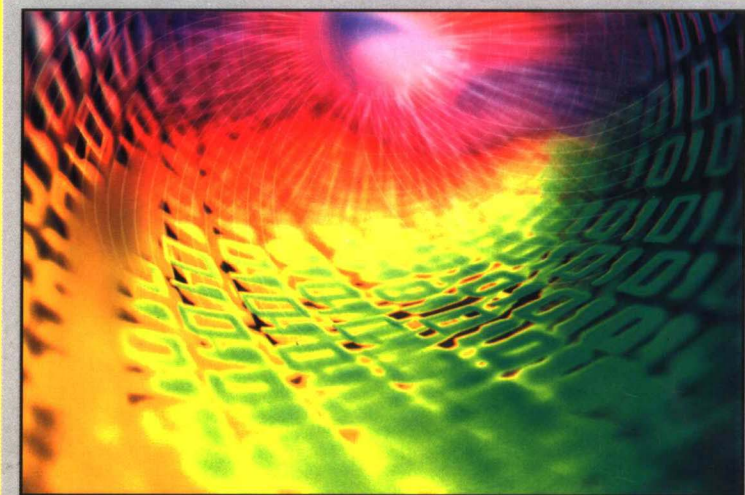


MEMS设计模拟 与仿真系统应用

— *Coventor Ware*



■ 郝永平 刘凤丽 刘世明 编著 ■



国防工业出版社
National Defense Industry Press

TM38

16

2007

MEMS 设计模拟与 仿真系统应用 ——Coventor Ware

郝永平 刘凤丽 刘世明 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

MEMS 是一项极具发展前景的军民两用高技术,具有巨大的市场和学科带动性,它的出现引发了一场新的技术革命。Coventor Ware 是业界公认的具备 System-Level 和 Co-Design 功能的专业化 MEMS 设计软件。全书共分 8 章,全面系统地介绍了 Coventor Ware 软件的使用方法、应用技巧、仿真应用,以及在工程中使用 Coventor Ware 软件来进行预处理分析、微机电分析、力学分析和机电耦合求解器仿真的方法和技巧,并以微陀螺实例介绍了建模和系统级仿真的详细步骤和过程。内容详细具体,工程应用技巧性强。

本书适合机械电子专业教师、研究生、高年级本科生以及工程技术人员和科研人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

MEMS 设计模拟与仿真系统应用/郝永平,刘凤丽,刘世明编著. —北京:国防工业出版社,2007. 1
ISBN 7-118-01749-X

I. M... II. ①郝...②刘...③刘... III. ①微电机—设计—模拟②微电机—仿真系统 IV. TM38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 107942 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 字数 356 千字

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 25.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

微电子机械系统(Micro Electro Mechanical System, MEMS)是由机械、电子、光学及其他一些功能元件,集成在单片或多芯片上,构成可对声、光、热、磁、运动等自然信息进行感知、识别、控制和处理的微型智能系统。由于 MEMS 是一项极具发展前景的军民两用高技术,具有巨大的市场和学科带动性,很多国家投入了大量的人力和财力,它的出现将引发这些领域一场新的技术革命。

由于 MEMS 器件及系统与传统的加工不同,研究人员及生产商都非常需要一个功能强大易于使用的 MEMS 计算机辅助设计软件。通过 MEMCAD 和 FlumeCAD 软件,美国 Coventor 公司开发的针对 MEMS 的计算机辅助设计软件 Coventor Ware,拓展了原有软件的功能,成为业界公认的具备 System-level 和 Co-design 功能的专业化 MEMS 设计软件。采用 Coventor Ware 软件,能最大限度地缩短 MEMS 设计时间,能对 MEMS 器件参数进行前所未有的详细探寻,从而设计出最优的 MEMS 产品。

Coventor Ware 包括四部分软件模块:ARCHITECT、DESIGNER、ANALYZER 和 SYSTEM BUILDER,提供了 MEMS 产品设计过程所需的全部功能。软件配置灵活,可以根据用户具体应用、开发队伍规模和开发所处阶段进行针对性的配置。

