

# 大規模集成电路入门

科学出版社

## 内 容 简 介

本书对大规模集成电路作了简明的、较系统的介绍，内容比较浅显、通俗，是集成电路技术方面一本普及性读物。全书共分四部分。第一部分包括三章，主要介绍了大规模集成电路的发展情况，器件及制造工艺。第二部分包括三章，叙述了大规模集成电路的系统技术。第三部分包括两章，介绍了大规模集成电路的应用。第四部分包括两章，简要地叙述了大规模集成电路的试验及其可靠性等有关问题。

本书可供从事这方面工作的工人、技术人员及科研人员参考。

\* \* \*

本书系根据1969年美国出版的 Introduction to Large-Scale Integration (Adi J. Khambata 著) 一书译出。

## 大规模集成电路入门

科技资料组 译

\*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

北京市书刊出版业营业许可证出字第061号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1970年6月第一版 开本：850×1168 1/32

1970年6月第一次印刷 印张：4 9/16

印数：0001—51,000 字数：116,000

统一书号：15031·263

本社书号：3606·15-7

定价：0.40元

## 毛主席语录

中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平。

我们必须打破常规,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期内,把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

对于外国文化,排外主义的方针是错误的,应当尽量吸收进步的外国文化,以为发展中国新文化的借镜;盲目搬用的方针也是错误的,应当以中国人民的实际需要为基础,批判地吸收外国文化。

## 译者的话

在党的“九大”团结、胜利的旗帜指引下,我国工人阶级怀着为伟大领袖毛主席争光,为伟大的社会主义祖国争光的豪情壮志,坚持“**独立自主、自力更生**”的伟大方针,大力开展技术革新和技术革命的群众运动,努力赶超世界先进水平,在电子工业方面取得了辉煌成果,为祖国社会主义革命和社会主义建设作出了很大贡献。

为了赶超世界先进水平和了解国外电子工业发展情况,遵照伟大领袖毛主席“**洋为中用**”的伟大教导,我们翻译出版《大规模集成电路入门》一书,供读者参考。

六十年代,集成电路的出现,使电子工业发生了深刻的变化,为电子工业设备向高可靠性及微型化发展开辟了重要途径。大规模集成电路是单片硅集成电路技术的进一步发展,它使大量相同的电路集中淀积在一块硅片上,并用多层金属互连法联结起来,以完成一个系统或一个分系统的复合功能。

本书共分十章,首先概述了大规模集成电路的基本概念、基本器件及其制造工艺,以及多层金属互连法。其次介绍了大规模集成电路的系统设计及实体构件与程序设计的关系。随后以计算机为例,简要地介绍了大规模集成电路的应用。应当指出,作者是从使用的观点编写此书的,因此,书中介绍的技术广而不深,比较浅显,作为入门尚有一定参考价值。

伟大领袖毛主席教导我们:“**要用阶级和阶级斗争的观点,用阶级分析的方法去看待一切、分析一切。**”大规模集成电路的出现和发展是阶级斗争、生产斗争和科学实验的必然结果,是电子工业向高可靠性及微型化发展的必然趋势。而作者却站在资产阶级立场上,在原书中突出地宣传金钱至上,利润挂帅等资本主义经济观点,所谈及的任何一项技术措施都是为了垄断资本家单纯追求降低成本,牟取高额利润为目的。此外,原书中还为资产阶级厂

商及其商品进行吹捧。我们对原书中一些明显的错误论述作了删减。但仍希读者遵照伟大领袖毛主席“**对于外国文化，……应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化**”的伟大教导批判地使用，并对我们的工作提出宝贵意见。

# 目 录

## 第一部分 器件与制造工艺

第一章	概 述 .....	( 1 )
1.1	大规模集成电路的发展 .....	( 1 )
1.2	大规模集成电路的复合功能 .....	( 4 )
1.3	为什么采用大规模集成电路 .....	( 7 )
1.4	与大规模集成电路有关的若干问题 .....	( 11 )
第二章	大规模集成电路中的双极型器件和场效应 器件 .....	( 14 )
2.1	概述 .....	( 14 )
2.2	集成电路的基本结构及特性 .....	( 14 )
2.3	面结型场效应晶体管 .....	( 26 )
2.4	金属-氧化物-半导体场效应晶体管 .....	( 31 )
2.5	大型阵列中双极型和金属-氧化物-半导体场效应 晶体管的比较 .....	( 38 )
第三章	大规模集成电路的互连方法 .....	( 45 )
3.1	概述 .....	( 45 )
3.2	随机互连图形设计 (RIP) .....	( 45 )
3.3	固定互连图形法 (FIP) .....	( 49 )
3.4	其它互连图形及技术 .....	( 57 )
3.5	混合法 .....	( 61 )
3.6	互连方法概述 .....	( 61 )

