文章编号:1002-0411(2004)01-0052-04

基于专家系统技术的 MEMS 虚拟工艺库

李亚威, 赵　新, 任　亮, 卢桂章
(南开大学机器人与信息自动化研究所, 天津　300071)

摘　要:虚拟工艺是 MEMS 器件计算机辅助设计中对工艺过程仿真的部分,根据版图设计、层定义和工艺文件来生成器件模型,并进行三维模型显示.本文在虚拟工艺库中引入了专家系统的技术,将已有的工艺知识分别描述成专家系统知识库中的规则,推理机部分与知识库分离,使系统有较好的可扩充性.本文给出了一个剖面图的实例,证明其可行性.*

关键词:虚拟工艺;专家系统;微电子机械系统
中图分类号:TP13　　文献标识码:B

An Expert System Based Virtual Process System for MEMS

LI Ya-wei, ZHAO Xin, REN Liang, LU Gui-zhang
(*Institute of Robotics & Automatic Information System, Nankai University, Tianjin　300071, China*)

Abstract: Virtual process is one part of rapid prototype manufacturing, which emulates process and displays 3D visualization, based on design of layout, definition of layer and process file. This paper introduces the technology of ES(expert system) that abstracts the existing knowledge into rules. The inference engine is separated from the repository, so it is easier to extend the system. At the end, an actual example is given to show the feasibility of this method.

Keywords: virtual process; ES; MEMS

1　引言(Introduction)

微电子机械系统(Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS)是利用微电子工艺制作的、能够完成某种机械功能的、集成了某些微电子器件和微机械器件特性的系统.

MEMS 器件都是利用微电子工艺、经过晶体的生长、淀积、刻蚀等处理过程得到的,并要通过器件组装和功能测试来检测器件的机械性能.由于每次晶体的生长、刻蚀时间都比较长,而且器件的组装和功能测试都需要一定的环境和条件,所以如果最后的结果证明整体设计有问题,那么设计需要一切从头开始,费时费力.目前 MEMS 研究主要还是依赖经验和反复试探,一个明显的问题就是设计周期长、费用高、寿命短,因而改进困难、发展缓慢.

因此构造一个集微机械的设计、修改、验证及改进的环境就显得格外重要.上述想法引出了基于虚拟现实技术的微电子机械系统的计算机辅助设计的研究.设计人员可以在虚拟环境中进行反复的修改、试探和运行,进而优化设计结果、避免设计缺陷.微机械系统计算机辅助设计主要包括三部分:虚拟工艺、虚拟组装和虚拟运行,分别对应实际工作流程中的工艺流水、器件装配和功能测试.本论文着重于其中的虚拟工艺部分.

2　虚拟工艺(Virtual process)

虚拟工艺就是按照工艺规则进行处理,将版图设计和工艺设计的理想结果推算出来,建立起工艺过程和版图与 MEMS 器件三维几何模型的直接联系,在虚拟环境中任何一个环节发现问题都可以随时转回重新设计.这个试探过程不需要真正的工艺流水,因而不需要实际的工艺时间和费用,这样就最大限度地减少了 MEMS 设计在实际制作过程中的反复,保证设计过程的高效率、高质量和低费用,并且大大提高了成功的概率.

* 收稿日期:2003-09-17
基金项目:国家自然科学基金资助项目(69985006,60173061);国家十五 863 计划资助项目(2002AA422200,2002AA431030);国家 973 计划资助项目(G1999033109);教育部高等学校骨干教师计划资助项目(582583);天津市自然科学基金资助项目(023800211,013600411)

虚拟工艺的主要任务就是根据版图描述方面及工艺流水线方面的规则与经验,将版图软件中器件版图的平面分层结构和工艺设计软件中设计的工艺过程转换成三维图形学描述,并将三维模型显示给设计者.所以虚拟工艺主要有三个技术问题:版图和工艺方面的规则和经验的描述、根据规则和经验对实际的版图和工艺过程数据进行转换、将三维图形学描述进行三维显示.

2.1　工艺描述

工艺参数是工艺过程中生成工艺模型的关键数据,所以虚拟工艺过程就必须对工艺参数进行研究.系统中用四个文件来存放虚拟工艺所需要的所有参数,它们是工艺文件、层定义文件、版图文件和衬底文件.

