



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012132637/28, 29.12.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
29.12.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
31.12.2009 US 61/291,411

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2014 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 20.01.2016 Бюл. № 2

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 20040182168 A1, 23.09.2004. GB  
2131176 A, 13.06.1984. US 4766368, 13.08.1988.  
RU 2318183 C1, 27.02.2008. SU 1195182 A1,  
30.11.1985.(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 31.07.2012(86) Заявка РСТ:  
EP 2010/070888 (29.12.2010)(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2011/080308 (07.07.2011)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,  
ООО "Юридическая фирма Городисский и  
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ДЕ БУР Гвидо (NL),  
ВАН БАР Йохнни Йоаннес Якобус (NL),  
ПАДХЬЕ Каустубх Прабодх (NL),  
МОССЕЛЬ Роберт (NL),  
ВЕРГЕР Нильс (NL),  
СТЕНБРИНК Стейн Виллем Херман Карел  
(NL)

(73) Патентообладатель(и):

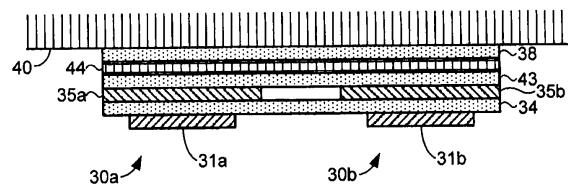
МЭППЕР ЛИТОГРАФИ АйПи Б.В. (NL)

## (54) ЕМКОСТНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, в частности к емкостному датчику для измерения расстояния до мишени в литографическом устройстве. Сущность: емкостная измерительная система содержит датчик (30), имеющий тонкопленочную структуру, имеющую первый изолирующий слой (34) и первую проводящую пленку, содержащую измерительный электрод (31), сформированный на первой поверхности первого изолирующего слоя (34), и вторую проводящую пленку, содержащую задний охранный электрод (35). Задний охранный электрод сформирован в одной

плоскости, содержит периферийную часть в той же самой плоскости и расположен на второй поверхности первого изолирующего слоя (34) и первой поверхности второго изолирующего слоя (43) или защитного слоя (38). Периферийная часть заднего охранный электрода выступает за пределы измерительного электрода (31), образуя боковой охранный электрод, который по существу или полностью окружает измерительный электрод. Технический результат: упрощение изготовления и обеспечение точности. 2 н. и 12 з.п. ф-лы, 32 ил.



Фиг.9В

RU 2 5 7 3 4 4 7 C 2

RU 2 5 7 3 4 4 7 C 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 573 447** (13) **C2**

(51) Int. Cl.

*G01B* 7/02 (2006.01)

*G01D* 5/24 (2006.01)

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2012132637/28, 29.12.2010

(24) Effective date for property rights:  
29.12.2010

Priority:

(30) Convention priority:  
31.12.2009 US 61/291,411

(43) Application published: 10.02.2014 Bull. № 4

(45) Date of publication: 20.01.2016 Bull. № 2

(85) Commencement of national phase: 31.07.2012

(86) PCT application:  
EP 2010/070888 (29.12.2010)

(87) PCT publication:  
WO 2011/080308 (07.07.2011)

Mail address:

129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,  
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):

DE BUR Gvido (NL),  
VAN BAR Jokhnni Joannes Jakobus (NL),  
PADKh'E Kaustubkh Prabodkh (NL),  
MOSSEL' Robert (NL),  
VERGER Nil's (NL),  
STENBRINK Stejn Villem Kherman Karel (NL)

(73) Proprietor(s):

MEhPPER LITOGRAFI AjPi B.V. (NL)

## (54) CAPACITANCE MEASUREMENT SYSTEM

(57) Abstract:

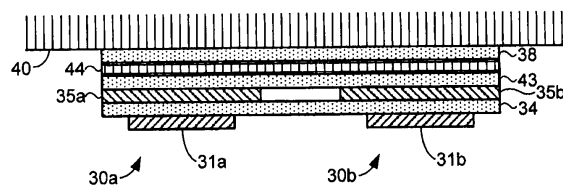
FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: capacitance measurement system comprises a sensor (30), having a thin-film structure, having the first insulating layer (34) and the first conducting film, comprising a measuring electrode (31), formed on the first surface of the first insulating layer (34), and the second conducting film, comprising a rear guard electrode (35). The rear guard electrode is formed in a single plane, comprises a peripheral area in the same plane and is arranged on the second surface of the first insulating layer (34) and the first surface of the second insulating layer (43) or a protective layer (38). The peripheral part of the rear guard electrode protrudes

beyond the limits of the measuring electrode (31), forming a side guard electrode, which substantially or fully surrounds the measuring electrode.

EFFECT: simplified manufacturing and provision of accuracy.

14 cl, 32 dwg



Фиг.9В

2420-188527RU/045

## **ЕМКОСТНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОМУ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ**

### 1. Область техники, к которой относится изобретение

5 Настоящее изобретение относится к емкостному датчику для измерения расстояния, в частности, к емкостному датчику для измерения расстояния до мишени в литографическом устройстве.

### 2. Описание известного уровня техники

10 Литографические машины, в которых применяют заряженные частицы, и оптические литографические машины и контрольно-измерительные машины используются для экспонирования рисунков на полупроводниковые пластины и иные мишени, обычно в качестве части технологического процесса производства полупроводниковых приборов. В литографической системе полупроводниковую пластину обычно экспонируют во множестве мест экспонирующими пучками оптического излучения или  
15 частиц, сгенерированными литографической машиной. Полупроводниковую пластину обычно размещают на столе для полупроводниковых пластин, и множественное экспонирование обычно реализуют путем управляемого перемещения стола для полупроводниковых пластин относительно неподвижной электронной/оптической колонки. Экспонирование обычно производят непрерывно на поверхности  
20 полупроводниковой пластины.

Поверхность полупроводниковой пластины, подлежащей экспонированию, почти никогда не является абсолютно плоской. Типичная полупроводниковая пластина может иметь существующий в ней прогиб до 50 мкм без прижима к столу для полупроводниковых пластин. Помимо прогиба полупроводниковой пластины  
25 поверхность полупроводниковой пластины может иметь другие неровности по ее поверхности. Прогиб полупроводниковой пластины и иные неровности приводят к изменениям высоты поверхности полупроводниковой пластины. Для достижения чрезвычайно высокой точности, требуемой от современных литографических машин, необходимо корректировать это изменение высоты для того, чтобы экспонируемая  
30 поверхность полупроводниковой пластины оставалась в фокальной плоскости проекционного объектива, используемого для фокусировки экспонирующих оптических пучков или пучков частиц на полупроводниковую пластину.

Стол для полупроводниковых пластин, который удерживает полупроводниковую пластину, может быть отрегулирован для компенсации этих изменений высоты  
35 поверхности полупроводниковой пластины. Высота стола для полупроводниковых пластин может быть отрегулирована так, чтобы экспонирование поверхности полупроводниковой пластины происходило в фокальной плоскости проекционного объектива. Регулирование высоты стола для полупроводниковых пластин может быть осуществлено с использованием сигналов, переданных из датчиков, которые измеряют  
40 высоту поверхности полупроводниковой пластины, например, расстояние между проекционным объективом и поверхностью полупроводниковой пластины. Для обеспечения правильного регулирования положения полупроводниковой пластины с максимальной точностью, требующейся для современных литографических машин, необходимы высокочувствительные датчики. Для прикладной задачи этого типа  
45 использовались датчики различных типов, в том числе емкостные зонды. Однако существующие емкостные зонды и соответствующие измерительные системы и системы управления имели некоторые недостатки.

Существующие емкостные датчики обычно являются большими как по высоте, так

и по площади датчика. На чертежах фиг.1А и фиг.1В показана конструкция емкостного датчика из предшествующего уровня техники. На чертеже фиг.1А датчик-зонд показан на виде в разрезе, а на чертеже фиг.1В он показан на виде с торца. Проводящий измерительный электрод 2 окружен проводящим охранным электродом 3. Изолирующий слой 4 разделяет эти два электрода, а другой изолирующий слой 5 может использоваться для отделения охранныго электрода 3 от корпуса 6. Электрический кабель 7 и соединитель 8 соединяют датчик с системой обработки сигналов для получения желательного результирующего сигнала от измерительного прибора. Рабочий диапазон датчика зависит от измерительной области под измерительным электродом 2. Потенциал охранныго электрода 3 установлен равным потенциалу измерительного электрода для ограничения электрического поля в пределах измерительной области для генерации относительно однородного электрического поля между измерительным электродом 2 и мишенью 9. Конструкция этого типа приводит к относительно высокому датчику, как правило, высотой около 20 мм, и к относительно большому измерительному электроду.

Относительно большая высота и ширина датчиков требуют, чтобы датчики были расположены относительно далеко от проекционного объектива, что вносит погрешности вследствие изменения относительного позиционирования датчиков и проекционного объектива вследствие производственных допусков и теплового расширения. Относительно большой размер существующих емкостных зондов также требует, чтобы отдельные датчики в конфигурациях с множеством датчиков были расположены относительно далеко друг от друга, что уменьшает пространственное разрешение измерительной системы, вследствие чего могут не обнаруживаться неровности на поверхности полупроводниковой пластины, имеющие место на небольшой площади поверхности полупроводниковой пластины. Относительно большое расстояние между ними также приводит к более медленной процедуре измерений, что уменьшает производительность литографической машины, в которой используют эти системы.

В патенте Великобритании № 2131176 описан емкостной зонд для измерения расстояния, изготовленный путем склеивания друг с другом двух термопластических полимерных пленок с покрытием из меди, нанесенным на одну сторону так, чтобы покрытая медью лицевая сторона одного листа была соединена с лицевой стороной другого листа, не имеющей покрытия. Экспонируемое покрытие из меди на одном листе разделено на первую область, которая образует измерительный электрод, и вторую область, которая, по меньшей мере, частично окружает измерительный электрод и электрически связана с покрытием из меди на другом листе, образуя охранный электрод для измерительного электрода. Эта конструкция имитирует конструкцию, показанную на чертеже фиг.1, обеспечивая наличие охранныго электрода, окружающего измерительный электрод, причем оба электрода: охранный электрод, окружающий измерительный электрод, и измерительный электрод сформированы на одной и той же поверхности и на одном и том же уровне многослойного устройства. Это приводит к конструкции, которая требует наличия электрического соединения между различными проводящими слоями и соответственно требует более сложного и дорогостоящего технологического процесса изготовления.

Кроме того сложно создать проводные соединения с этими датчиками, и межсоединения вносят емкости, которые влияют на показания датчика и которые необходимо учитывать, обычно датчик калибруют совместно с проложенными межсоединениями. Необходимость калибровки существующих датчиков совместно с

межсоединениями датчиков требует повторной калибровки всякий раз, когда производится замена датчика, что делает эту замену сложной, трудоемкой и дорогостоящей.

В патенте США № 4538069 описан способ калибровки емкостного датчика высоты для литографической машины с одним пучком электронов для экспонирования шаблонов. Датчик высоты сначала калибруют в калибровочном приспособлении с использованием лазерного интерферометра, и устройство затем переставляют в литографическую станцию для экспонирования шаблона, и расстояние до шаблона измеряют емкостным датчиком. Емкостные датчики сформированы на подложке, которая прикреплена к основанию корпуса системы фокусировки электронного пучка. Шаблон-мишень заземлен, емкостные датчики приводят в действие сигналами, сдвинутыми по фазе на  $180^\circ$ , и выходной сигнал с каждого датчика обрабатывают по отдельности для генерации четырех сигналов измерения высоты.

### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В настоящем изобретении предпринята попытка устранения или уменьшения вышеупомянутых недостатков для создания усовершенствованной емкостной измерительной системы, содержащей датчик, имеющий тонкопленочную структуру, причем эта тонкопленочная структура содержит датчик, имеющий первый изолирующий слой и первую проводящую пленку, которая содержит измерительный электрод, сформированный на первой поверхности первого изолирующего слоя, и вторую проводящую пленку, содержащую задний охранный электрод. Задний охранный электрод сформирован в одной плоскости и содержит периферийную часть в той же самой плоскости и расположен на второй поверхности первого изолирующего слоя и первой поверхности второго изолирующего слоя или защитного слоя. Периферийная часть заднего охранного электрода продолжается за пределы измерительного электрода, образуя боковой охранный электрод, который по существу или полностью окружает измерительный электрод.

В этой конструкции датчика отсутствуют отдельные боковые охранные электроды, сформированные на том же самом уровне, что и измерительный электрод, и отсутствует электрическое соединение между отдельным боковым охранным электродом и задним охранным электродом, при этом, тем не менее, достигнута конструкция высокоточного датчика. В тонкопленочном датчике малого размера, предложенном в настоящем изобретении, это электрическое соединение делает процесс изготовления более сложным и дорогостоящим, требуя таких мер как межслойный переход через изолирующий слой или дополнительные внешние проводные соединения. Изобретение подразумевает понимание того, что боковой охранный электрод может быть сформирован из периферийного участка заднего охранного электрода, поэтому боковой охранный электрод и задний охранный электрод сформированы как одна пленка в одной и той же плоскости, например, сформированы на одной и той же поверхности изолирующего слоя. В этой конструкции устранены сложности, обязательно возникающие при создании электрического соединения с отдельным боковым охранным электродом. На основании объединенных вариантов реализации, заключающихся в том, что силовые линии поля заднего охранного электрода продолжают поперечно плоскости заднего охранного электрода и толщине изолирующего слоя между измерительным электродом, и что задний охранный электрод имеет настолько малую высоту, что охранный электрод не обязательно должен быть расположен на точно той же высоте (то есть в той же самой плоскости), что и измерительный электрод, отдельный боковой охранный электрод, окружающий измерительный электрод, расположенный в той же самой плоскости, что

и измерительный электрод, может отсутствовать. Эта конструкция датчика отклоняется от предыдущих трубчатых конструкций и тонкопленочного эквивалента этой конструкции, в которых боковой охранный электрод сформирован в той же самой плоскости, что и измерительный электрод, что приводит к простому и дешевому в изготовлении, но точному датчику, который может применяться более широко и легко.

Емкостная измерительная система может дополнительно содержать удлиненный соединительный элемент, содержащий гибкую мембрану, на которой напечатаны или к которой прикреплены токопроводящие дорожки, причем эти токопроводящие дорожки электрически соединены с измерительным электродом и с задним охранным электродом датчика на одном конце и с соединителем на другом конце. Изолирующий слой может содержать первую область, где сформирован измерительный электрод, и вторую удлиненную область, в которой сформированы токопроводящие дорожки.

Тонкопленочная структура может дополнительно содержать третью проводящую пленку, содержащую экранирующий электрод, расположенный на второй поверхности второго изолирующего слоя. Эта тонкопленочная структура может дополнительно содержать удлиненный соединительный элемент, содержащий гибкую мембрану, на которой напечатаны или к которой прикреплены токопроводящие дорожки, причем эти токопроводящие дорожки электрически соединены, по меньшей мере, с измерительным электродом и с задним охранным электродом измерительного электрода, с задним охранным электродом и с экранирующим электродом (44) датчика на одном конце и с соединителем на другом конце. Датчик может быть соединен с трехжильным коаксиальным кабелем, а экранирующий электрод может быть электрически соединен с его внешней заземленной электрической жилой.

Емкостная измерительная система также может содержать источник питания переменного тока для подачи питания на емкостной датчик, схему обработки сигналов для обработки сигналов от датчика и трехжильный коаксиальный кабель для соединения емкостного датчика с источником питания переменного тока и схемой обработки сигналов, причем этот кабель имеет центральную жилу, внешнюю жилу и экранирующую жилу, где центральная жила предназначена для электрического соединения источника питания переменного тока с измерительным электродом датчика, внешняя жила предназначена для электрического соединения с задним охранным электродом датчика, а экранирующая жила предназначена для электрического соединения экранирующего электрода датчика с заземлением схемы обработки сигналов на удаленном от датчиков конце кабеля.

В другом аспекте настоящее изобретение относится к емкостной измерительной системе, содержащей датчик, имеющий тонкопленочную структуру, причем эта тонкопленочная структура содержит датчик, имеющий первый изолирующий слой, первую проводящую пленку, содержащую измерительный электрод, сформированный на первой поверхности первого изолирующего слоя, вторую проводящую пленку, содержащую задний охранный электрод, расположенный на второй поверхности первого изолирующего слоя и первой поверхности второго изолирующего слоя, и третью проводящую пленку, содержащую экранирующий электрод, расположенный на второй поверхности второго изолирующего слоя. Этот датчик прикреплен к структуре и электрически соединен с трехжильным коаксиальным кабелем, причем экранирующий электрод датчика электрически соединен с внешней жилой трехжильного коаксиального кабеля для обеспечения соединения с потенциалом земли на удаленном от датчиков конце кабеля, а экранирующий электрод датчика не имеет электрического соединения со структурой в датчике.

Электроды датчика могут быть соединены с соответствующими жилами трехжильного коаксиального кабеля через тонкопленочный соединительный элемент. Электроды датчика могут быть соединены с жилами кабеля через токопроводящие дорожки на тонкопленочном соединителе, причем эти токопроводящие дорожки электрически  
 5 соединены, по меньшей мере, с измерительным электродом и с задним охранным электродом датчика на одном конце, и с соединителем на другом конце. Одна или более токопроводящих дорожек, электрически соединенных с задним охранным электродом, могут быть расположены так, что лежат над токопроводящей дорожкой, соединенной с измерительным электродом, при этом токопроводящие дорожки, электрически  
 10 соединенные с задним охранным электродом, являются более широкими, вследствие чего периферийная часть продолжается за пределы края токопроводящей дорожки, соединенной с измерительным электродом. Система может дополнительно содержать одну или более токопроводящих дорожек, соединенных с экранирующим электродом датчика на одном конце и электрически соединенных с внешней электрической жилой  
 15 кабеля, имеющей потенциал земли, на другом конце. Одна или более токопроводящих дорожек, электрически соединенных с экранирующим электродом, могут быть расположены так, что лежат над токопроводящей дорожкой, соединенной с задним охранным электродом, и токопроводящей дорожкой, соединенной с измерительным электродом.

