

# 微电子技术及其发展

孙 秀 平

( 长春光机学院物理系 吉林 130022)

微电子学是研究在固体(主要是半导体)材料上构成的微小型化电路、子系统及系统的电子学分支,是一门主要研究电子或离子在固体材料中的运动及应用并利用它实现信号处理功能的科学。微电子学是以实现电路和系统的集成为目的,它所实现的电路和系统又称为集成电路和集成系统,是微小型化的。微电子学的应用技术即为微电子技术,它是信息技术的关键所在。微电子技术的空间尺度通常是以微米和纳米为单位的。目前,微电子技术的发展水平和产业规模已成为一个国家经济实力的重要标志。

## 一、微电子技术的地位和作用

### 1. 微电子技术是信息技术的基础

信息是客观事物状态和运动特征的一种普遍形式,是继材料和能源之后的第三大资源,是人类物质文明和精神文明赖以发展的三大支柱之一。实现信

息社会化的关键是各种计算机和通讯机,但其技术基础都是微电子技术。在信息领域中,微电子技术能够实现信息的获取、传输、存储、处理和输出,成为信息技术的基石。1946年2月在美国莫尔学院诞生了第一台名为电子数值积分器和计算器的计算机,当时这台机器由18000个电子管组成,占地 $150\text{m}^2$ ,重30吨,功率为140kW,然而这个庞然大物的运行速度只有每秒5000次,存储量只有千位,平稳运行时间只有7分钟。设想一下,这样的计算机能够进入办公室、企业和家庭吗?所以当时有人认为,全世界只有4台这样的计算机就足够了,可是现在全世界的计算机不包括微机在内就有几百万台,造成这个巨大变革的技术基础就是微电子。

2. 微电子技术是一个国家发达程度的重要标志

信息电子产业对国民经济的战略作用首先表现

的差异可将它与天然地震区别开来,并且还可给出核爆炸的发生时刻、位置、当量等等。

此外,利用地震的方法还可以预测火山喷发,对水库诱发地震的研究可以为大型水库提供安全保障,对矿山地震的监测是保护矿山安全的重要手段。

地震作为一种正常的自然现象,时刻时地都有发生的可能,我们除了积极做好震前的预报工作外,平时还要了解一些防震抗震的基本知识,即使地震真得发生了,要做到不慌乱,采取科学的态度和措施积极应对,对地震的灾害尽可能地减少到最低限度。

## 作者简介



李祥,男,1976年生于山东齐河。硕士,毕业于华东师范大学物理系生物物理专业。现为上海教育出版社理科编辑。已发表文章数篇。



王青,女,1976年生于上海。毕业于上海师范大学初等教育学院。现为上海市真光中学数学教师。1996年被评为上海市师范系统优秀毕业生。2001年评为普陀区优秀班主任。

在当代食物链关系上,现代经济发展的数据表明国民经济总产值(GNP)每增长100—300元,需要10元左右电子工业产值的支撑,而其中就包含1元的集成电路产品。又据资料测算,集成电路对国民经济的贡献远高于其他门类的产品,如果以单位质量钢筋对GNP的贡献为1计算,则小汽车为5,彩电为30,计算机为1000,而集成电路的贡献则高达2000。所以一位日本经济学家认为谁控制了超大规模集成电路技术谁就控制了世界产业,英国人则认为如果某个国家不掌握微电子技术,它就会立刻进入不发达国家行列。预计在2007年左右,微电子产业的产值将超过钢铁工业。

