

ИДЕОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

© 2009 г. В.А. ВАСИН, А.С. ВИШНЕВСКИЙ, Г.Ю. ДАЛЬСКАЯ, С.В. СТЕПАНЧИКОВ

Московский государственный институт электроники и математики
(технический университет)

Анализ тенденций развития современной электронной техники в отечественной практике и в промышленно развитых странах свидетельствует о непрерывном расширении масштабов применения высоких вакуумных технологий и технологического оборудования для их реализации.

Одним из важнейших факторов, определяющих уровень и надёжность оборудования этого класса, является не только его способность формировать необходимые для соответствующих технологических процессов вакуумные условия, но и сохранять их стабильными в течении технологического цикла.

Аналогичные проблемы возникают при создании высоковакуумного оборудования в приборостроительной, авиационной и космической технике, в прецизионной металлургии для уникальных процессов атомной и термоядерной энергетики, ядерной физики, физики элементарных частиц, вплоть до тонких химических и медицинских технологий.

Сохранение «чистого» вакуума в процессе работы высоковакуумного оборудования с размещением в рабочих объёмах вакуумных камер различных функциональных систем и устройств для ориентации и перемещения изделий относительно источников технологического воздействия, их транспортирования и межкамерного шлюзования в многомодульных системах и т.д. является достаточно сложной комплексной задачей (Рис. 1).

В то же время автоматизация сложных технологических процессов требует размещения в рабочих объёмах высоковакуумных камер ряда механизмов, которые во многих случаях могут стать источниками генерации «загрязнений», так называемой привносимой дефектности вакуумной среды, в том числе наиболее опасным их видом - микрочастицами износа, при наличии в составе функциональных механизмов узлов внешнего трения скольжения или качения.

Устранить генерацию микрочастиц износа трущихся пар возможно только в случае их полного исключения в конструкциях функциональных механизмов. Одной из таких возможностей является создание различных исполнительных устройств и систем с использованием принципа управляемой упругой деформации, при которой эффект функционирования механизмов создаётся в результате внутреннего трения.

Механизмы этого типа основаны на использовании герметичных полых трубчатых элементов различного геометрического очертания (приводов) различной формы нормального поперечного сечения и ориентации друг относительно друга в составе законченного устройства или системы.

Для приведения в действие приводов в каждый из них независимо подаётся газообразный или жидкий энергоноситель, создающий в герметичной полости приводов необходимое давление для деформации их в упругой области. Величиной создаваемых давления и соответственно величиной деформации легко управлять.

В качестве газообразных источников давления используется сжатый воздух заводских магистралей при условии стабилизации давления, а также автономные пнев-

моисточники, в числе которых наиболее привлекательным является применение термосорбционных компрессоров, создаваемых на основе водородно-гидридной технологии.

Создание функциональных устройств и систем без узлов трения

Современное вакуумное оборудование технологий требует особого подхода к созданию функциональных устройств различного назначения, размещенных в объеме высоковакуумных камер.



Рис. 1. Состав вакуумной производственной установки высоких технологий.

Несмотря на общность задач, в различных отраслях промышленности возникают технические трудности при решении проблем создания специального вакуумного оборудования, например, для процессов термического и магнетронного осаждения пленок, ионной имплантации, молекулярно-лучевой эпитаксии, электронно-лучевой, синхротронной литографии и др.

Очевидно, что дальнейшее развитие технологий производства потребует в числе прочих задач еще более высокой чистоты технологических вакуумных сред с исключением, в том числе наиболее опасного вида загрязнения - микрочастицами износа, распространяющимися из пар трения функциональных механизмов.

Одним из методов создания функциональных механизмов, предназначенных для работы в вакууме и воспринимающих его дестабилизирующее влияние без снижения надежности, является использование для формирования усилий и перемещений приводов управляемой упругой деформации, особенно — гарантирующих высокую точность позиционирования

Таблица 1

Минимальные размеры топологии микросхем и соответствующие им критические размеры микрочастиц загрязнения

Фирма	Разрешение, мкм (по поверхности/эффективное)		Критический размер микрочастиц, мкм	
	2000 г.	2005 г.	2000 г.	2005 г.
American Micro Instruments (AMI)	0.5/0.5		0.05	
Epson	0.25/0.25	0.1	0.025	0.011
FUJITSU	0.25/0.18; 0.35/0.28; 0.5/0.45	0.060	0.022; 0.032; 0.048	0.007
HITACHI	0.18/0.15; 0.2/0.18; 0.35/0.28; 0.4/0.35	0.065	0.016; 0.019; 0.032; 0.038	0.006
LG SEMICON	0.4/0.3	0.12	0.038	0.010
National Semiconductor	0.22/0.18	0.1	0.02	0.010
SIEMENS	0.25/0.22; 0.35/0.25; 0.5/0.3	0.1	0.023; 0.035; 0.05	0.009
Taiwan Semiconductor Manufacturing (TSMC)		0.080; 0.065		0.010; 0.008
Texas Instrument	0.23/0.18; 0.32/0.22 0.42/0.35	0.080	0.02	0.008
® INTELL		0.045		0.005

Появление нового класса механизмов обусловлено необходимостью не только снижения, но и полного исключения продуктов износа элементов механизмов.