全书共分 7 章,第 1 章主要是简单介绍新版的内容及安装指导,让读者领略 Coventor Ware 系统的新特性;第 2 章概括介绍了 Coventor Ware 系统的应用,让使用者对系统有一个全面的了解。第 3 章介绍了 ARCHITECT 的系统层仿真功能,包括对 Saber 使用的介绍;第 4 章主要介绍了 DESIGNER 中的分析预处理功能。第 5 章和第 6 章分别介绍了 ANALYZER 中的微机电分析和力学分析功能。第 7 章介绍了机电耦合求解器的功能。附录以微陀螺为例讲述了对其建模和系统级仿真的详细步骤和过程。

在本书的编写过程中,沈阳理工大学 CDA/CAM 技术研究与开发中心的硕士研究生黄书琴、王世军、王士伟做了大量的基础工作,在校验的过程中 Coventor 公司对初稿进行了细心和认真推敲的阅读,提出了改进意见,在此对他们表示衷心的感谢。

此外,Coventor Ware 软件是英语软件,为使读者阅读方便,本书严格按软件显示来介绍软件的功能,特此说明,请读者在阅读时注意。

由于作者水平有限,且编写时间仓促,书中难免有错误和疏漏,敬请读者批评指正。

编 者
2006 年 6 月

目 录

第 1 章 概述.....	1
1.1 新版本内容说明	1
1.2 文件协议	2
1.3 在操作系统下的安装说明	2
第 2 章 Coventor Ware 系统的应用	6
2.1 概述	6
2.1.1 主要模块	6
2.1.2 系统中的循环问题	9
2.2 设计方面所要考虑的问题	10
2.3 提高工作效率(Enhancing Productivity)	12
2.3.1 对执行的监控与管理	12
2.3.2 处理中应当注意的问题	14
2.4 系统设计协议	14
2.5 功能管理器	15
2.5.1 材料	16
2.5.2 加工工艺	17
2.5.3 Architect	17
2.5.4 设计器(Designer).....	18
2.5.5 分析器(Analyzer)	21
2.5.6 菜单的各项功能	22
2.6 窗口浏览	24
2.6.1 工程浏览器	25
2.6.2 模型/网格浏览器	26
2.6.3 存储求解结果	27
2.6.4 输出结果	31
2.6.5 消除记录目录	31
2.7 网格转换	32
2.7.1 网格转换文件说明窗口	33
2.7.2 网格转换边界条件设置窗口	33

2.8	MBIFS 文件的合成	36
2.9	输出网格转换后的模型	37
2.10	通用的按钮功能	38
2.11	文件和数据库的转换	39
2.12	文件的组织	40
2.12.1	系统资源文件	40
2.12.2	输入文件	41
2.12.3	输出文件	42
2.12.4	执行文件	42
2.12.5	学习文件	43
2.12.6	对文件命名的限制	43
2.12.7	目录结构	43
2.12.8	建立一个典型工程	44
第 3 章	Architect 介绍	46
3.1	Architect 综述	46
3.2	MEMS 仿真的系统级设计	46
3.2.1	系统级仿真的工具	46
3.2.2	系统级库	49
3.3	使用 Saber	50
3.3.1	Saber 简介	50
3.3.2	使用 Saber	50
3.3.3	仿真	62
3.3.4	Saber 参考	75
第 4 章	分析预处理	79
4.1	概述	79
4.1.1	功能	79
4.1.2	窗口描述	79
4.1.3	预处理术语	81
4.1.4	预处理流程	82
4.2	实体建模	82
4.3	实体命名	85
4.4	网格建立	86
4.5	网格设置	87
4.5.1	一般网格的介绍	87
4.5.2	Extruded Bricks	88