### 3. 微电子产业促进其他产业的变革

微电子产业发展迅速,除了微电子工业本身对国民经济的巨大贡献外,还与它极强的渗透性有关。几乎所有的传统产业只要与微电子技术结合,用微电子芯片进行智能改造,就会使传统产业重新焕发青春。例如火电厂的锅炉给水泵送风机、引风机占了电厂全部耗能的72%,而全国各行业的风机、水泵的总耗电量占了全国发电量的36%,仅仅对风机、水泵采用变频调速等电子技术进行改造,每年即可节电659亿度,相当于3个葛洲坝电站的发电量;利用微电子技术进行交流传动改造后,电力机车可节电20%~40%,内燃机可节油12%~14%。微电子技术不仅在节能、节材等方面能够使传统产业升级换代,而且还可以使传统产品结构、性能等方面发生革命性的质的变化。例如当采用微机统一控制的轴—电机装置替代传统的蜗轮、蜗杆、齿轮传动时,汽车将不再是单纯的机械产品,汽车的电子化将导致汽车革命;另外数字化机械加工设备、数字通讯技术等都是以微电子技术作为基础的。目前微电子技术已广泛渗透于国民经济、国防建设,乃至家庭生活的各个方面。

## 二、微电子技术发展的一般规律

微电子技术无论是从其发展速度和对人类社会生产和生活的影响,都可以说是科学技术史上空前的,是其他任何产业无法比拟的。但微电子技术的发展也有一定的规律性。

### 1. 摩尔定律

MOS集成电路已成为微电子产业的核心,而存储器 and 微处理器又是MOS集成电路中最具代表性的两大典型产品,它们的发展水平通常标志着整个微电子技术的发展水平。自60年代以来,集成电路

的发展一直遵循1965年英特尔公司的创始人之一摩尔(Gordon E. Moore)预言的集成电路产业的发展规律:即集成电路的集成度每3年增长4倍,特征尺寸每3年缩小 $\sqrt{2}$ 倍,这就是著名的摩尔定律。

### 2. 等比例缩小定律

等比例缩小定律是1974年由登纳德(Dennard)提出的,他的基本指导思想是在MOS器件内部电场不变的条件下,通过等比例缩小器件的纵向、横向尺寸,以增加跨导和减少负载电容,由此提高集成电路的性能。同时电源电压也要与器件尺寸缩小相同的倍数。这种维持器件内部电场不变的等比例缩小定律叫做恒定电场规律,简称CE律。如果器件的结构尺寸、电源电压、阈值电压等按CE律缩小 $k$ 倍以后,门延迟时间也缩小 $k$ 倍,标志集成电路性能的功耗延迟积则缩小 $k^3$ 倍。同时,沟道长度和宽度的缩小使晶体管的面积缩小 $k^2$ 倍,因此在相同芯片面积上集成的晶体管数目即集成密度将提高 $k^2$ 倍。等比例缩小定律是实现超大规模集成电路迅速发展的基点,几十年来集成电路工艺技术和器件物理的研究和开发都是围绕这个基点进行的。正是由于器件在等比例缩小技术方面的不断进步和巨大成功,集成电路才有了今天的辉煌成就。但是,简单的恒定电场定律也存在较大的问题,为了克服CE律中存在的问题,有人提出了恒定电压等比例缩小规律(CV律),即保持电源电压和阈值电压不变,对其他参数进行等比例缩小。CV律一般只适用于沟道长度大于 $1\mu\text{m}$ 的器件,它不适用于沟道长度较短的器件。

## 三、微电子技术发展的一些趋势

### 1. 21世纪仍将以硅基CMOS电路为主流

微电子技术发展的目标是不断提高集成系统的性能及性能价格比,因此便要求提高芯片的集成度,这是不断缩小半导体器件特征尺寸的动力源泉。以MOS技术为例,沟道长度缩小可以提高集成电路的速度;同时缩小沟道长度和宽度还减小了器件尺寸,提高了集成度,从而在同样大小的芯片上可以集成更多数目的晶体管,甚至可以将结构更加复杂、性能更加完善的电子系统集成在一个芯片上。随着集成度的提高,系统的速度和可靠性也大大提高,价格大幅度下降。21世纪,至少是21世纪上半叶微电子技术仍将以硅技术为主流。尽管微电子学在化合物和其他新材料方面的研究取得了很大进展,但远远不具备替代硅基工艺的条件。而根据科学技术的发

