

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 05.05.2022 22:37:13
Уникальный программный ключ:
0b817c114e6668abb1375f1426d70e5f1e11eabb573e943164e485165a56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по учебной работе
Локтионова О.Г.
2015г.



МИКРО- И НАНОДВИЖИТЕЛИ

Методические указания по выполнению
самостоятельной работы
для студентов направления
«Нанотехнологии и микросистемная техника»

Курск

УДК 537.9: 537.62

Составители: П.А. Безмен, А.С. Яцун, Е.Н. Политов

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *А.Е. Кузько*

Микро- и нанодвижители: методические указания по выполнению самостоятельной работы для студентов направления «Нанотехнологии и микросистемная техника»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: П.А. Безмен, А.С. Яцун, Е.Н. Политов. Курск, 2015. 23с., табл. 5. Библиогр.: с. 23.

Изложен план проведения занятий по дисциплине «Микро- и нанодвижители», методика формирования в рамках данной дисциплины профессиональных компетенций, студентов, обучающихся по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника», а также вопросы для самостоятельного рассмотрения.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утверждённой учебно-методическим объединением (УМО).

Предназначены для студентов направления «Нанотехнологии и микросистемная техника» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1\16
Усл.печ.л. .Уч.изд.л. .Тираж 50 экз.Заказ. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94.

Содержание

Планируемые результаты обучения по дисциплине «Микро- и нанодвижители»	4
1 Общие сведения о микро- и нанодвижителях	5
2 Основные характеристики микро- и нанодвижителей	7
3 Устройства микроэлектромеханики и микромашины	8
4 Микроэлектромеханические системы	10

Планируемые результаты обучения по дисциплине «Микро- и нанодвижители»

Целью изучения дисциплины «Микро- и нанодвижители» является формирование у студентов базовых знаний об эффектах и процессах, лежащих в основе функционирования микромеханических и микроэлектромеханических систем в элементах с микронными и нанометровыми размерами, способами управления их параметрами, приемами эксплуатации, при создании элементной базы микро- и наносистем.

Основными задачами изучения дисциплины являются: формирование представлений об основных тенденциях развития современной микросистемной техники, классификации микроэлектромеханических систем, областях их применения; изучение классификации и области применения микро- и нанодвижителей; изучение физических процессов, используемых в микро- и нанодвижителях;

Процесс изучения дисциплины «Микро- и нанодвижители» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с учебным планом и федеральным государственным образовательным стандартом по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника»:

1 Общие сведения о микро- и нанодвижителях

Общие теоретические сведения

Микроэлектромеханические системы (MEMS, MST, микромашины) — устройства из миниатюрных механических компонентов, интегрированных с микроэлектроникой, которые можно получать методами стандартной микрообработки.

Обычно MEMS делят на два типа: **сенсоры** - измерительные устройства, которые переводят те или иные физические воздействия в электрический сигнал, и **актуаторы** (исполнительные устройства) - системы, которые занимаются обратной задачей, то есть переводом сигналов в те или иные действия. Данные системы получают путем комбинирования механических элементов, датчиков и электроники на общем кремниевом основании посредством технологий микропроизводства. Все элементы могут быть реализованы в виде единого изделия, причем сразу десятками или сотнями, как микросхемы на кремниевой пластине.

Микромашины превосходят макроскопические аналоги по эффективности, **в том числе** экономической, обычно производятся хоть и по не слишком дешёвым и немного модифицированным, но отработанным кремниевым технологиям или же на основе полимеров. Для особых целей в ход идут металлы и керамика — например, устойчивый к биокоррозии нитрид титана (TiN) идеален при производстве биочипов, контактирующих со средами организма.

Обсуждаемые вопросы:

Классификация электромеханических преобразователей.

1. Основные понятия и определения микроэлектромеханических систем
2. Основные сведения о микроэлектронике
3. Основные сведения о микромеханике
4. Основные типы МЭМС
5. Применение МЭМС-актуаторов:
 - подвижные микрозеркала
 - микроклапаны для контроля потока жидкостей или газа,
 - микронасосы,
 - элементы головок струйных принтеров для скоростной печати (Memjet),
 - хирургические микроинструменты,

- микротранспортеры.
6. Способы и технологии производства МЭМС

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Классификация электромеханических преобразователей.
2. Законы классической электромеханики.
3. Виды механических нагрузок.
4. Эффекты масштабирования в МЭМС. Масштабирование геометрических размеров и механических систем.
5. Масштабирование температурных и флюидных систем.
6. Масштабирование электрических систем. Свойства материалов при масштабировании.
7. Новые физические явления при масштабировании.
Вычислительные проблемы при масштабировании.

2 Основные характеристики микро- и нанодвижителей

Общие теоретические сведения

Основные динамические характеристики микроэлектромеханических систем:

- коэффициент преобразования МЭМС;
- неустойчивость коэффициента преобразования при изменении температуры;
- линейность коэффициента преобразования;
- ток потребления МЭМС;
- значение смещения нуля и неустойчивость смещения нуля;
- динамические характеристики МЭМС (полоса пропускания).

Обсуждаемые вопросы:

1. Основные динамические характеристики МЭМС:
 - коэффициент преобразования МЭМС;
 - - неустойчивость коэффициента преобразования при изменении температуры;
 - - линейность коэффициента преобразования;
2. Эффекты демпфирования в МЭМС
3. Основные методы и способы определения динамических характеристик МЭМС

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Виды механических нагрузок.
2. Динамические свойства элементов МЭМС. Затухающие и вынужденные колебания.
3. Механизмы демпфирования в МЭМС. Вязкое демпфирование.
4. Модели демпфирования в МЭМС. Демпфирование с выдавливанием слоя и со скользящим слоем.