4.5.3	Manhattan 网格划分	91
4.5.4	Tetrahedron 网格划分	93
4.5.5	网格优化	95
4.5.6	曲率离散化误差	97
4.5.7	网格的删除或停止	98
4.5.8	面向分析的网格划分	98
4.6	模型导入导出	99
4.7	图标	100
4.8	菜单选项	103
4.8.1	文件(File)	103
4.8.2	编辑(Edit)	104
4.8.3	视图(View)	108
4.8.4	实体模型(Solid Model)	109
4.8.5	网格(Mesh)	110
4.8.6	工具(Tools)	112
4.8.7	帮助(Help)	117
第 5 章	微机电设计	118
5.1	分析窗口的使用	118
5.2	MemElectro 电容矩阵	120
5.3	准静电分析功能	121
5.3.1	准静电和静电	121
5.3.2	准静电的原理和证明	121
5.3.3	平行板示例	123
5.3.4	准静电结果	124
5.4	静电分析的参考内容	126
5.4.1	功能	126
5.4.2	分析的设置窗口	126
5.4.3	分析的边界设置窗口	131
5.4.4	MemElectro 的参数研究	134
5.4.5	分析的结果窗口	135
第 6 章	微结构分析	139
6.1	MemMech 的使用	139
6.2	MemMech 和有限元法	139
6.3	网格单元的选择	141
6.4	动力学	141

6.4.1	固有频率和模态形式	142
6.4.2	阻尼	143
6.4.3	单元选择	144
6.4.4	动力学的网格设计	144
6.5	力学机械分析参考	145
6.5.1	功能	146
6.5.2	力学机械分析设置窗口	146
6.5.3	分析边界条件窗口	147
6.5.4	MemMech 参数化研究	158
6.5.5	微结构分析结果窗口	159
第 7 章	CoSolveEM——机电耦合求解器	166
7.1	CoSolve 的使用	166
7.2	CoSolve 迭代求解	167
7.3	在 CoSolve 中设定轨迹	168
7.3.1	CoSolve 的临界分析指示器	168
7.3.2	不稳定的 CoSolve 结果	169
7.4	CoSolve 参考	170
7.4.1	CoSolve 功能介绍	170
7.4.2	CoSolve 设置窗口	170
7.4.3	CoSolve 边界条件窗口	173
7.4.4	状况监控器	176
7.4.5	CoSolve 分析结果窗口	176
附录	陀螺仪的设计与仿真示例	180
1.	Overview	180
2.	Data Required for this Tutorial	180
3.	Tutorial Objectives and Layout	181
4.	Gyroscope Operation	181
5.	Gyroscope Design Parameters	182
6.	Designing the Gyroscope-Schematic Creation	184
6.1	Schematic Creation Guidelines	184
6.2	Initialization	185
6.3	Place and Connect Parametric Component Symbols	187
6.4	Assign Properties to Placed Symbols	188
6.5	Add Additional Components	197
6.6	Set Design Variables	202

6.7	Final Schematic	202
7.	Layout Verification	203
8.	Architect Gyroscope Performance Analysis	206
8.1	DC Operating Point Analysis	207
8.2	DC Transfer(Sweep)Analysis	207
8.3	Small Signal AC Analysis	211
8.4	Sensitivity and Monte Carlo Analysis	216
8.5	Transient Analysis	223
8.6	AC Analysis; Determining the Detection Amplitude	227
8.7	Impact of Plate Curvature	229
9.	FEM Comparison	232
9.1	Naming of Faces, Conductors and Parts	232
9.2	Meshing	234
9.3	Modal Analysis	235
9.4	Pull-in Analysis	237

第 1 章 概 述

1.1 新版本内容说明

Coventor Ware 2005 新版本相对以前版本功能有了很多增强,在这里将对其特点和更新内容作简单的介绍,详细的内容可以在安装盘的 Release Note 中找到。

1. 可扩充的材料数据库

在可扩充的材料数据库的对话框里有一项新的功能,允许用户从其他软件或 .mpd 文件中导入所选择的材料。这样用户就可以在保持原有的数据库的基础上添加新材料,而不必重新设置整个数据库。

2. 版图编辑器

版图编辑器具有以下功能:

可以检查二维版图是否有效,并给予说明;

具有更多的热键绑定功能;

快捷的绘图功能;

新的角度模式,其范围为 0,90,180 和 270;

