

УДК 00

Исследование динамических характеристик теплового микроэлектромеханического актюатора

10, сентябрь 2012

Бойко А. О., Козлов Д. В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, ОАО «Российские космические системы»

МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

Введение

Тепловой микроэлектромеханический актюатор - устройство, преобразующее энергию в управляемое движение или механическое перемещение и имеющее размеры от нескольких квадратных микрометров до нескольких квадратных сантиметров. Эти устройства занимают одну из главенствующих позиций среди всех микроэлектромеханических изделий, ввиду широкого разнообразия выполняемых ими функций и возможности их использования во многих областях современной науки, техники и быту [1].

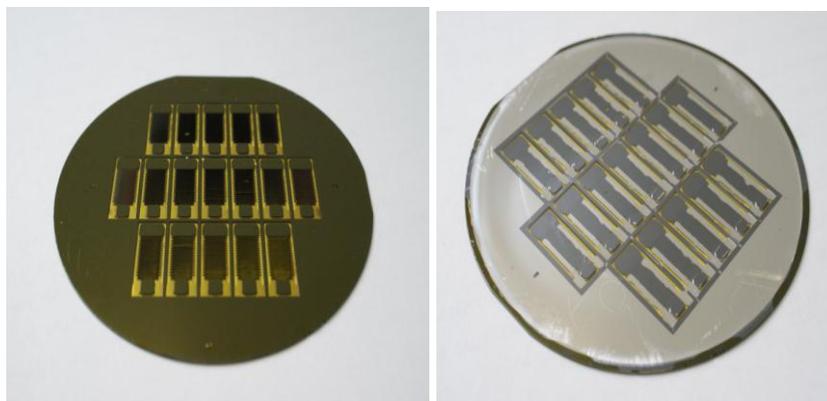


Рис. 1 - Пластина с микроэлектромеханическими актюаторами.

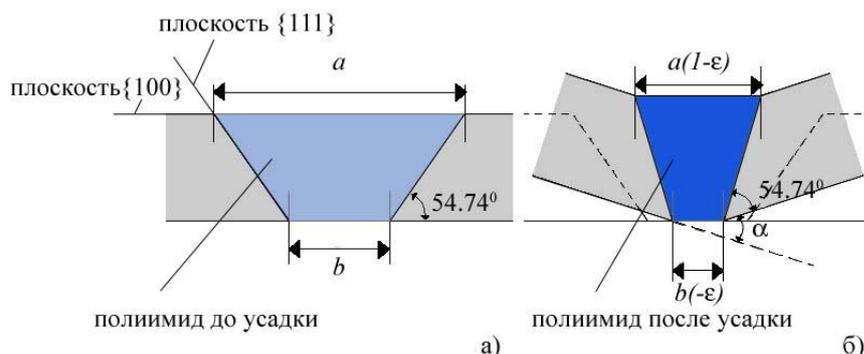


Рис. 2 - Конструкция (а – до деформации, б – после деформации) актюатора с V-образными полиимидными канавками [2]

В исходном состоянии микроэлектромеханический актюатор представляет собой изогнутую консольную биморфную балку, выполненную в монокристаллической кремниевой пластине (рис. 1), со сформированными V-образными канавками, заполненными полиимидом (рис.2). При подаче разности потенциалов на алюминиевые проводники, имеющие с кремнием электрический контакт, за счет теплового расширения кремния и полиимида, различий в их ТКЛР, актюатор отклоняется от исходного положения, причем угол отклонения тем больше, чем выше температура. [3] В связи с этим важной задачей является определение точной зависимости угла отклонения от температуры на поверхности устройства, а также температуры от времени.

Исследование динамических характеристик теплового микроэлектромеханического актюатора

Представлены результаты исследования динамических характеристик микроэлектромеханического актюатора. Экспериментально установлена зависимость изменения температуры на поверхности устройства и угла его отклонения во времени при различных электрических напряжениях. Измерения выполнялись с использованием стенда на основе высокоточного пирометра, гониометра и установки, генерирующей входной сигнал на актюаторе. В течение двух минут на актюатор поочередно подавались напряжения в 3, 6, 9, 12 и 15 В. и измерялись температурные временные зависимости. Графические зависимости представлены на рисунке 2.

