

ПЕРЕДМОВА

Вперше створили германієвий транзистор Бардін, Шоклі та Браттейн (США) у 1947 р., а дещо пізніше в 1953 р. – Красілов (СРСР). У 1956 р. Кілбі створив першу інтегральну схему (ІС) – германієвий процесор, або чип, а в 1958 р. – фізик Нойс – кремнієву ІС (Нойс і Мур у 1968 р. заснували фірму “Intel” (скорочення англomовного терміна “*Integral Electronics*”). Ці перші, надзвичайно значимі успіхи, привели до подальшої лавиноподібної мініатюризації електроніки. Так, починаючи з часу створення кремнієвого процесора, складність ІС подвоювалась кожні два–три роки, вони зменшувалися до мікронних розмірів, а зараз – до нанометрів.

Функціональні та технологічні успіхи кремнієвої електроніки спричинили в недавньому минулому можливість мікромініатюризації не лише пасивної частини, але й інтеграції в єдиний кристал динамічної складової функціональної схемотехніки. Це мікро- та наномашини, рухомі конструкції яких складаються з мініатюрних шестерень, пружин тощо. Працюють ці мікромеханізми на енергії статичних розрядів, і в них актуальні атомарні сили та мікрорельєф поверхні кристала. Такі електронні пристрої називаються мікро- та нанелектромеханічними системами М(Н)ЕМС (аббревіатура з англ. М(N)EMS – *Micro- та Nanoelectromechanical Systems*). За означенням, М(Н)ЕМС– це інтегровані з процесорною технікою мікро- і наноелектронні мініатюрні пристрої з рухомими елементами, що утворюють єдину інтегровану систему. М(Н)ЕМС – це система не лише конструкцій, але і технологічних процесів (технологій), що використовуються для створення мікро- і наномашин. Теоретичні основи М(Н)ЕМС закладено в працях Фейнмана, Натансона, Петерсена, Заврацького і Лучиніна. Перша публікація К. Е. Петерсена “Кремній як механічний матеріал для інтегральних конструкцій” з’явилася в ІЕЕЕ в 1982 р. (Т. 70, № 5. – С. 5–49).

Сьогодні мікросистемна техніка (МСТ) – це окремий науково-технічний напрям. Його мета – створення в обмеженому просторі твердого тіла або на його поверхні багатофункціональних пристроїв у вигляді впорядкованих композицій областей із заданими складом, структурою та геометрією. Їхня статична чи динамічна сукупність забезпечує генерацію, перетворення, передавання енергії і руху в інтеграції з процесами відтворення, обробки, трансляції і збереження інформації під час виконання запрограмованих операцій та дій у необхідних умовах експлуатації. Нижче систематизовано структуру виробів та розробок МСТ.

Структура виробів і розробок МСТ

Клас об'єкта МСТ	Напрямок розробок
Мікроелектронні системи і машини	Мікромеханізми, мікроприводи, мікродвигуни
Оптико-механічні мікросистеми	Мікрооптика, оптико-механічні інтегральні схеми
Біотехнічні мікросистеми	Мініатюрні автономні системи для діагностики організму і заміни органів
Мікросистеми енергозабезпечення	Автономні мініатюрні джерела енергії, мікротурбіни, мікросистеми рекуперації енергії
Сенсорні мікросистеми	Мультисенсори, інтелектуальні сенсори, сенсори з оберненим зв'язком
Мікроаналітичні системи	Мініатюрні аналітичні прилади
Технологічні мікросистеми	Мікрореактори, мікроінструменти, мікрорегулятори, мікронасоси
Міні- і мікроробототехнічні системи	Автономні багатофункціональні діагностичні і технологічні мінісистеми для спеціальних умов експлуатації

Вперше MEMS сформувався як самостійний науковий напрям у 1987 р. на конференції з твердотільної мікродинаміки, що відбувалась в місті “Солоного озера” (*Salt Lake City*), штат Юта (США). За лінійними розмірами компонентів елементів інтегровані системи поділяють на: електромеханічні і мехатроніку (механічні компоненти), розміри яких перевищують 1 *мкм*; MEMS – 1–1000 *мкм* та NEMS з розмірами елементів 1–100 *нм*. До визначальних характеристик MEMS належать: розміри – від мікрона до декількох міліметрів; складність – від 1 деталі до мільйона; швидкість руху деталей – від 100 наносекунд до 1 секунди; інтегрованість – з мікропроцесорною технікою та оптикою; енергія для руху – електростатична. Розробляють M(N)EMS такі закордонні фірми, як Bosch (<http://www.bosch-sensortec.com/>), Analog Devices (<http://www.analog.com/>), STMicroelectronics (<http://www.st.com/>), Northrop Grumman Corporation (<http://www.northropgrumman.com/>), Silicon Sensing Systems (<http://www.sssj.co.jp/>), Charles Stark Draper Laboratory (<http://www.draper.com/>) та ін.