20 Изолирующие слои емкостной измерительной системы могут совместно использоваться с дополнительными емкостными датчиками, а тонкопленочная структура может быть гибкой. Изолирующие слои могут содержать листы из каптона, или подложку из пирекса, или кремниевую подложку с изоляционным покрытием.

В еще одном аспекте настоящее изобретение также относится к литографической  
 25 системе для экспонирования мишени, причем эта система содержит систему проекционного объектива для фокусировки экспонирующего пучка на мишень, подвижный координатный стол для транспортировки мишени, емкостную измерительную систему (согласно любому из описанных выше вариантов) для выполнения измерений, связанных с расстоянием между системой проекционного  
 30 объектива и мишенью, и блок управления для управления перемещением подвижного координатного стола для регулировки положения мишени, по меньшей мере, частично на основании сигнала из емкостной измерительной системы.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Ниже будет приведено объяснение различных аспектов настоящего изобретения со  
 35 ссылкой на варианты его осуществления, показанные на чертежах, на которых изображено следующее:

на чертеже фиг.1А изображен емкостной датчик на виде в разрезе;

на чертеже фиг.1В емкостной датчик из фиг.1А показан на виде с торца;

на чертеже фиг.2 изображена упрощенная схема расположения электродов в виде

40 параллельных пластин;

на чертеже фиг.3 изображена схема емкостного датчика-зонда и заземленной проводящей мишени;

на чертеже фиг.4 изображена схема двух емкостных датчиков-зондов в компоновке для дифференциальных измерений с заземленной проводящей мишенью;

45 на чертеже фиг.5 на виде в разрезе изображен емкостной датчик, содержащий тонкопленочную структуру;

на чертежах фиг.6А, фиг.6В, фиг.6С и фиг.6D на виде в разрезе изображены различные варианты осуществления тонкопленочного датчика;



на чертеже фиг.6Е на виде сверху изображен датчик из фиг.6А и 6В;  
 на чертеже фиг.6F на виде сверху изображен датчик из фиг.6D;  
 на чертеже фиг.7А на виде сверху изображен тонкопленочный датчик с квадратным измерительным электродом;

- 5 на чертеже фиг.7В на виде в разрезе изображен датчик из фиг.8А;  
 на чертеже фиг.8А на виде сверху изображен тонкопленочный датчик с круглым измерительным электродом;  
 на чертеже фиг.8В на виде в разрезе изображен датчик из фиг.8А;  
 на чертежах фиг.9А, фиг.9В и фиг.9С на виде в разрезе изображены различные варианты осуществления интегрального дифференциального тонкопленочного датчика;
- 10 на чертеже фиг.9D на виде сверху изображен интегральный дифференциальный тонкопленочный датчик;  
 на чертежах фиг.10А-фиг.10D на виде в разрезе изображены тонкопленочные емкостные датчики;
- 15 на чертеже фиг.11 на виде сверху изображен датчик с соединительными шинами и контактными площадками;  
 на чертежах фиг.12А и фиг.12В на виде в разрезе изображены структуры контактных площадок;  
 на чертежах фиг.13А-фиг.13D изображены схемы датчиков, соединительных шин и контактных площадок, сформированных на общей подложке;
- 20 на чертеже фиг.14 на виде сбоку изображены датчики, установленные на литографической машине;  
 на чертежах фиг.15А и фиг.15В изображены схемы гибкого печатного соединителя;  
 на чертежах фиг.16А и фиг.16В на виде в разрезе изображена стопа линз проекционного объектива литографической машины, в которой применяют заряженные частицы;
- 25 на чертежах фиг.17А-фиг.17D изображены схемы конструкции гибкой печатной платы с множеством датчиков и интегрированными гибкими печатными соединителями;  
 на чертеже фиг.18 изображена другая компоновка соединений датчиков на литографической машине;
- 30 на чертежах фиг.19А и фиг.19В изображены схемы компоновок для монтажа конструкции, представляющей собой интегральную гибкую печатную плату, на литографической машине;  
 на чертежах фиг.20А и фиг.20В изображены схемы конфигураций емкостных датчиков на монтажной пластине;
- 35 на чертежах фиг.20С и фиг.20D изображены схемы емкостных датчиков, расположенных в диагональной конфигурации;  
 на чертежах фиг.21А и фиг.21В изображены схемы тонкопленочной структуры со сформированным на ней множеством емкостных датчиков;
- 40 на чертеже фиг.21С изображена схема конструкции гибкой печатной платы с множеством датчиков и интегрированными гибкими печатными соединителями;  
 на чертеже фиг.21D на виде в разрезе изображен интегрированный гибкий печатный соединитель;  
 на чертеже фиг.22 изображена блок-схема системы датчиков и системы обработки сигналов;
- 45 на чертеже фиг.23А изображена упрощенная принципиальная электрическая схема высокоимпедансного усилителя с источником тока;  
 на чертеже фиг.23В изображена упрощенная принципиальная электрическая схема

устройства дифференциального датчика с источником тока;

на чертеже фиг.24А изображена упрощенная принципиальная электрическая схема устройства моста Уитстона с источником напряжения;

на чертеже фиг.24В изображена упрощенная принципиальная электрическая схема устройства дифференциального датчика с источником напряжения;

на чертеже фиг.25 изображена упрощенная принципиальная электрическая схема цепи дифференциального датчика;

на чертеже фиг.26 изображена упрощенная принципиальная электрическая схема синхронного детектора;

на чертеже фиг.27 изображена блок-схема, на которой показаны емкости в системе датчика;

на чертежах фиг.28А и фиг.28В изображены упрощенные схемы соединения устройства с кабелем, соединяющим датчик со схемой обработки сигналов;

на чертеже фиг.29 изображена упрощенная принципиальная электрическая схема другого варианта осуществления синхронной схемы;

на чертеже фиг.30 изображена упрощенная принципиальная электрическая схема устройства обработки сигналов из дифференциальной пары датчиков;

на чертеже фиг.31 изображена блок-схема системы управления для позиционирования полупроводниковой пластины для литографической машины; и

на чертежах фиг.32А и фиг.32В изображены схемы компоновки датчиков для использования с системой управления из фиг.31.

## ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ, ПРИВЕДЕННЫХ В КАЧЕСТВЕ ИЛЛЮСТРАТИВНЫХ ПРИМЕРОВ

Ниже дано описание различных вариантов осуществления настоящего изобретения, приведенных просто в качестве примера, и со ссылкой на чертежи.

### Теория емкостных датчиков

В емкостном датчике используют однородное электрическое поле, созданное между двумя проводящими поверхностями. На коротких расстояниях приложенное напряжение является пропорциональным расстоянию между поверхностями. Датчики с одной пластины измеряют расстояние между одной пластиной датчика и электропроводящей поверхностью мишени.

На чертеже фиг.2 показана схема расположения электродов в виде параллельных пластин. Емкость между двумя электродами 11, 12 задана зарядом, индуцированным на одном из электродов вследствие разности потенциалов между этими двумя электродами, деленным на разность потенциалов, как представлено в уравнении (1)

$$C = \frac{Q}{\Delta V} \quad (1)$$

Два параллельных электрода разнесены на расстояние  $d$ . Емкость между этими двумя электродами задана уравнением (2), пренебрегая эффектами искривления поля и неоднородности диэлектрика,

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (2)$$

где  $C$  - емкость между двумя электродами (в фарадах (Ф)),  $A$  - является площадью зоны перекрытия двух электродов (в квадратных метрах ( $m^2$ )),  $\epsilon_0$  - диэлектрическая проницаемость вакуума ( $8,85 \times 10^{-12}$  Ф/м),  $\epsilon_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость среды между электродами, а  $d$  - расстояние между электродами (в метрах (м)).

Когда для зарядки конденсатора с параллельными пластинами используют источник 13 переменного электрического тока, то между электродами создается потенциал напряжения, зависящий от импеданса электродов. Импеданс конденсатора с параллельными пластинами задается уравнением (3),

$$Z = \frac{1}{2\pi fC}, \quad (3)$$

где  $Z$  - импеданс (в омах (Ом)),  $f$  - частота (в герцах (Гц)), а  $C$  - емкость (в фарадах (Ф)).

Из уравнения (3) можно увидеть, что емкостной импеданс является обратно пропорциональным величине емкости и частоте сигнала, подаваемого на конденсатор. В случае емкостного датчика измеряют изменение электрического параметра (напряжения или тока), которое соответствует изменению импеданса датчика. Когда частота сигнала, подаваемого на датчик, сохраняется постоянной, то может быть сделано, что импеданс является обратно пропорциональным изменению емкости. Уравнение (2) показывает, что емкость является прямо пропорциональной площади зоны перекрытия электродов датчика и обратно пропорциональной изменению расстояния между электродами. Объединение уравнений (2) и (3) дает следующее уравнение:

$$V = \frac{d}{2\pi f \epsilon_0 \epsilon_r A} \cdot i, \quad (4)$$

где  $i$  = ток.

За счет сохранения площади зоны перекрытия электродов и частоты электрического сигнала (тока), подаваемого на датчик, постоянными, изменение расстояния между электродами приводит к изменению импеданса емкостного датчика. Напряжение на датчике будет пропорциональным импедансу и пропорциональным расстоянию ( $d$ ) между электродами датчика, что обеспечивает возможность точного измерения расстояния. Как описано ниже, могут быть использованы различные концепции измерения.

#### Принцип измерения для емкостного датчика

На чертеже фиг.3 показан один емкостной датчик-зонд 1, измеряющий зазор до заземленной проводящей мишени 9. Когда на него подают переменный ток, то ток течет по пути 15 от датчика до мишени через емкость 16 "датчик-мишень" и от мишени на землю через импеданс 17 "мишень-земля". Возмущения от внешних воздействий или изменений, которые влияют на измерение расстояния, представлены в схеме как напряжение 19. Точность измерения расстояния от датчика до мишени зависит от того, насколько точно датчик может измерять емкость 16 "датчик-мишень". Емкость импеданса 17 "мишень-земля" часто значительно превышает емкость 16 "датчик-мишень" и может превышать ее более чем в 100 раз, когда мишень не является хорошо заземленной. Эта высокая емкость приводит к низкому импедансу 17, поэтому ее влияние на датчик мало. Однако изменения импеданса 17 влияют на измерение расстояния, и это влияние желательно минимизировать.

На чертеже фиг.4 показана компоновка двух емкостных датчиков-зондов 1a и 1b для дифференциального измерения зазора до мишени 9. На датчики подают переменный ток со сдвигом по фазе на 180 градусов, чтобы ток протекал по пути 18 из одного датчика до мишени через емкость 16a "датчик-мишень" и от мишени к другому датчику через другую емкость 16b "датчик-мишень". Эта компоновка для возбуждения двух датчиков сигналами, сдвинутыми по фазе, является эффективной для предотвращения

протекания тока через мишень на землю и минимизирует влияние мишени на импеданс 17 заземления. Она также полезна для незаземленной мишени, поскольку обеспечивает возможность протекания тока из одного датчика в другой без необходимости наличия заземленного обратного пути. Эта компоновка с возбуждением датчиков сигналами, сдвинутыми по фазе, может использоваться в обычной системе измерений, в которой получают отдельные и независимые результаты измерения емкости (и расстояния) от каждого датчика из пары датчиков. Каждый датчик измеряет расстояние до мишени индивидуально. Возмущение 19 представлено на чертеже фиг.4 двумя напряжениями 19a и 19b возмущения, причем каждая половина величины напряжения 19 относится к синфазному возмущению, которое оказывает одинаковое влияние на каждый датчик.

Компоновка для дифференциальных измерений также может использоваться совместно с сигналами, сдвинутыми по фазе, которые подают на датчики. В этой компоновке выходные сигналы с двух датчиков объединяют в пару таким образом, что емкость 16a "датчик-мишень" датчика 1a заряжается напряжением возбуждения датчика 1a в течение его положительного полупериода, а также напряжением возбуждения датчика 1b в течение его положительного полупериода, тогда как емкость 16b "датчик-мишень" датчика 1b заряжается напряжением возбуждения датчика 1b в течение его отрицательного полупериода, а также напряжением возбуждения датчика 1a в течение его отрицательного полупериода. Таким образом выходной сигнал с каждого датчика соответствует среднему расстоянию между этими двумя датчиками и мишенью.

Питание датчиков осуществляют сигналом напряжения треугольной формы с постоянным наклоном и амплитудой, что приводит к приблизительно прямоугольной форме сигнала электрического тока, подаваемого на емкость датчика, то есть к приблизительно постоянному положительному электрическому току в одном полупериоде и к приблизительно постоянному отрицательному электрическому току в другом полупериоде. Практически ток увеличивается до, по существу, стационарного состояния в течение каждого полупериода, вследствие чего измерения предпочтительно производят в течение последней части каждого полупериода, когда достигнут стационарный электрический ток.

Ток, протекающий через датчик, и соответствующая емкость датчика могут быть измерены и преобразованы в напряжение для дальнейшей обработки. Результирующие значения для каждого датчика из дифференциальной пары могут быть объединены для уменьшения или устранения синфазных возмущений. Например, стационарный ток, протекающий через датчик 1a в течение положительного периода электрического тока, может быть просуммирован со стационарным током, протекающим через датчик 1b в течение положительного периода электрического тока, и аналогичным образом стационарный ток, протекающий через датчик 1a в течение отрицательного периода электрического тока, может быть просуммирован со стационарным током, протекающим через датчик 1b в течение отрицательного периода электрического тока. Вычитание просуммированного значения в положительном периоде из просуммированного значения в отрицательном периоде дает сигнал дифференциального датчика, то есть  $V_{diff} = (V_{1pos} + V_{2pos}) - (V_{1neg} + V_{2neg})$ .

Вследствие того, что датчики расположены в непосредственной близости, и того, что возбуждение пары датчиков осуществляют со сдвигом по фазе, ток датчика заряжает и разряжает обе емкости 16a и 16b "датчик-мишень" пары датчиков так, что каждое измеренное значение равно среднему значению расстояния от каждого датчика до мишени. Оно может рассматриваться как расстояние между парой датчиков и точкой

на мишени посередине между этими двумя датчиками. На каждое измеренное значение оказывают влияние любые возмущения, например, возмущения 19a и 19b, которые показаны на чертеже фиг.4. Эти возмущения присутствуют как в значениях в положительных периодах, так и в значениях в отрицательных периодах, но, по существу, удалены из результатов измерений путем вычитания положительных и отрицательных величин при получении сигнала дифференциального датчика. Преимущество этой компоновки состоит в том, что синфазные возмущения в отдельных датчиках взаимно компенсируются при измерениях. Любые различия в двух датчиках, которые остаются постоянными во время измерений, будут взаимно скомпенсированными, что приводит к точному результату измерения. Компоновка для дифференциальных измерений сильно ослабляет влияние емкости мишени относительно земли и увеличивает чувствительность системы датчиков.

#### Конструкция датчиков

На чертеже фиг.5 на виде в разрезе показан емкостной датчик, содержащий тонкопленочную структуру. Проводящий измерительный электрод 31 и проводящий боковой охранный электрод 32 сформированы на изолирующей пленке 34 или прикреплены к ней. Проводящий задний охранный электрод 35 расположен на задней стороне изолирующей пленки 34. Зазор 39 между измерительным электродом и охранным электродом является узким, обычно равным нескольким десятым долям микрометра, и может представлять собой воздушный зазор или зазор, заполненный изоляционным материалом.

Электрическое поле, сгенерированное между измерительным электродом и мишенью, искривляется вблизи краев измерительного электрода. Наличие проводника вблизи края измерительного электрода может оказывать большое и непредсказуемое влияние на электрическое поле и, следовательно, на результаты измерений посредством датчика. Чтобы избежать этой ситуации (и сделать результаты измерений посредством датчика более прогнозируемыми и более простыми для моделирования, чтобы электрическое поле можно было вычислить аналитически), измерительный электрод окружен охранным электродом, на который подают тот же самый потенциал, что и на измерительный электрод. Охранный электрод функционирует в качестве экрана против внешних помех и также выводит эффекты искривления электрического поля из измерительной области под измерительным электродом, уменьшая паразитную емкость. Электрическое поле генерируют между охранным электродом и мишенью на каждой стороне электрического поля между измерительным электродом и мишенью. Между измерительным электродом и охранным электродом сгенерированное электрическое поле отсутствует, поскольку они имеют одинаковый потенциал. Это приводит, по существу, к однородному электрическому полю в области под измерительным электродом, тогда как на внешних краях охранных электродов происходит искривление поля.

Площадь измерительного электрода 31 должна быть большей по сравнению с расстоянием, отделяющим измерительный электрод от мишени. К тому же, зазор 39 между измерительным электродом 31 и боковым охранным электродом 32 должен быть малым по сравнению с расстоянием между измерительным электродом и мишенью, а ширина бокового охранный электрода 32 должна быть большей по сравнению с расстоянием между измерительным электродом и мишенью. В одном из вариантов осуществления изобретения ширина измерительного электрода является, по меньшей мере, в пять раз большей, чем расстояние между электродом датчика и мишенью, зазор между измерительным электродом и охранным электродом является меньшим или равным одной пятой расстояния между электродом датчика и мишенью, а ширина

охранного электрода является, по меньшей мере, в пять раз большей, чем расстояние между измерительным электродом и мишенью. Соблюдение этих сравнительных конструктивных правил обеспечивает вариант осуществления конструктивных правил для емкостного датчика с очень предсказуемой емкостью, например, предсказуемость емкости равна одной миллионной. Предсказуемость здесь определяется как относительная погрешность при использовании формулы идеальной емкости пластины в зависимости от расстояния согласно приведенному уравнению (2) для вычисления емкости для электрода конечного размера вместо электрода бесконечного размера.

Помимо измеряемой емкости  $C_1$  датчика между измерительным электродом и мишенью датчик имеет собственные паразитные емкости  $C_2$  и  $C_3$  между каждым из отдельных элементов конструкции. Паразитные емкости  $C_2$  и  $C_3$  являются малыми по сравнению с измеряемой емкостью  $C_1$ . В варианте осуществления изобретения, показанном на чертеже фиг.5, паразитные емкости включают в себя емкость  $C_2$  между измерительным электродом и боковыми охранными электродами и емкость  $C_3$  между измерительным электродом и задним охранным электродом.

