

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБКИХ И ГИБКО-ЖЕСТКИХ КОНСТРУКЦИЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ

Д.т.н. В.Е. Овчаренко<sup>1</sup>, д.т.н. Ефименко А.А.<sup>2</sup>, к.т.н. Е.В. Токарева<sup>3</sup>, Е.А. Чалая<sup>3</sup>

1. Государственное предприятие Научно-исследовательский технологический институт приборостроения, г. Харьков

2. Одесский национальный политехнический университет

3. Харьковский национальный университет радиоэлектроники

*Гибкие и гибко-жесткие конструкции являются перспективными решениями следующих поколений электроники, механики и других отраслей техники. В статье рассмотрены преимущества гибкости и некоторые реальные устройства.*

*Гнучкі та гнучко-жорсткі конструкції є перспективними рішеннями наступних поколінь електроніки, механіки та інших галузей техніки. У статті розглянуті переваги гнучкості та деякі реальні пристрої.*

*Flexible and rigid-flexible design solutions are promising next generation electronics, mechanics and other fields of engineering. The article describes the advantages of flexibility and some real devices.*

**Ключевые слова:** гибкие, гибко-жесткие компоненты элементы, пленочные структуры, управляемая форма, микробалки, мембраны, матрицы гибких элементов, микроманипулятор, вибрирующее кольцо, микродозатор.

### Введение

Микроминиатюризация по-прежнему остается одним из основных направлений развития электронной техники. Уменьшение латеральных размеров и толщины компонентов и несущих конструкций обеспечивает снижение габаритно-массовых характеристик аппаратуры, способствует получению более рациональной компоновки и улучшению электрофизических параметров.

Многokратное уменьшение толщины конструктивной основы узлов и блоков РЭА – плат печатного монтажа, микросхем и микросборок – известно давно в виде гибко-жестких и гибких монтажных оснований на пленочном носителе, в том числе многослойных. Гибкие носители используются и для размещения кристаллов микросхем высокого уровня интеграции. Широко востребованы гибкие конструкции в мобильных устройствах в виде гибких компонентов, межсоединений, шлейфов, антенн, сенсорных экранов, интеллектуальных сенсоров, корпусов. Пленочные материалы используются для защиты электрического монтажа, герметизации и изоляции, изготовления пассивных (тензорезисторы, гигристоры) и активных электронных компонентов (светодиоды, полупроводниковые лазеры, сверхтонкие кристаллы (20 –

50 мкм) и другие конструкции с использованием графена углеродных нанотрубок (УНТ), перовскитов)..

При этом гибкость не снижает прочность конструкции и делает ее более технологичной.

Гибкость в противоположность обычному методу упрочнения за счет увеличения размеров или прочности используемых материалов обеспечивает распределение нагрузки, сохраняя напряжения в материале в пределах упругой деформации. Методы снижения напряжений могут быть различными: путем локализации области напряжений, введения дополнительных рабочих участков для распределения нагрузки, изменения конфигурации устройства, формы [1]. В целом, гибкость снижает материалоемкость поэтому позволяет использовать более качественные материалы.

В условиях микросистемной техники (МСТ) гибко-жесткие и гибкие конструкции обеспечивают возможность исключения сборочных операций, сохранение групповых методов изготовления на протяжении всего технологического цикла [2].

Наиболее распространенными компонентами МСТ являются: консольные балки, мембраны, торсионы, емкостные датчики, пьезопреобразователи, кантелеверы, встречно-штыревые системы, плоские и спиральные пружины, механические переключатели, клапаны, вентили, распределители потоков, зонды атомных, туннельных и магнитных сканирующих микроскопов, оптические и электрические соединители и переключатели.

Отдельно нужно рассматривать гибкие чувствительные элементы многочисленных интеллектуальных сенсоров: механических, акустических, оптических, лазерных, электрических, электромагнитных, электрохимических, спектрофотометрических и других, отличительными особенностями которых является способность исключить действие влияний температуры, влаги и других дестабилизирующих факторов.

Также важными являются гибкие компоненты в виде газовых и жидкостных сред, потоков, образующих направление флюидики и составляющих до 20 – 30% общего объема продаж МСТ.

Микроробототехника составляет следующий важный сектор гибких устройств (конструкций), быстро развивающийся и перспективный как множество объектов двойного назначения. Рой пчел под управлением механических предводителей, стаи саранчи и биоподобных обитателей морских, сухопутных и

воздушных сред создаются во многих странах мира. Гибкие конструкции подобных объектов в первую очередь копируют аналоги живой природы.

Перечисление полезных гибких структур можно продолжать еще, но остановимся на ряде уже упомянутых, заметив, что общей теории создания и расчета структур, подобных живым существам подобного рода не существует.

