

大规模集成电路 计算机辅助制版软件系统

CAD

洪先龙 钟龙保 编著
唐璞山 黄均乃

国防工业出版社

大规模集成电路 计算机辅助制版软件系统

洪先龙 钟龙保 唐璞山 黄均乃 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了大规模集成电路计算机辅助制版软件ZB-781的输入语言的使用方法、上机操作、语言的设计思想、软件结构、编译思想、数据结构、图形编辑算法和目标代码的优化。全书共分六章，书后附有十四附录。除此之外，还在第一章简单介绍了计算机辅助设计系统的组成，在第六章介绍了ZB-781改进型软件ZB-791。

本书既可作为应用辅助制版软件的入门，又可作为CAD应用软件研制的参考书。读者对象为高等院校半导体专业和软件专业的师生、集成电路工厂和研究所的技术人员。

大规模集成电路计算机辅助制版软件系统

洪先龙 钟龙保 唐璞山 黄均乃 编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 7⁵/₈ 插页 1 193 千字

1981年5月第一版 1981年5月第一次印刷 印数：0,001—5,200册

统一书号：15034·2178 定价：1.05元

前 言

计算机辅助制版是计算机辅助设计技术的一个重要组成部分。随着大规模集成电路的迅速发展,单片上的集成度不断提高,电路的复杂性也不断增加,单靠人工的办法来设计和制造是十分困难、甚至是不可能的了。采用计算机辅助设计技术,不但能减轻人工劳动、提高效率和缩短研制周期,更重要的是能保证设计和制造的正确性。

集成电路的计算机辅助设计技术是一门新兴的学科,它包括计算机辅助逻辑设计和逻辑模拟,计算机辅助电路分析,计算机辅助版图设计和辅助制版以及计算机辅助工艺模拟。本书要介绍的 ZB-781 软件系统是一个计算机辅助制版软件系统。在版图设计和辅助制版这一类软件中,目前有三种类型。第一种是可进行自动布局和自动布线的软件系统;第二种是人机交互式图形编辑软件系统;第三种是语言描述式的图形编辑软件系统。ZB-781 属于第三种。

本书将系统地介绍 ZB-781 软件系统的输入语言的使用方法、上机操作、语言的设计思想、软件结构、编译思想、数据结构、图形编辑算法和目标代码的优化。为了使读者能对计算机辅助设计系统各部分软件有初步的了解,在本书的第一章中,简单地介绍了计算机辅助设计系统各部分软件的功能及相互关系。在第六章中,又简单介绍了 ZB-781 的改进型软件 ZB-791 系统,及 ZB-791 的特点和上机操作方法。

为了使读者对 ZB-781 软件有更深入的了解,特在书后增添了十四个附录,包括语言文本、数据格式、键盘命令表、出错信息表及字符编码表等。可供辅助制版软件的研制和使用者参考。

参加本书编写工作的有洪先龙（第五、六章），唐璞山（第一、四章），钟龙保（第二、三、六章），黄均乃（第一章）四位同志。由洪先龙、钟龙保负责主编。张文涛、徐庆林、吴启明等同志参加了本书的审阅和校对工作。

由于我们的水平有限，编写时间仓促，来不及充分地征求各方面的意见，因此，错误和不妥之处在所难免，殷切希望读者批评指正。

编 者

目 录

第一章	计算机辅助设计和辅助制版	1
§ 1.1	计算机辅助设计简介	1
§ 1.2	计算机辅助制版简介	5
§ 1.3	计算机辅助制版系统	9
第二章	ZB-781 制版语言使用说明	14
§ 2.1	基本概念	14
§ 2.2	图形描述语句	18
§ 2.3	说明性语句	50
§ 2.4	操作语句	51
§ 2.5	源程序的实例	54
第三章	上机操作	64
§ 3.1	上机前的准备工作	64
§ 3.2	上机操作	68
§ 3.3	出错处理	90
第四章	ZB-781 制版语言的设计思想和特点	93
§ 4.1	基本子图	94
§ 4.2	图形的处理方法	99
§ 4.3	图组和积木块的定义、调用和嵌套	102
§ 4.4	单个器件和单元电路数据库功能	104
§ 4.5	ROM 信息自动设计功能	106
§ 4.6	多层连线功能	107
§ 4.7	其他功能	109
§ 4.8	使用 ZB-781 制版语言时对版图设计的综合考虑	112
第五章	ZB-781 制版软件的编译思想及其实现	115
§ 5.1	多趟编译和模块化结构	115
§ 5.2	数据结构	122