在帮助项 (Help) 中增加一项新的 Command list 命令,能列出所有有效的命令。

3. 输入输出功能

在模型\网格(Model\Mesh)对话框中,用户可以引入 PATRAN 文件到数据库中,也能够将 .mpd 文件和数据库以 SAT 格式输出。

4. 预处理器

1) 实体的网格划分

在 Coventor Ware 2005 版本中,实体模型的建立速度比以前的版本要快。实体的统计窗口能给出其长度、表面积和实体的体积等参数。这些数据能帮助用户判断在网格划分前是否需要进行相关的改动。

2) 网格划分

通过表面网格划分器,可将表面分成由四边形或三角形组成的表面。在 Extruded、Tetrahedron 和 Surface 的网格划分窗口选项里有 Small Edge Removal Threshold 选项,能帮助用户减少由边界过小而造成的划分过分精细。

3) 横截面查看器

预处理器具有查看横截面的功能。用户可以用一个横截面去截实体,并可以旋转横截面来查看横截面在模型中所截得的模型剖面。

5. 求解器

微机电耦合求解器具有对称的边界设置条件。这种边界条件允许用户在设计进行一

半时进行仿真,从而减少了对设计的要求,并能对模型进行更详细的求解。

微机械求解器含有多个预处理器。

1.2 文件协议

1)指导文件

该指导文件可以在多个不同的级别上使用。用户的每一项要求都会作为一个步骤在一个表中保留下来。很多情况下,额外的命令和显示窗口都会插入到表中。

2)屏幕图标

为了协调一致,操作系统里的图标在这里也做了相应的解释。用户所用的界面与 UNIX、Windows 2000 和 Windows XP 的操作平台几乎完全相同,仅在软件平台所用的窗口的边界和字体上略有不同。

3)字体协议

表 1-1 列出了 Coventor Ware 中用到的字体的协议。

表 1-1 字体协议

字体	功 能
加重	按钮名称
斜体	文件名称,路径名,图标名称,输入的对话框,菜单或下拉菜单
courier	命令行
下划线	对相关信息的超链接

4)图标

下面的图标表示了一些额外的信息和特殊的注释信息:



停止符号,高亮时显示用户要得到恰当结果必需要遵循的关键信息。



绿色箭头,高亮时示意当前的主题所需的信息。



灯泡符号,高亮时表明的是该主题的补充信息或指示用户关联到与该主题有关的部分。

1.3 在操作系统下的安装说明

该部分提供了在 Windows NT4.0、Windows 2000 和 Windows XP 操作系统下进行 Coventor Ware 安装的介绍。

1. 安装时所要检查的列表

安装前要想从 Coventor Ware 公司获得一些必需的 license 文件,可以发邮件到 license@coventor.com. 索取。

(1)根据用户所购买模块的不同,用户可以得到表 1-2 所列的几种 License 文件。

表 1-2 License 文件类型

License File	When Needed
coventor.lic	always
fluidics.lic	microfluidics solvers; MemCFD, NetFlow, SwitchSim, ReactSim
architect.lic	Architect

(2) 当接到 License 文件后, 可以将其存在一个目录下, 而不必对其进行编辑。

(3) 当你将安装盘放入光区内, 安装程序将自动打开。如果没有自动打开, 则可以双击光区中的 setup.exe 文件。

(4) 安装 Acrobat Reader。虽然 Acrobat Reader 对软件的运行不是必须的, 但是从 Function Manager 和其他窗口要进入在线帮助的话, 都要使用 Acrobat Reader。

2. 安装前的要求

在安装之前要确保在你的机器上已具有下列功能和程序:

(1) Acrobat Reader;

(2) TCP/IP networking 必须在系统中已安装好;

(3) 为了能阅读在线的一些文件, 需要安装 Reader 5.0 或更高的版本。该软件也包含在安装盘内。

可以按以下步骤安装:

(1) 将安装盘放入光驱中;

(2) 当安装程序打开后, 点击 Cancel;

(3) 在桌面上点击 My Computer;

(4) 打开光盘内的文件, 双击 AdobeAcrobatReader505.exe;

