



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

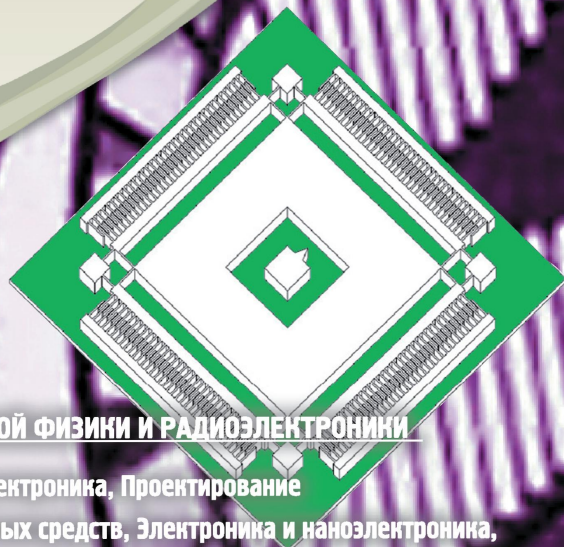
А. А. Левицкий  
П. С. Маринушкин

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОСИСТЕМ

Программные средства  
обеспечения САПР

Учебное  
пособие

УМО



**ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Электроника и микроэлектроника, Проектирование  
и технология электронных средств, Электроника и наноэлектроника,  
Конструирование и технология электронных средств

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сибирский федеральный университет

**А. А. Левицкий  
П. С. Маринушкин**

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОСИСТЕМ**

**Программные средства  
обеспечения САПР**

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов вузов по направлению 210200, 31 мая 2010 г.

Красноярск  
СФУ  
2010

УДК 004.42(07)  
ББК 32.973.2-018я73  
ЛЗ7

**Р е ц е н з е н т ы:**

Г. Н. Чурилов, д-р техн. наук, проф. зав. лабораторией АМИВ Института физики СО РАН;

Е. Н. Сухарев, канд. техн. наук, доц. кафедры «Электронная техника и телекоммуникации» Сибирского государственного аэрокосмического университета

**Левицкий, А. А.**

ЛЗ7      Проектирование микросистем. Программные средства обеспечения САПР : учеб. пособие / А. А. Левицкий, П. С. Маринушкин. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2010. – 156 с.  
ISBN 978-5-7638-2111-6

В пособии рассматриваются вопросы применения программных средств, используемых при проектировании устройств микросистемной техники. Приводятся сведения о специализированных системах проектирования, об универсальных САЕ- и других пакетах программ, обеспечивающих решение задач моделирования и разработки элементов микросистемной техники.

Рекомендовано студентам направлений подготовки бакалавров и магистров 210100 «Электроника и микроэлектроника» и 210200 «Проектирование и технология электронных средств» (ГОС ВПО 2); 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 211000 «Конструирование и технология электронных средств» (ФГОС ВПО).

**УДК 004.42(07)  
ББК 32.973.2-018я73**

ISBN 978-5-7638-2111-6

© Сибирский федеральный  
университет, 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Микросистемная техника (МСТ) является одним из наиболее активно развивающихся в последнее время научных направлений. Актуальность работ в данном направлении связана с тем, что МСТ обладает значительным прикладным потенциалом, что подтверждается большим объемом публикаций как в России, так и в ведущих странах мира. С развитием МСТ (в ряде зарубежных стран чаще используется аббревиатура МЭМС – «микроэлектромеханические системы» [6]) наблюдается тенденция к переходу от проектирования микроструктуры к проектированию микросистемы. По мере совершенствования технологических процессов и повышения производительности вычислительных средств разработчики все больше ориентируются на решение задач оптимизации устройств МСТ с точки зрения системы. Современные инструменты автоматизированного проектирования обладают функциональными возможностями, обеспечивающими решение таких задач.

Несмотря на то, что в развитых в техническом отношении странах мира издается большое количество учебной литературы по вопросам проектирования устройств МСТ, в нашей стране ощущается ее недостаток. Практически отсутствует литература, содержащая сведения общего характера о современных тенденциях развития соответствующих программных средств, в особенности применительно к подготовке специалистов в области решения задач анализа и синтеза микросистем как на схемотехническом и системном уровне, так и моделирования на физическом уровне. Предлагаемое учебное пособие призвано восполнить этот пробел.

Очевидно, что ограниченное по объему учебное издание, такое как данное пособие, не может и не должно вмещать в себя подробную информацию о множестве имеющихся программных средств, предназначенных для решения данных задач, связанных с разработкой микросистем. Поэтому в данном случае акцент был сделан на общих принципах и сравнительной характеристике программных средств. Более детально рассмотрены только достаточно известные пакеты – MEMS Tec, CoventorWare, IntelliSuite.

В пособии не рассматриваются программные средства, предназначенные для физического и технологического моделирования полупроводниковых микроэлектронных устройств, такие как Synopsys Sentaurus TCAD (ISE TCAD), Tsuprem, MicroTec, Silvaco TCAD.

Вместе с тем в пособии приводятся сведения не только о специализированных системах проектирования, но и о применении универсальных САЕ- и других пакетов, позволяющих решать задачи моделирования и разработки элементов микросистемной техники.

Авторы выражают благодарность А. А. Липуновой за помощь в подготовке части материалов пособия к изданию.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ.....	4
1.1. Элементы микросистемной техники как объекты моделирования.....	4
1.2. Численное моделирование.....	7
1.3. Моделирование с помощью схем замещения.....	9
1.4. Поведенческие модели элементов микросистемной техники.....	10
Заключение.....	12
Контрольные вопросы и задания.....	12
2. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ CAE-СИСТЕМЫ.....	13
2.1. ANSYS.....	14
2.2. COMSOL Multiphysics.....	25
2.3. ALGOR.....	34
2.4. COSMOSWorks.....	36
2.5. MATLAB \ SUGAR.....	42
2.6. Сравнительная характеристика CAE-пакетов.....	47
Заключение.....	48
Контрольные вопросы и задания.....	49
3. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ MEMS Pro.....	49
3.1. Общие сведения.....	50
3.2. Разработка электрической схемы устройства.....	57
3.3. Разработка топологического чертежа.....	61
3.4. Разработка технологического процесса.....	65
3.5. Создание трехмерной твердотельной модели.....	68
Заключение.....	69
Контрольные вопросы и задания.....	70
4. ПАКЕТ CoventorWare.....	70
4.1. Общие сведения.....	71
4.2. Главное диалоговое окно Function Manager.....	74
4.3. Разработка технологического процесса.....	75
4.4. Проектирование устройства на системном уровне.....	80
4.5. Разработка трехмерной модели устройства.....	83
4.6. Выполнение анализа в модуле Analyzer.....	88
4.7. Сравнительная характеристика MEMS Pro и CoventorWare.....	90
Заключение.....	91
Контрольные вопросы и задания.....	92
5. ПАКЕТ IntelliSuite.....	92
5.1. Концепция проектирования в пакете IntelliSuite.....	93
5.2. Основные компоненты пакета IntelliSuite.....	97
5.3. Разработка схемы. Модуль Synple.....	99
5.4. Разработка топологии. Модуль Blueprint.....	111
5.5. Разработка технологического процесса.....	116
5.6. Физическое моделирование.....	128
5.7. Экстракция и верификация моделей.....	139
5.8. Связь IntelliSuite с EDA инструментами.....	141
Заключение.....	142
Контрольные вопросы и задания.....	142
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	143
СПИСОК ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ.....	144
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	148