В одном из вариантов осуществления датчика емкость  $C_1$  между измерительным электродом и мишенью составляет от 0,1 пФ до 1 пФ, тогда как паразитная емкость  $C_2$  между измерительным электродом и боковыми охранными электродами является в 100-1000 раз меньшей, обычно порядка 0,001 пФ (то есть  $10^{-15}$  Ф). Паразитная емкость  $C_3$  между измерительным электродом и задним электродом обычно является большей и преобладающей, обычно она равна приблизительно от 1 пФ до 1000 пФ (то есть от  $10^{-12}$  Ф до  $10^{-9}$  Ф). Влияние этих паразитных емкостей уменьшено за счет подачи на охранный электрод того же самого потенциала, что и на измерительный электрод. Это может быть достигнуто путем электрического соединения бокового охранного электрода и измерительного электрода или за счет использования помощи активной защиты, которая более подробно описана ниже. Активная защита также может использоваться для заднего охранного электрода.

Для применения в литографических машинах, работающих в чистой производственной среде в вакуумной камере, датчики предпочтительно сконструированы так, что выделяют очень низкие уровни загрязняющих веществ, когда находятся в вакууме. Для датчиков, используемых в области применения этого типа, поверхность проводников может быть сформирован защитный слой, например, из полиимидной пленки из каптона или из аналогичной защитной пленки, в особенности при использовании материалов, которые могут загрязнять вакуум. На чертежах фиг.6A-фиг.6D на виде в разрезе показаны различные варианты осуществления тонкопленочного датчика, включающего в себя защитные слои 37 и 38, на чертеже фиг.6E на виде сверху показан датчик из фиг.6A и фиг.6B, а на чертеже фиг.6F на виде сверху показан датчик из фиг.6D.

На чертеже фиг.6A на виде в разрезе показан вариант осуществления изобретения с измерительным электродом 31 и боковым охранным электродом 32, которые сформированы на одной поверхности изолирующей пленки 34 или прикреплены к ней, и с задним охранным электродом 35 на другой поверхности пленки 34. Датчик прикреплен к пластине 40, которая обычно является частью конструкции оборудования, в котором необходимо измерять расстояние, или может быть прикреплен к детали конструкции, например, к монтажной пластине или к прокладке вокруг проекционного объектива литографической машины, где датчик измеряет расстояние между

проекционным объективом и полупроводниковой пластиной под объективом. Пластина 40 может быть проводящей и, следовательно, также может служить в качестве экранирующего электрода для датчика.

На чертеже фиг.6В показан альтернативный вариант осуществления изобретения, содержащий проводящий экранирующий электрод 44, сформированный на второй изолирующей пленке 43, служащей в качестве части конструкции датчика, или прикрепленный к ней. Эта конструкция обеспечивает возможность установки датчика на непроводящей поверхности. Даже в том случае, если он установлен на проводящей поверхности, это обеспечивает совместимость по протяженности и функционированию экранирующего электрода. Включение экранирующего электрода 44 в качестве детали конструкции датчика также обеспечивает независимый потенциал земли, который в противном случае мог быть получен с опорной поверхности. Например, когда датчик используют в литографической системе с использованием пучка электронов, на потенциал земли из машины могут оказывать влияние электрические помехи от проекционных объективов. Это также обеспечивает возможность наличия того же самого заземления экранирующего электрода датчика, что и заземление измерительных электрических цепей и кабелей, соединяющих датчик с этими электрическими цепями.

Это может быть достигнуто путем соединения экранирующего электрода датчика с экранирующей жилой в соединительном кабеле, которая затем соединена с точкой заземления, используемой в электрических схемах измерений. Это предотвращает необходимость наличия отдельных заземлений для датчика и для измерительной электроники. Когда эта конструкция соединена трехжильным кабелем, например, трехжильным коаксиальным кабелем, она также обеспечивает возможность наличия точек соединения, приспособленных для соединения, между каждым из трех проводящих слоев датчика и соответствующей жилой трехжильного коаксиального кабеля, включая экранирующий электрод, в том числе для соединения экранирующего электрода с экранирующей жилой трехжильного коаксиального кабеля для подачи независимого потенциала земли из электрической схемы на датчик.

На чертеже фиг.6С проиллюстрирован другой вариант осуществления изобретения, включающий в себя внешний боковой охранный электрод 33, электрически соединенный с экранирующим электродом 44. Это соединение может быть реализовано путем формирования отверстий или межслойных переходных отверстий в изолирующих слоях 34 и 43, например, лазером, для обеспечения возможности электрического соединения между участками проводящих слоев на каждом уровне.

На чертеже фиг.6D изображен еще один вариант осуществления изобретения без боковых охранных электродов на том же самом уровне или на той же самой поверхности, что и измерительный электрод. В предшествующих конструкциях, рассмотренных выше, боковые охранные электроды всегда считали необходимыми для ограничения электрического поля, сгенерированного измерительным электродом в пределах измерительной области для генерации относительно однородного электрического поля между измерительным электродом и мишенью и для уменьшения влияния проводников, расположенных близко к датчику, на датчик. В предшествующих конструкциях, которые были относительно высокими и большими, например, как показано на чертеже фиг.1А, требовался охранный электрод, который продолжался вниз до той же самой плоскости, в которой расположен электрод датчика, окружая электрод датчика. Аналогичным образом в тонкопленочных конструкциях боковые охранные электроды считали важными для размещения охрannого электрода на том же самом уровне, что и электрод датчика. Боковые охранные электроды

предпочтительно являются электрически соединенными с задним охранным электродом, но эта компоновка требует создания электрического соединения между этими двумя электродами, что является затруднительным. В конструкциях, показанных на чертежах фиг.6А-6С, это соединение сделано сквозь изолирующий слой 34. Вследствие небольшого размера датчика и тонкости изолирующего слоя 34 точное проделывание отверстий надлежащего размера и в надлежащем месте в изолирующем слое является затруднительным. Для этого может быть использован лазер, но технологический процесс становится более сложным и дорогостоящим.

Однако было установлено, что в том случае, если пленки тонкопленочного датчика являются достаточно тонкими, то боковые охранные электроды на том же самом уровне, что и измерительный электрод, не нужны. Тот же самый эффект может быть достигнут путем проектирования датчика с измерительным электродом 31 меньшего размера, чем задний охранный электрод 35, чтобы периферийная часть заднего охранный электрода выступала сбоку за его пределы и окружала измерительный электрод. В этом случае периферийная часть заднего охранный электрода действует в качестве бокового охранный электрода. Электрическое поле, исходящее из периферийной части заднего охранный электрода 35, продолжается через изолирующий слой 34, действуя так, что ограничивает электрическое поле, сгенерированное измерительным электродом, измерительной областью, вследствие чего между измерительным электродом и мишенью генерируется относительно однородное электрическое поле. Искривление электрического поля, вызванное проводником, расположенным вблизи датчика, происходит на внешних краях периферийной части заднего охранный электрода, а не в измерительном электроде. Результатом этого является более простая конструкция, которая является менее сложной в изготовлении и настолько же более дешевой в производстве, но которая может обеспечивать генерацию, по существу, однородного электрического поля в области под измерительным электродом с меньшей чувствительностью к возмущениям, вызванным проводником, расположенным близко к датчику.

Варианты осуществления изобретения, изображенные на чертежах фиг.6А и фиг.6В, показаны на виде сверху на чертеже фиг.6Е, где измерительный электрод 31 сформирован имеющим круглую форму с С-образным боковым охранным электродом 32, почти полностью окружающим измерительный электрод, причем между этими двумя электродами остается узкий зазор вокруг периферийного края измерительного электрода 31. В этом варианте осуществления изобретения боковой охранный электрод 32 и задний электрод 35 возможно, но не обязательно, являются электрически соединенными посредством отверстия 37 в изолирующей пленке 34, обеспечивающего возможность электрического контакта между охранным и задним электродами. В этом варианте осуществления изобретения используют одно С-образное отверстие, хотя могут использоваться иные формы и/или может использоваться множество отверстий. Соединение охранный и задний электродов приводит оба электрода к одинаковому потенциалу для устранения влияния любой емкости между ними, и влияние любой емкости между охранным и задним электродами и измерительным электродом также может быть устранено с использованием активной защиты.

В варианте осуществления изобретения, показанном на чертеже фиг.6Е, внутренний измерительный электрод 31 имеет одно или более продолжений, образующих соединительные шины 41 для обеспечения электрического соединения измерительного электрода с внешними схемами обработки сигналов, и аналогичным образом боковой охранный электрод 32 имеет одно или более продолжений, образующих соединительные



шины 42 для обеспечения электрических соединений. Измерительный электрод 31, боковой охранный электрод 32 и соединительные шины 41 и 42 сформированы из тонких пленок. В варианте осуществления изобретения, показанном на чертеже, все электроды 31 и 32 и все соединительные шины 41 и 42 расположены в одной и той же плоскости и могут быть сформированы из одной и той же тонкой пленки путем осаждения или путем формирования частей пленки, удаляемых с использованием лазера, способом травления или иными подходящими способами удаления. Боковой охранный электрод 32, по существу, окружает измерительный электрод 31, оставляя небольшой зазор для соединительных шин 41, продолжающихся за пределами измерительного электрода, для обеспечения электрического соединения между измерительным электродом и схемами обработки сигналов. Соединительные шины также добавляют паразитные емкости, которые следует учитывать при проектировании датчика.

Вариант осуществления изобретения, изображенный на чертеже фиг.6D, показан на виде сверху на чертеже фиг.6F (изолирующий слой 34 не показан, поэтому виден задний охранный электрод 35). Этот вариант аналогичен варианту осуществления изобретения, показанному на чертеже фиг.6E, за исключением отсутствия боковых охранных электродов на том же самом уровне, что и измерительный электрод. На этом изображении в качестве бокового охранный электрода функционирует периферийная область 35а заднего охранный электрода 35. Датчик может быть сконструирован таким же самым образом, что и датчик из описанного выше варианта осуществления изобретения, показанного на чертеже фиг.6E, и, как описано выше, соединительные шины 41 и 42 продолжаются за пределы измерительного электрода и заднего охранный электрода для обеспечения электрических соединений.

В этих вариантах осуществления изобретения электроды 31 и 35 и электроды 32 и 44, когда они включены в состав конструкции, могут быть сформированы из проводящих слоев толщиной приблизительно 18 микрон, изолирующие пленки 34 и 43 могут иметь толщину приблизительно 25 микрон, а защитные слои 37, 38 могут иметь толщину приблизительно 50 микрон. Тонкопленочный датчик может быть сконструирован имеющим общую толщину приблизительно 100-200 микрон и толщину между задней поверхностью конструкции датчика и передней поверхностью измерительного электрода (то есть поверхностью, обращенной в направлении, в котором производят измерение расстояния), равную 50-150 микронам, предпочтительно около 100 микрон. Тонкопленочная структура, небольшая площадь и очень малая высота (толщина) датчика позволяют применять эти датчики в тех областях применения, где имеется лишь очень небольшое пространство (в частности, где имеющаяся высота ограничена) и где необходимо близкое расстояние между датчиками или между датчиками и другим оборудованием.

Небольшой размер тонкопленочного датчика, показанного на чертежах фиг.6A-6F (и также показанного в других вариантах осуществления изобретения, которые описаны ниже), обеспечивает много преимуществ. Тонкопленочная структура приводит к минимальной высоте, и ширина или площадь датчика также могут быть очень малыми. Это обеспечивает возможность установки датчика в непосредственной близости к той точке, в которой желательно производить измерение расстояния. При использовании датчиков в литографической машине для измерения расстояния между проекционным объективом и экспонируемой мишенью они могут быть установлены рядом с проекционным объективом и на той же самой монтажной конструкции так, чтобы как датчики, так и проекционный объектив были зафиксированы в одной и той же опорной точке. Это сильно уменьшает погрешности из-за относительного перемещения между

датчиками и проекционным объективом, устраняет необходимость внесения поправок на отклонение места установки датчика от номинального и снижает требования для калибровки. Небольшой размер датчика также снижает требования к плоскостности для самого датчика.

На чертежах фиг.7 и фиг.8 показаны дополнительные варианты осуществления тонкопленочного датчика с изолирующим слоем 34, сформированным только лишь между измерительным электродом 31 и задним электродом 35, чтобы боковой охранный электрод 32 и задний электрод 35 могли быть непосредственно соединены друг с другом.

На чертеже фиг.7А показан датчик с квадратным измерительным электродом на виде сверху, а на чертеже фиг.7В этот датчик показан на виде в разрезе. В одном из вариантов осуществления изобретения квадратный датчик спроектирован с номинальной емкостью датчика (емкостью  $C_1$  между измерительным электродом и мишенью), равной 1 пФ, при номинальном расстоянии между датчиком и мишенью, равном 100 микрон,

измерительный электрод имеет ширину 3,5 мм (+/-0,01 мм) и площадь 12,25 мм<sup>2</sup>. Охранный электрод имеет ширину 1,5 мм (+/-0,01 мм), и зазор между измерительным и охранным электродами составляет 0,015 мм (+/-0,001 мм). В другом варианте осуществления изобретения датчик спроектирован с номинальной емкостью датчика, равной 10 пФ, при номинальном расстоянии между датчиком и мишенью, равном 100 микрон. Измерительный электрод имеет ширину 11 мм (+/-0,01 мм) и площадь 121 мм<sup>2</sup>. Ширина охрannого электрода и зазор не изменены и равны соответственно 1,5 мм (+/-0,01 мм) и 0,015 мм (+/-0,001 мм).

На чертеже фиг.8А показан датчик с круглым измерительным электродом на виде сверху, а на чертеже фиг.8В этот датчик показан на виде в разрезе. В одном из вариантов осуществления изобретения круглый датчик спроектирован с номинальной емкостью датчика, равной 1 пФ, при номинальном расстоянии между датчиком и мишенью, равном 100 микрон. Измерительный электрод имеет диаметр 4 мм (+/-0,001 мм) и площадь 12,25 мм<sup>2</sup>. Охранный электрод имеет внутренний диаметр 4,015 мм (+/-0,001 мм) и внешний диаметр 8 мм (+/-0,001 мм). В другом варианте осуществления изобретения датчик спроектирован с номинальной емкостью датчика, равной 10 пФ, при номинальном расстоянии между датчиком и мишенью, равном 100 микрон. Измерительный электрод имеет диаметр 6,2 мм (+/-0,001 мм) и площадь 121 мм<sup>2</sup>. Охранный электрод имеет внутренний диаметр 6,215 мм (+/-0,001 мм) и внешний диаметр 12,4 мм (+/-0,001 мм).

Варианты осуществления изобретения, показанные на чертежах фиг.5-8, могут быть сконструированы так, чтобы они имели диапазон измерений (по оси z, перпендикулярной к поверхности измерительного электрода) 80-180 микрон между датчиком и мишенью. Для специалиста в данной области техники понятно, что размеры датчиков могут быть изменены для обеспечения иного диапазона измерений.

Варианты осуществления изобретения, показанные на чертежах фиг.5-8, также могут быть реализованы с использованием способов литографии для создания еще более тонких слоев материала, например, измерительного электрода 31 толщиной 100 нм (+/-10 нм), бокового охрannого электрода 32 (если он содержится) и заднего электрода 35 толщиной 150 нм (+/-10 нм) и изолирующего слоя 34 толщиной 50 нм (+/-10 нм). В этих вариантах осуществления изобретения измерительный электрод является квадратным или круглым, обеспечивая большую измерительную область для максимального увеличения чувствительности датчика, одновременно обеспечивая минимизацию габаритных размеров датчика. Однако датчик может быть выполнен

имеющим иную форму с измерительным электродом (и аналогичным образом с охранными электродами), выполненным в форме прямоугольника, овала или имеющим иную форму для максимального увеличения измерительной области.

Варианты осуществления изобретения, показанные на чертежах фиг.5-8, могут быть сконструированы с проводящим слоем для электродов 31, 32, осажденным на изолирующий слой 35 или прикрепленным к изолирующему слою клеевым или связывающим слоем. Зазор 39 между измерительным и охранным электродами может быть сформирован путем формирования единого проводящего слоя для обоих электродов: для измерительного электрода и для охрannого электрода, и путем удаления материала с использованием лазера или способом травления для создания зазора. Лазер является предпочтительным для создания зазора с очень малыми значениями ширины и может быть использован для создания зазора шириной 25 микрон с малым отклонением, тогда как травление обычно обеспечивает меньшую точность.

Датчики могут быть изготовлены с использованием различных способов, например, с использованием литографических способов, технологии MEMS (микроэлектромеханических систем) или технологии гибких печатных плат. При использовании технологии гибких печатных плат изолирующий слой 34 может быть создан в виде гибкого листа или ленты из подходящего материала, например, из полиимидной пленки из каптона или из аналогичной гибкой изолирующей пленки. Проводящие электроды 31, 32 и 35 могут быть сформированы из тонкого слоя меди или иного подходящего проводящего материала, прикрепленного к изолирующему слою 34 с использованием клея, сформированы в виде слоистого материала без приклеивания, например, с использованием способа прямой металлизации, или напечатаны на изолирующем слое с использованием проводящих чернил или иными подходящими способами печати. Охранные изолирующие пленки 37 и 38 могут быть сформированы из материалов тех же самых типов, что и слой 34.

Гибкий печатный тонкопленочный датчик легко изготовить, и он может быть сделан быстро, что приводит к короткому общему времени производственного цикла. Датчик может быть сделан с надежными соединениями датчика со схемой обработки сигналов. Небольшой размер обеспечивает более высокую гибкость для его размещения в той точке, где необходимо измерять расстояние, или очень близко к ней. Датчики могут быть приклеены на месте как отдельные датчики-элементы для быстрой и простой сборки системы датчиков. Плоскостность и наклон отдельных датчиков могут быть проверены после того, как они были приклеены на месте и откалиброваны в процедуре измерения. Когда для слоев изоляции используют гибкий лист материала, то весь датчик может быть сконструирован гибким.

Ширина зазора между измерительным и боковым охранным электродами в некоторых из вышеописанных вариантов осуществления изобретения не удовлетворяет описанным выше сравнительным конструктивным правилам, например, зазор между измерительным и охранным электродами превышает одну пятую расстояния между измерительным электродом и мишенью. Однако для многих областей применения датчиков преимущества тонкопленочной структуры перевешивают это.