• 工艺文件:是工艺设计软件生成的,主要用来存放工艺过程中的所有工艺语句,并详细描述每道工艺的具体参数,如定义衬底的工艺语句为:DF、衬底名、材料名、显示颜色、厚度、备注.

• 版图文件:是由版图设计软件生成的,主要用来存放版图数据,包括版图对应的层号,以及该层中的版图图形,图形为一些基本的图形:长方形、多边形、圆、弧等.

• 层定义文件:是由版图设计软件生成的.版图是分层设计的,所以版图设计好之后除了保存版图位置的版图文件之外,还需要层定义文件来保存每一层的信息.一个层定义文件包含若干层定义,其中每层中又包含该层的层号、材质、颜色、填充模式等参数.

• 衬底文件:是由版图设计软件生成的.其中按照版图数据的格式存放衬底形状的数据.

2.2　工艺模型

虚拟工艺的目的就是为工艺过程应该生成的理想器件建模,本文称之为工艺模型.为工艺过程创建工艺模型的过程,实际上就是按照工艺过程中工艺顺序,逐步生成模型描述数据,并根据版图和工艺参数对它们修改的过程,最后生成整个工艺过程的工艺模型.因为 MEMS 器件是工艺过程中的若干工艺步骤分层生成的,所以工艺模型采用分层描述的方式,每一层中又有若干基本模型块组成.

2.3　可视化

本系统利用剖面图的形式显示设计者所关心的模型形状信息.绘制剖面图就是根据线段参数(指定设计者所关心的剖面),在一个窗口内显示此线段所在的垂直于版图编辑器俯视图的平面与 MEMS 部件相交的截平面.同样,MEMS 器件的剖面图也是采用分层表述方式,不同的是,每层由若干多边形、扇面等基本图形和这些基本图形的组合构成.各层剖面图图形数据可以直接用线段与已经生成的工艺模型各层相交得到.

3　基于专家系统技术的虚拟工艺系统 (ES-based virtual process system)

3.1　虚拟工艺系统框架

虚拟工艺专家系统中主要由人机接口、公用数据库、知识库、推理机和解释部分组成.人机接口部分简化为读取研制人员提供的几个文件,并提取有用数据.知识获取部分暂时是由 MEMS 专家提供给软件人员,由软件人员翻译成知识库中的知识,并且进行一定工作量的编程.该专家系统的结构如图 1 所示.

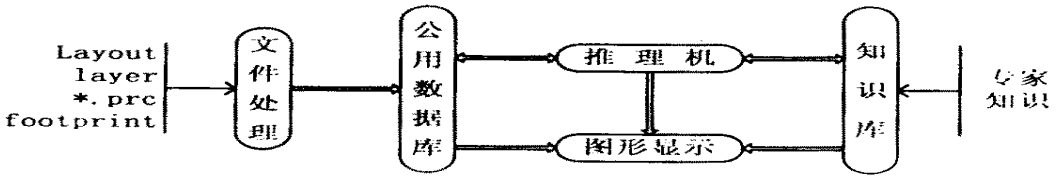

图 1　虚拟工艺专家系统结构图

Fig.1　Framework diagram of virtual process ES

此专家系统将材料描述和工艺流水方面的规则和经验都放到专家系统的知识库中,其中材料描述放到材料知识库中,工艺流水方面的知识分为两个库:工艺知识库和过程知识库(下面将详细讲述知识库部分).将转换三维图形学描述的部分作为专家系统的推理机部分;将三维显示部分作为专家系统的解释机部分.公用数据库中存放初始数据和过程中生成的一些数据.

3.2　知识库的建立

本系统中主要有两类知识,一类是事实性知识,如材料的定义、工艺过程的基本命令等.本文将本系统中的此类知识分成两个知识库:材料知识库和工

艺知识库,分别存放材料定义和工艺过程的基本命令.另一类是启发性知识,为了适应专家系统要求,在编程时把<前提条件>部分和<动作>部分编成两个独立的函数,则这样一条产生式:if <生长/淀积工艺> then <生成新的一层模型>,在C语言实现中就是如下两个函数:

```
int pre_conl( ){    /* <前提条件>部分*/
if (当前工艺是生长/淀积工艺)
      return 1;
else
      return 0;
}
void action ( ) {    /* <动作>部分*/
生成新的一层模型;
      }
```

推理机在对知识库的规则进行评估时,只要先执行由规则前提组成的函数,即可算出评估值.推理机实现也就比较简便.下面分别举例说明每个知识库的实现.