§ 5.3	图形处理算法	130
§ 5.4	目标程序的优化	151
§ 5.5	版图数据的检验	160
§ 5.6	人机交互工作方式	163
§ 5.7	实现自动设计的设想和准备	165
第六章	ZB-791 制版软件系统	167
§ 6.1	ZB-791 的特点	167
§ 6.2	ZB-791 制版软件系统上机操作说明	171
附录		191
附录 I	ZB-781 制版语言文本	191
附录 II	内存中间数据格式	201
附录 III	源程序孔型图	215
附录 IV	键盘命令表	216
附录 V	出错信息表	218
附录 VI	标准工艺参数表	222
附录 VII	字符编码表	223
附录 VIII	打印格式表	226
附录 IX	打印信息汉字解释一览表	229
附录 X	ZB-791与ZB-781在语言文本上的差别	230
附录 XI	RDOS中文字编辑程序EDIT 的几个常用命令形式及用法	231
附录 XII	ZB-791出错信息表	234
附录 XIII	“运行”时各种广义取程序正 常执行过程中印出的信息	237
附录 XIV	ZB-791显示键盘命令一览表	238

第一章 计算机辅助设计和辅助制版

本书主要介绍计算机辅助制版的软件系统。为了使读者对制版软件的地位和作用有一个初步的认识,本章首先概括地介绍大规模集成电路计算机辅助设计的主要内容,由此可知,计算机辅助制版是整个辅助设计过程的一个重要组成部分;然后介绍计算机辅助制版的过程和系统。

§ 1.1 计算机辅助设计简介

随着大规模集成电路 (LSI) 的发展,单片集成电路中的元件数已增加到数千个至数万个。国外不但已能生产 64K 动态随机存贮器 (RAM) 和 8K 静态随机存贮器等,而且已制出单片的 16 位微处理机的中央处理部件 (CPU)。近年来,已经迈步进入超大规模集成电路的研制阶段,256K 动态随机存贮器的研制成功就是一个典型的例子,它的元件数高达数十万个。

随着大规模集成电路集成度的不断提高,电路的复杂程度不断增加,而且与整机的关系越来越密切,整机的设计制造过程往往就是集成电路的设计制造过程。如果说包含数千元件的大规模集成电路还可以勉强用人工的办法设计制造的话,那么包含数万、数十万元件的、具有复杂功能的大规模和超大规模集成电路,仅靠人工的办法来设计制造是根本不可能的。在设计制造大规模集成电路的整个过程中,哪怕是一个微小的错误,都会使电路的制造失败。因为大规模集成电路不仅不能像分立元件组成的电路那样,可以在发现错误后,随时在插件板上进行修改,而且连发现错误在哪里也是极端困难的。因此在大规模集成电路的设计制造过程中,必须采用计算机辅助设计技术 (CAD 技术)。用计算

机帮助人们进行大规模集成电路的设计、检查和制造，不但能大大减轻人工劳动、提高效率和缩短制造周期，更重要的是它能保证设计制造的正确性。对于那些复杂的大规模集成电路，单纯靠人工设计计算，工作量太大，可能需要几年的时间，所以计算机辅助设计是发展大规模集成电路的不可缺少的技术手段。

现在，集成电路设计过程的各个阶段，几乎都可以通过计算机辅助设计来完成。一个大规模集成电路的设计制造过程大致如图 1.1 所示。目前，已建立了与设计过程相应的计算机辅助设计系统，各系统所做的工作各不相同，主要有下列几方面的内容：

(一) 逻辑设计和逻辑模拟

逻辑设计的内容包括逻辑综合、绘制逻辑图、系统划分、列出接线表及产生自动测试图等。例如，根据逻辑化简（最小化）的逻辑综合，产生出逻辑方程或逻辑图。然后从集成电路的逻辑单元库中收集逻辑单元，取代该逻辑系统，同时还能对系统的每个连接点进行逻辑电平及逻辑负载分析，允许设计者修改设计，最后将具体的逻辑单元组成的逻辑系统绘制成逻辑图。