(5) 按照屏幕上所示步骤进行安装。

3. 对操作系统的要求以及与其相兼容的第三方软件

以下操作系统能够支持该软件:

(1) NT4.0 (service pack 6a);

(2) Windows 2000 (service pack 1, 2, 3);

(3) Windows XP (service pack 1)。

Coventor Ware 能与 Snopsys Saber 2003.6、EDS I-deas 8、I-deas 9m2、I-deas 10、ABAQUS 6.3 软件相兼容。

4. 对硬件的要求

以下为运行软件所必需硬件设置:

(1) Pentium II 450MHz 以上的内存;

(2) 512MB RAM;

(3) 具有支持 3D 绘图功能的软件, 并具有 OpenGL 的扩展名;

(4) 彩色显示器;

(5) 光驱;

(6) 4GB 以上的硬盘空间。

5. 安装步骤

该安装的步骤是一个直线形的过程：

(1)当你将安装盘 CD 放入光驱内,安装程序将自动打开。如果没有自动打开,则可以双击光驱中的 setup. exe 文件。

(2)在用户信息的窗口内,需要指明用户和使用单位的信息,可以设定该软件是否能为所有的用户使用,还是只能由该计算机的主人使用。

(3)选择你所需要的软件模块,选择的软件模块所需磁盘空间的大小在屏幕的左下角显示出来。下表有助于你做出合适的选择。

If you have licensed these bundles	Choose this option
Integrator(System Builder), Coventor Ware Complete, Coventor Ware Biochip Advanced, Coventor Ware Dispensing Advanced, Coventor Ware Inkjet	Everything Note if you have licensed Saber from Coventor, select the <i>Internal Saber</i> option, otherwise select <i>External Saber</i>
Any of Analyzer products+any optional Solvers, Coventor Ware Standard, Coventor Ware Turbo, Coventor Ware Biochip, Coventor Ware Dispensing	Designer+Analyzer
Coventor Ware Concept, Architect and any Architect Libraries	Designer+Architect Note if you have licensed Saber from Coventor, select the <i>Internal Saber</i> option, otherwise select <i>External Saber</i>
Designer	Designer only

需要注意的是这些选择包括运行工具、指导性文件和在线文件的程序。License Manager 要为软件的协议安装 FLEX 协议管理器,如果是第一次安装或是已有早期的版本,则必须选择 License Manager 选项。如果从服务器运行软件,而 License Manager 安装在另一个机器上,则不必再安装 License Manager,因此可以将协议管理器安装在服务器上。注意安装后要把旧版本的协议服务关闭,新的将被打开。如果选择了该项,那么在稍后的一个窗口里会要求用户提供协议文件的存储位置。

(4)Optional:指明安装的路径。在 Product Selection 窗口有一选项可以改变给定的默认的路径。这个默认的路径为 X:\Coventor\Coventor Ware 2005,而 X:就是拥有最大空间的磁盘。在此书中暂且称为 D 盘。要改变默认的路径,只要点击 change 再指定所想要安装的路径,但要确保该路径要有足够的空间存储临时文件,推荐保留 X:\Coventor\Coventor Ware2005 路径,这样在需要得到帮助时会容易得到技术支持。

(5)在接下来的窗口中,点击 Install 将把文件复制到指定的路径上,安装的进程也将给出。

(6)在接下来的窗口中,将询问用户是否有必备的协议文件或者是否需要从 Coventor Ware 公司得到许可。在安装过程中可能要求重启计算机。这则信息表明屏蔽已经

安装或是升级了 Windows Installer。重启计算机后将继续安装。但重启计算机后要登陆同一用户名,否则将终止安装。

(7)安装结束后,点击 Finish。

(8)如果没有要求重启计算机来开始执行协议文件的话,那么可以通过下列菜单执行协议文件 Start>Programs>Coventor>Coventor2005>License Manager。如果没要求重启计算机则可以直接执行软件。

