



УДК 621.384

В.А. Васин, канд. техн. наук, **Е.Н. Ивашов**, д-р техн. наук, проф.,
С.В. Степанчиков, канд. техн. наук, доц.

(Московский государственный институт электроники и математики (технический университет))

vacuumWa@list.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СОВРЕМЕННОГО ВАКУУМНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Разработаны устройства для определения положения в пространстве исполнительных устройств современного технологического оборудования, в которых их положение определяется непосредственно в абсолютных координатах. Показаны варианты выполнения устройств для определения положения тела в пространстве, отличающиеся друг от друга измеряемыми расстояниями. Предложена автоматизированная система для вакуумного технологического комплекса обработки полупроводниковых структур в замкнутом цикле.

Ключевые слова: система определения положения в пространстве, структура ℓ -координат, абсолютные координаты, излучатели и приёмники сигналов, вакуумно-технологический комплекс.

Facilities for space position definition of the contemporary technological equipment actuator, which position is defined ingeniously in the absolute coordinates, are developed. Facilities implementation versions for body space position definition distinguishing from each other measured distances are shown. Automatic system for vacuum technological complex for semiconductor structure processing in the closed cycle is proposed.

Key words: system for space position definition, ℓ -coordinate structure, absolute coordinates, signals emitters and receivers, vacuum-technological complex.

Измерительные системы исполнительных устройств специального технологического оборудования служат для сбора всех видов информации и используются для формирования управляющих воздействий. Информация может характеризовать относительные или абсолютные положения исполнительных устройств в пространстве, их скорости и ускорения, воспринимаемые нагрузки, температуру, качество поверхности и т. п.

Результаты, полученные при решении научных и практических задач с использованием математического аппарата, оказываются связанными с применяемой системой координат. Например, инерциальная навигация, задача которой заключается в определении ориентации и местоположения объектов в пространстве [1], обычно использует систему координат Декарта – Эйлера, в которой уравнения движения твёрдого тела в пространстве имеют вид:

$$x = f_1(t), y = f_2(t), z = f_3(t),$$

$$\varphi = f_4(t), \theta = f_5(t), \psi = f_6(t).$$

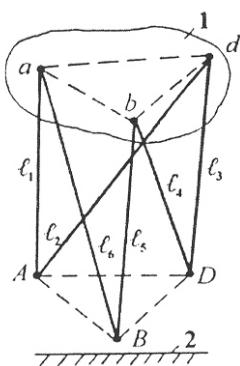
В системе ℓ -координат [2, 3] положение твёрдого тела 1 в пространстве определяется с помощью шести чисел $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_6$, равных длинам отрезков, соединяющих точки тела с точками неподвижной базы 2 таким образом, что при заданных значениях $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_6$ образуется геометрически неизменяемая структура (рис. 1).

ℓ -координатная автоматизированная система предусматривает определение текущего положения объекта в пространстве измерением его координат — шести расстояний от заданных точек неподвижной базы до заданных точек объекта в соответствии с одной из структур ℓ -координат. При этом регистрируются законы движения объекта в следующей форме:

$$\ell_1 = f_1(t), \ell_2 = f_2(t), \ell_3 = f_3(t),$$

$$\ell_4 = f_4(t), \ell_5 = f_5(t), \ell_6 = f_6(t).$$

Измерение координат положения тела в пространстве может производиться одновременно или неодновременно. В последнем случае реализуются

Рис. 1. Структура ℓ -координат

принципы дискретного измерения координат, позволяющие упростить систему измерения, например при акустических методах, за счёт уменьшения числа излучателей и приёмников сигналов и обеспечения их работы на одной частоте.

Устройство для определения положения тела в пространстве (рис. 2, 3) имеет информационные входы I_{1u} – I_{6u} и управляющие входы I_{1y} – I_{6y} блока регистрации 7, входы 1 – 6 блока управления 8, опорное основание 9, контролируемое тело 10, тактовый генератор 11, излучатели A – E и приёмники a – e [4].

С целью повышения быстродействия определения положения тела в пространстве, в устройство введены последовательно соединённые тактовый генератор 11 и блок управления 8, а измерительные преобразователи выполнены в виде двух элементов излучателей A – E и приёмников a – e , расположенных соответственно в шести базовых точках опорного основания 9 и в шести точках контролируемого тела 10. Каждый из шести выходов блока управления 8 соединён с входом соответствующего излучателя, с соответствующим

входом запуска блока регистрации 7 и с входом соответствующего приёмника. Выход каждого из приёмников соединён с соответствующим информационным входом блока регистрации 7.