随着大规模集成电路规模的不断增大，逻辑系统越来越大，并且越来越复杂，只有采用计算机进行快速全面的模拟检查，才

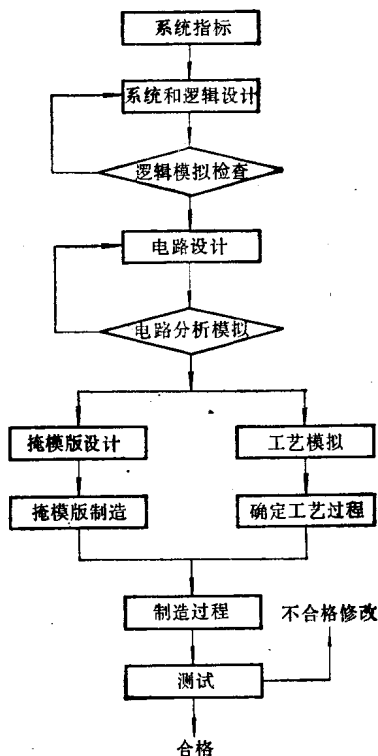


图 1.1 LSI 设计制造过程示意图

能避免逻辑设计中的错误。实际上，逻辑检查也属于计算机辅助设计的一部分。

逻辑模拟是把逻辑系统的输入、逻辑单元及其连接关系输入计算机，让计算机按输入信号不同的组合情况模拟输出信号的变化情况，它的主要功能是检查验证逻辑设计的正确性。逻辑模拟中，逻辑系统的基本单元可以是逻辑门和触发器，也可以是寄存器、全加器等较复杂的功能器件单元。

(二) 电路分析和电路模拟

在设计大规模集成电路组成的系统时，一般总是首先确定采用电路的类型，根据所需设计系统的性能指标（如速度、功耗、电源电压等，以及可能达到的集成电路工艺制作水平）进行选择。例如，一个大规模集成电路组成的微处理机可以由各种不同的电路构成，有 MOS 电路，其中又分成 P-沟道或 N-沟道；也有双极型电路，如 TTL 电路或集成注入逻辑 (I²L) 电路。任一逻辑单元或逻辑系统都是由某类具体的电路组成的，因此逻辑设计完成以后就要进行电路设计，电路设计正确与否决定了系统能否正常工作。因此，电路分析和电路模拟是必不可少的，它可以检验电路设计能否达到系统设计时所提出的性能指标。

电路分析首先是建立电路元件的数学模型，这些数学模型中的参数和元件的几何尺寸等物理参数及工艺参数密切相关。然后，根据元件间的连接信息建立电路方程，通过计算机来分析和模拟电路特性。电路分析除了在指定参数下计算电路中某些节点的直流特性或瞬态特性外，还能够对最坏情况（如高温、高功耗、高电压等）进行模拟和分析，也能进行最佳设计和容差分析。

用计算机辅助进行电路模拟计算，可以预先算出大规模集成电路的参量性能，若不合要求可进行修改，求得较好的设计。这样，就可以尽量避免工艺制造过程的反复，因而大大缩短新电路的研制周期。

(三) 版图设计和制版系统

通过电路分析和电路模拟以后, 就获得了一张准确的电路设计图, 其中电路元件的电学性能已经完全确定 (即确定了工艺参数的要求和各元件几何尺寸的要求)。根据元件几何尺寸的要求和元件之间的连接进行版图设计和制造掩模版。目前版图设计和辅助制版有两类: 一类是完全依靠计算机来实现, 它必需具有标准单元的版图数据库, 在设计版图时把电路中相应的电路元件及单元电路的版图调入, 然后通过光笔显示器进行布局和布线, 或者通过布局布线专用程序进行自动布局和布线, 最后形成版图所需的全部数据、由计算机输出至制版系统制版; 另一种是人工进行版图设计, 但是不需要绘制详图, 只要提供必要数据的草图, 再通过各种读数据的专用制版软件的处理, 最后形成版图所需的全部数据, 由计算机输出至制版系统制版。