## 第二部分 系统的设计原则

第四章	对系统设计方法和结构的影响 .....	( 66 )
4.1	概述 .....	( 66 )
4.2	大规模集成电路出现前的系统设计 .....	( 67 )
4.3	“共同性”问题导致新的结构设计 .....	( 68 )

4.4	大规模集成电路阵列的固有速度	( 73 )
4.5	每一终端的信息处理机	( 75 )
<b>第五章</b>	<b>大规模集成电路和系统实体构件-程序的关系</b>	<b>( 77 )</b>
5.1	通用计算机的程序问题	( 77 )
5.2	用实体构件代替程序	( 79 )
<b>第六章</b>	<b>划分和逻辑设计的原则</b>	<b>( 82 )</b>
6.1	什么叫划分	( 82 )
6.2	现代计算机的逻辑划分问题	( 83 )
6.3	第三代计算机系统的逻辑划分	( 87 )
<b>第三部分 大规模集成电路的应用</b>		
<b>第七章</b>	<b>大规模集成电路在存储器中的应用</b>	<b>( 97 )</b>
7.1	计算机存储器的技术状况	( 97 )
7.2	有源半导体存储元件	( 98 )
7.3	有源半导体存储器结构	( 107 )
<b>第八章</b>	<b>大规模集成电路在计算机外围设备中的应用</b>	<b>( 119 )</b>
8.1	概述	( 119 )
8.2	计算机的时分	( 119 )
8.3	遥控外围设备	( 122 )
8.4	未来的潜力	( 124 )
<b>第四部分 大规模集成电路的有关问题</b>		
<b>第九章</b>	<b>计算机在大规模集成电路中的作用</b>	<b>( 126 )</b>
9.1	概述	( 126 )
9.2	大规模集成电路基本单元的设计及测试试验板试验问题	( 127 )
9.3	掩模原图的自动绘制	( 130 )
<b>第十章</b>	<b>可靠性及试验</b>	<b>( 136 )</b>
10.1	大规模集成电路可靠性趋势	( 136 )
10.2	可靠性试验问题	( 136 )

# 第一部分 器件与制造工艺

## 第一章 概 述

二十世纪五十年代，二极管和晶体管改变了电子工业中的许多概念，硅平面技术的发展使单片硅集成电路于二十世纪六十年代宣告诞生。整个电路功能包含在一块单独的晶片上，使工业界第一次真正迈进了微型系统领域。

由于军用设备和民用设备的制造者迅速采用了集成电路(IC)，这就推动了封装和多层互连等几种有关技术的发展。大规模集成电路(通常简称LSI)，是单片硅集成电路发展的必然结果。大规模集成电路和几年前集成电路出现时的情况不同，它不是一次革命，而只是集成电路技术的逻辑性发展，它把电子装置的微小化又向前推进了一步。毫无疑问，大规模集成电路将要产生新的问题，但是它也具有很多优点，使迄今为止由于工艺的局限性，一直受到限制的设计得到实现。

### 1.1 大规模集成电路的发展

#### 集成电路技术的发展

“从电路集成到系统集成”，这句话最好不过地总结了从集成电路技术到大规模集成电路的发展过程。为了评价这一进展的意义，看一看今天的集成电路和最近几年集成电路技术的发展是必要的。

**半导体器件的出现** 二十世纪五十年代后期，已明显地看到以晶体管代替真空管的趋势。到1960年，大多数新型电子系统，



尤其是计算机已开始广泛使用固体元件。锗和硅元件以及PNP和NPN晶体管是普遍需要的，硅二极管和锗晶体管经常在同一电路中结合使用。这时虽有硅晶体管可利用，但它只限于在大功率开关或高温情况下使用。平面技术是比较新的。一般是采用台面式及合金型结构来制造晶体管。密封金属外壳是半导体元件的主要容器。

电路采用半导体元件和传统的分立式基本元件（如电容器和电阻器）构成。这些元件安装在具有单面或双面连接图形的印刷电路（PC）板上，这种印刷电路板根据电路的复杂程度，通常由2—6个电路组成，并且利用一些单独的连线在后面板上布线而互相连结。