Последовательность тактовых импульсов с выхода тактового генератора 11 служит для формирования последовательности импульсов в блоке управления 8, которые с его выходов 1 – 6 подаются на управляющие выходы I_{1y} – I_{6y} блока регистрации 7, и к излучателям A – E , расположенным не на одной прямой на опорном основании 9. Излучатели A – E в направлении приёмников a – e передают сигналы в виде узкого луча. Принятые приёмниками сигналы поступают на информационные входы I_{1u} – I_{6u} блока регистрации 7, в котором обеспечивается измерение шести расстояний, необходимых для однозначного определения положения тела в пространстве.

Возможно несколько вариантов выполнения устройства для определения положения тела в пространстве, которые отличаются друг от друга измеряемыми расстояниями.

На схеме рис. 2 измеряемыми расстояниями являются Aa , Bb , Vv , Gg , Dd , Ee .

На схеме рис. 3 измеряемыми расстояниями являются Aa , Bb , Vb , Gb , Dv , Eg .

Также, измеряемыми расстояниями могут быть Aa , Ba , Bb , Vv , Gv , Dd ; Aa , Ba , Vb , Vv , Gv , Dd ; Aa , Ab , Bv , Vv , Gv , Dd ; Aa , Ba , Vv , Gv , Dv , Eb .

В решении задач управления современным вакуумно-технологическим оборудованием электронного производства ℓ -координатная автоматизированная система открывает возможность получения информации о текущих положениях в пространстве и законах движения исполнительных устройств последнего. Особенно важно, что эта информация может характеризовать положе-

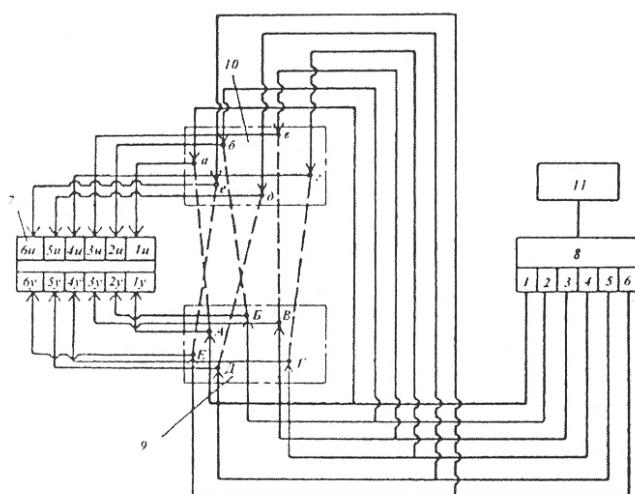


Рис. 2. Схема устройства для определения положения тела в пространстве (вариант I)

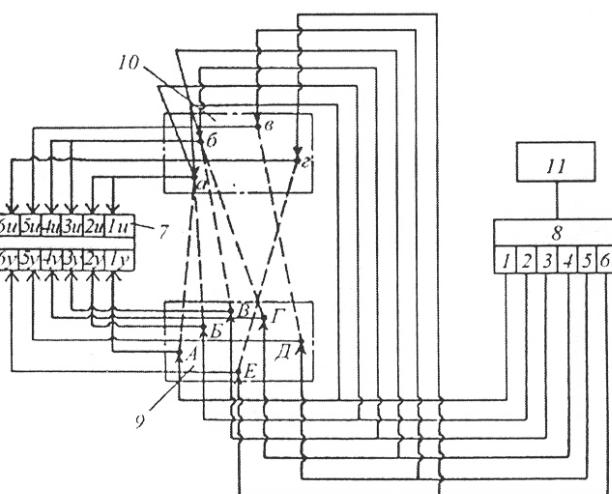


Рис. 3. Схема устройства для определения положения тела в пространстве (вариант II)

ние и движение исполнительного устройства в пространстве непосредственно в абсолютных (не-подвижных) координатах, тогда как в существующих исполнительных устройствах положение каждого последующего звена определяется относительно положения предыдущего звена, т. е. в относительных (подвижных) координатах, вследствие чего положение выходного звена характеризуется числом координат, равных числу степеней подвижности исполнительного устройства.

Управление движением исполнительных устройств в абсолютных координатах свободно от указанных недостатков, так как обеспечивает непосредственное измерение текущих значений шести ℓ -координат выходного звена исполнительного устройства, определяющих его положение и законы движения в пространстве.

