

СЕКЦИЯ 3. СПЕЦИАЛЬНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Анализ погрешности поддержания положения трехкоординатной платформы для активной виброизоляции на основе магнито-реологических эластомеров

А.М. Базиненков, И.В. Макеев, А.П. Ротарь, Д.А. Иванова
Москва, МГТУ имени Н.Э. Баумана, 105005, 2-ая Бауманская ул., д.5, стр.1
e-mail: ambazinenkov@bmstu.ru

Одним из наиболее эффективных методов вибрационной защиты является активная виброизоляция. Широко известно, что производство изделий нанотехнологий невозможно без защиты технологического и исследовательского оборудования, работающего в условиях вакуума и атмосферного давления, от вибрационных возмущающих воздействий.

Системы виброизоляции на основе магнито-реологических (МР) эластомеров обладают большей эффективностью виброизоляции по сравнению с другими существующими системами за счет совмещения полуактивной и активной виброизоляции в одном устройстве. Однако открытым остается вопрос о повторяемости свойств разных МР эластомеров.

В работе проанализированы погрешности перемещений актуаторов на основе МР эластомеров виброизолирующей платформы, возникающие за счет различия свойств МР эластомеров разных актуаторов.

Analysis of the positioning errors of the three-coordinate active vibration control platform based on magneto-rheological elastomers. A.M. Bazinenkov, I.V. Makeev, A.P. Rotari, D.A. Ivanova. One of the most effective methods of vibration protection is active vibration control. It is widely known that the nanotechnology manufacturing is impossible without the protection of equipment from vibration disturbance. The precise technological and research equipment can operate under atmospheric pressure and under vacuum.

Vibration control systems based on magneto-rheological (MR) elastomers have a higher protection efficiency than other existing systems due to the combination of semi-active and active vibration isolation in one device. However, the task of the repeatability of the properties of different MR elastomers devices remains unsolved.

Here some positioning errors of the vibration isolation platform actuators based on the MR elastomers are analyzed which arise due to the difference in the properties of MR elastomers of different actuators.

Введение

В связи с высокими требованиями, предъявляемыми к микро- и нанотехнологическому оборудованию, необходимо строго отслеживать частоты внешних колебаний, которые могут негативно сказаться на параметрах работы оборудования. Для ультра-прецизионных процессов, таких как нанолитография, прецизионная металлообработка, оптоволоконные системы, сканирующая зондовая микроскопия (атомно-силовая и туннельная), электронная микроскопия и др. необходимо обеспечить виброизоляцию на частотах вибраций в широком диапазоне от 0,5 до 100 Гц при амплитудах вибраций до 200 мкм.

Для защиты оборудования от вибраций наиболее эффективным методом считается виброизоляция, которая делится на пассивную, полуактивную и активную. Например, системы на основе пьезоэлектрических элементов, пневматические, гидравлические системы, а также электромеханические на основе шаговых двигателей и др. В частности, пьезоэлектрические системы имеют небольшой диапазон перемещений (малые амплитуды виброперемещений) и ограниченный спектр поглощаемых частот; пневматические и гидравлические системы имеют высокую стоимость и сложные системы управления; системы на основе шаговых двигателей так же дорогостоящи и имеют низкое быстродействие из-за длинных кинематических цепей.

Магнитореологические (МР) и электрореологические (ЭР) жидкости и эластомеры относятся к типу смарт-материалов, которые способны менять свои свойства под действием внешних магнитных и электрических полей. Использование подобных материалов в системах точного позиционирования и виброизоляции позволяет повысить их точностные характеристики и быстродействие [1,2,4,5].

Платформа виброизоляции на основе МР эластомера

Исследуемая в данной работе система на основе магнитореологических эластомеров значительно проще и дешевле в изготовлении и обслуживании всех вышеперечисленных, содержит меньшее количество сложных механических и электрических элементов [3,7].

Назначением платформы является уменьшение колебаний, вызванных внешними возмущениями и поступающих из окружающей среды. Это устройство способно работать во всех трех режимах виброизоляции, активном, полуактивном и пассивном.

