

УДК 628.056.078

Снижение вибраций в аналитическом и технологическом оборудовании электронной техники

В. А. Васин, Е. Н. Ивашов, С. В. Степанчиков

Рассмотрены вопросы виброзащиты объектов в аналитическом и технологическом оборудовании. Предложена четырехуровневая система защиты объектов микроэлектроники от вибраций. Для каждого из уровней системы представлены технологические решения виброзащитных устройств.

PACS: 07.10. Fq

Ключевые слова: собственные частоты колебаний, коэффициенты демпфирования, l -координатное устройство виброзащиты, уровни виброзащиты, виброизолирующая система.

Введение

Пространственное разрешение прецизионного контрольно-диагностического и технологического оборудования микроэлектроники в значительной степени зависит от вибраций его основания [1]. Так, в растровой электронной микроскопии влияние вибраций на разрешение обусловлено сравнительно высокой частотой вибраций механических систем и устройств при низкой скорости сканирования. В растровой туннельной микроскопии влияние вибраций имеет исключительно важное значение ввиду экспоненциальной зависимости туннельного тока от ширины промежутка между иглой и объектом.

Для снижения вибраций в производстве изделий микроэлектроники разработана четырехуровневая система виброзащиты, приведенная в таблице.

Уровень I предусматривает виброзащиту фундамента здания предприятия от воздействия наземного транспорта, подземных толчков и др.; II — виброзащиту контрольно-диагностического и технологического оборудования от воздействий обслуживающего персонала, вентиляционных систем, компрессоров, вакуумных механических насосов и других технологических воздействий смежного оборудования; III — виброзащиту функциональных систем и устройств контрольно-диагностического и технологического оборудования от воздействия электромеханических и пневматических приводов, вводов движения в вакуум, соединительных элементов и др.; IV — виброзащиту объекто- и подложкодержателей от воздействия элементов механических передач, захватных устройств, пьезопроводов, магнестрикционных приводов и др.;

Четырехуровневая система виброзащиты объектов микроэлектроники в контрольно-диагностическом и технологическом оборудовании

Уровень виброзащиты	Объекты виброзащиты	Основные источники вибраций	Рабочие частоты, Гц	Возможные способы реализации
I	Фундамент здания предприятия	Наземный транспорт, подземные толчки и др.	1—7	Отдельный массивный фундамент, отсекающий ров
II	Аналитическое и технологическое оборудование	Обслуживающий персонал, вентиляционные системы, компрессоры, вакуумные механические насосы и др.	5—25	Системы виброзащиты оборудования на основе l -координат
III	Функциональные системы и устройства аналитического и технологического оборудования	Электромеханические и пневматические приводы, вводы движения в вакуум, соединительные элементы и др.	20—55	Системы виброзащиты функциональных систем и устройств оборудования на основе l -координат
IV	Объекто- и подложкодержатели	Элементы механических передач, захватные устройства, пьезопроводы, магнестрикционные приводы и др.	Более 50	Системы виброзащиты объекто- и подложкодержателей на основе l -координат

Васин Владимир Анатольевич, доцент.
Ивашов Евгений Николаевич, профессор,
Степанчиков Сергей Валентинович, доцент.
 Московский государственный институт электроники и математики (МИЭМ).
 Россия, 109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер., 3.
 Тел. (495) 235-64-35.
 E-mail: vacuumwa@list.ru; vacuumwa@ya.ru

Статья поступила в редакцию 8 декабря 2009 г.

II—IV уровни виброзащиты целесообразно осуществлять на основе l -координатных защитных систем.

Уравнение движения тела в l -координатах описывается только в линейных величинах, в качестве которых взяты длины шести отрезков, соединяющих тело с непосредственной базой таким образом, что при заданных значениях l_1, \dots, l_6 образует-

ся геометрически неизменяемая структура (рис. 1), которая характеризует положение и движение тела в пространстве непосредственно в абсолютных неподвижных координатах, в то время как в существующих устройствах текущее положение каждого последующего звена определяется относительно положения предыдущего звена, т. е. в относительных координатах [2].