**平面技术和集成电路** 1960年前后，由于半导体工艺的显著改进，使硅平面晶体管代替了台面晶体管。这一新技术使电子工业发生了一次重大的变化。第一次有可能用扩散或混合元件（所有这些元件都容纳在一块硅基片上）来代替分立式传统元件。这一革新不仅对于元件工业有重大影响，而且给电路和系统的设计也开辟了许多新途径。电路中各种元件间的分立布线遭到淘汰，互连图形淀积在基片上。用分立布线连结的后面板大部被多层印刷电路板所代替。成批加工法不仅用于电路的制造，而且也用于电路的互连。在大多数应用中，封装密度可轻而易举地提高一个数量级。集成电路对电子工业的影响可以通过电路和系统设计的某些方面作出适当的评价。

**对电路设计的影响** 由于数字计算系统使用大量相同的逻辑电路，计算机工业自然是受到集成电路这种新技术影响的头一个部门。在集成电路出现以前，电阻-晶体管逻辑电路（RTL）、直接耦合晶体管逻辑电路（DCTL）、电阻耦合晶体管逻辑电路（RCTL）和二极管-晶体管逻辑电路（DTL），是最常用的逻辑电路。从经济观点来说，在电路中要尽量多用无源元件。集成电路这种新技术改变了这种状况。使用硅平面技术制成二极管和晶体管比较容易，而无源元件，例如电阻器和电容器则较难于制造，因此也较贵。

于是,在逻辑电路中,重点便从使用无源元件转移到使用较多的有源元件。其它的逻辑电路,如电流型逻辑或发射极耦合逻辑,发射极输出逻辑和低电平逻辑(DTL的改进结构),更加受到重视。一种非常适合于用集成电路制造的新型逻辑电路晶体管-晶体管逻辑电路(TTL或T<sup>2</sup>L)开始引人注目。本文不拟讨论各种逻辑类型的优缺点。它们在参考资料[1,2]中已有充分的论述。但是,提及一些有关的内容可能是适当的。电路设计者对二极管和晶体管的特性有较大的选择余地。元件误差可以精确地加以控制。采用目前的集成电路技术,扩散电阻器的精度可达5%,但成本较高,因此,15%是比较适宜的。由于集成电路的制造是成批的,同一晶片上各个电阻器的精度极为相近。因此,集成电路设计者可利用这种比值,而不利用误差的绝对值。现在,集成电路的电容器的数值范围,是每密耳0.1—1.0微微法<sup>[2]</sup>。近几年,晶体管工艺的提高显著提高了电路开关速度,例如,影响开关速度的基极宽度现已减小到约2000埃。几年前,基极宽度只限于8000到10000埃。

**对系统设计的影响** 集成电路对系统设计有重大影响。单个电路可以减小尺寸和重量,这就给系统设计者提供了许多有利条件。

**系统速度** 当前,印刷电路板的传播速度约为6吋/毫微秒。在集成电路中,各种电路元件间传输线的长度减小到几个密耳。因此,逻辑电路的传播时延剧减,而系统的总的速度提高。

**功率密度** 虽然电路特性已在若干方面得到改进,但是如何减少功耗却进展很小。由于有更多的电路封装在较小的容积中,单位容积的功率密度增加很多。有人<sup>[3]</sup>计算,自1960年以来,已增加了一个数量级,达到了1—3瓦/吋<sup>3</sup>。

**系统封装** 在分立元件电路中,当把半导体器件装配为一个系统时,要经过三级封装。第一级是把可容纳一个或较多元件的晶片安装在底座上或扁平封壳中。第一级封装能够容纳几个半导体晶片。晶片上的端点与封装引线间采用压焊连结。第二级封装是把半导体和其它电路元件安装在印刷电路板上。第三级是把印刷电路板插到装有后面板布线的机架上。

采用集成电路,可省去第二级封装,因为它的元件是在晶片上彼此连接成需要的电路结构。但是如果需要把集成电路安装在印刷电路板上或含有多层互连的组件内,则第二级封装是必要的。然后把这些组件(或印刷电路板)安装在带有后面板布线或多层互连的第三级封装机架上。

在集成电路的封装方面,近几年已取得显著进展。在二十世纪六十年代初期,封装引线的中心距在250和300密耳之间。1964—1965年间,引线的中心距100密耳较为普遍,现在是50密耳。