3 Устройства микроэлектромеханики и микромашины

Общие теоретические сведения

Пьезоэлектрическими микродвигателями (ПМД) называются двигатели, в которых механическое перемещение ротора осуществляется за счет пьезоэлектрического или пьезомагнитного эффекта.

Отсутствие обмоток и простота технологии изготовления не являются единственными преимуществами пьезоэлектрических двигателей. Высокая удельная мощность (123 Вт/кг у ПМД и 19 Вт/кг у обычных электромагнитных микродвигателей), большой КПД (получен рекордный до настоящего времени КПД = 85%), широкий диапазон частот вращения и моментов на валу, отличные механические характеристики, отсутствие излучаемых магнитных полей и ряд других преимуществ пьезоэлектрических двигателей позволяют рассматривать их как двигатели, которые в широких масштабах заменят применяемые в настоящее время электрические микромашины.

Известно, что некоторые твердые материалы, например, кварц способны в электрическом поле изменять свои линейные размеры. Железо, никель, их сплавы или окислы при изменении окружающего магнитного поля также могут изменять свои размеры. Первые из них относятся к пьезоэлектрическим материалам, а вторые - к пьезомагнитным. Соответственно различают пьезоэлектрический и пьезомагнитный эффекты.

Пьезоэлектрический двигатель может быть выполнен как из тех, так и из других материалов. Однако наиболее эффективными в настоящее время являются пьезоэлектрические, а не пьезомагнитные двигатели.

Существует прямой и обратный пьезоэффекты. Прямой - это появление электрического заряда при деформации пьезоэлемента. Обратный - линейное изменение размеров пьезоэлемента при изменении электрического поля. Впервые пьезоэффект обнаружили Жанна и Поль Кюри в 1880 году на кристаллах кварца. В дальнейшем эти свойства были открыты более чем у 1500 веществ, из которых широко используются сегнетова соль, титанат бария и др. Пьезоэлектрические двигатели "работают" на обратном пьезоэффекте.

Обсуждаемые вопросы:

1. Понятие о пьезоэффекте
2. Прямой и обратный пьезоэффект
3. Основные характеристики и свойства пьезоэффекта
4. Пьезоэлектрические микроактуаторы
5. Принцип работы микродвигателей на пьезоэффекте
6. Конструкции пьезоэлектрических микродвигателей
7. Преимущества и недостатки пьезодвигателей

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Достоинства и недостатки пьезоэлектрических преобразователей.
2. Физическое и математическое описания эффекта пьезоэлектричества.
3. Коэффициент электромеханической связи.
4. Модель пьезоэлектрического балочного актюатора (пьезоэлектрический биморфный элемент).
5. Свойства пьезоэлектрических материалов.
6. Пьезоэлектрические акселерометры балочного и мембранного типов.
7. Пьезоэлектрические акустические сенсоры балочного и мембранного типов.
8. Полимерный пьезоэлектрический тактильный сенсор. Пьезоэлектрический датчик скорости потока.
9. Линейные пьезоэлектрические микроактюаторы. Пьезоэлектрический шаговый двигатель.
10. Биморфный пьезоэлемент. Пассивный и активный биморфные пьезоэлементы.
11. Пьезомагнитное преобразование энергии. Виды материалов. Коэффициент магнитомеханической связи.
12. Пьезомагнитный биморфный элемент. Примеры.

4 Микроэлектромеханические системы

Обсуждаемые вопросы:

1. Основы теории классической электродинамики
2. Понятие об электрических микродвигателях
3. Электростатические сенсоры и актуаторы
4. Электромагнитные преобразователи
5. Электродинамические актуаторы
6. Конструкции электромеханических микродвигателей
7. преимущества и недостатки электромеханических микродвигателей

Вопросы для самостоятельного рассмотрения:

1. Достоинства и недостатки электростатических преобразователей.
2. Принцип работы и виды электростатических микродвигателей.
3. Скребущий шаговый микродвигатель. S-образный электростатический актюатор.
4. Электростатический сегнетоэлектрический планарный двигатель.
5. Электростатический зарядовый микроактюатор. Электростатический мускул. Встречно-штыревой актюатор для больших смещений.
6. Принцип работы электростатического микронасоса.
7. Принцип работы DLP-проекторных систем.
8. Принцип работы GLV-проекторных систем.
9. Емкостной МЭМС микрофон.
10. Емкостные акселерометры. Конструкции и принцип работы.
11. Принцип работы одноосного МЭМС гироскопа.
12. Принцип работы двуосного МЭМС гироскопа.
13. Достоинства и недостатки электромагнитных преобразователей. Электромагнитные силы.
14. Магнитное и магнито-электромагнитное преобразование энергии.
15. Электродвигатель и генератор постоянного тока.
16. Генератор переменного тока. Обратная ЭДС. Использование катушек индуктивности с сердечником. Универсальный двигатель.
17. Двигатель переменного тока. Синхронный, асинхронный и трёхфазный двигатели.

18. Электромагнитные актюаторы. Магнитоэлектрический двигатель. Магнитный балочный актюатор.
19. Электромагнитный торсионный актюатор. Двухосный электромагнитный торсионный актюатор.
20. Двухнаправленный магнитный балочный актюатор. Бистабильный магнитный актюатор.
21. Электростатические силы при постоянном напряжении. Электростатические силы при постоянном заряде.

