

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ВИРІШЕННЯ ТЕПЛОВИХ ЗАДАЧ В МІКРОСИСТЕМНІЙ ТЕХНІЦІ

Синявський Б. О.; Яременко Р. І.; Адаменко Ю. Ф., к.т.н.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Мікроелектромеханічні системи (МЕМС) об'єднують мікроелектронні та мікроемеханічні конструкції різного призначення, виготовлені з використанням технологічних процесів мікроелектроніки [1]. Значним класом МЕМС є пристрої, в основі роботи яких лежить проходження теплових процесів (термоактюатори та різноманітні термодавачі) [2,3], що широко застосовують у мініатюрних побутових пристроях, військовій, медичній, науковій та іншій спеціалізованій техніці. Їх робота базується на використанні терморезистивного (зміна питомого опору матеріалів під дією температури) та піроелектричного ефектів (електризація поверхні деяких кристалічних діелектриків при їх нагріванні або охолодженні); ефектів Зеєбека (виникнення електрорушійної сили між двома контактами різних провідників, які перебувають при різній температурі), Пельтьє (виділення або поглинання тепла на контактах двох провідників при проходженні через них електричного струму), Томсона (додатковий градієнт температури у напрямку протікання струму локально нагрітого провідника) та Нернста-Еттингсгаузена [4] (термомагнітний ефект, що спостерігається при поміщенні напівпровідника, в якому є градієнт температури, в магнітне поле).

При моделюванні теплових процесів в МЕМС необхідно врахувати особливості зазначених ефектів та особливості елементів на їх основі (терморезистор, елемент Пельтьє, термопара, піроелектрики тощо); мати можливість візуального моделювання та різні чисельні методи.

Сучасний ринок програмного забезпечення пропонує велику кількість різноманітних програмних продуктів орієнтованих на моделювання МЕМС: *MATLAB/Simulink*, *CoventorWare*, *MEMCAD*, *ANSYS*, *Algor*, *COMSOL*, *SUGAR*; та теплових МЕМС: *ANSYS Mechanical*, *COMSOL/HeatTransferModule*, *Autodesk/Algor*, *MATLAB/Simulink*, *ABAQUS*, *MEMCAD/MemETherm*, *CoventorWare/AnalyzerTurbo*, *SUGAR* та ін.

Метою даної роботи є визначення програмного продукту, який найкраще підійде для вирішення теплових задач в мікросистемній техніці. Для цього було проведено порівняльний аналіз їх можливостей: сумісність з операційною системою, можливість дво- та тривимірного (2D/3D) структурного моделювання, використовувані методи аналізу структур та їх параметри (метод скінчених елементів — МСЕ, метод скінчених інтегралів — МСІ, метод скінчених різниць — МСР, метод граничних елементів — МГЕ), врахування фізики режиму теплообміну, наявність бібліотек

готових елементів/структур/матеріалів та можливість використання моделей створених в інших програмних продуктах. Результати, для зручності, зведено до табл. 1.