第 2 章 Coventor Ware 系统的应用

2.1 概 述

Coventor Ware 系统中的使用流程以及各个模块间的相互关系如图 2-1 所示。

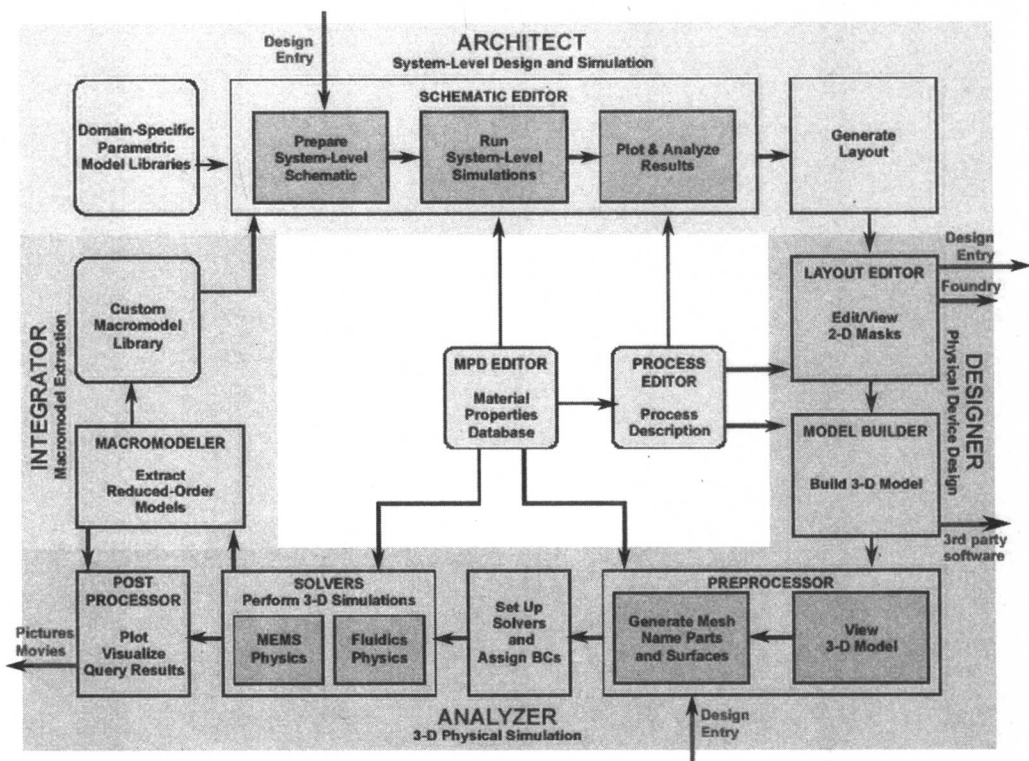


图 2-1 Coventor Ware 系统使用流程

2.1.1 主要模块

从功能上讲,Coventor Ware 系统主要包括以下几个组件:

- 1)Material Properties Database
为设计流程提供材料的数据库。

2) Process Editor

对设计的器件进行工艺模拟。

3) Architect

用系统级的方法对设计的 MEMS 器件系统结构仿真。这种方法对系统的参数模型、通用模型和用户自定义模型都适用。用户可以自行设计一个系统模型,再把仿真结果输出到二维版图编辑器里进行版图输出和进一步生成三维器件模型。

4) Designer

它是高效的前端设计工具,在二维版图编辑器中设计一个 MEMS 模型,并可自动生成三维实体模型。

5) Meshing

在实体模型的基础上创建三维的有限元网格,Coventor Ware 系统有几种网格划分的形式,如表面、压缩六面体、Manhattan 六面体、四面体。这种网格划分的结果是为 FEM 分析提供模型。

6) Analyzer Module

能设置边界条件并可选择一个或多个求解器进行 FEM 分析。求解的结果可以通过改变参数和反复循环进行后续的处理,或借助曲线和应用公式的形式为其他求解器所使用。

7) Integrator

在分析求解器的菜单中提供了几种模型供系统级仿真时使用。这些模型可用来创建弹簧、阻尼器、惯性元件或流体模型。

8) Visualizer

利用三维彩色图形界面浏览并分析求解器的结果,可以以 MPEG 的电影动画来演示模型的运动。

9) Query Manager

从求解器的运行中提取额外的数据并且以数表或图形的形式表现出来。

下面介绍各组件的主要功能。

1) 材料数据库

无论用户是用 Architect 进行系统的仿真或是用分析求解器进行 FEM 仿真,在 MEMS 设计的第一步都是申请一个材料数据库。在这个数据库里存储着设计所需的材料,也只有在这个数据库里的材料才能进入到工艺编辑器中。