### 电路集成度日益增高的发展趋势

市场上最早出现集成电路时,一块硅片上只含有一个逻辑电路。随着半导体工业的发展,晶片面积的有效利用要求在一块晶片上制造一个以上的相同电路。1964年一些厂家开始出售在一块晶片上有2—4个逻辑电路的集成电路。一年以后市场上又出现了6—8个逻辑门的晶片。到1965年末,由于生产过程控制的改进,装有20个逻辑门的晶片已成为现实;到1966年底,小规模集成已成为现实。由一个厂家的标准晶体管-晶体管逻辑电路系列构成的全加器宣告制成<sup>[3]</sup>。16位无损读出(NDRO)有源元件存储器也公开发表。除了由16个触发电路构成存储器元件之外,这一单片部件还包括两个读出放大器和两个写入驱动器<sup>[3]</sup>。

由于在一块晶片上的电路数增加较多,因此一层金属化布线已不能在一块晶片上把几个电路互连起来,完成需要的部件功能,多层互连就是解决这个问题的办法。

## 1.2 大规模集成电路的复合功能

### 定义

什么是大规模集成电路?目前,对于集成电路技术的这一新发展,还没有确切的定义。现在通用的定义可叙述如下。

大规模集成是单片硅集成电路技术的进一步发展,它把大量

相同的电路集中在一块硅片上,并在其上把这些电路互连起来,共同完成一个系统或一个分系统的功能。

这一定义适合于当前大规模集成电路的现状,所以今后都是利用同一晶片上的相同电路作为参考。大规模集成电路的初期生产类型,可能是一种基本电路的阵列,例如一种逻辑门电路或一种触发电路。但是毫无疑问,未来的大规模集成电路一定会在同一晶片上包含几种不同的电路类型。另一个问题是“什么是大量的电路?”虽然目前看法不一,但是这一点是一致的,即在一块大规模集成电路晶片上最低集成度应相当于100个逻辑门电路,就目前技术水平来说,这一集成度是不难达到的,并且到1969年就可能进行批量生产。据称在1966年,从成本观点来讲,每一晶片容纳70个元件是能以最低成本进行生产的最佳数量,1970年这一数量可以增加至1,000,再过两年可跃至5,000<sup>[4]</sup>。有人预计,到1976年一个大规模集成电路可容纳多达10,000个逻辑门电路<sup>[5]</sup>。

因为集成电路的一个主要目的是完成一个系统或一个分系统的复合功能,这就有必要对功能下个定义。由于大规模集成电路还处于形成阶段,术语概念混淆不清是可能的。多功能晶片、大规模阵列晶片和复合功能晶片等术语经常互换使用,这表明大规模集成电路的概念范围很广。但是它们的含义并不一定彼此相同,下面介绍本书所采用的术语含义。

**多功能晶片** 多功能晶片是一种含有两个或两个以上截然不同的独立电路的集成电路晶片。每一电路的输入和输出端,以及电源接头可分别从封壳外部触及,并且同一晶片上的每一电路可以单独地工作。如果为了获得分系统的功能而必须把同一晶片上两个或两个以上的电路连结起来,则在封壳外部需进行第二级互连。多功能晶片通常是包含相同的基本电路。一个典型的例子是一种含有4或6个相同的倒相电路的晶片。然而电路并不一定必然是一种,有些晶片就是包含不同类型的电路。严格来讲,多功能电路不应包括在大规模集成电路范围内。

**大规模阵列晶片** 大规模阵列晶片是多功能晶片的改进形

式。在这种晶片上,基本电路的重复次数要比前一种多得多。第一层金属化图形把每一电路内的各个元件互连起来,在晶片上形成几个完整电路,到此为止它的工艺过程与多功能晶片基本相同,唯一的区别仅在于:每一电路的输入-输出端和电源接头不能单独从封壳外部触及。

然后,第二层金属化图形把晶片上大多数单个电路互连起来形成预定的结构,以实现需要的系统或分系统功能。多功能晶片的第二级互连过去是在晶片外部,而现在则是在晶片本身。只有整个系统或分系统的输入和输出端以及电源接头可从封壳外部触及。

大规模阵列晶片有两个特点很值得一提。第一,任何一块晶片都不需要100%的合格电路。不合格的或处于合格边缘的电路可绕过不用,以此提高可用的完整晶片的成品率。第二,使用不同的第二级互连图形可从同一基片产生不同的分系统功能,例如,使用某一金属化图形,可把某一晶片上的几个逻辑门电路互连起来,构成移位寄存器,使用另一种图形,相同的门电路可连成一个全加器。