В Табл. 1 приведены данные по минимальным размерам топологии микросхем и соответствующим критическим размерам микрочастиц загрязнений, достигнутых рядом ведущих мировых фирм в 2000 и 2005 гг.

Известно, что при наличии в составе функциональных механизмов пар трения образовавшиеся микрочастицы износа, в большинстве случаев, приобретают электрический заряд, благодаря которому могут мигрировать в вакуумных объемах и осажаться на обрабатываемых полупроводниковых пластинах, снижая коэффициент выхода годных микросхем, который по параметру η «привносимой дефектности» выражается следующей зависимостью:

$$\eta_r = \exp[-DA\nu P(d_c - d_{кр})]$$

где: D - доза привносимой дефектности; A - площадь кристалла; ν - доля площади кристалла, занятая микроструктурами; $P(d_c - d_{кр})$ - доля попавших на кристалл микрочастиц с размером d_c , большим $d_{кр}$; d_c и $d_{кр}$ - средний и критический размеры микрочастиц.

Отсюда выражение для дозы привносимой дефектности имеет вид:

$$[D] = \frac{\ln\left(\frac{1}{\eta_r}\right)}{A\nu \cdot \exp\left(\frac{d_{кр}}{d_c}\right)}$$

Если в вакуумных камерах оборудования работают механизмы, генерирующие привносимую дефектность в виде микрочастиц износа, то, очевидно, и надежность оборудования должна оцениваться с учетом этого фактора. Если обозначить вероятность безотказной работы оборудования $P(t)$, то:

$$P(t) = \prod_{i=1}^K P_i(t) \cdot U \cdot [\Phi(t) - \Phi_{дон}]$$

где K - количество механизмов; $P_i(t)$ - вероятность безотказной работы i -го механизма

в составе оборудования, размещенного в вакуумной камере; $\Phi(t) - \Phi_{\text{доп}}$ - текущее и допустимое значение уровня привносимой дефектности; $U [\Phi(t) - \Phi_{\text{доп}}]$ - функция при $\Phi(t) = \Phi_{\text{доп}}$ принимает нулевое значение, и соответственно $P(t)=0$.

Таким образом, в случае превышения уровня (дозы) привносимой дефектности D по отношению к допустимому значению при достижении некоторого времени t вероятность безотказной работы оборудования принимает нулевое значение и его дальнейшая эксплуатация становится бессмысленной т.е. наибольший эффект повышения надежности вакуумного оборудования может быть достигнут в случае полного исключения привносимой дефектности со стороны действующих функциональных механизмов, устройств и систем.

Формула качественной зависимости τ от уровня привносимой дефектности

$$U[\Phi(t) - \Phi_{\text{доп}}] = \begin{cases} 1, \Phi(t) \leq \Phi_{\text{доп}} \leftrightarrow t \leq \tau \\ 0, \Phi(t) > \Phi_{\text{доп}} \leftrightarrow t > \tau \end{cases}$$

Так общую идеологию разработки и создания вакуумных устройств и систем можно кратко представить в форме четырёх основных направлений, предложенных проф. А.Т. Александровой :

1. Упрощение структуры и оптимизация геометрии вакуумных систем;
2. Максимальный вынос оборудования из технологической вакуумной среды и его экранирование, в том числе сифонами и гибкими оболочками;
3. Применение форвакуумных и высоковакуумных насосов без узлов трения движения и сильных магнитных полей (криогенные и модернизированные турбомолекулярные), замена трехступенчатой системы откачки на двухступенчатую или одноступенчатую, по возможности на данном развитии уровня техники;

Устранение на всех исполнительных и коммутационных устройствах узлов трения движения и замена их приводами управляемой упругой деформации.

С ростом требований к чистоте технологической среды и значительно возросшей возможностью математического моделирования, связанной с лавинообразным ростом мощности вычислительных средств, первые три пункта данной идеологии, по факту, применяются ведущими зарубежными и отечественными производителями вакуумной техники. Наиболее популярна сейчас концепция «сухого» вакуума.

Принцип конструирования механизмов вакуумного оборудования на основе приводов управляемой упругой деформации, предложенный проф. А.Т. Александровой, хорошо зарекомендовал себя при создании упругодеформируемых пневмоприводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова А.Т.* Теоретические основы расчета и конструирования функциональных устройств и систем оборудования высоких вакуумных технологий на основе приводов управляемой упругой деформации. Учебное пособие. – М.: МИЭМ, 2003. - 48 с.
2. Вакуумная техника: Справочник / *Фролов Е.С., Минайчев В.Е., Александрова А.Т. и др.*: под общ. ред. *Фролова Е.С., Минайчева В.Е.* – М.: Машиностроение, 1992.- 480 с: ил.
3. *Васин В.А., Ивашов Е.Н., Степанчиков С.В.* Идеология проектирования автоматизированного оборудования современных вакуумных технологий // Автоматизация и современные технологии. - 2008, № 8, с. 3-8
4. *Степин В.С., Горохов ВТ., Розоб М.А.* Философия науки и техники. – М.: Контакт Альфа, 1995. – 384 с.
5. Интернет: <http://www.nanonewsnet.ru>
6. Интернет: <http://www.semiconductor.net>