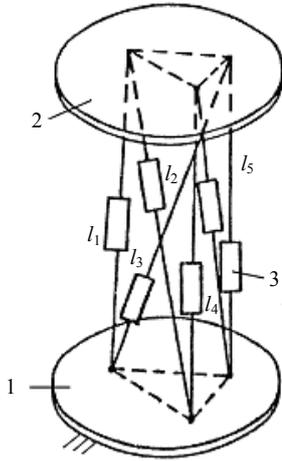


Рис. 1. l -координатное устройство виброзащиты:
1 — неподвижная база;
2 — входное звено;
3 — гаситель колебаний

Эффективность каждого уровня системы виброзащиты определяется эффективностью той элементной базы, на основе которой она построена.

Проблемы построения систем виброзащиты

Рассмотрим некоторые вопросы построения систем виброзащиты на основе l -координат.

При рассмотрении пространственного колебания твердого тела массой m вводятся две системы координат: неподвижная $O_{\xi\eta\gamma}$ и подвижная O_{ixyz} . В окрестности заданного положения твердого тела параметры l_i ($i = 1, \dots, 6$) полностью определяют его положение.

Выражения для сил, действующих на точки твердого тела в неподвижной системе координат, имеют вид:

$$F_i = \frac{F_i}{l_i} (\xi_i^0 - \xi_i, \eta_i^0 - \eta_i, \gamma_i); \quad (1)$$

$$F_i = K_i(l_i - l_i^0) + b_i \dot{l}_i,$$

где ξ_i^0 и η_i^0 — начальные координаты соответствующих точек твердого тела;

l_i^0 — начальные линейные параметры положения тела;

ξ_i, η_i, γ_i — текущие координаты;

K_i ($i = 1, \dots, 6$), b_i ($i = 1, \dots, 6$) — коэффициенты жесткости и сопротивления, соответственно.

Уравнение движения центра масс твердого тела имеет вид:

$$\begin{cases} m\ddot{\xi}_0 = \sum_{i=1}^6 \frac{F_i}{l_i} (\xi_i^0 - \xi_i), \\ m\ddot{\eta}_0 = \sum_{i=1}^6 \frac{F_i}{l_i} (\eta_i^0 - \eta_i), \\ m\ddot{\gamma}_0 = \sum_{i=1}^6 \frac{F_i}{l_i} \gamma_i - mg, \end{cases} \quad (2)$$

где ξ_0, η_0 и γ_0 — координаты центра масс.

Динамические уравнения Эйлера имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{dL_x}{dt} + \omega_y L_z - \omega_z L_y = M_x^l, \\ \frac{dL_y}{dt} + \omega_z L_x - \omega_x L_z = M_y^l, \\ \frac{dL_z}{dt} + \omega_x L_y - \omega_y L_x = M_z^l, \end{cases} \quad (3)$$

где $L_x = I_x \omega_x, L_y = I_y \omega_y, L_z = I_z \omega_z$ — главные моменты количества движения исполнительного устройства относительно осей $O_{1,x}, O_{1,y}, O_{1,z}$;

$I_x, I_y, I_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z$ — главные моменты инерции проекции абсолютной угловой скорости относительно осей $O_{1,x}, O_{1,y}, O_{1,z}$;

M_x^l, M_y^l, M_z^l — главные моменты внешних сил относительно осей $O_{1,x}, O_{1,y}, O_{1,z}$.

Сведения о частотах собственных колебаний позволяют избегать опасных резонансных колебаний в системе и обосновать пределы применимости той или иной конструкции гасителя колебаний и оценить целесообразность его использования в l -координатных системах виброзащиты контрольно-диагностического и технологического оборудования микроэлектроники.

Виброизолирующая система вакуумного блока контрольно-диагностической установки состоит из основания и демпфирующего тела, связанных между собой виброизоляторами продольных колебаний по структуре l -координат.

При возникновении колебаний вакуумного блока шесть виброизоляторов гасят колебания по всем шести степеням свободы.

Для повышения виброустойчивости обрабатываемых полупроводниковых пластин и исключения загрязнения последних микрочастицами их скола разработан виброустойчивый объектодержатель, который снабжен прижимом-фиксатором объекта, соединенным с неподвижным основанием посредством упругих элементов, установленных по структуре l -координат.