2) 工艺编辑器

工艺编辑器允许用户创建一个仿真的流程来模拟生产 MEMS 器件的工艺过程。材料、掩模的名字以及沉积、腐蚀、轮廓在这个流程里以一个简单的沉积腐蚀工步队列来体现。从材料数据库选择材料,该库存储了各种材料以及材料辅助特性。

3) Architect

该工具主要完成 MEMS 的建模与仿真,即利用 Architect 模仿 MEMS 及工作环境,使设计者能够在相应的系统未制造前就能对其原型的性能进行模拟与仿真,以缩短 MEMS 产品的设计时间并能优化设计。

MEMS 的建模与仿真是通过分层进行的,本工具采用的是自顶向下的设计方法,即

设计者应首先决定系统的重要参数。在设计开始时,设计者不用考虑太多的工艺问题,一旦系统重要参数已经确立,这时需要设计者更多关注的是采用何种技术和工艺对所建的模型予以实现。在本软件中利用的是在 mpd 和加工工艺文件中的信息。如果不是用版图编辑器创建二维模型,利用 Architect 用户可以应用更高级的设计技巧为器件创建一个可以在 Saber 中仿真的系统模型。Architect 包括系统级上的交互式 Schematic 工作区,能完成更高级别的设计,还含有仿真软件来对用户设定的不同情况下的系统模型仿真,此外绘图工具能浏览和检测不同情况下的系统模型仿真的结果。仿真采用了结构化设计理念,即采用库的概念,将具有一定功能的器件作为基本元件,然后在具体的系统中将其组装起来,在本软件中用户可以使用公用库的部件,或机电、电磁、射频、光学、流体模型库,或用户自定义的模型以及以上几种模型的综合模型来创建系统模型。

利用 Architect,可以更快的对设计进行仿真,进而调整影响设计的参数。重新调整和设计后,可以把结果送到二维版图编辑器中。为了验证设计结果,可以利用分析求解器来建模、网格划分和有限元分析、仿真。

4)设计器

用户可以以多种方式进行 MEMS 设计。该设计器工具能用来从 Architect 分析中提取模型或从工艺文件和二维版图编辑器中创建 MEMS 器件。利用后一种功能,可以在工艺编辑器中定义掩模,并在二维编辑器中创建相应的物理层。Coventor Ware 系统的版图编辑器支持全视图,并且能在设计的所有范围之内浏览器件的功能。设计者可以使用独立的版图工具创建版图或是以 CIF、DXF、GDII 格式输出到编辑器中。

5)网格划分

该工具能将实体模型进行网格划分。划分后的结果可以用分析求解器进行多种 FEM 仿真。该功能是在预处理器中实现的。

其输入输出功能允许实体模型文件与第三方软件如 I-DEAS 的交互使用。在第三方软件网格划分的模型能够以标准的通用文件格式输入到 Coventor Ware 系统。

6)分析模块

在系统中包含对电子、机械、热力、流体和相互耦合分析的求解器。可以选用所需的求解器,通过相应的用户界面来建立求解器的配置参数和边界条件。求解器可以进行以下类型的求解和计算:

- (1)电容和电流的计算;
- (2)对有电介质层的模型的电容计算;
- (3)对有压力或力的作用下的变形量的计算;
- (4)对机电耦合的计算;
- (5)对使用全接触边界条件的计算;
- (6)对含有应力梯度边界条件的计算;
- (7)对固有频率的计算;
- (8)对 MEMS 部件的声学分析。

完整的求解可以用二维图形或表格的形式传给三维模型,可视化工具可以绘制求解结果的彩色图形,让用户看到压力的作用区,实体模型中热量的分布坡度,以及应用边界