•材料知识库

材料知识库用来存放一些常规的材料知识.该知识属于描述型知识,使用结构数组来存放,其中包括材料的名称、显示用的颜色和一些详细描述.材料知识库结构如表1所示.

表1 材料知识库

Tab.1 Matter knowledge base

Name	Color	R	G	B	Desb
SI	ForestGreen	0	180	0	硅衬底
…	…	…	…	…	…

•工艺知识库

在工艺知识库中主要存放最基本工艺语句的规则,对于每个工艺语句名称对应的动作为对层结构头节点的操作,如淀积工艺要新增头节点.工艺知识库结构如表2所示.

表2 工艺知识库

Tab.2 Process knowledge base

Name	Id	Action	Desb
DF	1	AddHeader( )	增加新的层结构头节点
…	…	…	…

•过程知识库

将模型块生成的过程规则放到过程知识库中,由于每个工艺语句都对应若干条规则,所以对于每条规则在过程知识库中存有父id(fid),它对应于工艺知识库中的id.同时由于过程知识库中的规则前件比较复杂,难于直接描述,所以也采用了函数的方法(Pre_conl)来解释前件,并且用Pri字段来表示规则的优先级.过程知识库的具体结构如表3所示.

表3 过程知识库

Tab.3 Procedure knowledge base

Name	Fid	Pri	Pre_conl	Action	Desb1	Desb2
DF_1	1	1	NULL	NewPCub( )	无条件	生成新的长方体模型块
…				…	…	…

3.3 推理机的实现

所谓推理是指依据一定的原则从已有的事实推出结论的过程,推理机就是根据用户提供的事实,依据知识库的知识,经过推理得到最终结果.推理机是整个系统决策的核心,负责控制并执行问题求解过程.在本系统中,推理机负责使用知识库中的知识和数据库中的实际数据进行推理,确定理想情况下应该生成的三维模型数据.常用的推理机控制策略有数据驱动的向前推理、目标驱动的向后推理以及两者的混合.本系统采用了数据驱动的向前推理方式,其推理过程如图2推理机框图所示.

该系统中从文件中抽取的版图数据、工艺过程数据都是以指针链表的形式存放.由于系统中三维模型是分层描述的,所以模型由二维指针链表存放,每层的头节点由低到高用指针连接,同时每一层中的多个模型块之间也是由指针相连接.工艺数据链和当前层模型链是推理机的两个驱动数据.

推理机首先判断工艺数据链是否结束,如果结束,证明已经推理完所有工艺过程对模型的影响,那么推理结束;否则,将工艺数据链中的关键数据与工艺知识库中的规则相匹配,找到匹配的工艺规则,并执行规则的action部分的函数,对当前层的头节点进行处理(如生长/淀积工艺,需要增加新的层,生成新的头节点,并链接到头节点链中),并处理该层的所有模型块.对该层中的各个模型块分别进行处理也需要一个循环,对于每个模型块中的数据需要与过程知识库中相应的过程知识进行匹配,并在匹配的规则中选择优先级最高的规则,并执行它的action部分的函数,对模块进行处理,其中会用到材料知识库中的一些规则.