(四) 工艺模拟

如上所述, 在电路设计完成以后, 已经提出了对工艺参数的要求, 例如结深、栅氧化层厚度等。这些工艺参数在制造过程中如何实现呢? 过去依靠实验数据和经验, 但是实际情况非常复杂。例如, 经过几次热处理后, 杂质分布究竟如何, 它们对元件电学性能的影响又如何。目前国外已建立了工艺模拟程序来模拟工艺过程对工艺参数以及电学参数的影响, 通过工艺模拟可选择最佳的工艺过程。

在大规模集成电路的设计和制造中, 计算机不但可以辅助上述工作, 还可辅助集成电路产品的测试工作, [但一般辅助测试不算在 CAD 中, 而是称为计算机辅助测试 (CAT)]。

一个 CAD 系统, 不论其包含的功能有多少, 它总是包括硬件和软件两部分。

CAD 硬件是指完成 CAD 工作所需的设备, 即计算机及其相应的外部设备——电传打字机、纸带输入机、行式打印机、磁盘、磁带、对话式显示器、自动绘 (刻) 图机、图形发生器、电子束

曝光机等。硬设备多些，CAD 系统的功能就强些。

CAD 的软件包括一些专用的语言和程序，通过这些语言和程序，使计算机及其他硬设备完成 CAD 的某些功能，如逻辑模拟专用语言及相应程序，电路分析专用语言及相应程序，掩模版设计和版图描述的专用语言及相应程序，掩模版检查程序，工艺模拟程序等。建立一套软件，首先要设法将所需解决的问题告诉计算机。为此，人们根据不同的问题设计出了不同的专用语言，这种语言既能使计算机正确的识别语言所描述的各种情况和要求，又能使使用者不必具备许多计算机软硬件方面的知识，而较容易地进行操作。其次是解决问题的处理方法，即如何接受用专用语言输入的信息，进行相应的处理和计算，然后以预先指定的方式输出结果。这就是各编译程序所完成的工作。

§ 1.2 计算机辅助制版简介

1.2.1 集成电路掩模版介绍

集成电路的制造工艺比较复杂，光刻是它的关键工艺之一，每次光刻都要用掩模版。为了了解集成电路掩模版在集成电路生产中的作用，我们以硅双极型（TTL）集成电路为例，粗略地画出它的工艺流程，如图 1.2 所示。

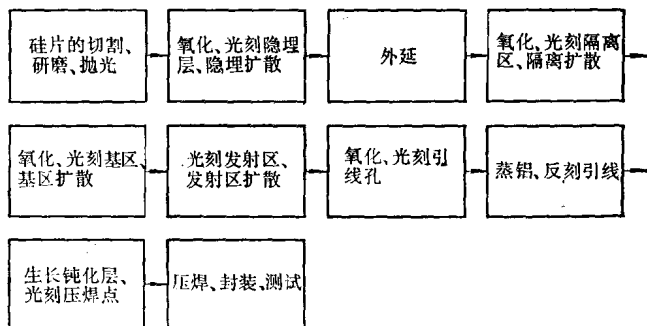


图 1.2 双极型集成电路工艺流程图

从上述工艺流程可见,对于双极型电路,至少需要六~七次光刻才能制成一块电路。如果采用双层布线的双极型大规模集成电路,则至少需进行九次光刻。

集成电路常规的版图设计及制版过程的框图如图 1.3 所示。首先,根据集成电路的性能要求及工艺可能,按电路图设计出集成电路的版图,画出草图。认为满意后,在涤纶坐标纸上绘制掩模版总图,一般总图比光刻掩模版的尺寸大 200 至 500 倍。然后,把总图覆盖在红膜上,用针凿出各层掩模版的坐标,在红膜上刻出掩模版的分图。经过初缩,得到比分图缩小了许多倍(如 20 倍)的掩模版,称为初缩版。然后再把初缩版缩小若干倍(通常为 10 倍),并按一定间距在 X 向和 Y 向重复曝光(即分步重复),得到了与版图实际尺寸同样大小的、有许多重复图形的精缩版(亦称母版)。用此母版,就可在铬版、彩色版或其他模版上复制供光刻用的工作版。