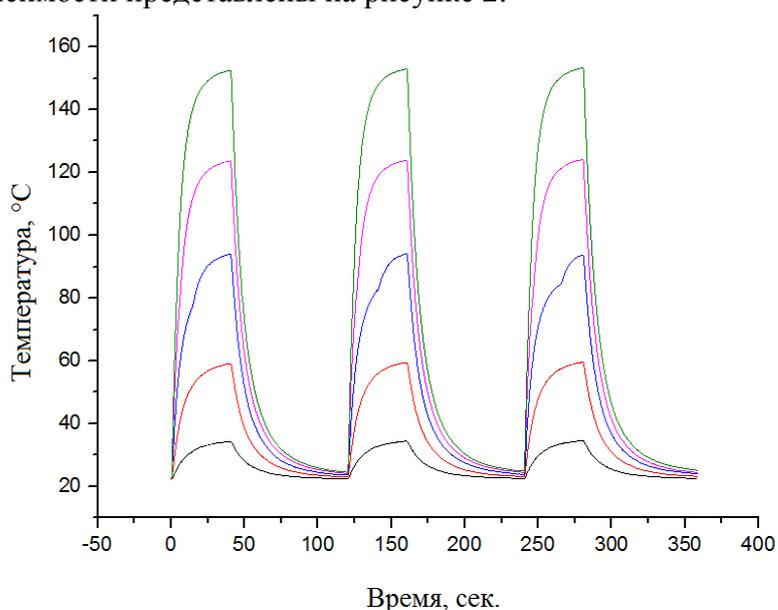


Рис. 2 - Зависимость температуры на поверхности актюатора во времени

Как видно, с увеличением значения электрического напряжения, подаваемого на актюатор, происходит рост температуры на устройстве. Начало каждого измерения проходило при нормальных условиях (22-23 °C). В зависимости от величины подаваемого на устройство напряжения, температура поднималась в течении 40 секунд эксперимента, причем, чем выше это напряжение, тем выше температура. Установлены максимумы нагрева актюатора при напряжениях 3, 6, 9, 12 и 15 В. Этим значениям соответствуют величины температур 35, 59, 94, 124 и 153 °C. Погрешность характеристик отклика системы на рост напряжения при повторных испытаниях минимальна (меньше 0,5 %), что говорит о высокой точности испытываемого образца.

На основе методики измерения термодформационных характеристик тепловых актюаторов [4] установлены зависимости изменения угла, на который отклонялся микро

актюатор, во времени при воздействии электрического напряжения в 20 В. Результаты испытаний представлены на рис. 3.