Пассивная виброизоляция обеспечивается системой с квазиулевым жесткостью (СКНЖ) [6], это система грузов, рычагов и пружинных элементов, предназначенная для уменьшения перегрузки от массы объекта, передаваемой на демпферы. Элементы системы поддерживают платформу в четырех точках симметрично относительно центра подвижной платформы. Данный механизм позволяет не только уменьшать амплитуду внешних воздействий за счет динамической деформации пружинных элементов, но и позволяет рабочей плоскости платформы изолировать объекты большей массы. Без СКНЖ система способна выдерживать виброизолируемый объект массой до 50 Н с заданными характеристиками.

Активная и полуактивная виброизоляция обеспечивается совокупностью четырех демпфирующих элементов (МР демпферов), расположенных симметрично относительно центра платформы и управляемых катушками индуктивности.

Основными элементами демпфирующего элемента (рис. 1) являются: цилиндрический магнитопроводящий корпус, катушка индуктивности с магнитопроводящим сердечником и мембрана из магнитореологического эластомера в который встроена подвижная платформа.

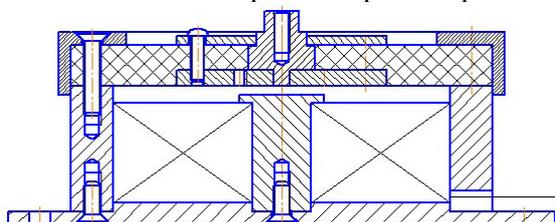


Рис. 1. Схема демпфирующего элемента [7].

МР эластомер способен изменять свои упругие и вязкостные свойства под действием магнитного поля. Эластомер является сплошным упругим материалом, состоящим из металлических частиц размером от 1 до 10 мкм, расположенных в силиконовой матрице. Под воздействием магнитного поля частицы могут перемещаться в направлении магнитного поля, меняя свойства силиконовой матрицы. МР эластомер позволяет гасить колебания как пассивно, за счет демпфирующих свойств силиконовой матрицы, так и активно – за счет изменения упругих свойств эластомера и его перемещения вдоль вертикальной оси демпфера. На основании платформы закреплено четыре демпфирующих элемента с одним эластомером и одной управляющей катушкой индуктивности в каждом элементе соответственно (рис. 2).

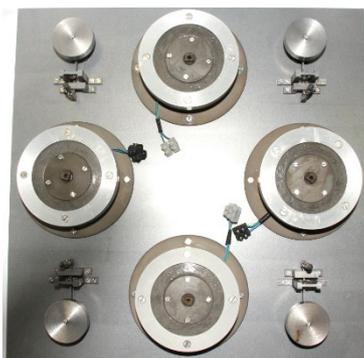


Рис. 2. Виброизолирующая платформа [7].

Каждый из демпфирующих элементов может управляться независимо электрическим током, передаваемым на катушку индуктивности. Притягиваясь к сердечнику катушки, МР эластомер перемещает подвижную пластину платформы на расстояние зависящее от величины силы тока, протекающего через управляющую электромагнитную катушку. Эластомеры, устанавливаемые на демпферы, даже в пределах одной партии могут обладать отличными друг от друга характеристиками, поскольку равномерность распределения металлических частиц в матрице трудно поддается контролю. Соответственно, за счет некоторого отличия свойств эластомеров, каждый перемещается на расстояние, отличное от остальных при одинаковом токе, протекающем через катушки индуктивности.

Таким образом, целью исследования является изучение погрешности положения платформы, связанной с различием свойств эластомера, то есть отклонения подвижной пластины от параллельности горизонтальной плоскости и, как результат работы, определение корректирующего управляющего сигнала подаваемого на катушки индуктивности с целью ее выравнивания.

Исследование характеристик платформы на основе МР эластомеров

Измерения проводились на четырехканальной измерительной системе САРА NCDT 6200 (MicroEpsilon, Германия). Система имеет четыре датчика емкостного типа, которые способны измерить перемещение платформы с разрешением до 10 нм и частотой съема данных до 3,9 кГц.

Результаты эксперимента представляют собой набор значений перемещений платформы над каждым из четырех демпферов. По результатам экспериментов построены графики зависимостей перемещений подвижной части каждого демпфера от управляющего токового сигнала (рис. 3).