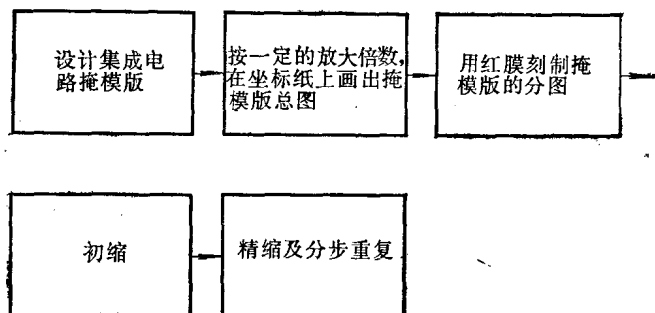


图 1.3 集成电路常规版图设计及制版过程框图

从上述框图可见,要获得好的掩模版,除在照相技术、干版质量、精缩机精度、镜头分辨率等方面提高和改进外,还必须做到下列各点:

(1) 根据电路、工艺要求绘制精确、完整的总图。

(2) 在红膜上刻制各层分图时,要求尺寸准确,不遗漏图形,图形间距符合工艺要求,各层掩模版之间能相互套准。

(3) 在刻制分图过程中, 要防止因温度、湿度等的变化引起总图尺寸的变化。

(4) 完成分图的刻制后, 要反复认真核对, 使分图之间能相互套准, 并防止图形的遗漏。

1.2.2 计算机辅助制版的必要性

计算机辅助制版, 就是用专用制版语言写出集成电路版图源程序, 经计算机制版软件处理后产生图形发生器、电子束曝光机或刻图机所需的数据纸带或磁带。这些数据带控制图形发生器制造初缩版, 或控制电子束曝光机直接制精缩版, 或控制刻图机刻制红膜。

随着集成电路规模的不断扩大, 采用常规制版工序会越来越困难, 或者根本不可能实现, 这是由于下列原因:

(1) 绘制整图的放大倍数受到限制。如果整图过大, 因坐标纸、红膜及初缩的限制而无法制版; 如果整图过小, 又会影响版图的精度, 且在手工刻图中, 很难点准半格及四分之一格的坐标点。

(2) 必需绘制完整的整图, 即使是重复图形, 也必需如数绘出, 不能省略, 因此大大增加了绘制总图的工作量。

(3) 大规模集成电路的试制工作, 从设计版图到试制成功往往需经几次反复, 改进设计, 以达到预期的指标。每修改一次版图, 都得修改或重新绘制新的整图, 再按常规制版工艺进行刻图、初缩及精缩, 这当然是件费时费工的工作。

采用计算机辅助制版有如下优点:

(1) 计算机辅助制版只需读入版图的数据, 坐标纸变形或拼接不会影响结果的精度, 因此, 整图可以按读图方便随意放大。

(2) 对于重复性大的大规模集成电路版图, 只需在重复部分画出一个样图, 其余的画出外框, 标出它们在整图上的位置就行, 无需画出各重复部分的细节, 这就大大提高了工效。

(3) 修改版图时, 只要重读修改部分的局部数据, 不必重读整个版图的数据, 这就缩短了大规模集成电路的试制周期, 降低了成本。

(4) 可以建立以制版语言来描述图形的源文件或中间结果文件的数据库, 为集成电路的计算机自动设计或半自动设计奠定了基础。

(5) 制出的掩模版质量好, 精度高。

计算机辅助制版克服了常规制版中的一些缺点, 但还存在一些问题:

(1) 版图的数据量一般都很大, 采用人工读数据的工作量有时很繁重。解决的办法之一是采用数字化仪读取坐标及建立版图的数据库。

(2) 由于数据量大, 不可避免会出差错, 所以必须建立快速简便的检查装置。显示器、绘图仪等是目前主要的检查工具, 但还需增加更多更方便的查错、改错功能。

1.2.3 计算机辅助制版流程

使用专用的制版语言进行计算机辅助制版, 大体上经历下列五个步骤。

(一) 绘制总图草图

根据集成电路电学性能的要求, 设计版图, 在坐标纸上绘制总图, 然后用计算机辅助制版。对于重复的图形, 只需画出一个, 并标出重复部分在整图上的位置即可。

(二) 书写源程序

用制版语言写出版图的源程序, 作为计算机的输入信息。

(三) 上机操作

把源程序穿成纸带, 将此纸带输入计算机进行编译。书写源程序时的格式错误及穿孔中的某些错误, 在编译程序中即可查出, 并在电机上打印出出错信息。若源程序的格式正确无误, 就可