Сьогодні МСТ разом із біполярними інтегральними схемами (IC) успішно інтегрується в єдині вбудовані системні комплекси із широким спектром практичних можливостей функціональних реалізацій. В їх основу покладено фізичні, хімічні та медико-біологічні явища. Тому актуальним, зокрема для підготовки фахівців із проектування компонент і елементів МСТ, є знання

фундаментальних основ явищ, процесів та властивостей матеріалів, покладених в основу роботи її елементної бази та компонентного проектування функціональних систем із “інтелектуальними” можливостями.

Як свідчить науково-педагогічний досвід, знання основ фундаментальної фізики, одержані студентами в процесі, що передував викладанню спецкурсів, недостатні. Вони часто обмежені, спорадичні і відірвані від університетських вимог. Студенти не мають навичок належного застосування вищої математики та елементів комп’ютерного моделювання у фундаментальному курсі, незважаючи на те, що такі елементи впроваджуються в педагогічний процес вже на шкільному рівні.

Цього досягають із застосуванням різних програмних систем, зокрема символічної комп’ютерної математики MathCAD, Matlab тощо. Зауважимо, що оволодіння ними, на відміну від мов програмування Pascal, Fortran, не вимагає опанування додатковими дисциплінами. Тому одержання студентами фундаментальних знань із САПР технологій високого рівня, зокрема мікро- і наносистемної техніки, передбачає додаткове вивчення ними базових розділів сучасних досягнень фізики та статистичних методів моделювання. В основу функціонування (М,Н,О)ЕМС покладено такі процеси, як механіка і динаміка деформованого стану мікро- і наносистем, конфігураційна динаміка та статистичні закономірності системи з багатьма частинками; електромагнетизм зарядових динамічних систем; електромагнітні хвильові процеси в обмежених матеріальних середовищах; квантово-вимірні електронні закономірності тощо. Оскільки експериментальне вивчення таких явищ чи процесів зазвичай потребує значних матеріальних затрат, а інколи провести такі принципово неможливо, то застосовують імітаційний експеримент, коли дослідження виконують комп’ютерним моделюванням, поєднуючи його з натурним експериментом над окремими підсистемами. Сьогодні такі можливості стали реальністю завдяки створенню високопродуктивних інженерних прикладних програм Matlab, MathCAD, Skylab, Labview тощо.

Посібник складається із п’яти розділів. У першому розділі розглянуто оптимізацію базових знань з фізичних основ МСТ та статистичних методів аналізу. У другому – компонентний аналіз МСТ, у третьому – базові технології матеріалів і операції для МСТ. У четвертому розділі описано базові принципи САПР, основні програмні засоби проектування МСТ та інтелектуальні вбудовані системи на їх основі. У п’ятому розділі наведено практикум комп’ютерного моделювання базових явищ та процесів мікро- і наносистемної техніки.

Навчальний посібник ґрунтується на першоджерелах, наведених у списку літератури. Посібник буде корисним для студентів старших курсів, магістрів та аспірантів спеціальностей інформаційних технологій. Структура посібника

передбачас використання під час роботи попередніх видань авторів: Кособуцький П. С., Лобур М. В. Статистичне моделювання. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2013; Кособуцький П. С. Статистичні та Монте-Карло-алгоритми моделювання випадкових процесів у макро- і мікросистемах в MathCAD. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2014; Кособуцький П. С. Фізичні основи статистичної оптимізації мікро- і наносистемної техніки. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2016.

Працюючи з великим масивом джерел науково-технічної інформації та розуміючи, що інколи можуть виникати проблеми під час перезаписування файлів, автори передбачають наявність недоліків та огріхів, попри всі зусилля їх уникнути. Тому зауваження і пропозиції щодо покращення рукопису просимо надсилати за адресою: petkosob@gmail.com.

Автори