На чертежах фиг.9А-9С показаны различные варианты осуществления пары датчиков, сконструированной в виде единого интегрального блока. В этих вариантах осуществления изобретения интегральный блок включает в себя два датчика 30а и 30b, каждый из которых имеет свой собственный измерительный электрод 31а, 31b и задний охранный электрод 35а, 35b. В датчике, показанном на чертеже фиг.9А, в качестве экранирующего электрода используют проводящую пластину 40, и в датчиках,

показанных на чертежах фиг.9В и фиг.9С, совместно используют один экранирующий электрод 44, интегрированный с парой датчиков. В варианте осуществления изобретения, показанном на чертеже фиг.9С, датчик прикреплен к пластине 40 с использованием капель или линий 56 клея между экранирующим электродом 44 и пластиной 40. В тех случаях, когда пластина 40 является проводящей, для электрического соединения пластины 40 и экранирующего электрода 44 может использоваться проводящий клей для более эффективного заземления экранирующего электрода. Как описано выше, два датчика 30а, 30b предпочтительно функционируют как дифференциальная пара, в которой каждый датчик возбуждают напряжением или током, который имеет сдвиг по фазе относительно другого датчика из пары, предпочтительно имеют сдвиг по фазе на 180 градусов и производят дифференциальное измерение для взаимной компенсации синфазных погрешностей.

На чертеже фиг.9D на виде сверху показана дифференциальная пара датчиков. Задний охранный и измерительный электроды сформированы в форме четырехугольника со скругленными углами, рассчитанную так, чтобы она соответствовала, например, областям 115, показанным на чертежах фиг.20D и фиг.21В. Эта форма приводит к наибольшей площади измерительных электродов в пределах границ области 115 для обеспечения результатов измерений с наивысшей разрешающей способностью. Электроды также могут быть сформированы имеющими круглую форму, которая также близко соответствует областям 115 для создания измерительных электродов наибольшей площади.

На чертежах фиг.10А-10D показаны различные конфигурации тонкопленочного емкостного датчика с использованием различных материалов для подложки датчика. Эти варианты осуществления изобретения пригодны для конструкции с использованием литографических способов, которые позволяют изготавливать электроды очень точной формы с очень малыми размерами зазора. Это обеспечивает возможность конструирования датчика, удовлетворяющего описанным выше сравнительным конструктивным правилам и имеющего очень высокую разрешающую способность для измерения очень малых элементов и очень малых расстояний. Литографические способы также обеспечивают возможность изготовления соединительных шин и контактных/связывающих площадок с очень малыми значениями ширины дорожки и точными размерами. Кроме того, литографические способы являются хорошо известными для специалистов в данной области техники, и после того, как разработана последовательность технологических операций, она может быть легко применена при изготовлении датчиков, имеющих более высокую разрешающую способность. Однако первоначальная разработка технологического процесса приводит к более длительному общему времени производственного цикла и требует экспериментов с коротким циклом для проверки различных этапов технологического процесса. На чертежах фиг.10А-10D показана только конфигурация слоев и не показан боковой охранный электрод, но если он содержится, то он был бы сформирован в том же самом слое, что и измерительный электрод, и на них не показано необязательное соединение бокового охранный электрода и заднего охранный электрода.

Для тех областей применения, где на машине, например, на литографической машине, установлен один или более датчиков, подложка в этих вариантах осуществления изобретения может быть общей для более чем одного датчика, так что набор датчиков сконструирован в одном блоке. Пример компоновки этого типа показан на чертежах фиг.13А-13D и описан ниже. В этом случае подложка соединена с монтажной пластиной или подложка может быть использована в качестве монтажной пластины для установки

датчиков на машине.

Вариант осуществления изобретения, показанный на чертеже фиг.10А, содержит кремниевую подложку 45 с изолирующими слоями 47а, 47b, сформированными с обеих сторон. Измерительный электрод 31 сформирован на поверхности одного из  
5 изолирующих слоев, а задний охранный электрод 35 сформирован на поверхности другого изолирующего слоя. В этом варианте осуществления изобретения может потребоваться эффективное функционирование активного смещения охранного электрода, для чего может потребоваться формирование рисунка на пластине, на которой закреплен датчик. Кроме того, проблему может вызвать емкостная связь  
10 между проекционным объективом и датчиками.

Вариант осуществления изобретения, показанный на чертеже фиг.10В, содержит кремниевую подложку 45 с множеством слоев, сформированных на одной стороне, которые включают в себя первый изолирующий слой 47а, измерительный электрод 31, сформированный на первом изолирующем слое, второй изолирующий слой 47b и задний  
15 охранный электрод 35, сформированный на втором изолирующем слое. В этом варианте осуществления устранена необходимость формирования рисунка на монтажной пластине, к которой прикреплен датчик, и также устранена емкостная связь между проекционным объективом и датчиками. Однако по сравнению с вариантом осуществления изобретения, показанным на чертеже фиг.10А, требуется наличие  
20 дополнительного изолирующего слоя.

Кремниевая подложка не является хорошим изолятором, поэтому эти варианты осуществления изобретения включают в себя изолирующие слои. Еще одним недостатком кремниевой подложки является то, что вследствие наличия в кремнии примесей может происходить генерация паразитных токов в кремнии, и эти токи могут  
25 создавать помехи при измерении емкости посредством датчика.

Вариант осуществления изобретения, показанный на чертеже фиг.10С, содержит подложку 46 из пирекса с измерительным электродом 31, сформированным на одной поверхности, и с задним электродом 35, сформированным на другой поверхности. В этом варианте осуществления изобретения также требуется формирование рисунка на  
30 пластине, на которой закреплен датчик, если реализовано активное смещение охранных электродов, хотя активная защита может не использоваться, что приводит к уменьшению чувствительности и к добавлению некоторой нелинейности в датчике. Вариант осуществления изобретения с этой структурой, в котором толщина подложки равна 100 мкм, а зазор между измерительным электродом и боковым охранным электродом  
35 равен 16 мкм, когда на нее подают ток величиной 50 мкА (микроампер) с частотой 150 кГц, может создавать действующее выходное напряжение приблизительно 11,5 В на расстоянии 0,8 мкм между датчиком и мишенью, и действующее выходное напряжение приблизительно 13,5 В на расстоянии 1,8 мкм между датчиком и мишенью.

Вариант осуществления изобретения, показанный на чертеже фиг.10D, содержит  
40 подложку 46 из пирекса с множеством слоев, сформированных на одной стороне, которые включают в себя охранный электрод 49, изолирующий слой 47, сформированный на охранным электроде, и измерительный электрод 48, сформированный на изолирующем слое. При этой компоновке не требуется формирование рисунка на пластине, на которой закреплен датчик, и емкостная связь  
45 между проекционным объективом и датчиками уменьшена вследствие наличия слоя из пирекса толщиной 100 мкм. Пирекс является хорошим изолятором, и для вариантов осуществления изобретения, в которых используют подложку из пирекса, изолирующие слои, используемые в вариантах осуществления изобретения, в которых использован

кремний, могут быть опущены.

Создание электрических соединений между электродами датчика (измерительным, боковым охранным и задним охранным электродами) и системой обработки сигналов требует создания надежного низкоимпедансного соединения с малыми датчиками-элементами. Это соединение должно быть способным выдерживать ожидаемые механические усилия, предотвращая внесение дополнительных паразитных емкостей в компоновку датчика. Для применений датчика в литографических машинах в этих соединениях также следует избегать использования таких материалов, которые выделяют загрязняющие вещества в вакуум.

На чертеже фиг.11 показан датчик, имеющий контактные площадки 50a, 50b, сформированные на концах соединительных шин 41 и 42, для обеспечения внешних соединений датчика со схемой обработки сигналов. На чертежах фиг.12А и фиг.12В на виде в разрезе показана структура контактных площадок для создания электрического контакта с электродами датчика. Они являются особо подходящими для тех вариантов осуществления изобретения, в которых используют подложки из кремния, пирекса и аналогичных материалов. В этих вариантах осуществления изобретения предусмотрено наличие контактной площадки на задней стороне подложки для электрического соединения с электродами датчика на передней стороне подложки. На чертеже фиг.12А показан вариант осуществления изобретения с межслойным переходным отверстием, проходящим через подложку 55. Проводящая контактная площадка 50 сформирована на задней стороне кремниевой подложки и сформировано токопроводящее соединение 51, проходящее через межслойное переходное отверстие, для соединения с проводящим слоем 52 на передней стороне подложки. На чертеже фиг.12В показан вариант осуществления изобретения с электрическим соединением, сделанным через край подложки 55. Проводящая контактная площадка 50 сформирована на задней стороне подложки, и токопроводящее соединение 51 сформировано на краю подложки для соединения с проводящим слоем 52 на передней стороне подложки.

Для вариантов осуществления изобретения, в которых используют кремниевую или иную недиэлектрическую подложку, изолирующий слой 53 отделяет проводящий слой 52 от подложки, и небольшой изолирующий слой 54 отделяет контактную площадку 50 от подложки. На чертеже фиг.12А межслойное переходное отверстие также покрыто изолирующим слоем, а на чертеже фиг.12В изолирующим слоем покрыт край подложки под токопроводящим соединением 51. Дополнительный изолирующий слой, необходимый для контактной площадки, вызывает появление дополнительной небольшой паразитной емкости. Для вариантов осуществления изобретения, в которых используют диэлектрическую подложку, например, из пирекса, дополнительные изолирующие слои являются необязательными, и дополнительные паразитные емкости уменьшены.

На чертежах фиг.13А-13D показан вариант осуществления системы датчиков с множеством датчиков, построенной на одной подложке 102, которая расположена вокруг проекционного объектива 104 литографической машины. На чертеже фиг.13А показана передняя сторона подложки, то есть сторона, обращенная вниз и к полупроводниковой пластине, подлежащей экспонированию. На подложке сформированы восемь датчиков (содержащие четыре пары датчиков), которые расположены попарно вокруг проекционного объектива. В этом варианте осуществления изобретения проводящий измерительный электрод 31 сформирован на передней стороне подложки для каждого датчика. Боковой охранный электрод 32 расположен вокруг каждого измерительного электрода, а между ними сформирован небольшой зазор.

Соединительные шины 105 обеспечивают электрические соединения между каждым из измерительных и охранных электродов и краем подложки. В этом варианте осуществления изобретения подложка выполнена из диэлектрика, например, из пирекса или каптона, и какой-либо дополнительный изолирующий слой между электродами и подложкой не используется. Также может быть сформирован тонкий защитный изолирующий слой поверх электродов датчика на передней стороне подложки.

На чертеже фиг.13В показана задняя сторона подложки, то есть сторона, обращенная вверх от полупроводниковой пластины, подлежащей экспонированию. На задней стороне подложки сформирован проводящий задний охранный электрод 35 для каждого датчика. Для каждого датчика задний электрод является соосным с измерительным и боковым охранным электродами на передней стороне подложки. В этом варианте осуществления изобретения с круглыми электродами центры всех электродов расположены на одной оси для каждого датчика. Задний электрод 35 имеет больший диаметр, чем измерительный электрод 31, и его диаметр может быть равным или большим, чем диаметр бокового охранный электрода 32 на передней стороне. Соединительные шины 106 обеспечивают электрические соединения между задними охранными электродами и краем подложки.

Соединительные шины 105 на передней стороне и 106 на задней стороне подложки могут быть расположены так, что образуют контактные площадки 50a и 50b на задней стороне подложки на ее краю, например, с использованием конструкции, показанной на чертежах фиг.11, фиг.12А или фиг.12В, где контактные площадки 50a электрически соединены с измерительными электродами 31, а контактные площадки 50b соединены с боковыми охранными электродами 32 и задними охранными электродами 35. В этом варианте осуществления изобретения области контактных площадок чередуются, причем на любой стороне каждая контактная площадка 50a от измерительного электрода имеет контактную площадку 50b от соответствующего бокового охранный электрода и заднего охранный электрода. На краю подложки также сформирована дополнительная контактная площадка 50c для соединения с экранирующим электродом, который может быть соединен с экраном кабеля, соединяющего датчики с измерительной системой. Области контактных площадок вместе образуют контактные площадки 50, расположенные в отдельных областях, соответствующих схеме расположения пары датчиков на подложке.

На чертеже фиг.13С показана задняя сторона подложки с изолирующим слоем 110, сформированным поверх подложки, причем вокруг края подложки оставлен зазор, чтобы контактные площадки 50 были открытыми для создания соединений. На чертеже фиг.13D показана подложка 102, установленная на прокладке/монтажной пластине 112. Монтажная пластина 112 может быть проводящей и может функционировать в качестве экранирующего электрода, и может быть заземленной, или в альтернативном варианте проводящая экранирующая пластина, функционирующая в качестве экранирующего электрода, может быть предусмотрена как отдельный компонент. Контактная площадка 50c функционирует в качестве соединительной области для создания электрических соединений с экранирующим электродом, например, для соединения с экраном датчика. Изолирующий слой 110 электрически отделяет охранные электроды от монтажной пластины/экранирующего электрода. В этом варианте осуществления изобретения монтажная пластина имеет вырезы вокруг ее края для того, чтобы контактные площадки 50 оставались открытыми для создания электрических соединений.

В одном из вариантов осуществления изобретения компоновка, показанная на

чертежах фиг.13А-13D, может содержать подложку из пирекса диаметром 50 мм с квадратным отверстием размером, например, 19×19 мм или 26×26 мм, чтобы оно вмещало проекционный объектив. Измерительные электроды имеют диаметр 3,8 мм и зазор 16 мкм между измерительным и охранным электродами, причем охранные электроды имеют ширину 1 мм, а задние электроды имеют диаметр 6 мм.

Соединительные шины 105 имеют ширину 0,05 мм и разнесение 16 мкм, и соединительные шины 106 имеют ширину 0,5 мм и разнесение 0,5 мм, а контактные площадки могут иметь ширину 0,5 мм и длину 1,4 мм, причем эти площадки отделены друг от друга зазором шириной 0,5 мм. Питание датчика может осуществляться током величиной 10 мкА с частотой 200 кГц.

Датчики в варианте осуществления изобретения, показанном на чертежах фиг.13А-13D, или в любой из других описанных здесь компоновок датчиков, могут быть сконструированы согласно любому из описанных здесь вариантов осуществления изобретения, например, на чертежах фиг.6А-6F, фиг.7А-7В, фиг.8А-8В, фиг.9А-9С, фиг.10А-10D, фиг.11 или фиг.12А-12В, и могут быть скомпонованы в виде дифференциальных пар, где на каждый датчик из пары подают напряжение или ток, имеющий сдвиг фазы относительно напряжения или тока, подаваемого на другой датчик из пары. Например, на первый датчик из пары может подаваться ток, который имеет сдвиг по фазе на 180 градусов относительно тока, подаваемого на другой датчик из пары. Для ослабления связи между парами датчиков, чтобы множество дифференциальных пар датчиков можно было использовать вместе, на каждую пару датчиков может подаваться напряжение или ток, который имеет сдвиг фазы относительно напряжения или тока, подаваемого на соседнюю пару датчиков.

Например, на соседние пары датчиков могут подаваться токи, которые имеют сдвиг по фазе на 90 градусов друг относительно друга. Например, на пару датчиков в верхней части чертежа фиг.13А могут подаваться токи с фазами 0 и 180 градусов, тогда как на каждую из пар датчиков: на пару датчиков на правой стороне чертежа и на пару датчиков на левой стороне чертежа подают токи с фазами 90 и 270 градусов, на пару датчиков в нижней части чертежа подают токи с фазами 0 и 180 градусов. Таким образом, для разделения пар и для уменьшения помех между ними используют способ разделения по фазе с ортогональным смещением соседних пар датчиков. В альтернативном варианте или в дополнение к этому для уменьшения помех между парами датчиков могут использоваться иные способы, такие как, например, частотное разделение или временное разделение.

Для вывода электрических сигналов из датчика и для их передачи для преобразования исходных сигналов с датчиков в пригодный для использования формат необходимо электрическое соединение датчиков-зондов с системой обработки сигналов. На чертеже фиг.14 на виде сбоку показана компоновка датчика с датчиками 30, установленными на передней стороне подложки 102 вокруг проекционного объектива 104 литографической машины. Подложка 102 также может функционировать в качестве монтажной пластины 112 для установки датчиков на оборудовании, откуда производят измерения расстояния, например, на проекционном объективе литографической машины. На задней стороне подложки сформированы контактные площадки 50, а электрический контакт с площадками для соединения с системой обработки сигналов обеспечивает соединительные провода 60 в виде металлических контактных пружин.

На чертежах фиг.15А и фиг.15В показан альтернативный вариант компоновки соединений, в котором используют соединительный элемент 110 в виде гибкой печатной платы, содержащий гибкую мембрану 111, на которой напечатаны или к которой



прикреплены токопроводящие дорожки 114a, 114b, 114c. Поверх токопроводящих дорожек может быть сформирован защитный изолирующий слой. Один конец гибкого печатного соединителя 110 соединен с контактными площадками 50 или с соединительными областями электродов датчика, чтобы токопроводящие дорожки

5 обеспечивали электрическое соединение с электродами датчика. В показанном варианте осуществления изобретения токопроводящая дорожка 114a соединена с контактной площадкой измерительного электрода, а токопроводящие дорожки 114b и 114c соединены с контактными площадками бокового охранного электрода и/или заднего электрода. В тех случаях, когда в состав конструкции датчика включен экранирующий

10 электрод, на гибком печатном соединителе могут быть сформированы дополнительные токопроводящие дорожки для соединения экранирующего электрода с потенциалом земли на удалении от датчика и с конструкцией, обеспечивающей опору для датчика. К другому концу гибкого печатного соединителя 110 прикреплен штекер или разъем 116 соединителя с контактными клеммами 117 для обеспечения электрического контакта

15 с проводами или с соединительными штырьками 120 для передачи сигналов с датчиков в систему обработки сигналов. На чертеже фиг.15А изображен вариант осуществления изобретения гибкого печатного соединителя 110 на виде с нижней стороны, на котором показаны токопроводящие дорожки 114a-114c, рядом с видом с верхней стороны, на котором показан набор контактных площадок 50, с которыми соединяют

20 токопроводящие дорожки. На чертеже фиг.15В на виде сбоку показан гибкий печатный соединитель 110, соединенный с контактными площадками. Гибкий печатный соединитель является гибким и может использоваться в любом из описанных здесь вариантов осуществления датчика. Следует учитывать максимальный радиус изгиба гибкого печатного соединителя, в особенности для очень малых значений ширины

25 токопроводящей дорожки, и во время сборки важно обеспечивать совмещение гибкого печатного соединителя с контактными площадками датчика.