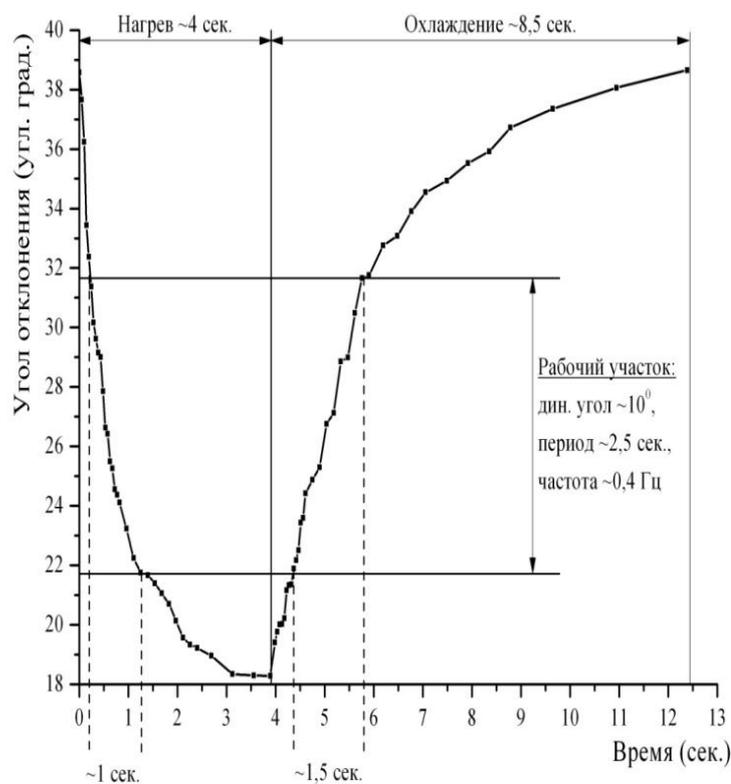


Рис. 3 - Зависимость угла отклонения актюатора от времени

Как видно, нагрев структуры длится в течение 4 секунд (после состояние актюатора стабилизируется и угол отклонения, как и температура, не меняются), а на остывание устройства до исходной температуры после снятия напряжения требуется не менее 8,5 секунд. Полученные значения являются принципиальными при использовании устройства в системах микроперемещений, так как скорость перемещения объекта, обусловленная динамическими характеристиками исполнительного элемента, – один из наиболее важных параметров системы. Для оптимизации работы устройства предлагается использовать суженный рабочий диапазон, обеспечивающий более высокую скорость отклика системы на воздействие электрического напряжения. Так, время на нагрев снижается до 1 секунды (в 4 раза меньше), а остывание происходит за 1,5 секунды (в 6 раз меньше), при этом динамический угол по сравнению с вариантом с полным диапазоном уменьшается всего лишь в 2 раза и составляет величину 10 угловых градусов. Частота работы оптимизированной системы составляет 0,4 Гц. Негативным эффектом от использования суженного рабочего диапазона кроме уменьшения динамического угла также является увеличение энергопотребления вследствие необходимости поддерживать начальное положение актюатора даже в моменты «простоя» системы, когда действия по перемещению объекта не производятся. Но, тем не менее, это остаётся одним из наиболее эффективных приёмов для регулирования частоты работы системы без изменения конструкции и технологии изготовления исполнительных элементов. Таким образом, задаваясь значением динамического угла, необходимого для конкретных условий применения актюатора, возможно установить оптимальный параметр частоты его работы.

В ходе эксперимента проверена стабильность характеристик актюатора при многоцикловой работе. В течение двух минут на объект исследования подавалось электрическое напряжение 15 В, что соответствовало 300 циклам его работы. После было произведено сравнение характеристик актюатора с результатами первоначальных измерений. Погрешность составила менее 0,5%. Таким образом, актюатор показал способность выдерживать циклические нагрузки и сохранять свои свойства.

Заключение

Испытания показали, что тепловой микроэлектромеханический актюатор является высокоточным устройством, способным выдержать циклические нагрузки. В ходе проведённых исследований установлены основные динамические характеристики актюатора: время нагрева, остывания и максимальная температура на устройстве при воздействии различных управляющих сигналов. Доказано, что регулирование рабочего диапазона актюатора может обеспечить более высокую скорость отклика системы на воздействие управляющего сигнала, значительно снизив время на нагрев и остывание, что позволяет установить оптимальную частоту работы устройства. Актюатор является устройством, сохраняющим динамические температурные характеристики при непрерывной работе. Стабильность изменения максимальной температуры после 300 циклов подачи напряжения оценена погрешностью характеристик, составляющей менее 0,5%, что во многом обусловлено инструментальной погрешностью измерительных средств.

Литература

1. А.А.Жуков, А.С.Корпухин, Е.А. Гринькин. Микросистемный биморфный привод устройств космической робототехники. – Труды 19-й Всероссийской НТК "Экстремальная робототехника". – Санкт-Петербург: ГНЦ «Центральный научно-исследовательский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК)», 2008
2. T.Ebefors. Polyimide V-groove Joints for Three-Dimensional Silicon Transducers. PhD thesis. Royal Institute of Technolgy. Stockholm. 2000. 144 p.
3. С.П.Тимошенко, А.А.Жуков, А.А. Захаров. Биморфный балочный актюатор с V-образными полиимидными канавками. Нано - и микросистемная техника. 2007. № 7. С. 60-64
4. А.А. Жуков, А.С. Корпухин, Д.В.Козлов, И.П.Смирнов. Методика измерений деформационных характеристик микроактюаторов. Сборник статей Второй Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». М., Изд-во «Радиотехника». 2010, с.228-233