Консольные микробалки могут использоваться в качестве чувствительных элементов для измерения различных сил: веса (от атомных величин до макрозначений), электростатических напряжений, тепловых величин (вплоть до температур инфракрасного излучения  $\sim 10^6$  градуса), частоты колебаний, анализа газовой среды, измерения шероховатости и структуры поверхности в кантилеверах АСМ, ТСМ).

Изгиб балки контролируется либо путем измерения частоты колебаний, либо величины деформации по сигналу тензодатчика.

Резонансная частота колебаний балки  $\omega_0$  рассчитывается по формуле:

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m},$$

где  $k$  – жесткость балки;

$m$  – колеблющая масса.

Учитывая, что жесткость и чувствительность балки как датчика связаны равенством  $k = \frac{1}{S}$ , имеем:

$$msf_0^2 = const.$$

Для каждого типа упругих чувствительных элементов существует инвариант, связывающий массу, чувствительность  $S$  и частоту собственного резонанса. Задав одну из трех величин можно менять другую величину путем изменения третьей. Например, массы, зависящей от конструкции.

Аналогичные инварианты имеют мембраны и балочно-мембранные конструкции.

Плоские пружины в виде консольной балки обладают жесткостью:

$$k = \frac{Ehb^3}{4l^3},$$

где  $E$  – модуль упругости Юнга;

$h$  – толщина балки;

$b$  – ширина;

$l$  – длина (плоскость изгиба балки  $b \times l$ ).

Отдельные участки балок можно комбинировать путем последовательного и (или) параллельного соединения для изменения жесткости, соединяя их недеформируемыми перемычками.

К достоинству микробалок следует отнести их высокое быстродействие.

Число Коши  $C_a = \frac{\rho}{E} \omega_0^2 l^2$  определяет соотношение инерционных сил упругости твердого тела

( $\rho$  – плотность материала). При неизменном значении

$$C_a \text{ (условие подобия систем) } \omega_0 \sim \frac{1}{l}.$$

С уменьшением  $l$ , частота собственного резонанса  $\omega_0$  (и быстродействие) растет.

Интересно использование УНТ (углеродной нанотрубки) в качестве наконечника кантилевера. Несмотря на высокую жесткость УНТ  $T = 1,28 - 1,80$  ТПа (почти в десять раз больше, чем у стали) из-за малой толщины нанотрубки она очень упруга при изгибе.

Отклонение  $\Delta z$  пустого цилиндрического стержня длиной  $l$  и внутренним радиусом  $r$ , а наружным  $r_1$ , под воздействием силы  $F$ , приложенной к закрепленному концу трубки, равно:

$$\Delta z = \frac{Fl^3}{3EI},$$

где  $I$  – момент инерции сечения стержня, равный  $(r_1^4 - r_0^4)\pi/4$ .

Толщина стенки УНТ равна примерно 0,34 нм;  $I$  – очень мал. Нанотрубка легко гнется, но не ломается при изгибе, и выпрямляется без повреждений [3].

Используя свойство нанотрубок изгибаться под действием напряжения, можно создать ЗУ с высокой плотностью размещения контактов. При подаче напряжения на УНТ она входит в контакт с элементом ЗУ и находится в таком состоянии даже при отключении напряжения. Для отключения на УНТ нужно подать напряжение обратной полярности [4]. В результате будет достигнут теоретический предел плотности записи информации (порядка одного бита на молекулу).

Открытая нанотрубка обладает капиллярными свойствами, т.е. она втягивает в себя вещества и может использоваться как микроскопические контейнеры для хранения или перевозки химических или биологически активных веществ: ядовитых газов, компонентов топлива и даже расплавленных металлов.

Емкостные датчики, преобразователи, электростатические двигатели в МСТ используют электрическое взаимодействие подвижных электродов на гибком подвесе (плоских пружинах) и являются эффективными средствами управления датчиками, приводами, трансдюсерами энергии.

Гибкая зеркальная микромембрана может использоваться в качестве чувствительного элемента оптического резонатора для измерения давления крови в легочных артериях, внутричерепного давления [3, 11].

Гибкое оптическое волокно вводит исследуемый объем монохроматическую световую волну, которая в результате многократного отражения образует интерференционную картину, зависящую от прогиба мембраны, интенсивность обратного отражателя зависит от внешнего давления на мембрану.

Совместное использование различных сред в качестве подвижных элементов, элементов переменной

формы позволило создать высоконадежные устройства нового принципа действия: струйные печатающие головки принтеров, бесконтактное считывание информации с жестких магнитных дисков, наноимпринтинг с использованием давления через воздушную прокладку (air cushion pressing), а также контактирование в многозондовых подключающих устройствах [5, 8], микродозировочные устройства и жидкостные и твердотельные реактивные микродвигатели.