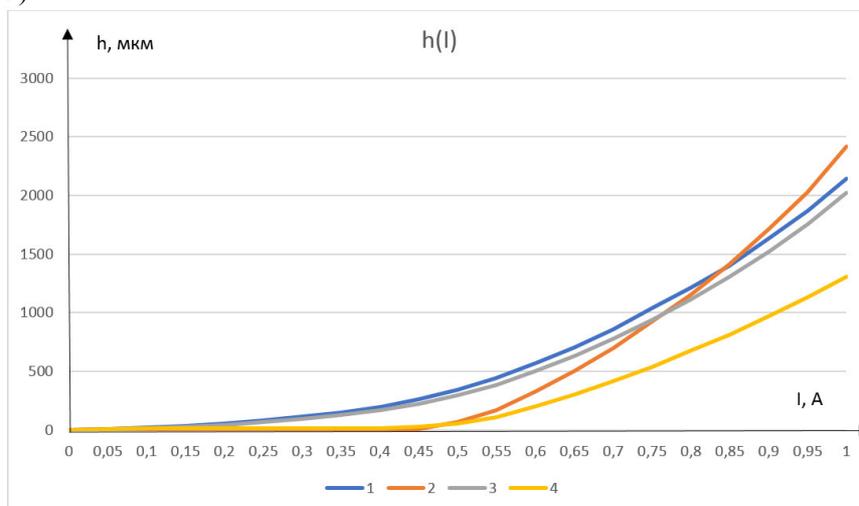


Рис. 3. Зависимость вертикальной координаты подвижной части демпферов от силы тока.

Согласно представленному графику максимальное отклонение перемещения относительно базовой кривой 4 составило 1110,45 мкм, что является недопустимым для данного механизма, соответственно требуется корректировка значений управляющих сигналов для каждого демпфера. Кривая 4 принимается за базовую, так как если принимать другую кривую за базовую, значение корректирующего тока, протекающего через катушку индуктивности, превысит 1 А. Это может привести к перегреву проводника и выходу демпфера из строя. Таким образом были сформированы значения корректирующего сигнала для трех элементов и построен соответствующий график корректирующего сигнала (рис. 4).

Оценка погрешности измерений проводилась методом контурных оценок [8]. При обработке результатов измерений использовалось предположение равномерном распределении результатов измерений. При этом максимальная случайная погрешность измерений не превышает 0,5 мкм, что позволяет говорить о достаточно высокой точности проведенных измерений и достоверности полученных результатов перемещений и корректирующих сигналов.

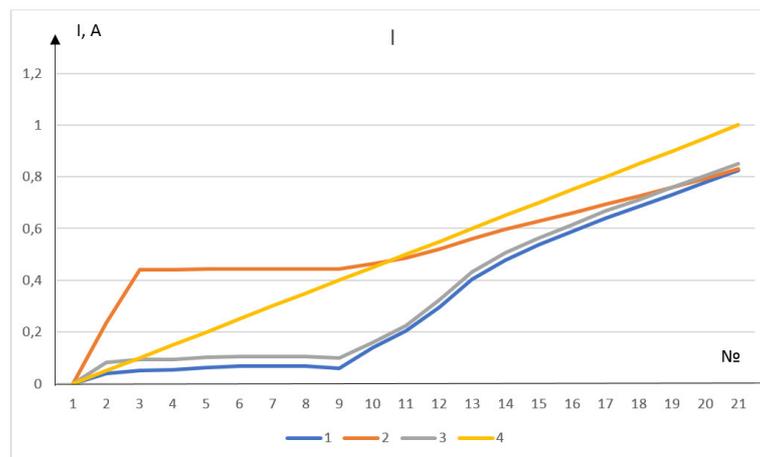


Рис. 4. График корректирующего сигнала.

Выводы

Максимальное отклонение перемещения МР демпферов платформы активной виброизоляции на основе МР эластомеров от принятого базового значения составило 1110,45 мкм. Это отклонение связано с неравномерностью свойств эластомеров разных демпферов из особенностей технологии их изготовления.

Сформированные корректирующие значения управляющего сигнала для каждого из 4-х демпферов позволяют добиться параллельности платформы горизонтальной плоскости.