得到编译后的中间结果，然后再用运行程序处理中间结果数据，得到最后结果数据，用它可以显示、绘图或制版。

(四) 检查核对

获得最后结果后，可通过显示或绘制总图，供设计人员进行核对。例如，有无图形遗漏，有无图形重复，图形尺寸及位置是否正确等等，直到设计人员满意时再进行制版。

(五) 制版

把正确无误的版图数据用快速凿孔机凿出图形发生器能使用的纸带，然后制出初缩版。经检查合格后，用分步重复精缩机制出精缩版；或者用刻图机刻出红膜，然后通过初缩和精缩分步重复制出精缩版。

§ 1.3 计算机辅助制版系统

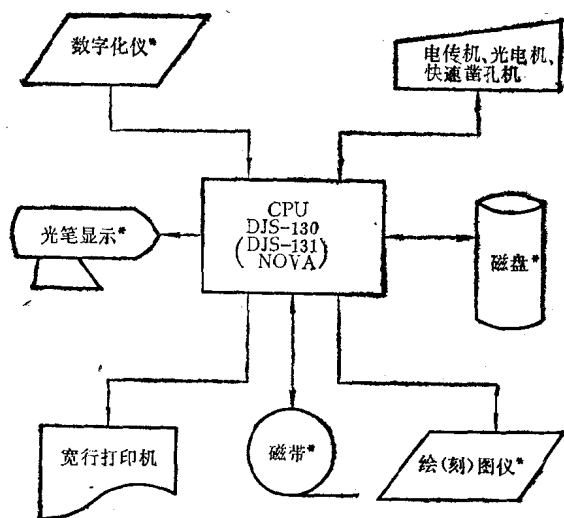
任何用计算机控制的系统，都由硬件及软件两部分构成，计算机辅助制版系统也是如此。

1.3.1 计算机辅助制版系统硬件

计算机辅助制版的硬件系统包括图形编辑系统和图形发生系统两部分。图形编辑系统的主要硬件有：小型计算机(如 DJS-130 机)、磁盘、磁带、显示器、绘图仪、数字化仪等，详见图 1.4。

它们的主要功能是：计算机把按照制版语言的要求书写的源程序或由数字化仪读入的源程序，通过制版软件的处理，得到图形发生器、显示器或绘图仪可接受的数据格式。显示器用于粗略核对图形的位置及尺寸的正确性，在建立数据库后也可作为单元电路连线时的人机对话工具。绘图仪可画出分层掩模版图及总图，可核对图形的尺寸、位置是否正确，各层版是否套准，如有错误、遗漏的地方，可修改源程序，重新进行图形编辑。

图形发生系统可以是图形发生器系统，也可以是自动刻图机系统或电子束曝光机系统。图形发生器系统的硬件有：图形发生



*表示可以缺少的设备

图1.4 图形编辑系统的主要硬件框图

器、控制机（如 JS-10 机）及分步重复精缩机。该系统是把图形编辑系统所得的图形数据，在照相版上产生初缩版的图形，然后分步重复制成精缩版。

图形编辑系统是把用源程序描述的版图分割成宜于曝光的矩形，而图形发生器则用来产生这些矩形，并拼接起来获得初缩版，它的工作原理如图 1.5 所示。图中 1 是光源；2 是光栏，它是由两对互相垂直的、可移动的刀口组成，以获得不同尺寸的矩形，有的还可转角，得到不同角度的矩形，以适应版图上斜线的需要；3 是镜头，光栏经它成像后在初

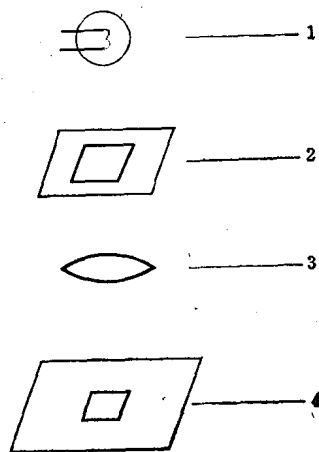


图1.5 图形发生器工作原理图