Когда изолирующий слой 34 выполнен из подходящего материала, например, из изолирующей полимерной пленки или из аналогичного материала, гибкая мембрана 111 может быть сформирована из того же самого материала и образовывать единое

30 целое с изолирующим слоем 34 как его продолжение. Аналогичным образом в этом варианте осуществления изобретения токопроводящие дорожки 114a-114c могут быть сформированы из того же самого материала и образовывать единое целое с измерительным электродом 31 и боковым охранным электродом 32 и/или задним электродом 35 как продолжение этих электродов. В этой конфигурации контактные

35 площадки между электродами и токопроводящими дорожками не являются обязательными, но контактные площадки могут использоваться на концах токопроводящих дорожек. В другом варианте осуществления изобретения токопроводящие дорожки могут быть распределенными по слоям тем же самым образом, что и электроды датчика, например, токопроводящая дорожка, соединенная

40 с задним охранным электродом, может быть сформирована поверх изолирующего слоя, который сформирован поверх токопроводящей дорожки, соединенной с измерительным электродом. Эта конструкция также может быть доопределена так, что включает в себя токопроводящую дорожку, соединенную с экранирующим электродом, сформированным поверх изолирующего слоя, который сформирован

45 поверх токопроводящей дорожки, соединенной с задним охранным электродом, как показано, например, на чертеже фиг.21D.

На чертеже фиг.16А показан разрез через проекционный объектив и стопу 132 дефлектора литографической машины, в которой применяют заряженные частицы.

Стопа 132 обычно содержит элементы проекционного объектива, уложенные друг на друга по вертикали, и элементы дефлектора для элементарных пучков, предназначенные для фокусировки элементарных пучков заряженных частиц, сгенерированных литографической машиной, на поверхности полупроводниковой пластины и для их отклонения по поверхности полупроводниковой пластины в виде раstra. Каждый из уложенных друг на друга по вертикали элементов проекционного объектива может фактически содержать множество проекционных объективов для одновременной фокусировки большого количества элементарных пучков на поверхности полупроводниковой пластины, причем каждый элементарный пучок служит для экспонирования различного участка полупроводниковой пластины, и каждый элемент дефлектора может аналогичным образом содержать множество дефлекторов.

Стопа 132 линз объектива установлена на элементе 130 рамы корпуса. Монтажная пластина 112, которая также может функционировать в качестве прокладки между двумя элементами стопы, представляющими собой электростатические линзы, расположена ниже и прикреплена к элементу 130 рамы с расположенным в центре отверстием, через которое проецируют пучок заряженных частиц. Пластина/прокладка 112 может быть выполнена из стекла или из другого подходящего изоляционного материала для обеспечения изолирующего слоя между высокими напряжениями, присутствующими в стопе 132 линз объектива и на нижней линзе 104, на полупроводниковой пластине, на датчиках и на других близлежащих компонентах. Пластина 112, вместе с элементом 130 рамы, который обычно имеет цилиндрическую форму, и верхней монтажной пластиной 133 образует конструкцию корпуса для стопы 132 линз проекционного объектива и дефлектора.

В альтернативном варианте пластина 112 может быть проводящей или включать в себя проводящий слой, который функционирует в качестве экранирующего электрода для емкостных датчиков. Пластина 112 также может являться подложкой 102, на которой могут быть сформированы датчики. В показанном варианте осуществления изобретения стопа 132 линз проекционного объектива содержит группу элементов проекционного объектива, скомпонованных в виде вертикальной стопы, которая расположена большей частью выше пластины 112, но последний элемент 104 объектива в стопе расположен ниже пластины на нижней поверхности пластины 112.

На чертеже фиг.16В показана компоновка датчиков для измерения расстояния, связанного с расстоянием между нижней проекционной линзой 104 стопы линз проекционного объектива и полупроводниковой пластиной 9, опорой для которой служит подвижный стол 134 для полупроводниковых пластин. Следует отметить, что для удобства полупроводниковая пластина и стол показаны схематично, их ширина фактически является намного большей, чем ширина корпуса стопы линз. Диаметр полупроводниковой пластины обычно равен 200 мм или 300 мм, а диаметр корпуса стопы линз равен 50-70 мм. Датчики 30 установлены на той же самой пластине 112, что и нижняя проекционная линза 104, и в непосредственной близости к линзе 104. Датчики предпочтительно являются меньшими, чем размер поля экспонирования литографической машины, и некоторые или все датчики могут быть расположены ближе к краю проекционного объектива, чем расстояние, равное ширине или длине размера поля экспонирования.

В этой компоновке датчики установлены неподвижно относительно проекционного объектива, вследствие чего расстояние между нижней проекционной линзой 104 и полупроводниковой пластиной 9 может быть определено по измеренному расстоянию между датчиками и полупроводниковой пластиной. Очень малый размер описанных

здесь датчиков позволяет устанавливать датчики в непосредственной близости к проекционному объективу и обеспечивает возможность их установки на том же самом опорном элементе, что и последний фокусирующий элемент проекционного объектива; таким образом, как датчики, так и фокусирующий элемент проекционного объектива зафиксированы в одной и той же опорной точке. Поскольку датчики объединены с нижней проекционной линзой в одной конструкции, это значительно уменьшает погрешности вследствие изменений взаимного положения датчиков и проекционного объектива, вызванных, например, тепловым расширением и сжатием и относительным перемещением опорного элемента, на котором установлена нижняя проекционная линза, и опорного элемента, на котором установлены датчики, и вследствие неточности монтажа различных основных конструкций соответственно для датчиков и для нижней проекционной линзы. Это приводит к устранению необходимости калибровки системы датчиков при изменениях по осям  $x$  и  $y$  (то есть параллельно поверхности полупроводниковой пластины) и по оси  $z$  (то есть перпендикулярно поверхности полупроводниковой пластины) или, по меньшей мере, к меньшей необходимости такой калибровки. Обычные емкостные датчики являются слишком высокими и широкими для установки на пластине 112, и их необходимо устанавливать дальше от проекционного объектива 104, например, на элементе 131 рамы.

Эффект фокусировки определяется, в основном, последней (нижней) проекционной линзой 104. В описанных выше признаках объединенной конструкции емкостные датчики высоты объединены с проекционным объективом так, что между датчиками и той областью, где последний элемент проекционного объектива создает фокус, отсутствуют какие-либо иные элементы. Единственным существенным изменением в объединенной системе является то, что допускается наличие одного электрода проекционного объектива 104, который является очень тонким элементом (обычно толщиной 200 мкм или менее). Связь между датчиком и проекционным объективом нарушает только лишь допустимое отклонение последнего элемента 104. Абсолютной мерой для емкостных датчиков является, по существу, совпадение расстояния от фокусирующего элемента до поверхности полупроводниковой пластины, то есть до плоскости/местоположения, пучки сфокусированы, за исключением допуска на толщину фокусирующего элемента (последнего элемента проекционного объектива). Эта неопределенность по толщине в фокусирующем элементе равна лишь небольшой доле необходимого диапазона измерений и рабочего диапазона датчиков, поэтому дополнительная калибровка датчика не требуется, за исключением «измерения на бесконечности» для определения остальной емкости датчиков. Она может быть определена путем простого измерения на бесконечности, то есть без полупроводниковой пластины, установленной на ее месте. Тесное объединение датчиков и проекционного объектива минимизирует общую погрешность системы, вследствие чего считываемые показания емкостных датчиков являются достаточно точными для использования их в литографической машине без дополнительной калибровки. Дополнительное преимущество состоит в том, что минимальная сложность конструкции обеспечивает возможность измерения расстояния до мишени (полупроводниковой пластины) близко к экспонирующим пучкам, что дополнительно минимизирует погрешность измерений.

Датчики расположены на пластине 112 рядом с нижней поверхностью проекционного объектива 104. Для датчиков, сконструированных как отдельные элементы, например, согласно тонкопленочной конструкции такого типа, которая показана на чертежах фиг.5-фиг.9, отдельные датчики могут быть прикреплены непосредственно к монтажной пластине 112, например, клеем. Для датчиков, сформированных на общей подложке,

например, такого типа, который показан на чертежах фиг.13А-фиг.13D, подложка датчиков может быть прикреплена к монтажной пластине 112 также с использованием клея или иного средства крепления. Общая подложка датчиков также может функционировать в качестве монтажной пластины 112.

5 Нижняя поверхность проекционного объектива 104 может быть расположена, по существу, на той же самой высоте, что и нижняя поверхность измерительных электродов датчиков 30, или может быть расположена немного ниже. За счет проектирования системы так, чтобы расстояние, которое желательно измерять, было почти равным фактически измеряемому расстоянию (то есть расстоянию между нижней поверхностью  
10 измерительных электродов и измеряемой мишенью), повышают чувствительность системы. В одном из вариантов осуществления изобретения, когда его используют для литографической машины, нижняя поверхность проекционного объектива 104 выступает на 50 мкм вниз относительно нижней поверхности измерительных электродов датчиков 30. Фокальная плоскость проекции расположена на 50 мкм ниже нижней поверхности проекционного объектива и на 100 мкм ниже измерительных электродов. Стол для  
15 полупроводниковых пластин имеет диапазон перемещения по оси z (по вертикали), равный 80-180 мкм, ниже нижней поверхности измерительных электродов, с точностью позиционирования, равной 100 нм, причем верхнее значение из этого диапазона соответствует перемещению полупроводниковой пластины на расстояние 80 мкм от  
20 измерительных электродов, а нижнее значение из этого диапазона соответствует перемещению полупроводниковой пластины на расстояние 180 мкм ниже измерительных электродов.

На чертежах фиг.17А-17D показана конструкция 120 гибкой печатной платы с множеством датчиков 30 и с интегрированным гибким печатным соединителем 110.  
25 Конструкция 120 содержит гибкую основу из изоляционного материала, такого как, например, полиимидная пленка из каптона или аналогичная гибкая изолирующая пленка. Проводящие электроды для датчиков и токопроводящие дорожки для создания соединительных шин сформированы из тонкого слоя меди или иного подходящего проводящего материала, прикреплены к изолирующему слою основы с использованием  
30 клея, сформированы в виде слоистого материала без приклеивания, например, с использованием способа прямой металлизации, или напечатаны на изолирующем слое с использованием проводящих чернил или иными подходящими способами печати. Затем может быть сформирована защитная изолирующая пленка поверх проводящих слоев.

35 В варианте осуществления изобретения, показанном на чертеже фиг.17В, восемь пар датчиков расположены в виде квадратной матрицы вокруг квадратного выреза 121, вмещающего нижнюю проекционную линзу 104. Вместо пар датчиков также могут использоваться одиночные датчики, и также могут использоваться различные схемы пространственного расположения датчиков или пар датчиков. Гибкий слой основы  
40 включает в себя продолженные участки, которые функционируют в качестве гибких печатных соединителей 110, сконструированные так, как описано выше, для создания электрических соединений между датчиками и системой обработки сигналов. Гибкие печатные соединители 110 соединены с соединителями 116, которые обеспечивают снятие механических напряжений и сопряжение с трехжильными коаксиальными  
45 кабелями 210 для соединения с дистанционной системой обработки сигналов.

Объединение датчика, соединений и межсоединений, необходимых для передачи сигналов с датчика в место на удалении от датчика, где могут быть созданы более крупные и более надежные соединения, решает несколько проблем. Очень малый размер

датчика затрудняет создание электрических соединений вследствие ограничений межсоединений и аппаратной части соединителей по размеру. Должен быть обеспечен контроль емкостей, вносимых межсоединениями, чтобы они не преобладали над емкостью системы датчиков. Любое небольшое перемещение или любая небольшая вибрация межсоединений могут приводить к повреждению датчика или к необходимости его перекалибровки. Объединение как самого датчика, так и межсоединений датчика на одном гибком слое основы способом печати на гибких материалах обеспечивает возможность реализации соединений в датчике очень малого размера, причем емкости, вносимые межсоединениями, могут быть проконтролированы во время проектирования системы, и объединение на одном слое основы создает механически надежную конструкцию, что сильно уменьшает проблемы, связанные с перемещением межсоединений.

Объединение множества датчиков с соответствующими межсоединениями на одном слое основы обеспечивает дополнительные преимущества. За счет формирования матрицы датчиков на одной основе пространственное расположение датчиков является зафиксированным при изготовлении, и большая интегральная структура облегчает обработку и прикрепление к оборудованию, например, к литографической машине.

Схемы 200 предварительной обработки сигналов могут быть встроены в гибкий печатный соединитель способом печати или иным способом формирования схем на гибком слое основы. Схемы 200 предварительной обработки сигналов могут включать в себя буфер/усилитель, используемый для активного смещения охранных электродов датчика (его описание приведено ниже), могут включать в себя дополнительные схемы или могут быть исключены, чтобы локально относительно проекционного объектива были расположены только аппаратные средства соединений, а все активные компоненты были расположены на удалении. Поскольку литографическая машина работает в вакууме, то размещение активных компонентов близко к датчикам и в вакууме может приводить к проблемам, связанным с рассеянием тепла от активных компонентов, вследствие недостаточного теплообмена в вакууме. Однако расположение компонентов, необходимых для активной защиты, вблизи охранных электродов улучшает рабочие характеристики системы. В варианте осуществления изобретения, показанном на чертеже, схемы 200 предварительной обработки сигналов расположены рядом с соединителями 116, чтобы тепло, выработанное схемами, могло более эффективно проходить через соединители 116 к кабелям 210 и выводиться из конструкции датчика.

На чертеже фиг.18 показан альтернативный вариант компоновки соединений. Гибкий печатный соединитель 110 на одном конце соединен с датчиком 30 на монтажной пластине 112, а на другом конце со схемой 200 предварительной обработки сигналов посредством соединительных проводов или штырьков 201. Блок 200 предварительной обработки сигналов может быть установлен на элементе 131 рамы, предпочтительно в углублении или в нише. Выходной сигнал из схем 200 предварительной обработки сигналов передают в систему управления через провода или штырьки 202, соединитель 204 и трехжильный коаксиальный кабель 210.

На чертежах фиг.19А и фиг.19В показана компоновка для установки конструкции 120, представляющей собой интегральную гибкую печатную плату (которая показана на чертежах фиг.17А-17D), на литографическую машину. На чертеже фиг.19А эта компоновка показана на виде сверху, на котором стопа линз проекционного объектива удалена для улучшения видимости, а конструкция 120, представляющая собой гибкую печатную плату, расположена в углублении в элементе 136 рамы. Соединители 116 соединены трехжильными коаксиальными кабелями 210 со жгутом 212 кабелей, который,

в свою очередь, соединен с кабелями 214 для соединения с удаленной системой обработки сигналов. На чертеже фиг.19В конструкция 120, представляющая собой гибкую печатную плату, и датчики 30, обращенные к полупроводниковой пластине, показаны на виде снизу.

5 Конструкция 120, представляющая собой гибкую печатную плату, может быть прикреплена к нижней поверхности монтажной пластины, например, монтажной пластины 112, показанной на чертежах фиг.16А и фиг.16В, с использованием клея или иным подходящим способом прикрепления. Это приводит к объединению матрицы датчиков вместе с соответствующими межсоединениями с монтажной пластиной 112  
10 и с нижней проекционной линзой 104 в единую конструкцию. В силу этого датчики установлены в непосредственной близости к проекционному объективу и неподвижно относительно проекционного объектива, что приводит к описанным выше преимуществам для варианта осуществления изобретения, показанного на чертежах фиг.16А и фиг.16В.

15 На чертежах фиг.20А, фиг.20В и фиг.20D показаны различные конфигурации емкостных датчиков на монтажной пластине 112, расположенной вокруг проекционного объектива 104 литографической машины. На чертеже фиг.20А четыре пары датчиков распределены в четырех квадрантах монтажной пластины 112, причем эти датчики расположены попарно для обеспечения дифференциальной регистрации. На нижней  
20 стороне монтажной пластины каждый датчик содержит измерительный электрод 31 и может также включать в себя боковой охранный электрод 32. Эта компоновка является особенно подходящей для измерения высоты и наклона полупроводниковой пластины. На чертеже фиг.20В показана компоновка из шестнадцати датчиков, расположенных попарно в виде квадратной матрицы, причем в середине квадрата, где расположен проекционный объектив 104, датчики отсутствуют. Для всех описанных выше  
25 конфигураций на задней стороне подложки датчика предпочтительно содержатся задние охранные электроды, и, как описано выше, на ней также могут содержаться экранирующие электроды. На чертеже фиг.20С показаны полупроводниковые пластины 9а, b, c, d в различных положениях относительно монтажной пластины 112 и датчиков, причем из четырех углов проекционного объектива 104 выступают области наложения между четырьмя положениями полупроводниковой пластины, описывающими четыре области 115 на пластине 112. На чертеже фиг.20D показаны четыре пары датчиков (дифференциальные пары), расположенные в этих четырех областях 115.

При таком расположении областей 115 датчики распределяют для максимизации  
35 возможности измерения расстояния до поверхности полупроводниковой пластины, по меньшей мере, одним датчиком или парой датчиков. Если полупроводниковая пластина расположена так, что над полупроводниковой пластиной расположен только один датчик/расположена только одна пара, то измерение расстояния до поверхности полупроводниковой пластины производят на основании только одного этого датчика/  
40 только одной этой пары. Как только другой датчик/другая пара становится расположенным выше полупроводниковой пластины, результаты измерения также берут с этого датчика/с этой пары, и среднее значение расстояния может быть вычислено по этим двум датчикам/парам над полупроводниковой пластиной. Аналогичным образом учитывают показания третьего и четвертого датчика/третьей и четвертой пар,  
45 когда они становятся расположенными над полупроводниковой пластиной. Учет показаний дополнительных датчиков/пар предпочтительно включают в состав вычисления среднего расстояния с затуханием, например, путем постепенного учета вклада дополнительных датчиков/пар во избежание внезапных ступенчатых изменений

результатирующего измеренного значения расстояния.