В этих технологиях используются специфические свойства газовых и жидких сред создания равномерного давления во всех точках замкнутого объема, подъемной силы при обтекании несимметричных поверхностей и др.

Высокочастотные компоненты МЭМС: линии передач, антенны, соединители и другие облегчают микроминиатюризацию, комфортность, функциональные возможности мобильных устройств, снижают стоимость аппаратуры [6].

Разработки новых малодфектных органических материалов для электроники прогнозируют получение полупроводниковых приборов с электрофизическими свойствами, превосходящими традиционные приборы [7], а также защиту от радиационных воздействий.

В робототехнике развиваются различные направления, использующие гибкие структуры:

- управляемые биологические системы (Controlled Biological Systems);
- биоподобные системы (Biometric Systems);
- распределенные робототехнические системы (Distributed Systems).

Живые биологические гибкие системы имеют сложные и уникальные способности взаимодействия с окружающей средой и могут использоваться путем управления, тепловыми, химическими, физическими методами, внедрением в них управляющих материалов или устройств.

Биоподобные микромеханические устройства имитируют мягкостные существа с их методами передвижения, не использующими жесткий каркас, основу.

Такие микророботы востребованы в исследованиях труднодоступных мест, узких плоскостей, коробов, труб, коллекторов, дна и толщи воды.

#### Выводы

Гибкие и гибко-жесткие конструкции и различного назначения, различных принципов действия и конструктивного исполнения достаточно распространены и решают задачи электронных, механических систем, микросистемной техники, робототехники. Их использование в перспективе только увеличится [12].

В микросистемной технике гибко-жесткие структуры обеспечивают исключение сборочных операций, упрощают изготовление изделий.

Возможности гибких компонентов станут шире за счет использования особенностей жидких и газовых сред.

Использование гибких механизмов целесообразно во многих существующих устройствах.

Необходимы исследования упругих свойств существующих и разработка новых материалов для обеспечения необходимой надежности гибких конструкций.

Требуется разработка теоретических основ проектирования гибко-упругих механизмов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сридхар Кота конструкции переменной формы [Текст]/ Кота Сридхар//– НТЖ «В мире науки», – 2014.– № 7-8, С.82-90.
2. Семенец В. В. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології Навчальний посібник. [Текст]/ В. В. Семенец, І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін / Харків «Копанія СМІТ», 2011. 416 с.
3. Пул, Ч. Нанотехнологии [Текст] / Ч. Пул, Ф. Оуэнс. - 3-е изд., исправл. и доп. - М. : Техносфера, 2007. - 376 с.
4. Дьячков, П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок [Текст]/ П.Н. Дьячков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011 -488 с.
5. Палагин В. А. Многозондовые подключающие устройства для контроля коммутационных плат и электронных компонентов / В. А. Палагин, И. Ш. Невлюдов, Е. А. Разумов-Фризюк, И. В. Жарикова // Материалы 7 международн. симпозиума «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». – 2012 – Т.1, М. РАН., С. 186 – 194.
6. Варадан, В. Высокочастотные МЭМС и их применение [Текст]: пер. с англ. / В. Варадан, К. Виной, К. Джозе/ М.: Техносфера, 2004. - 528 с.
7. Кобринский, В.М. Новые органические материалы для электроники будущего [Текст]/ В.М. Кобринский// НТЖ «В мире науки», – 2014.– № 7-8, С.93-97.
8. Теслюк, В.М. Автоматизація проектування мікроелектромеханічних систем на компонентному рівні [Текст]/ В.М. Теслюк, П.Ю. Денисюк//Львів, Видавництво Львівської політехніки, 2011. –192 с.
9. Huan Tan/ Current Status of Nanonex Nanoimprining Solutions [Text]/ Tan Huan, Lin Shu Kong, Ming Tao Li// Nanonex Corp, USA, 08558,2003/41 p.
10. Ковальчук, М.В., Пятый элемент конвергенции [Текст]/ М.В. Ковальчук// НТЖ «В мире науки», – 2015.– № 11, С.108-111.
11. И.Д. Войтович Интеллектуальные сенсоры, [Текст]/И.Д. Войтович, В.М. Корсунский «Интернет-университет информационных технологий», Бином, Лаборатория знаний, 2015. – 624 с.
12. Овчаренко В.Е, Токарева Е.В., Кононенко Н.В., Перспективные направления развития микросистемной техники, [Текст]/ НТЖ «Технология приборостроения».-Х.: 2015. №2., 14-16 с.