无需染色;由芯片上发射的激光穿透细胞,即可获得特异的光电信息。

三、微光电表面分析科学和技术的研究

光电显微镜在常温、大气压力下,无需任何特殊要求就可见到微细物质。在这种情况下,用微操作器即可在显微镜下进行操作。但由于观测和操作光点聚焦和光波波长的限制,故分辨力难以提高。为此,许多专家学者作了许多研究。例如,1956 年 J. A. Okeefe 制成了一种扫描型近场显微镜,当光通过小孔射向物体表面时,显微镜的分辨力在原理上与光波波长无关,而取决于孔的大小;1972 年 Eric Ash 研究应用微波,可望达到波长 $1/200$ 的分辨力,但是由于亚纳米级尺寸小孔的制造和纳米量级扫描机构未解决而无法实现;1982 年 IBM 的 G. Binnig 和 H. Rohrer 发明了“STM,”事隔 4 年获得了诺贝尔奖金,即用 1 个原子大小的测头尖和三维压电晶体移动机构就可实现把原子、分子一个个按排列的位置进行观察、计量以及操作。这是纳米科学和技术的一次大突破,以此为契机,世界各国学者深化了表面扫描科学和技术理论的研究,涉及隧道电流、力、静电力、静压力、热敏、表面电容、光干涉、电化学……等等机理的研究,并发展了一系列扫描探针显微镜(SXM),如原子力显微镜(AFM)、磁力显微镜(MFM)、光子扫描隧道显微镜(PSTM)、扫描电容显微镜(SCAM)、扫描近场光学显微镜(SNOM)、扫描近场声显微镜、扫描近热显微镜、扫描电化学显微镜、扫描离子导电显微镜,等等。

四、微光电子材料科学的研究

MOEMS 材料的研究是一个薄弱环节。随着 MOEMS 的发展,对新材料的要求不断增长。例如,要求可变的折射率、足够的热稳定性和中等的或较低的散射系数,要求具有更多的功能特性等等。玻璃在光学中扮演了一个重要角色,对于这种材料有专门的技术要求,例如在制作波导元件或梯度折射率结构件及实现光刻的离子交换时需要用特殊种类的光敏感玻璃。采用聚合物可制造更复杂的元器件和系统,例如组合的光学聚合物波导元件,它通过夹合三层透明的聚合物层就可以实现二维平面波导,其中中间一层应具有稍高一点的折射率;系统应与耦合到聚合层上的光纤的数值孔径相匹配,故在聚合层上有抗蚀剂,在光刻中装有一个栅形结构,其刻线垂直于层面。这种栅形结构起闪烁光栅作用,当光线从安装在栅槽中的一条光纤射出,传到核心层并照射到光栅上时,即可将发散光聚焦或形成光谱,再传到光纤阵列或线性光电二极管阵列上。这就是德国研制的微光谱仪中用的微型分光元件的复合材料。用 LIGA 技术就可以制造一种光带隙材料,即指通过采用一系列掩膜进行多次照射,用单一的斜照射就会带来斜的侧壁;或使用多次斜照射,经过横向交联和高温分解,转化成一种碳氢化硅结构的材料。作为远红外或微波波段的光带隙材料,可以用作带通滤波器。

微芯片激光器材料的研究也是十分重要的课题。

五、微制造技术的研究

在这个世界上,一切物质无论生物或无生物,包括机械都是由分子构成的。著名的原子物理学家、诺贝尔奖金获得者 R. P. Feynman 1959 年对基本粒子之间的作用的叙述是:“用精密机床制造更小的精密机床,进而制作更小的机械,如此类推,机械越作越小,就能制造像巨大分子那样的机械”。他设想在原子和分子水平上操作和控制物质:(1)将大英百科全书的内容记录在一个大头针头部上;(2)计算机微型化;(3)重新排列原子。在原子水平上构筑的材料会出现新的相互作用力、新的特性以及千奇百怪的效应。如今这些正逐渐成为现实。

大自然具有无可比拟的创造力。从仿生学角度来看,可以在原子水平上设计和制造像贝壳和蜘蛛网那样坚固耐用而又用途广泛的材料,像萤火虫那样晶莹透亮的发光材料,等等。贝尔实验室物理研究室主任泽丽·默里说:“按原子逐个排列——这就是大自然设计和制造物质的方式。如果能在原子

三峡工程施工质量控制的主要难点与对策

Difficult Points of Quality Control of the Three Gorges Project and Its Solutions