Размер монтажной пластины 112 определяет минимальный размер мишени, который обычно равен 60 мм. Для полупроводниковых пластин диаметром 300 мм четыре области 115 наложения между положениями 9a-9d полупроводниковой пластины указывают подходящие области расположения датчиков. Однако датчики предпочитают устанавливать настолько близко к фактической области проецирования света или электронных пучков в литографической машине, насколько это возможно. При увеличении размеров полупроводниковой пластины, например, до 450 мм, области 115 стремятся увеличиться, поскольку круглые участки, определяющие области 115, стремятся превратиться в прямые линии.

На чертежах фиг.21A и фиг.21B показан вариант осуществления конструкции 120, представляющей собой гибкую печатную плату, с четырьмя парами 30a, 30b дифференциальных датчиков. Конструкция 120 может быть сформирована из гибкой основы из изоляционного материала, например, полиимидной пленки из каптона или аналогичной гибкой изолирующей пленки подобно варианту осуществления изобретения, показанному на чертежах фиг.17A-17D, и также может включать в себя один или более интегрированных гибких печатных соединителей 110. В показанных вариантах осуществления изобретения на виде снизу лицом к измерительным электродам (без какого-либо изолирующего защитного слоя поверх датчиков, чтобы можно было увидеть измерительные электроды), эти четыре пары датчиков скомпонованы так, что расположены в областях 115, показанных на чертеже фиг.20D, вокруг нижней проекционной линзы 104. Вместо пар датчиков также могут использоваться одиночные датчики. Объединение датчиков и проводных соединений обеспечивает возможность создания простых и надежных соединений с очень малыми датчиками и регулирования емкостей, вносимых межсоединениями. На чертеже фиг.21A проиллюстрирован вариант осуществления изобретения с круглыми датчиками. На чертеже фиг.21B проиллюстрирован вариант осуществления изобретения с датчиками четырехугольной формы для максимального использования области 115 (датчики для простоты показаны с острыми углами, хотя предпочтительными являются закругленные углы, как показано, например, на чертеже фиг.9D).

На чертеже фиг.21C показана конструкция 120, представляющая собой гибкую печатную плату, на виде под углом сзади датчиков. Четыре интегрированных гибких соединителя 110 изогнуты и продолжаются вверх от слоя основы 120. Токопроводящие дорожки продолжаются из электродов датчика в каждом датчике вдоль гибких соединителей 110, а затем вокруг гибких мембран 122 и 123 для соединения с кабелями для соединения с дистанционной схемой. Сверху виден слой основы и показаны задние охранные электроды 35a, 35b датчиков (изолирующие слои и какие-либо экранирующие электроды отсутствуют, чтобы можно было увидеть задние охранные электроды) с токопроводящими дорожками 114b, сформированными на внутренней стороне 110b соединителей перегиба 110. На внешней стороне 110a гибких соединителей 110 также могут быть сформированы токопроводящие дорожки. Эти токопроводящие дорожки могут быть сформированы из тонкого слоя меди или иного подходящего проводящего материала, прикрепленного к изолирующему слою с использованием клея, сформированы в виде слоистого материала без приклеивания или напечатаны на изолирующем слое, как в варианте осуществления изобретения, показанном на чертежах фиг.17A-17D.

На чертеже фиг.21D на виде в разрезе показан датчик 30 и соответствующий гибкий соединитель 110. Токопроводящие дорожки 114a-114e продолжаются из электродов

датчика вдоль гибкого соединителя 110 для соединения датчика с дистанционной схемой. В этом варианте осуществления изобретения токопроводящие дорожки 114a-114e сформированы из того же самого материала, что и электроды датчика и выполнены в виде единого целого с ними как продолжение электродов. Токопроводящие дорожки

5 расположены в слоях таким же самым образом, что и электроды датчика. Изолирующий слой 34 включает в себя расширенную часть для гибкого соединителя 110.

Токопроводящая дорожка 114a продолжается из измерительного электрода 31, причем оба этих элемента сформированы на изолирующем слое 34. Токопроводящая дорожка 114b продолжается из заднего охранного электрода 35, причем оба этих элемента

10 сформированы между изолирующими слоями 34 и 43, а токопроводящая дорожка 114b является более широкой, чем токопроводящая дорожка 114a, вследствие чего токопроводящая дорожка 114b имеет периферийную часть, которая функционирует в качестве бокового охранного электрода для токопроводящей дорожки 114a. По токопроводящей дорожке 114a передают сигнал из измерительного электрода, и она

15 имеет некоторую емкость относительно проводников в окружающей среде. Проводники вблизи токопроводящей дорожки 114a влияют на эту емкость таким же самым образом, как они влияют на измерительный электрод датчика. Токопроводящая дорожка 114b сконструирована так, что действует в качестве бокового охранного электрода для уменьшения возмущений из-за близлежащих проводников.

20 В тех случаях, когда датчик включает в себя экранирующий электрод, токопроводящая дорожка 114d продолжается из экранирующего электрода 44, причем оба этих элемента сформированы между изолирующими слоями 43 и 38. Такая компоновка усиливает влияние экранирующего электрода вдоль длины токопроводящей дорожки 114a, по которой передают сигнал с измерительного электрода измерительного

25 прибора, для уменьшения возмущений, вносимых в результаты измерения расстояния, и внешних воздействий.

В варианте осуществления изобретения, показанном на чертеже фиг.21C, токопроводящие дорожки 114b и 114d и промежуточные изолирующие слои продолжают внутри на внутренней поверхности 110b гибких соединителей.

30 Аналогичная компоновка может быть продублирована на наружной поверхности 110a гибких соединителей. Изолирующий защитный слой 37 может быть сформирован и продолжаться вдоль гибкого соединителя 110 поверх токопроводящей дорожки 114a, причем над токопроводящей дорожкой 114a вдоль гибкого соединителя продолжается токопроводящая дорожка 114c с периферийными частями, выступающими по обе

35 стороны от нее. В этом случае токопроводящая дорожка 114c может быть электрически соединена с токопроводящей дорожкой 114b, соединенной с задним охранным электродом, что, таким образом, приводит к тому, что токопроводящая дорожка 114c имеет тот же самый потенциал, что и задний охранный электрод. Токопроводящая дорожка 114c также может быть напрямую соединена с задним охранным электродом

40 или электрически соединена каким-либо иным средством.

Аналогичным образом может быть сформирован еще один изолирующий слой 43a, продолжающийся вдоль гибкого соединителя поверх токопроводящей дорожки 114c, а другая токопроводящая дорожка 114e продолжается вдоль гибкого соединителя над токопроводящей дорожкой 114c. Токопроводящая дорожка 114c может быть

45 электрически соединена с токопроводящей дорожкой 114d или с жилой кабеля для соединения с потенциалом земли, предпочтительно с землей на удалении от датчика. Наконец, поверх может быть сформирован защитный слой 38a.

При этой двусторонней компоновке токопроводящая дорожка 114a, по которой



передают сигнал с измерительного электрода, фактически расположена между продолжениями заднего охранного электрода, и эта объединенная структура расположена между продолжениями экранирующего электрода, что, следовательно, сильно уменьшает помехи при измерении расстояния и внешние воздействия.

5 Токопроводящие дорожки 114a-114e могут быть соединены на концах, удаленных от датчиков, с кабелем для передачи сигналов от датчиков в дистанционную схему. Для этого может использоваться трехжильный коаксиальный кабель, в котором центральная жила кабеля соединена с токопроводящей дорожкой 114a, средняя жила кабеля соединена с токопроводящими дорожками 114b и 114c, а внешняя жила кабеля  
10 соединена с токопроводящими дорожками 114d и 114e. Эти соединения могут быть созданы путем экспонирования металлических контактных площадок каждой токопроводящей дорожки через отверстия в вышележащих изолирующих слоях.

Конструкция датчика и соединителя, показанная на чертеже фиг.21C, является пригодной для установки матрицы емкостных датчиков на проекционном объективе  
15 литографической машины и для ее соединения с ним. Эта компоновка обеспечивает достижение нескольких целей, обеспечивая гибкий слой основы для монтажа очень малых тонкопленочных емкостных датчиков непосредственно на той же самой монтажной пластине, на которой установлен последний элемент проекционного объектива и в непосредственной близости к фокусу проекционного объектива. Этот  
20 способ установки устраняет необходимость калибровки системы датчиков из-за изменений по высоте между измерительными элементами и проекционным объективом. Интегрированные соединители, являющиеся продолжением электродов датчика, создают надежные электрические соединения с датчиком, которые вносят минимальные изменения емкости системы, устраняют необходимость калибровки из-за изменений в  
25 соединениях с датчиком.

Это приводит к очень простой системе, в которой не требуется калибровка на месте. Может быть определена остальная емкость датчиков (что может быть выполнено просто путем измерения на бесконечности, то есть без полупроводниковой пластины перед датчиком) и после этого скомпенсирована. Дополнительная калибровка датчиков  
30 не требуется, поскольку остальная емкость датчиков является, по существу, неизменной. Паразитные емкости (например, вследствие небольших перемещений межсоединений) легко сохраняются низкими, поскольку перемещения или вибрации соединений в значительной степени устраняются неподвижной конструкцией соединений и трехжильным коаксиальным кабелем. Результирующая структура легко закрепляется  
35 в литографической машине и облегчает снятие и замену датчиков или объединенной конструкции "проекционный объектив плюса датчики" без длительной перекалибровки.

#### Электронные схемы

На чертеже фиг.22 показана система 300 датчиков, содержащая один или более датчиков-зондов 30, систему 301 обработки сигналов и систему 302 соединений для  
40 передачи сигналов из датчиков-зондов в систему обработки сигналов. Система 301 обработки сигналов может включать в себя схему источника тока или источника напряжения для возбуждения датчиков-зондов, схему усилителя/буфера для усиления исходного сигнала от датчика, схему для электрического смещения охранных электродов датчика и для соединения с жилами кабеля, схему обработки сигналов для обработки  
45 сигналов, полученных с зондов и для вывода обработанных сигналов как данных измерений, и схему для калибровки системы. Система 302 соединений может включать в себя кабели для соединения датчиков с системой обработки сигналов.

Каждая часть системы может являться источником погрешностей измерений

различных типов и факторов, уменьшающих чувствительность. Датчики-зонды вносят погрешности вследствие конечной геометрии зондов и ограничений, наложенных на технологический процесс, что приводит к неровностям и к неточности геометрической конфигурации электродов датчика и других компонентов. Собственные/паразитные емкости, обусловленные конструкцией датчика-зонда, и взаимодействие с другими компонентами вблизи зондов могут снижать чувствительность датчиков.

Погрешности может вносить монтаж зондов в результате наклона или неплоскостности монтажной поверхности или зондов и допусков по месторасположению и иных факторов, относящихся к монтажу. Погрешности может вносить система обработки сигналов из-за погрешностей обработки сигналов, допусков на схемные компоненты, внешних или внутренних помех и иных факторов. Погрешности также может вносить система соединений, например, дополнительные емкости, вносимые соединительными компонентами, например, соединительными шинами, контактными площадками, соединительными проводами и кабельной разводкой.

Для обнаружения изменения емкости датчиков, которая отображает расстояние между датчиком и мишенью, могут использоваться различные конфигурации усилителя. На чертеже фиг.23А показана упрощенная принципиальная электрическая схема высокоимпедансного усилителя. В усилителе с высоким входным импедансом используют конфигурацию неинвертирующего усилителя 305 с единичным усилением. С усилителем соединен источник 306 переменного тока в качестве источника входного сигнала, параллельно с датчиком-зондом 30. Эта схема создает линейный выходной сигнал 309, пропорциональный изменению емкости, которая изменяется при изменении расстояния между датчиком-зондом 30 и мишенью 9.

Датчик 30 подключен между входом усилителя и землей или виртуальным заземлением, то есть один электрод измеряемой емкости соединен с землей. Однако для измерений расстояния до полупроводниковой пластины измерительный электрод датчика образует один из электродов измеряемой емкости, тогда как проводящий слой в полупроводниковой пластине образует другой электрод. Проводящий слой полупроводниковой пластины 9 обычно имеет емкостную связь с землей через стол 134 для полупроводниковых пластин и иные компоненты литографической машины. Емкость между полупроводниковой пластиной и землей обычно варьируется от 6 пФ до 70 нФ, и номинальное значение емкости датчика обычно составляет от приблизительно 0,1 пФ до приблизительно 1 пФ. Для точного измерения небольших изменений расстояния между датчиком 30 и полупроводниковой пластиной 9 необходимо, чтобы емкость "полупроводниковая пластина - земля" была, по меньшей мере, в 1000 раз большей, чем номинальная емкость датчика. Поскольку диапазон изменения емкости "полупроводниковая пластина - земля" является довольно большим, то небольшие изменения этой емкости могут влиять на результаты измерения расстояния. Если емкость "полупроводниковая пластина - земля" не является, по меньшей мере, в 1000 раз большей, чем номинальная емкость датчика, то небольшие изменения емкости "полупроводниковая пластина - земля" вызывают изменения измеренной емкости и нежелательные изменения результатов измерения расстояния.

При использовании принципа дифференциальных измерений два датчика 30а, 30б из дифференциальной пары возбуждают источниками 306а, 306б тока, которые имеют сдвиг по фазе на 180 градусов, как показано на чертеже фиг.23В. Ток через один зонд находит путь через проводящий слой в мишени. Виртуальная "земля", то есть самый низкий потенциал или постоянный потенциал на пути тока, создана в центре пути тока. Для измерения сигналов напряжения, соответствующих изменению расстояния между

датчиками и проводящим слоем в мишени, используют высокоимпедансные усилители 305a, 305b. Принцип дифференциальных измерений делает измерение расстояния независимым от изменения импеданса "полупроводниковая пластина - земля".

На чертеже фиг.24А показан альтернативный вариант схемы для электрического смещения датчика 30 посредством источника напряжения. Два постоянных импеданса 71 и 72, переменная емкость 73 и датчик 30 (показанный как переменная емкость) скомпонованы в схему моста Уитстона, питание на который подают из источника 306 напряжения. Мост имеет два плеча, скомпонованных в виде параллельной схемы, причем импеданс 71 и переменная емкость 73 соединены вместе в первом узле и образуют одно плечо, а импеданс 72 и датчик 30 соединены во втором узле и образуют другое плечо. Постоянные импедансы 71 и 72 имеют идентичные значения импеданса, а переменная емкость 73 отрегулирована так, что совпадает с номинальной емкостью датчика 30. Эти два узла в середине каждого плеча моста соединены с двумя входами дифференциального усилителя 75, который измеряет разность напряжения, приложенного к узлам, то есть к переменной емкости 73 и датчику 30. Переменная емкость настроена так, чтобы было отрегулировано нулевое значение дифференциального усилителя, и может быть отрегулирована посредством автоматизированного алгоритма калибровки.

Компоненты моста и дифференциальный усилитель могут быть расположены в датчике. При использовании совместно с гибкой печатной конструкцией, показанной на чертежах фиг.17А-17D, постоянные импедансы 71, 72 могут быть сформированы в том же самом гибком слое основы, что и датчик. Переменная емкость 73 может быть сформирована с использованием диода переменной емкости (варикапа) или иного подходящего компонента. Переменная емкость 73 также может быть встроена в гибкий слой основы в качестве компонента, установленного или сформированного на слое основы, или встроенного в саму гибкую структуру, с использованием медных и изолирующих слоев. Дифференциальный усилитель может быть сформирован на слое основы, но также применимы рассмотренные выше соображения относительно активных компонентов в вакууме. Когда дифференциальный усилитель расположен на удалении, и для соединения с датчиком и переменной емкостью использован кабель одной и той же длины, то влияние емкости кабеля может быть устранено, и синфазные возмущения могут быть взаимно скомпенсированы.

На чертеже фиг.24В показана схема из фиг.24А, реализованная для дифференциальной пары датчиков. Каждый датчик 30a, 30b из пары соединен с постоянным импедансом 71, 72, и обеспечено его смещение источником 306a, 306b напряжения. Компоновка моста Уитстона теперь сформирована посредством постоянных емкостей 71 и 72 и пары датчиков 30a и 30b, которые соединены через проводящий резист полупроводниковой пластины на мишени.

На чертеже фиг.25 показан вариант осуществления изобретения, в котором используют дифференциальные измерения с использованием схем высокоимпедансных усилителей. Два датчика 30a, 30b скомпонованы в виде дифференциальной пары. Измерительный электрод 31a датчика 30a возбуждают источником 306a переменного тока, а измерительный электрод 31b датчика 30b возбуждают источником 306b переменного тока. Эти два источника 306a, 306b тока имеют сдвиг по фазе на 180 градусов один относительно другого. В течение одного полупериода ток 307 течет в одном направлении через датчик 30a и емкость 16a "датчик-мишень", через проводящий слой мишени 9, через емкость 16b "датчик-мишень" и через датчик 30b. В течение следующего полупериода ток течет в обратном направлении.

Усилитель/буфер 305a усиливает исходное выходное напряжение датчика 30a для генерации выходного сигнала 309a для дальнейшей его обработки. Выходной сигнал 309a также может быть подан по линии обратной связи на боковой охранный электрод 32a и/или на задний охранный электрод 35a датчика 30a. Это обеспечивает реализацию активной защиты путем подачи на охранные электроды того же самого напряжения, которое присутствует на измерительном электроде, чтобы не образовывалось электрическое поле между измерительным электродом и охранным электродом, вследствие чего электрическое поле между измерительным электродом и мишенью является настолько однородным, насколько это возможно. Аналогичным образом усилитель/буфер 305b усиливает исходное выходное напряжение датчика 30b для генерации выходного сигнала 309b и для обеспечения активного смещающего сигнала для охранных электродов датчика 30b. Выходные сигналы 309a, 309b могут быть поданы на входы соответствующих схем 330a, 330b синхронных детекторов.