Таблиця 1

Програмний Пакет	ANSYS	COMSOL	Autodesk (Algor)	Coventor Ware	MEMCAD	ABAQUS	SUGAR	MATLAB (Simulink)
Функції								
Підтримка ОС								
• Windows	+	+	+	+	+	+	+	+
• Linux	+	+	-	+	+	+	+	-
• MacOS	-	+	-	-	-	-	-	-
2D/3D моделювання	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	-/-
Математичний апарат:								
• MCE	+	+	+	+	+	+	-	-
• MCI	-	-	-	-	+	+	-	-
• MCP	-	-	-	-	+	-	-	-
• MGE	-	-	-	+	+	+	-	-
• інший							+	+
Тип вирішувача:								
• прямий;	+	+		+	+	+		+
• ітераційний;	+	+		+	+	+	+	+
• з розподіленою пам'яттю	+	-		+	+		-	
Види сітки:								
• двовимірні (N-кутні) N=	3, 4	3, 4	3	3, 4	3, 4	3, 4		
• тривимірні (N-гранні) N=	4, 6	4, 6		4, 6	4, 6	4, 6, 8		
• регулярні;	+	+		+	+	+		
• вільні	+	+		+		+		
• адаптивні	+					+		
Види теплообміну:								
• теплопровідність	+	+	+	+	+	+	+	+
• конвекція	+	+	+	+	+	+	+	+
• випромінювання	+	+	+	-	+	+		+
Стационарний/нестационарний теплообмін	+/+	+/+	+/+	-/-	+/+	+/+	+/+	+/+
Бібліотека елементів	+	+	+	+	+	+	-	+
Бібліотека матеріалів	+	+	+	+	+	+	-	-
Подання результатів:								
• візуальна модель	+	+	+	+	+	+	+	-
• графік	+	+	+	+	+	+	+	+
• таблиця	+	+	+	+	+	+		+
Можливість розробки технологічного процесу	-	-	-	-	+	-	-	-
Підтримка форматів								
• CAD-формати (DXF, GDS, VRML, ...);	+	+	+	+	DXF		-	-
• універсальні (ACIS, STEP, IGES, STL)	+	+	+	+	IGES	+	-	-
	PARA SOLID					VDA-FS		

Як бачимо, найбільший функціонал для моделювання теплових процесів пропонують програмні середовища *Abaqus* та *ANSYS*, хоча середовище *MEMCAD*, не сильно їм поступаючись, дозволяє змоделювати весь процес виробництва теплових MEMC, включаючи процес корпусування. Такі програмні засоби, як *MATLAB* та *SUGAR* допомагають зрозуміти фізику процесу. Для початківців найкраще підійде середовище *COMSOL*, що має значну бібліотеку готових прикладів та матеріалів.

Перелік посилань

1. Механцев Е.Б. Физические основы микросистемной техники / Е.Б. Механцев, И.Е. Лысенко — Таганрог: Издательство ТРТУ, 2004.— 54 с.
2. Лысенко И.Е. Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники / И.Е. Лысенко — Таганрог: Издательство ТРТУ, 2005. — 103 с.
3. Коноплев Б.Г. Компоненты микросистемной техники: учебное пособие./ Б.Г. Коноплев, И.Е. Лысенко — Таганрог: Издательство ТТИ ЮФУ, 2009.— 117 с.
4. Анатычук Л.И. Термоэлектрические преобразователи энергии / Л.И. Анатычук — Киев-Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. — 376 с.

Анотація

Представлені теоретичні основи MEMC, їх використання та області застосування. Розглянуто на яких ефектах базується робота теплових MEMC. Проведено порівняльний аналіз програмних продуктів, для вирішення теплових задач в мікросистемній техніці. Обґрунтовано вибір програмного середовища для вирішення поставлених задач.

Ключові слова: MEMC, термоактюатор, термодавач, *ANSYS*, *COMSOL*, *Algor*, *MATLAB/Simulink*, *ABAQUS*, *MEMCAD*, *CoventorWare*, *SUGAR*.

Аннотация

Представлены теоретические основы МЭМС, их использование и области применения. Рассмотрено на каких эффектах базируется работа тепловых МЭМС. Проведен сравнительный анализ программных продуктов, для решения тепловых задач в микросистемной технике. Обоснованно выбор программной среды для решения поставленных задач.

Ключевые слова: МЭМС, термоактюатор, термодатчик, *ANSYS*, *COMSOL*, *Algor*, *MATLAB/Simulink*, *ABAQUS*, *MEMCAD*, *CoventorWare*, *SUGAR*.

Abstract

The theoretical foundations of MEMS, their use and application. The effects, on which operation of thermal MEMS was based, were analyzed. The comparative analysis of software was conducted in order to solve thermal problems in microsystem technology. The choice of software environment for solving problems was substantiated.

Keywords: MEMS, thermoactuators, thermosensor, *ANSYS*, *COMSOL*, *Algor*, *MATLAB / Simulink*, *ABAQUS*, *MEMSAD*, *CoventorWare*, *SUGAR*.