王家柱¹ 傅振邦²

(中国长江三峡工程开发总公司, 教授级高工¹; 工程师² 湖北宜昌 443002)

三峡工程是我国、也是世界最大的多目标开发的水利枢纽工程。三峡工程的施工质量, 国家领导人十分重视, 曾多次作过重要指示, 全国人民也非常关心。本文将对工程开工 6 年多以来的施工质量作一简要回顾, 并探讨进一步改进的主要措施。

一、已建工程施工质量总体良好, 满足设计要求, 但距世界一流水平尚有差距

三峡工程总工期 17 年, 1993 年开始施工准备, 1994 年 12 月正式开工。1997 年 11 月 8 日成功实现大江截流, 标志着第一阶段施工的顺利完成和第二阶段工程的开始。目前, 第二阶段工程施工正紧张进行中。

截止 1999 年 5 月底, 三峡工程已完成固定资产投资 384 亿元。完成的主体工程 and 导流工程量如下: 土石方开挖 1.10 亿 m³, 约占设计总工程量的 95%; 土石方填筑 2.447 万 m³, 约占总量的 73%; 完成混凝土浇筑 578 万 m³, 约占总量的 20%。6 年多以来, 共进行单元质量评定 76 647 个, 合格率 100%, 优良率 78.5%; 合同项目已竣工验收 473 项, 优良 189 项, 优良率 40%。已竣工投入使用的永久建筑物和主要临时性建筑物, 如西陵长江大桥、对外专用公路、导流明渠、二期围堰等, 投入运行后情况良好。

水平上进行设计, 就能根据需要制造出任何材料。”模仿这种自然创造力, 开创 21 世纪的新兴产业, 这正是摆在我们面前艰巨而光荣的任务。

诚然, 要在原子水平上设计制造产品要走的路还很长。就现实而言, 半导体集成制造技术可把上百万个晶体管, 包括光电管集成在一块硅片上, 而使复杂的电子装置成为现实, 当今质优价廉的电子芯片处处都在应用。同样的道理, 微光机电系统也可把上百万个元器件集成制造在一起, 如美国德克萨斯仪器公司制造的数字化微镜器件就是一个成功范例。

综上所述, 微光机电系统有许多科学和技术问题值得深入研究。但就其核心而言, 笔者认为微光

大江截流优质、安全完成, 高度 80 余米的二期深水围堰仅在一个枯水期内即高速、优质地建成, 随即在当年经受了 8 次洪峰的考验, 表明我国截流和围堰施工已达到世界先进水平。

但综合分析表明, 三峡工程的施工质量距世界一流水平尚有差距。在已进行的工程建设中, 出现过数起施工质量事故。例如, 混凝土纵向围堰堰内段的混凝土曾出现裂缝和缺陷, 左非 11# 坝段混凝土架空, 右非 5# 坝段的混凝土低强, 以及临时船闸闸门事故等。虽然已发生的事故均为局部性的, 发现后及时进行了严格的处理, 不会留下影响工程安全的隐患, 但在施工质量管理上已显露的薄弱环节, 必须引起高度的重视。同时, 过去 6 年多主要进行的是土石方工程施工, 混凝土工程施工仅仅是开端, 大规模的金属结构和机电安装尚未开始。面对今后更为艰巨更为严格的施工任务, 施工质量控制形势严峻。根据朱基总理“千年大计, 国运所系”的重要指示, 需要进一步努力提高全体三峡建设者的质量意识, 采取更为有效的技术措施和管理措施, 力争下一阶段施工质量能有新的更好的保障。

二、三峡工程施工质量控制存在诸多技术难点, 必须加大技术投入与技术创新

电子学理论的研究是微系统创新的基础, 但必须与工程紧密结合, 一开始就应面向市场, 看准苗头, 把当前和长远结合起来, 持续发展下去, 就一定会创造出奇迹。

参考文献

- [1] Ivan Amato, "Fomenting a revolution, in miniature," SCIENCE, Vol.1282, 16 OCTOBER 1998
- [2] M. Edward Motamedi, "Micro-opto-electro-mechanical Systems", Optical Engineering, Vol. 33, No. 11, 1994
- [3] 藤正严等, "マイクロマシン開発メソッドブック" 秀润社, 1991
- [4] 钟先信等, 向加工制造极限发展的纳米技术的现状及展望, 仪器仪表学报, 1995(16): 1
- [5] 钟先信等, 微系统集成技术研究的动向, 光学、精密工程, 1998(6): 4 (责任编辑 王宏章)