Усилители 305a, 305b предпочтительно расположены вблизи датчиков 30a, 30b, в особенности когда реализовано активное смещение охранных электродов, для предотвращения внесения погрешностей, вызванных дополнительными емкостями, вносимыми кабельной разводкой от датчиков до удаленного пункта, где производится обработка сигналов. В областях применения емкостного датчика для литографической машины, работающей в вакууме, размещение активных компонентов вблизи датчиков обычно требует, чтобы эти компоненты были помещены в вакуумную камеру, что может привести к проблемам, связанным с рассеянием тепла, из-за недостаточной теплопередачи излучением в вакууме (хотя теплообмен, обусловленный теплопроводностью, все же происходит в вакууме). Поэтому источники 306a, 306b тока и дальнейшие схемы обработки сигналов, такие как, например, синхронные детекторы 330a, 330b, могут быть расположены на удалении от датчиков вне вакуумной камеры. Однако в конфигурации, которая обеспечивает возможность отвода тепла от активных компонентов, усилители 305a, 305b предпочтительно расположены в вакуумной камере вблизи датчиков для обеспечения более низкой погрешности измерений.

На чертеже фиг.26 показан один из вариантов осуществления схемы 330 синхронного детектора. Генератор 331 опорного сигнала генерирует опорную частоту  $f_1$ , которая используется источником тока 306 для генерации переменного тока 332 для возбуждения датчика и используется фазовращателем 333 для генерации опорного сигнала 334 (также на частоте  $f_1$ ), который имеет сдвиг фазы относительно опорной частоты. Сдвиг фазы опорного сигнала 334 отрегулирован так, что равен сдвигу фаз между опорной частотой и сигналом 309 от датчика с учетом сдвига фаз, имеющего место в кабельной разводке между схемой синхронного детектора 330 и датчиком и в месте расположения датчика.

Выходной сигнал 309 из датчика на частоте  $f_2$  подают на вход входного буфера 335. Умножитель 337 принимает буферизированный или усиленный входной сигнал 336 на частоте  $f_2$  и опорный сигнал 334 на частоте  $f_1$ . Выходной сигнал из умножителя 337 включает в себя составляющие, представляющие собой сумму двух входных частот ( $f_1 + f_2$ ) и разность между двумя входными частотами ( $f_1 - f_2$ ). Выходной сигнал из умножителя 337 проходит через фильтр 338 низких частот, отфильтровывающий более высокие частоты, оставляя низкочастотную составляющую, представляющую собой разность между двумя входными частотами ( $f_1 - f_2$ ). Усилитель 339 усиливает этот сигнал, генерируя сигнал 340 от измерительного прибора. Этот сигнал 340 от измерительного прибора отображает изменение импеданса, измеренного датчиком, которое зависит от изменения расстояния между датчиком и мишенью.

Как указано выше, схемы источников тока для возбуждения датчиков и схемы обработки сигналов могут быть расположены на удалении от датчиков. Однако кабельное соединение, используемое для соединения датчиков с расположенными на удалении схемами, вносит дополнительные нежелательные емкости в систему. На

5 чертеже фиг.27 изображена схема, на которой показаны емкости в системе датчиков. Емкость  $C_{in}$  представляет собой сумму емкости кабеля и выходной емкости источника 306 тока, емкость  $C_s$  представляет собой сумму измеряемой емкости "датчик-мишень" и собственной (паразитной) емкости датчика и соединительных шин датчика, а емкость  $C_{out}$  представляет собой сумму емкости кабеля и входной емкости буфера 305.

10 Паразитные емкости  $C_{in}$  и  $C_{out}$  должны быть малыми по сравнению с  $C_s$  и с измеряемой емкостью "датчик-мишень", поскольку большие паразитные емкости снижают чувствительность датчика.

Емкость кабеля, соединяющего датчики со схемами обработки сигналов, может быть большой и может оказывать негативное влияние на чувствительность датчика. Для

15 жил кабеля может использоваться активная защита для ослабления или устранения этой проблемы. На чертеже фиг.28А показана компоновка с кабелем 350, соединяющим датчики 30 со схемой 330 обработки сигналов. В показанной на чертеже компоновке усилитель/буфер 305 расположен локально относительно датчика 30 (слева от вертикальной пунктирной линии), а источник 306 тока расположен на удалении от

20 датчика (справа от вертикальной пунктирной линии). Источник 306 тока передает ток в датчик 30 по центральной жиле 351 кабеля. Буфер 305 возбуждает коаксиальную жилу 352 тем же самым напряжением, которое приложено к измерительным электродам датчика. Поскольку центральная жила 351 и коаксиальная жила 352 имеют одинаковое подаваемое на них напряжение, то влияние любой паразитной емкости между этими

25 жилами фактически сведено к нулю.

На чертеже фиг.28В показаны соединения между жилами кабеля 350 и проводящими электродами датчика 30. Центральная жила 351 соединена с измерительным электродом 31, внутренняя коаксиальная жила 352 соединена с задним охранным электродом 35, а внешняя коаксиальная жила 353 соединена с экранирующим электродом 44.

30 В этом варианте осуществления изобретения кабелем является трехжильный коаксиальный кабель с третьей коаксиальной жилой 353, которая функционирует в качестве экрана и является заземленной. Экран предпочтительно соединен с отдельным заземлением на дальнем конце кабеля, например, в схеме 330. Это заземление является просто заземлением экрана и предпочтительно не соединено с каким-либо заземлением

35 в датчике.

Возможно множество альтернативных вариантов этой компоновки. Например, также может использоваться кабель, не являющийся коаксиальным, и буфер 305 может быть расположен на удалении от датчика для подачи питания на жилу 352 с дальнего конца кабеля 350 в месте расположения схем 330 обработки сигналов.

40 В обычных конструкциях, в которых датчики и схема поставлялись вместе одним изготовителем, и калибровка которых производилась совместно на заводе как комплекта, чтобы электронные схемы соответствовали датчику и для предотвращения нелинейности, избегали физического разделения датчика и схемы обработки сигналов. В описанной здесь системе для быстрой калибровки системы датчиков может

45 использоваться автоматизированный сценарий в сочетании с системой управления столом для полупроводниковых пластин, например, путем перемещения стола для полупроводниковых пластин в известные положения и получения результатов измерений с датчиков. Это устраняет необходимость рассматривать датчик и схему обработки

сигналов как согласованную пару и позволяет заменять датчик, не заменяя также схему обработки сигналов, что существенно упрощает техническое обслуживание и сокращает время простоя литографической машины и, следовательно, повышает производительность.

5 На чертеже фиг.29 показан другой вариант осуществления синхронной схемы 360. Цифровой генератор (OSC) 376 опорного сигнала генерирует опорную частоту  $f_1$ , которая образует опорный сигнал, подаваемый на вход смесителя 372, и ее также подают на дискретный фазовращатель 377 для введения задержки по фазе. Цифро-аналоговый преобразователь (D/A) 378 преобразовывает опорную частоту с задержкой по фазе в аналоговый сигнал, и аналоговый сигнал с задержкой по фазе управляет источником 306 тока, который подает питание на датчик 30. Задержка по фазе настроена так, что равна сдвигу фаз, возникающему в системе датчиков и в кабеле 350, который равен разности фаз между опорной частотой  $f_1$  и выходным сигналом 361 системы датчиков на входе в схему синхронного детектора. Задержка по фазе может быть 15 установлена путем регулировки фазовращателя 377 до того момента, пока не будет получен максимальный выходной сигнал из смесителя 372. Следует отметить, что сдвиг фаз в системе датчиков и в кабеле должен оставаться постоянным, даже при изменении емкости датчика.

20 Входной буфер 362 принимает сигнал 361 от датчика, и буферизованный сигнал поступает на вход полосового фильтра 363, который отфильтровывает шум и помехи от сигнала. Аналого-цифровой преобразователь (A/D) 364 преобразовывает отфильтрованный сигнал в цифровой сигнал. Затем используют цифровую обработку, таким образом, схема 360 объединяет аналоговую и цифровую обработку сигналов, используя наилучшие функции обоих. Цифровой отфильтрованный сигнал от датчика 25 затем поступает на вход дифференциального усилителя 371 с одним входом и с дифференциальным выходом (или фазорасщепителя), имеющего два дифференциальных выходных сигнала, один из которых является синфазным с входным сигналом, и другой выходной сигнал имеет сдвиг по фазе на 180 градусов относительно входного сигнала. Смеситель 372 принимает дифференциальные выходные сигналы (на частоте  $f_2$ ) и 30 опорный сигнал (на частоте  $f_1$ ). Входные частоты  $f_1$  (опорная частота) и  $f_2$  (частота сигнала 361 от датчика) устраняются в смесителе 372, и выходной сигнал из смесителя включает в себя компоненты с частотами, равными сумме и разности входных частот (то есть  $f_1 + f_2$  и  $f_1 - f_2$ ). Фильтр 373 низких частот отфильтровывает сумму частот, 35 оставляя низкочастотную составляющую, представляющую собой разность между опорной частотой и частотой сигнала от датчика ( $f_1 - f_2$ ). Когда частоты  $f_1$  и  $f_2$  являются равными и синфазными, то смеситель выводит постоянное значение, пропорциональное амплитуде сигнала 361 от датчика, которая является пропорциональной емкости датчика и пропорциональной расстоянию между датчиком и мишенью. Усилитель 374 усиливает выходной сигнал из фильтра низких частот, и 40 этот сигнал затем может быть введен в систему управления.

Для автоматической калибровки схемы синхронного детектора для системы датчиков может использоваться алгоритм калибровки. Этот алгоритм обеспечивает ступенчатую регулировку дискретного фазовращателя 377 для увеличения или уменьшения задержки по фазе и обеспечивает текущий контроль выходного сигнала из смесителя 372. 45 Фазовращатель регулируют до того момента, пока не будет достигнуто максимальное значение выходного сигнала из смесителя 372, указывающее, что опорный сигнал и сигнал от датчика являются синфазными.

Цифровая обработка в схеме синхронного детектирования может быть реализована с использованием программируемой пользователем вентильной матрицы (FPGA), и алгоритм калибровки также может быть реализован в FPGA и/или в программном обеспечении, работающем в сочетании с FPGA.

5 Эта конструкция с автоматизированной калибровкой позволяет производить замену датчика или матрицы датчиков без необходимости замены или перекалибровки также и схемы обработки сигналов, которая обрабатывает сигналы измерений от датчика или от датчиков. Традиционные конструкции системы датчиков включали в себя датчики и схему обработки сигналов, откалиброванные вместе на заводе как согласованный  
10 комплект, вследствие чего при замене датчика также требуется замена схемы обработки сигналов. Автоматизированный алгоритм калибровки обеспечивает возможность замены датчиков независимо от схем обработки сигналов и убыстряет калибровку новых датчиков с существующими схемами обработки сигналов, что очень упрощает техническое обслуживание и сокращает время простоя литографической машины. Это  
15 меньшее время простоя и, следовательно, более высокая производительность литографической машины.

На чертеже фиг.30 изображена упрощенная схема электрической схемы обработки для дифференциальной пары датчиков 30a, 30b. Электрическое смещение датчиков обеспечивают источники 306a, 306b тока (или напряжения), которые работают со  
20 сдвигом по фазе на 180 градусов. Выходной сигнал с каждого датчика 30a, 30b подают в соответствующие схемы 360a, 360b синхронных детекторов, а выходные сигналы из схем синхронных детекторов подают на вход схемы 380, реализующей функцию вычитания. Выходные сигналы с выходов схем синхронных детекторов имеют сдвиг по фазе на 180 градусов, и, следовательно, вычитание функционирует так, что устраняет  
25 синфазные помехи из двух выходных сигналов из схемы синхронного детектора, сохраняя сигналы с датчиков.

Емкостные датчики могут использоваться для управления позиционированием полупроводниковой пластины для литографической машины. На чертеже фиг.31 изображена блок-схема такой системы управления. Датчики 30 измеряют расстояние,  
30 связанное с расстоянием между проекционным объективом 104 литографической машины и полупроводниковой пластиной 9, лежащей на подвижном столе 134 для полупроводниковых пластин. В этой компоновке датчики установлены неподвижно относительно проекционного объектива, вследствие чего расстояние между проекционным объективом и полупроводниковой пластиной может быть определено  
35 по измеренному расстоянию от датчиков до полупроводниковой пластины. Сигналы от датчиков передают в блок 301 обработки сигналов, а данные измерений, выведенные блоком обработки сигналов, передают в блок 400 управления. Блок 400 управления может использоваться для управления перемещением стола для полупроводниковых пластин по оси z (по вертикали) для удержания полупроводниковой пластины в  
40 фокальной плоскости проекционного объектива литографической машины, чтобы элементарные пучки заряженных частиц, сгенерированные машиной, оставались сфокусированными на поверхности полупроводниковой пластины при перемещении полупроводниковой пластины по осям x и y.

Система датчиков совместно с системой управления может использоваться для  
45 точного определения расстояния между проекционным объективом и полупроводниковой пластиной в различных точках при перемещении полупроводниковой пластины. Это позволяет системе определять топологию поверхности полупроводниковой пластины, обнаруживая наличие наклона или прогиба

полупроводниковой пластины и иных неровностей на поверхности полупроводниковой пластины. Поверхность полупроводниковой пластины почти никогда не является абсолютно плоской. Типичная полупроводниковая пластина может иметь прогиб на ней до 50 мкм без прижима. Кроме прогиба полупроводниковой пластины поверхность полупроводниковой пластины может иметь иные неровности по своей поверхности. Прогиб полупроводниковой пластины и иные неровности приводят к изменениям высоты на поверхности полупроводниковой пластины, которые приводят к тому, что поверхность полупроводниковой пластины не находится в фокальной плоскости проекционного объектива. Система управления может использоваться для введения поправок на это изменение высоты для того, чтобы поверхность полупроводниковой пластины оставалась в фокальной плоскости проекционного объектива, используемого для фокусировки экспонирующих оптических пучков или экспонирующих пучков частиц на полупроводниковой пластине. Вертикальное положение стола для полупроводниковых пластин может быть отрегулировано так, чтобы скомпенсировать эти отклонения поверхности полупроводниковой пластины по высоте с использованием сигналов, переданных из датчиков.

Система спроектирована для измерения топологии поверхности полупроводниковой пластины во время технологической обработки (например, экспонирования) полупроводниковой пластины, а не для выполнения измерений заранее. Это уменьшает общую продолжительность технологической обработки полупроводниковой пластины и увеличивает производительность.

В одном из вариантов осуществления изобретения использована компоновка из восьми датчиков, расположенных в форме квадратной матрицы вокруг проекционного объектива, как показано на чертеже фиг.32А. Эта компоновка позволяет измерять наклон полупроводниковой пластины, прогиб полупроводниковой пластины и иные неровности, и экспонирование полупроводниковой пластины выполняют за одно сканирование полупроводниковой пластины. В типичной компоновке полупроводниковую пластину перемещают в направлении механического сканирования, при этом как пучки оптического излучения или заряженных частиц в литографической машине сканируют по поверхности полупроводниковой пластины для экспонирования полупроводниковой пластины согласно экспонируемому рисунку.

В варианте осуществления изобретения, показанном на чертеже фиг.32А, когда полупроводниковую пластину перемещают в направлении 405 механического сканирования, то первый ряд датчиков А-С измеряет расстояние до поверхности полупроводниковой пластины в трех точках в линии на поверхности полупроводниковой пластины, соответствующих датчикам А, В и С. Наличие и величина наклона положения полупроводниковой пластины, прогиб полупроводниковой пластины или иные неровности поверхности могут быть вычислены путем сравнения результата измерения с датчика В с результатами измерения с датчиков А и С. Вычисленное значение наклона полупроводниковой пластины, прогиба или неровности вдоль линии сохраняют в запоминающем устройстве в системе управления. По мере продвижения полупроводниковой пластины в направлении 405 линия, ранее измеренная датчиками А-С, попадает под проекционный объектив 104 и готова к экспонированию. Датчики D и E по обе стороны от проекционного объектива измеряют расстояние до точек на линии, ранее измеренное датчиками А и С. Высота полупроводниковой пластины в точке под проекционным объективом теперь может быть вычислена на основании сохраненного значения и результатов текущих измерений из датчиков D и E. Система управления может использовать эту вычисленную высоту полупроводниковой пластины



в точке под проекционным объективом для регулировки высоты стола для полупроводниковых пластин для гарантии того, что поверхность полупроводниковой пластины остается в фокальной плоскости проекционного объектива. Это обеспечивает возможность компенсации наклона, прогиба или иной неровности измеряемой поверхности полупроводниковой пластины и введения поправок на них за одно сканирование полупроводниковой пластины.

Третий ряд датчиков F-H предусмотрен для обеспечения возможности использования одного и того же способа, который описан выше, в обоих направлениях механического сканирования, то есть когда полупроводниковая пластина перемещается в направлении 405 или в противоположном направлении. На чертеже фиг.32А проиллюстрирована матрица из восьми датчиков, однако описанный выше способ может быть реализован с различным количеством датчиков. Кроме того, каждым датчиком, показанным на чертеже фиг.32А, может являться дифференциальная пара датчиков, выполняющая дифференциальные измерения в каждой точке А-Н.

На чертеже фиг.32В показан другой вариант осуществления изобретения, имеющий компоновку из восьми датчиков в дифференциальных парах в четырех углах проекционного объектива 104. Эта компоновка пригодна, например, для литографических систем, в которых во время экспонирования полупроводниковая пластина достаточно хорошо зажата для уменьшения прогиба полупроводниковой пластины до приемлемого значения. Однако даже при наличии очень плоской поверхности стола для полупроводниковых пластин и хорошего зажима, удерживающего полупроводниковую пластину плотно прижатой к плоскости стола для полупроводниковых пластин, все же имеют место отклонения на поверхности полупроводниковой пластины вследствие отклонений в полупроводниковой пластине и в слое резиста на ее поверхности. В этом варианте осуществления изобретения при перемещении полупроводниковой пластины в направлении 405 механического сканирования первый ряд, содержащий пары А и В датчиков, измеряет расстояние до поверхности полупроводниковой пластины в двух точках на линии на поверхности полупроводниковой пластины, соответствующей положениям А и В. Измерения также могут проводиться парами С и D датчиков в положениях С и D.

Расстояние до полупроводниковой пластины в точках А, В, С и D, среднее расстояние до полупроводниковой пластины и наличие и величина наклона полупроводниковой пластины (например, наклон полупроводниковой пластины в направлении сканирования и в других направлениях) могут быть вычислены и сохранены в запоминающем устройстве в системе управления. Исходя из этих результатов измерений, может быть вычислено расстояние между центром проекционного объектива 104 и поверхностью полупроводниковой пластины.