Наличие упругих элементов в конструкции позволяет также компенсировать тепловые деформации

ции, возникающие из-за отсутствия теплоотвода газовой конвекции в условиях вакуума.

Выход за границы субмикронной технологии возможен только при наличии устройств, обеспечивающих нанесение и контроль элементов на подложке с размерами порядка 100 нм и менее.

Задачи визуализации нанорельефов решаются с помощью растровых туннельных микроскопов, которые обладают уникальными возможностями по разрешению поверхностных структур вплоть до атомарных масштабов. Возможность создания в растровых туннельных микроскопах полей до 10^8 В/см и плотностей токов до 10^{10} А/см² позволяет применять их для создания наноструктур на поверхности подложек.

Гофрировка многих поверхностей на атомарном уровне наблюдается при работе растрового туннельного микроскопа в режиме фиксированного тока и обычно характеризуется амплитудой порядка 10 пм, так что должна быть обеспечена виброизоляция не хуже 1 пм.

Растровый туннельный микроскоп должен быть изолирован от двух видов возмущений: вибрации и ударов. Вибрации обычно представляют собой непрерывный периодический процесс. На рис. 2. показан типичный спектр вибраций пола [3]. Вибрация пола — низкочастотная и составляет 1—5 Гц. Вибрации на частотах 5—50 Гц возникают в вакуумных насосах, вентиляционных трубах, двигателях, трансформаторах и др.

В целях снижения вибрации растрового туннельного микроскопа разработана система виброизоляции, построенная по структуре *l*-координат.

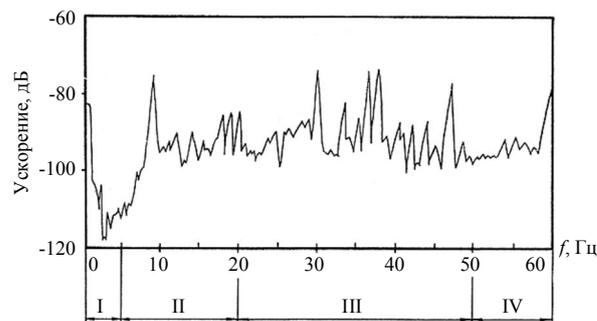


Рис. 2. Спектр вибраций при отсутствии системы виброзащиты:

I—IV — уровни виброзащиты

Эффективность каждого уровня виброзащитной системы обеспечивается эффективностью той элементной базы, на которой она построена.

Заключение

Рассмотрены вопросы виброзащиты объектов в аналитическом и технологическом оборудовании. Предложена четырехуровневая система защиты объектов микроэлектроники от вибраций. Для каждого из уровней системы представлены технологические решения виброзащитных устройств.

Литература

1. Вакуумное оборудование тонкопленочной технологии производства изделий электронной техники / Н. В. Василенко, Е. Н. Ивашов, С. В. Степанчиков и др.: В 2 т. Т. 2. — г. Красноярск: Красноярское книжное изд-во; Сибирская аэрокосмическая академия, 1996. — 416 с.
2. Ивашов Е. Н. Устройства на основе *l*-координат в оборудовании электронной техники: Учебное пособие. — М.: Моск. государств. ин-т электроники и математики, 1995. — 35 с.
3. Кук И., Сильверман П. Растровая туннельная микроскопия// Приборы для научных исследований. — М.: Мир, 1989. № 2.

A decline of vibrations is in the analytical and technological equipment of electronic technique

V. A. Vasin, E. N. Ivashov, S. V. Stepanchikov

Moscow State Institute of Electronics and Mathematics, 3, B. Trekhsvyatitel'skiy trudedg, Moscow, 109028, Russia

Tel. (495) 235-64-35. E-mail: vacuumwa@list.ru; vacuumwa@ya.ru

The questions of protecting from the vibrations objects are considered in analytical and technological equipment. Offered four level system of defence of objects of microelectronics from vibrations. For each of levels of the system the technological decisions of protecting from the vibrations devices are presented.

PACS: 07.10. Fq

Keywords: own frequencies of vibrations, coefficients of damping, *l*-device of vibroisolation, urovni vibroisolation, vibroisolation system.

Bibliography — 3 references.

Received 8 December 2009

* * *