展规律,一种新技术从诞生到成为主流技术一般需要20—30年的时间。另外,全世界数以万亿美元计的设备和投入,已使硅基工艺形成了非常强大的产业能力。很多著名的微电子学家预测,微电子产业将于2030年左右步入汽车工业、航空工业这样的比较成熟的朝阳工业领域。即使微电子产业步入像汽车、航空等成熟工业领域,它仍将保持快速发展趋势,就像汽车航空工业已发展了近100年仍极具发展潜力一样,毫无疑问,以硅为基础的微电子产业至少在未来几十年中仍会保持目前的高速发展趋势。

### 2. 集成系统是21世纪微电子技术发展的重点

集成系统(IS)是从整个系统的角度出发,把处理机制、模型算法、芯片结构、各层次电路直至器件的设计紧密结合起来,在单个(或少数几个)芯片上完成整个系统的功能,集成系统设计必须是从系统行为级开始的自顶向下的设计。很多研究表明,与集成电路(IC)组成的系统相比,由于IS设计能够综合并全盘考虑整个系统的各种情况,可以在同样的工艺技术条件下实现更高性能的技术指标。例如若采用IS方法和 $0.35\mu\text{m}$ 工艺设计系统芯片,在相同的系统复杂度和处理速率下,能够相当于采用 $0.25\mu\text{m}$ 甚至 $0.18\mu\text{m}$ 工艺制作的IC所实现的同样系统的性能;还有,与采用常规IC方法设计的芯片相比,采用IS设计方法完成同样功能所需要的晶体管数目可以降低1—2个数量级。集成系统依靠的是非常宽阔的广谱背景,一个人或几个人包打天下的可能性已经很小。系统级的设计更多地体现包括功能、行为、算法、构架甚至思路、构想等系统背景。微电子技术从IC向IS转变不仅是一种概念上的突破,同时也是信息技术发展的必然结果,它必将导致又一次以微电子技术为基础的信息技术革命。21世纪将是IS技术真正快速发展的时期。

### 3. 微电子与其他学科结合诞生新的技术增长点

微电子技术的强大生命力在于它可以低成本、大批量地生产出具有高可靠性和高精度的微电子结构模块。这种技术与其他学科相结合,会诞生出一系列崭新的学科和重大的经济增长点。微电子机械系统(MEMS)是微电子技术的拓宽和延伸,它将微电子技术和精密机械加工技术相互融合,实现了微电子与机械融为一体的系统。MEMS开辟了一个全新的技术领域和产业。它们不仅可以降低机电系统的

成本,而且还可以完成许多大尺寸机电系统所不能完成的任务。正是由于MEMS器件和系统具有体积小、重量轻、功耗低、成本低、可靠性高、性能优异及功能强大等传统传感器无法比拟的优点, MEMS在航空、航天、汽车、生物医学、环境监控、军事以及几乎人们接触到的所有领域中都有着十分广阔的应用前景。微电子与生物技术紧密结合的以DNA芯片等为代表的生物工程芯片将是21世纪微电子领域的另一个热点和新的经济增长点。它是以生物科学为基础,利用生物体、生物组织或细胞等的特点和功能,设计构建具有预期性状的新物种或新品系,并与工程技术相结合进行加工生产,它是生命科学与技术科学相结合的产物,具有附加值高、资源占用少等一系列特点,正日益受到广泛关注。目前最有代表性的生物芯片是DNA芯片,利用这种芯片可以在极短的时间内检测或发现遗传基因的变化等情况,这无疑对遗传学研究、疾病诊断、治疗和预防、转基因工程等具有极其重要的作用。DNA芯片不仅可以用于基因学研究、生物医学等,而且随着DNA芯片的发展还将形成微电子生物信息系统,该技术将广泛应用到农业、工业和环境保护等人类生活的各个方面。

### 作者简介

孙秀平,1965年出生于吉林。1988年毕业于吉林大学物理系。2001年获微电子与固体电子学硕士学位。现为长春光学精密机械学院讲师,主要从事大学物理的教学工作和光电技术的研究工作。