**复合功能晶片** 复合功能晶片是在一块晶片上容纳固定数量的元件,该数量决定于需要的功能,此种功能的复杂程度比一个电路功能要高。互连图形是固定的,其目的只是用来得到专门的功能。在这种晶片上,并不一定存在相同的独立电路单元,因此有可能省去形成电路功能的第一级互连。这种方法不具备大规模阵列的灵活性,而基本上是一种用于专用电路的晶片。它需要晶片上的元件有100%的成品率,但能更有效地利用晶片面积。

## 系统功能概念范围的扩大

大规模集成电路使系统有可能采用若干迄今为止无法实现或成本高得惊人的新功能,其中一部分将在后面有关系统部分的几章中详述。这里只简单提一下。

**自动校正系统** 长期工作任务对可靠性提出了严格的要求,

虽然这方面的技术有很大进展,但某些工作任务要求一定的机上维修。这样一些工作任务多数采用无人操作,因此,就需要采取一些自动维修方法来解决。大规模集成电路使自动维修成为可能和切实可行。它可能在同一晶片上制成一组备用电路或分系统。在检测到分系统发生故障后,一个备用分系统可以接通代替它工作。通过三次组件重复电路(TMR),有家公司拟为其 CERBERUS 计算机获得 0.9994 的长期工作可靠性。该计算机拟用于分别持续 90 天之久的制导及导航任务<sup>[6]</sup>。它采用多数表决电路及组件结构绕过发生故障的电路,而达到这种高可靠性。

**多信息处理系统** 不用大规模集成电路也可能制造出多信息处理计算系统。然而由于多信息处理机适合于组件结构和设计,因此这样的系统自然适合于采用大规模集成电路。每一信息处理机的各种部件,如存储器或输入/输出装置,可由一块或更多的大规模集成电路晶片制成。组件间的互连次数可按照这种功能组件结构减到最低限度。

采用大规模集成电路的多信息处理系统,已经处于试验阶段。超级计算机 Illiac 4, 预计于 1969 年制成,该计算机是一个多信息处理机,由四个部分组成,每部分包含 64 个单独的信息处理机。通过组合 256 个信息处理元件或计算机处理同一课题的不同部分,可使计算系统获得极高速度。每个信息处理元件固定在 3 个 12×14 吋的多层电路板上,每块电路板约有 50 个封装电路,封装电路包含有大规模集成电路晶片,每一晶片有多达 100 个门电路。有的公司将要提供的封装大规模集成电路有 64 条引线。

### 1.3 为什么采用大规模集成电路

随着集成电路成本的降低,可靠性的提高和设备制造厂对其使用的不断增加,在这种情况下,可以理解工业界的某些领域对用新器件代替集成电路的问题是非常关心的,这种新器件需要采用新的基本规则和更改许多早已熟悉以及最近才掌握的设计和封装

原理。所以应当明确为什么大规模集成电路是需要的。

在制造集成电路时，首先是在一块硅基片上制成若干相同电路。然后半导体制造厂把一大块晶片切成若干小块晶片，每一小块晶片上包含有一个或更多单独的电路。这种小块晶片，通常采用扁平封装，将一块或若干块晶片(假如同一封壳内封装不止一块晶片)与封装引线焊接在一起。然后设备制造商购买单个电路，通过封装电路的外部连结，把原来位于同一基片上的相同电路连接成一个分系统式系统。显然制造厂希望省去以下四道中间工序：(1) 把大块晶片切成小块晶片；(2) 把小块晶片安装在封壳内；(3) 与封装引线焊接；(4) 在印刷电路板上或是在微型组件中安装单个电路。而把原先的电路留在原基片上，并利用在晶片上制出的金属化连接图形把这些电路连接成需要的分系统结构。

从这一点出发，对大规模集成电路的主要推动力可认为是：以较低的成本获得较高的可靠性。

这并不是大规模集成电路仅有的优点，这里将扼要论述其高可靠性和高系统性能。必须指出，为了便于阐述和讨论，这里谈到的大规模集成电路的很多方面涉及计算机的应用。一般认为，大规模集成电路将首先应用于制造计算机。将来计算机工业是大规模集成电路的主要市场。

## 高可靠性

很多因素影响集成电路的可靠性。由于集成电路的出现，分立元件电路被淘汰，系统可靠性得到了巨大改进。为了实际应用的需要，几个单独的电路元件与其有关的零件一起被一块硅元件代替，它的可靠性要比相应的分立元件的总的可靠性高。此外，易于发生机械故障的插头接点数量也大大减少。单片硅集成电路的故障机制和分立式硅平面晶体管相同。但大规模集成电路的可靠性，肯定要超过集成电路。为了更好地评价这种提高，有必要首先研究一下目前集成电路中遇到的故障的一般型式。可以毫不夸张地说，绝大多数故障是出在互连和焊接方面。焊接金属丝把封装