Анализ погрешностей измерений методом контурных оценок в предположении о равномерном распределении случайной величины показал высокую точность проведенных измерений, что подтверждает высокую достоверность результатов.

Заключение

В результате проведенных экспериментов были замечены несовпадения положений демпфирующих элементов по вертикальной координате при одинаковых управляющих токах. После анализа данных были сформированы значения корректирующего сигнала, которые позволили добиться параллельности платформы горизонтальной плоскости. В дальнейшем, для уменьшения погрешности планируется провести аналогичные исследования, а также выяснить, каким образом корректирующий сигнал влияет на демпфирующие способности платформы.

Литература

1. Mikhailov V., Borin D., Bazinenkov A., Akimov I. Positioning magnetorheological actuator // Journal of Physics: Conference Series. 2009. V.149, № 1. URL <http://iopscience.iop.org/1742-6596/149/1/012075>.

2. Михайлов В.П., Базиненков А.М., Акимов И.Ю. Системы активной виброизоляции реологического типа // Высокие технологии в промышленности России. Материалы XIII Международной научно-технической конференции. Москва, 2007. С. 150-158.
3. Исследование свойств и новое применение магнитных силиконовых композитов / А. И. Горбунов, В. П. Михайлов, Г. В. Степанов и др. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2008. № 1 (70). С. 90–107.
4. Системы точного позиционирования и активной виброизоляции для нанотехнологического оборудования / В. П. Михайлов, А. М. Базиненков, И. К. Зобов и др. // Наноинженерия. 2011. № 3. С. 47–57.
5. Магнитореологические устройства активной виброизоляции и позиционирования для прецизионного вакуумного оборудования / В. П. Михайлов, А. М. Базиненков, И. К. Зобов и др. // Вакуумная техника и технология. 2011. Т. 21. № 3. С. 165–169.
6. Виброзащитные системы с квазиулеевой жесткостью / П. М. Алабужев, А. А. Гритчин, Л. И. Ким и др.; Под ред. К. М. Рагульскаса. Л.: Машиностроение, 1986. 96 с.
7. V. P. Mikhailov, A. M. Bazinenkov. A Vibration-Control Platform on the Basis of Magnetorheological Elastomers. *Instruments and Experimental Techniques*, 2016, Vol. 59, No. 1, pp. 131–135.
8. Левин С.Ф. Об основаниях теории измерительных задач: [Электронный ресурс] URL: http://pribory-si.ru/publication/index.php?ELEMENT_ID=5119 (18.06.2017).

Новые вакуумно-плазменные процессы и оборудование для микроэлектроники

В.В. Одинок

*Москва, Зеленоград, ОАО «Научно-исследовательский институт точного машиностроения», Панфиловский проспект, д. 10
e-mail: vodinokov@niitm.ru*

Рассмотрены актуальные вакуумно-плазменные процессы для микроэлектроники: процессы атомно-слоевого осаждения, плазмохимического травления, формирования мелкощелевой изоляции и очистки поверхности пластин.

***The new vacuum-plasma processes and equipment for microelectronics. V.V. Odinkov.**
Current vacuum-plasma processes for microelectronics: processes of atomic-layer deposition, plasma-chemical etching, formation of shallow trench isolation and surface plate cleaning are considered.*

I. Атомно-слоевое осаждение.

Согласно дорожной карте развития микроэлектроники к 2020 году минимальный характерный размер топологии интегральных микросхем будет достигать 5-10 нм, а формируемые тонкопленочные покрытия должны обладать комплексом свойств, чтобы обеспечить надежность работы полупроводниковых устройств. Существующее технологическое оборудование для формирования тонкопленочных покрытий вакуумно-плазменными методами (PVD и CVD) не обеспечивает требуемые параметры качества формируемых сверхтонких пленок.

Атомно-слоевое осаждение (АСО) позволяет создавать тонкие пленки толщиной в нанометровом диапазоне. Кроме того, сверхтонкие покрытия, полученные атомно-слоевым осаждением, обладают рядом уникальных характеристик: конформность, сплошность, стехиометрия, способствующим их применению в различных отраслях, как например:

- Микроэлектроника (подзатворные диэлектрики с высоким k , металлические слои затворного электрода, затравочные и барьерные слои в технологии сквозных отверстий TSV и т.д.)