Система обратной связи современного вакуумно-технологического оборудования включает совокупность шести устройств для измерения линейных перемещений, собирающих информацию о координатах $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_6$. Каждое такое устройство содержит аппаратуру струнных или бесконтактных измерений.

В управляющей системе фиксируется рассогласование между текущими заданными и фактическими положениями выходного звена исполнительного устройства и определяются звенья, перемещением которых может быть устранено это рассогласование.

С точки зрения упрощения управления исполнительными устройствами вакуумно-технологического оборудования эффективным представляется использование ℓ -координатных исполнительных устройств [5 – 8] в сочетании с ℓ -координатными автоматизированными системами для определения положения исполнительных устройств в пространстве.

На рис. 4 представлено устройство транспортировки подложек в вакуумной установке, построенное по структуре ℓ -координат [8]. Устройство содержит корпус 1, прижим-фиксатор 2 с подложкой 3, основание 4, жестко связанное с прижимом-фиксатором 2 посредством стойки 5, и дополнительную массу 6. Основание 4 соединено с корпусом 1 шестью основными упругими элементами в виде криволинейных пружин 7. Прижим-фиксатор 2 соединён с дополнительной массой 6 шестью дополнительными упругими элементами в виде криволинейных пружин 8. Пружины 7 установлены между парами заданных точек основания 4 и корпуса 1 по структуре ℓ -координат.

При транспортировке подложек в вакуумной установке возникают колебания корпуса 1, которые передаются через пружины 7 на основание 4, а от него на прижим-фиксатор 2. Гашение колебаний прижима-фиксатора 2 обеспечивается наличием массы 6, на которую передаются колеба-

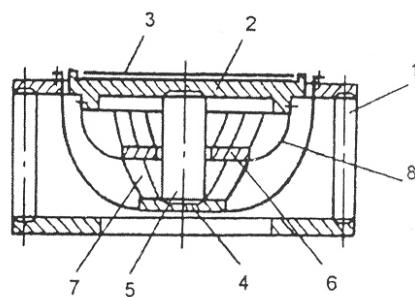


Рис. 4. Устройство транспортировки подложек в вакуумной установке

ния через пружины 8. При равенстве собственных частот колебаний прижима-фиксатора 2 и собственных частот массы 6 собственным частотам вынужденных колебаний возникает явление антрезонанса. Это обеспечивает полное гашение колебаний прижима-фиксатора 2 с подложкой 3. Жёсткость криволинейных пружин 7, 9 подбирается таким образом, чтобы наблюдался именно эффект антрезонанса.

При управлении в абсолютных координатах деформация звеньев исполнительного устройства не влияет на движение выходного звена. Это позволяет уменьшить массу исполнительного устройства и улучшить его динамические характеристики.

На рис. 5 представлена схема автоматизированной системы для определения положения в пространстве исполнительных устройств вакуумно-технологического комплекса обработки полупроводниковых структур в замкнутом цикле.

Подлежащие обработке полупроводниковые пластины загружаются в оборудование через шлюзовое устройство 1 и с помощью ℓ -координатного передающего манипулятора 2 перемещаются в камеру 3 подготовки объектов, предназначенную для очистки пластин, металлизации и отжига. В камере 3 пластины перемещаются копирующим манипулятором 4. После обработки пластины перемещаются из камеры 3 и устанавливаются на ℓ -координатном магистральном транспортере 5 в ℓ -координатных виброзащитных объектодержателях 6, и транспортируются в камеру 7 выращивания полупроводниковых структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Ориентация пластин внутри камеры 7 производится с помощью g-координатного прецизионного манипулятора 8. Кроме того, наряду с процессом выращивания в камере 7 в комплексе предусмотрена возможность фонового легирования в камере 9, снабжённой магнитным секторным анализатором 10 и ионным источником Фримана 11. Отдельная камера 12 обработки ионным пучком с ионно-оптической колонной 13 и жидкотермическим источником ионов используется для прямого легирования локальных областей полупро-