外部引线与晶片的端接区域连接起来。接点断开是相当普遍的故障型式。虽然集成电路的焊接数量比起常用的分立元件电路是减少了，但是硅片内部的各种电路元件仍必须连接起来。传导通路采用淀积的铝条，在高温下易于发生断路。再加上其它缺陷，如淀积过程中造成的划痕，这种情况就更加严重。另一种常见的故障是氧化层中的针孔经常造成断路。采用大规模集成电路可以进一步提高系统的可靠性，其主要原因有下面几个方面。

**焊点减少** 在大规模集成电路中，构成一种系统的几个电路位于一块晶片上，电路间采用铝层互连。显然，分系统所需要的焊点大大减少，从而可显著提高分系统的可靠性。由于大规模集成电路是新技术，目前数据较少，因此，只能凭推测来判断通过减少焊点的数目能把可靠性提高多少。目前尚不知大规模集成电路是否会带来一些新的或在集成电路元件中所未遇到的故障类型。但是，有理由预料是不会的。大规模集成电路晶片的复杂程度和晶片上电路数量决定晶片外部焊接的数量及其可靠性。据称<sup>[8]</sup>，就典型的逻辑功能来讲，外部焊接的数量约等于晶片上逻辑门数量的平方根。

**工序的减少** 在半导体晶片制造中，每一工序都影响最后产品的成品率及总的可靠性。换言之，减少任何工序都会提高可靠性。技术的进展显著提高了场效应器件的性能，尤其是金属-氧化物-半导体晶体管的性能。金属-氧化物-半导体器件肯定具有引人注意的特点，而适用于大规模集成电路；例如，据估计金属-氧化物-半导体的工序比双极晶体管的工序少40%。在未来的计算机应用中，它们是有源存储器选择的主要器件。广泛使用金属-氧化物-半导体器件，必然会提高未来的大规模集成电路系统的可靠性。

**备用度及多数表决技术** 随着大规模集成电路的出现，预料逻辑门的单位成本将在今后数年内显著降低。此外，采用大规模集成电路，可以在系统中增加逻辑单元的数量，而不会增加重量和体积，这两种因素结合起来可使系统设计者得到迄今为止既不可



能也不现实(由于经济上的限制)的自由设计能力。在要求极高可靠性的系统中,现在能够在大的范围内采用备余度和多数表决逻辑电路。

大规模集成电路在可靠性方面有多大提高呢?目前几乎没有材料作为可靠的数据。而单片集成电路的可靠性数据大概是唯一有价值的参考资料。一个粗略的估计是:自从1950年以来,电路故障/1000小时约每五年降低一个数量级<sup>[10]</sup>。可以乐观地认为,大规模集成电路有可能加速这一趋势。据称,今后十年中,每千小时的故障率可降到0.0005—0.0001%之间<sup>[11]</sup>。有理由预料,大规模集成电路对获得这种可靠性将起重大作用。

### 用实体构件代替计算程序

当前计算系统成本高的重要原因之一,是程序设计成本高。在很多情况下程序设计的成本和实体构件成本相等,有时甚至超过很多。工业界期望大规模集成电路有助于解决这一问题。大规模集成电路可以简化程序设计人员的工作。由于它可以经济地在一块晶片上容纳更多和复杂程度更高的逻辑电路,现在采用实体构件来完成某些功能,不仅是可能的,而且是受到欢迎的,而到目前为止这些功能一直严格地属于程序设计范围。换言之,专门设计的实体构件可以完成一定运算,这在以前则需要复杂的数学计算和花费较多的程序设计时间。平方根、矩阵运算和三角函数等数学运算,是易于由大规模集成电路来完成的一些典型运算<sup>[12]</sup>。

用实体构件代替程序设计的过程,不必等待大规模集成电路的发展。在这方面集成电路起到了显著的促进作用。目前已有一些用实体构件来完成一定程序功能的大型计算系统在进行工作。典型的例子是乘法和除法、移位运算,同时进行输入/输出运算和并行处理相互独立的指令<sup>[13]</sup>。程序设计/实体构件的转换给计算和制造者指出了计算机系统设计了几项重大革新。目前还不太清楚,计算机工业为下一代计算系统将采取什么具体设计。据称,程序设计/实体构件的转换方法有三种可能<sup>[14]</sup>。