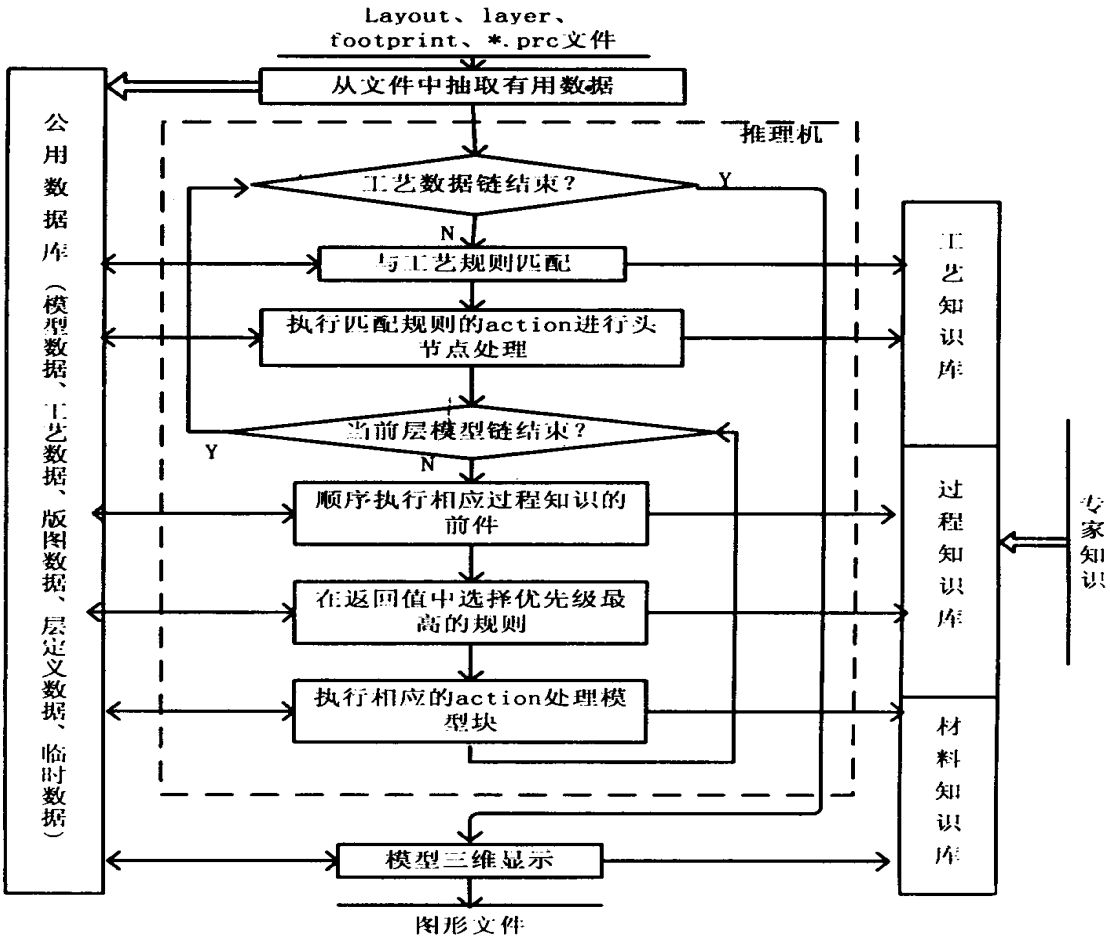

图 2　推理机总框图及在系统中处的位置

Fig.2　Block diagram of the inference engine and its position in the system

4　剖面图实例 (A cross-section example)

本例是双层多晶硅表面牺牲层工艺剖面图生成过程.首先利用工艺设计软件设计了一个 14 步工艺的工艺文件,然后再用版图设计软件设计图形文件和层定义文件,最后利用它们来生成工艺模型,并根据版图中截线位置来得到剖面图.如图所示,左侧为版图设计结果,右侧为上述版图和工艺用于工艺流水线应该生成的微电子机械部件剖面图.

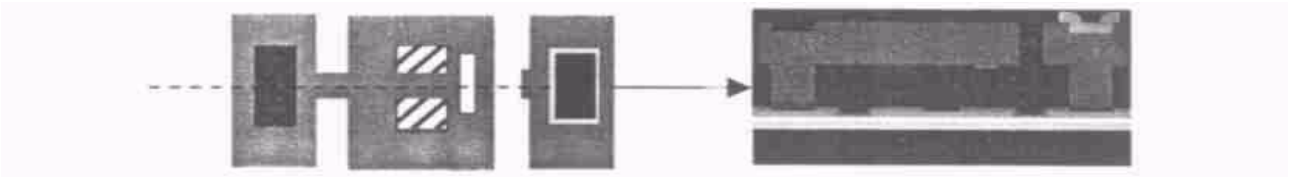

图 3　剖面图实例

Fig.3　A example of cross-section

5　结论与展望 (Conclusion and expectations)

虚拟工艺库是 MEMS 器件设计的辅助设计技术,它克服了实际设计周期长、费用高、改进缓慢等缺点,具有较高的实用价值.在虚拟工艺库实现过程中使用了专家系统技术,使系统有较好的扩充性和灵活性,同时使该系统更好的推广成为可能.

目前系统仍然存在一些问题:由于目前可以得到的工艺比较少,知识库不够丰富,并且对工艺规则的研究比较粗糙,所以规则比较复杂;现阶段增加专家知识需要专业人员编程完成.将来可以随着 MEMS的发展,得到更多的工艺知识和标准工艺流

(下转第 60 页)