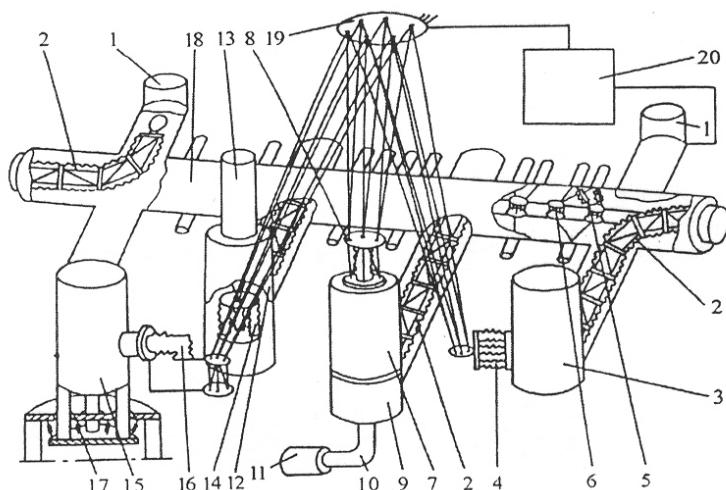


Рис. 5. Автоматизированная система для определения положения в пространстве исполнительных устройств вакуумно-технологического комплекса:

1 – шлюзовое устройство; 2 – л-координатный передающий манипулятор; 3 – камера подготовки объектов; 4 – л-координатный копирующий манипулятор; 5 – л-координатный магистральный транспортер; 6 – л-координатный виброзащитный объектодержатель; 7 – камера выращивания полупроводниковых структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии; 8 – л-координатный прецизионный манипулятор; 9 – камера фонового легирования; 10 – магнитный анализатор; 11 – ионный источник Фримана; 12 – камера обработки ионным пучком; 13 – ионно-оптическая колонна; 14 – л-координатный прецизионный столик; 15 – аналитическая камера; 16 – л-координатный прецизионный манипулятор; 17 – л-координатная виброзащитная платформа; 18 – транспортная магистраль; 19 – л-координатная система для определения положения исполнительных устройств в пространстве; 20 – блок управляющего промышленного компьютера

водников. Юстировка пластин в камере 12 производится посредством л-координатного прецизионного столика 14.

Далее обработанные пластины поступают в аналитическую камеру 15, служащую для всестороннего анализа объектов. Внутри камеры пластины перемещаются с помощью л-координатного прецизионного манипулятора 16. С целью повышения разрешающей способности аналитических методов камера 15 установлена на л-координатной виброизолирующей платформе. Камеры 3, 7, 9, 12 и 15 связаны между собой транспортной магистралью 18 с л-координатным магистральным транспортером 5. Точность позиционирования манипуляторов 4, 8 и 18 контролируется с л-координатной системой для определения положения исполнительных устройств в пространстве. Управление магистральным комплексом обработки полупроводниковых структур в замкнутом цикле производится управляющим промышленным компьютерным блоком 20. л-координатные автоматизированные системы для определения положения исполнительных устройств в пространстве имеют большое значение для гибких автоматизированных производств изделий электронной техники, обеспечивая определение текущих положений исполнительных устройств относительно общей базы.

Библиографические ссылки

1. Ишлинский А.Ю. Ориентации, гироскопы и инерциальная навигация. М.: Наука, 1976. 670 с.
2. Колискор А.Ш. Разработка и исследование промышленных роботов на основе л-координат // Станки и инструмент. 1982. № 12. С. 21–24.
3. Ивашов Е.Н. Устройства на основе л-координат в оборудовании электронной техники: учеб. пособие. М.: МИЭМ, 1995. 35 с.
4. А.с. №1356748 СССР, МКИ⁴ G 01 S 11/00. Устройство для определения положения тела в пространстве (его варианты) / А.Т. Александрова, Е.Н. Ивашов, А.Ш. Колискор, С.В. Степанчиков и др. Опубл. 26.06.85.
5. Ивашов Е.Н., Лучников А.П., Сигов А.С., Степанчиков С.В. Проектирование элементов и устройств технологических систем электронной техники: учеб. пособие для вузов / Под ред. чл.-корр. РАН А.С. Сигова. М.: Энергоатомиздат, 2008. С. 5–33.
6. А.с. №1495111 СССР, МКИ⁴ В 25 J / 00. л-координатный манипулятор / Е.Н. Ивашов, А.Ш. Колискор, С.В. Степанчиков и др. Опубл. 23.07.89. Б.И. № 27.
7. А.с. №1495111 СССР, МКИ⁴ В 25 J 9/00. л-координатный манипулятор / И.Ю. Григорьев, Е.Н. Ивашов, С.В. Степанчиков и др. Опубл. 15.01.91. Б.И. № 2.
8. А.с. №1600381 СССР, МКИ⁴ С 23 С 14/50. Устройство для транспортировки подложки в вакууме / И.Ю. Григорьев, Е.Н. Ивашов, С.В. Степанчиков и др. Опубл. 15.06.90.