На чертеже фиг.32С проиллюстрирован способ измерения для определения расстояния между проекционным объективом и поверхностью полупроводниковой пластины и величин наклона по поверхности полупроводниковой пластины. До экспонирования измеряют локальные градиенты полупроводниковой пластины в нескольких заданных местах, например, в центре и в четырех равноотстоящих местоположениях вокруг периферии полупроводниковой пластины, как показано на чертеже фиг.32С. Стол для полупроводниковых пластин может осуществляться так, что регулируют наклон  $R_x$  стола для полупроводниковых пластин в направлении  $x$  и наклон  $R_y$  стола для полупроводниковых пластин в направлении  $y$ . Во время измерений наклон  $R_x$  и  $R_y$  стола для полупроводниковых пластин сохраняют равным постоянному значению.

Используя результаты измерений, блок обработки вычисляет карту высот на всей

площади полупроводниковой пластины, подлежащей экспонированию. Исходя из карты высот, вычисляют значения  $R_x(x,y)$  и  $R_y(x,y)$  поправок на наклон для приведения в движение стола для полупроводниковых пластин во время экспонирования, для наклона стола для полупроводниковых пластин для введения поправок на изменения  
 5 высоты по поверхности полупроводниковой пластины. Могут быть вычислены постоянные поправки по наклону для всего экспонирования для направлений  $x$  и  $y$ , то есть в течение экспонирования  $R_x(x,y)$  является постоянной величиной и  $R_y(x,y)$  является постоянной величиной (возможно иной). Также могут быть произведены более сложные вычисления, при которых вычисляют множество значений  $R_x$  и  $R_y$  поправок на наклон  
 10 для различных участков полупроводниковой пластины, и при экспонировании каждого участка стол для полупроводниковых пластин регулируют соответствующим образом.

Во время экспонирования наклон стола для полупроводниковых пластин в направлениях  $x$  и  $y$  регулируют согласно вычисленным значениям  $R_x$  и  $R_y$  поправок на наклон. Это может быть осуществлено, например, с использованием сигналов  
 15 интерферометра для обратной связи по положению и наклону стола для полупроводниковых пластин. В этом случае для генерации данных только о направлении  $z$ , то есть о расстоянии между проекционным объективом и поверхностью полупроводниковой пластины, могут использоваться датчики уровня.

Эта процедура отличается от описанного выше способа измерения на действующем  
 20 оборудовании и способа предварительного составления карты полупроводниковой пластины, в котором измеряют расстояние до полупроводниковой пластины в направлении  $z$  в различных местах, исходя из которого, вычисляют общий наклон поверхности полупроводниковой пластины в направлениях  $x$  и  $y$ . Затем стол для полупроводниковых пластин регулируют так, чтобы оптимально скорректировать  
 25 любой такой наклон перед экспонированием, чтобы во время сканирования полупроводниковой пластины проекционной головкой номинально параллельная поверхность полупроводниковой пластины подавалась перпендикулярно оптической оси литографической колонки. Во время сканирования вычисленная карта высот поверхности полупроводниковой пластины может использоваться для адаптации к  
 30 отклонению в направлении  $z$ , то есть к изменению расстояния между проекционным объективом и поверхностью полупроводниковой пластины. Значения в направлении  $z$  могут быть найдены непосредственно из ранее определенной карты высот или с использованием интерполяции между измеренными значениями.

Изобретение было описано путем ссылки на некоторые рассмотренные выше  
 35 варианты его осуществления. Следует отметить следующее: для специалистов в данной области техники понятно, что выше были описаны различные конструкции и альтернативные варианты, которые могут использоваться в любом из описанных здесь вариантов осуществления изобретения. Кроме того, понятно, что возможны различные видоизменения и альтернативные варианты этих вариантов осуществления изобретения,  
 40 которые являются хорошо известными для специалистов в данной области техники, не выходя за пределы сущности и объема изобретения. Соответственно, несмотря на то, что выше были описаны конкретные варианты осуществления изобретения, они приведены только лишь в качестве примеров и не ограничивают объем настоящего изобретения, определяемый прилагаемой формулой изобретения.

#### Формула изобретения

1. Емкостная измерительная система, содержащая пару датчиков, сконструированную в виде единого интегрального блока, имеющего тонкопленочную структуру, причем

каждый датчик (30a, 30b) из пары датчиков имеет отдельный измерительный электрод (31a, 31b), сформированный из первой проводящей пленки на первой поверхности единого первого изолирующего слоя (34), и каждый датчик имеет отдельный задний охранный электрод (35), сформированный из второй проводящей пленки, причем задний охранный электрод сформирован в одной плоскости и содержит периферийную часть, расположенную в той же самой плоскости, задний охранный электрод расположен на второй поверхности первого изолирующего слоя (34) и первой поверхности единого второго изолирующего слоя (43), причем периферийная часть каждого заднего охранный электрода продолжается за пределы каждого измерительного электрода, образуя боковые охранные электроды, которые по существу или полностью окружают измерительный электрод.

2. Емкостная измерительная система по п. 1, в которой тонкопленочная структура дополнительно содержит удлиненный соединительный элемент (110), содержащий гибкую мембрану, на которой напечатаны или к которой прикреплены токопроводящие дорожки (114a-114c), причем токопроводящие дорожки электрически соединены с измерительными электродами (31a, 31b) и с задними охранными электродами (35a, 35b) датчиков на одном конце и с соединителем (116) на другом конце.

3. Емкостная измерительная система по п. 2, в которой изолирующий слой (34) содержит первую область, где сформированы измерительные электроды (31a, 31b), и вторую удлиненную область, на которой сформированы токопроводящие дорожки (114a-114c).

4. Емкостная измерительная система по п. 1, в которой тонкопленочная структура дополнительно содержит третью проводящую пленку, содержащую интегрированный экранирующий электрод (44), расположенный на второй поверхности второго изолирующего слоя (43).

5. Емкостная измерительная система по п. 4, в которой тонкопленочная структура дополнительно содержит удлиненный соединительный элемент (110), содержащий гибкую мембрану, на которой напечатаны или к которой прикреплены токопроводящие дорожки (114a-114e), причем токопроводящие дорожки электрически соединены с измерительными электродами (31a, 31b), с задними охранными электродами (35a, 35b) и с экранирующим электродом (44) на одном конце и с соединителем (116) на другом конце.

6. Емкостная измерительная система по п. 4 или 5, в которой датчик соединен с трехжильным коаксиальным кабелем (350), и в которой экранирующий электрод (44) электрически соединен с электрической жилой (353) кабеля, имеющей внешний потенциал земли.

7. Емкостная измерительная система по п. 4 или 5, дополнительно содержащая источник (306) питания переменного тока для подачи питания на емкостной датчик, схему (301) обработки сигналов для обработки сигналов из датчика и трехжильный коаксиальный кабель (350) для соединения емкостного датчика с источником питания переменного тока и со схемой обработки сигналов, причем упомянутый кабель имеет центральную жилу (351), внешнюю жилу (352), и экранирующую жилу (353), причем центральная жила предназначена для электрического соединения источника питания переменного тока с измерительным электродом (31) датчика, внешняя жила предназначена для электрического соединения с задним охранным электродом (35) датчика, а экранирующая жила предназначена для электрического соединения экранирующего электрода (44) датчика с заземлением схемы обработки сигналов на конце кабеля, удаленном от датчиков.

8. Емкостная измерительная система по п. 1 или 2, в которой измерительные электроды пары датчиков имеют, по существу, одинаковый размер.

9. Емкостная измерительная система по п. 1 или 2, в которой расстояние, отделяющее измерительные электроды пары датчиков, по существу, равно размеру измерительных электродов.

10. Емкостная измерительная система по п. 1 или 2, в которой размер пары датчиков, по существу, равен размеру задних охранных электродов пары датчиков.

11. Емкостная измерительная система по п. 1, в которой изолирующие слои (34, 43) являются общими для дополнительных емкостных датчиков (30).

12. Емкостная измерительная система по п. 1, в которой тонкопленочная структура является гибкой.

13. Емкостная измерительная система по п. 1, в которой изолирующие слои (34, 43) содержат листы из каптона.

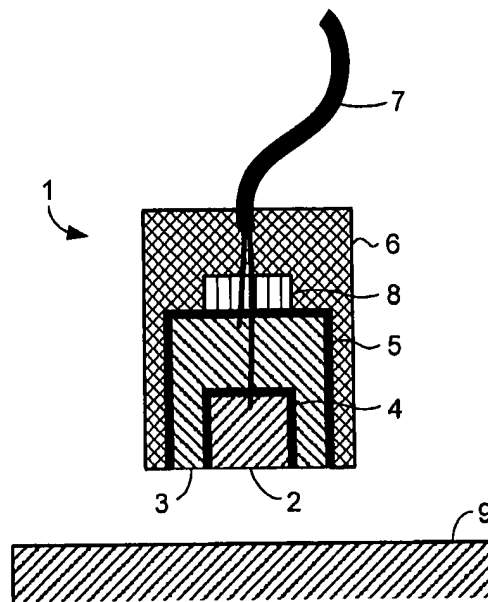
14. Литографическая система для экспонирования мишени, содержащая:

систему проекционного объектива для фокусировки экспонирующего пучка на мишень;

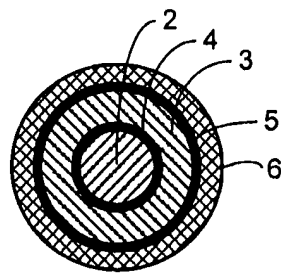
подвижный координатный стол для транспортировки мишени;

емкостную измерительную систему по любому из пп. 1-13 для выполнения измерений относительно расстояния между системой проекционного объектива и мишенью; и

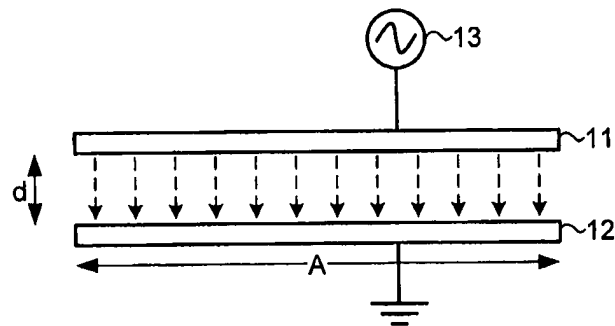
блок управления для управления перемещением подвижного координатного стола, чтобы регулировать положение мишени, по меньшей мере, частично на основании сигнала из емкостной измерительной системы.



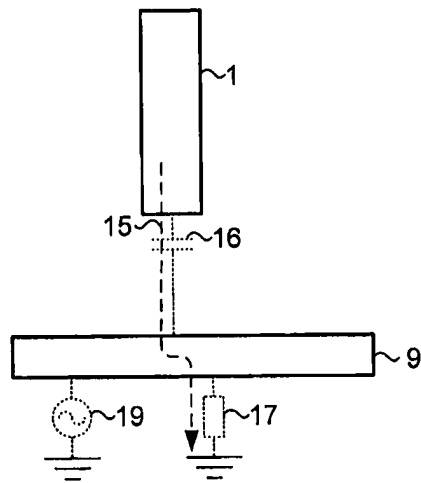
Фиг.1А



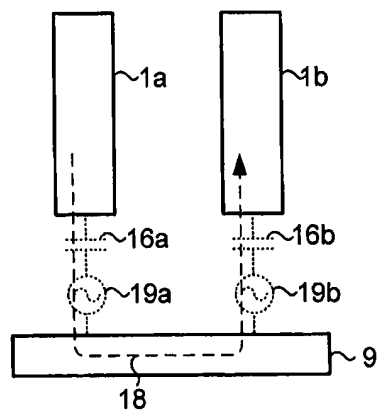
Фиг.1В



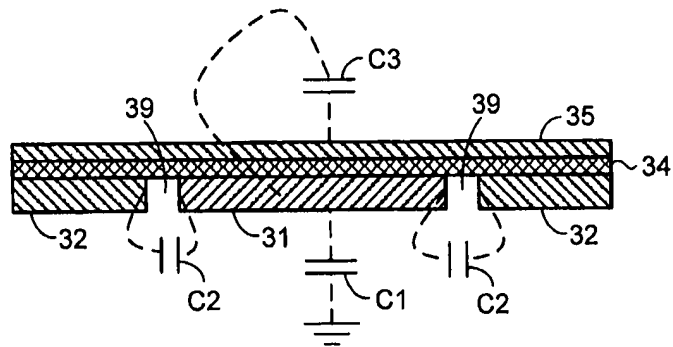
Фиг.2



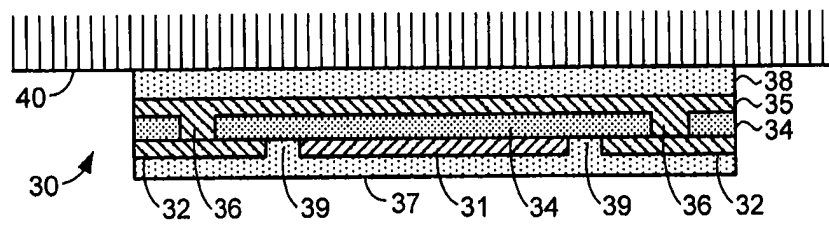
Фиг.3



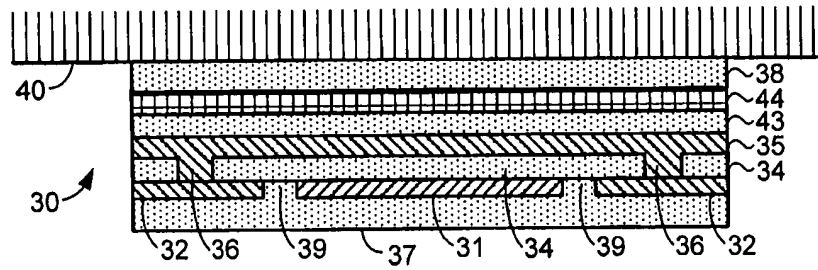
Фиг.4



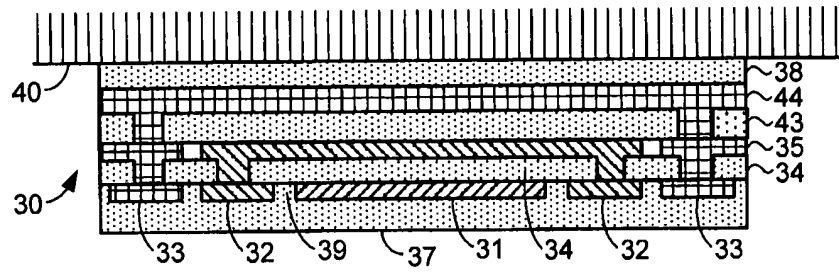
Фиг.5



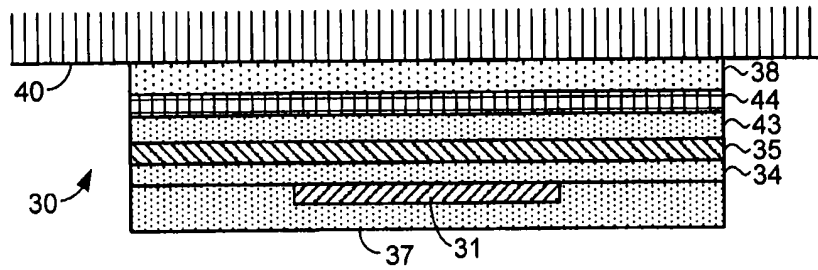
Фиг.6А



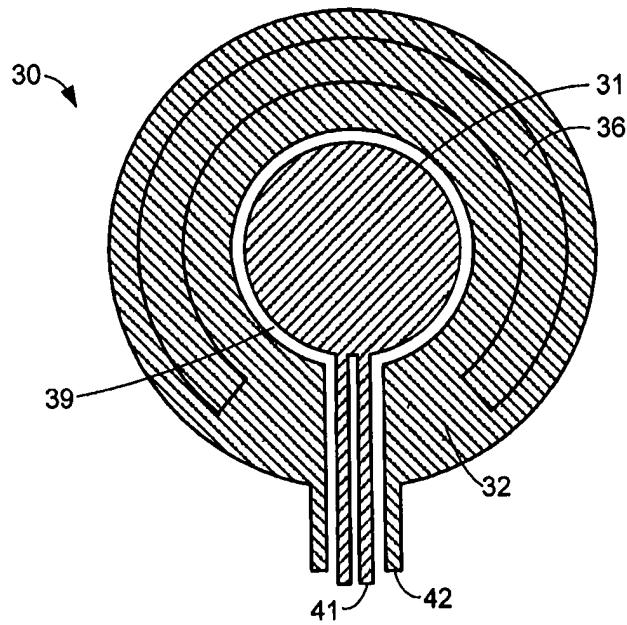
Фиг.6В



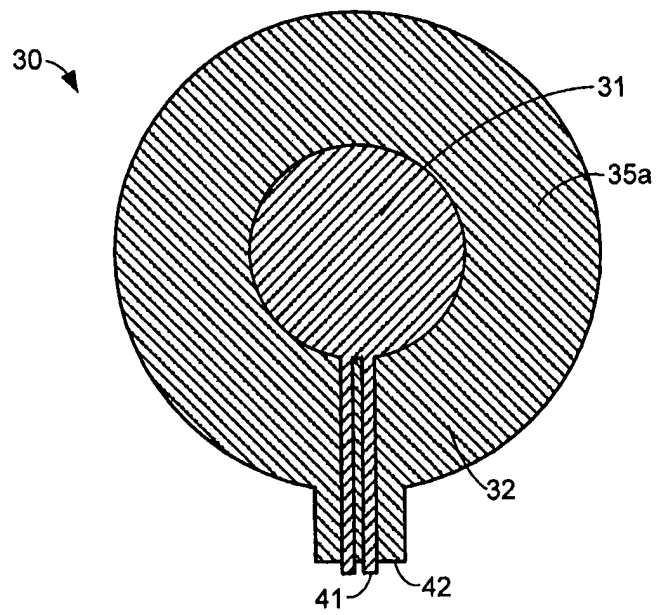
Фиг.6С



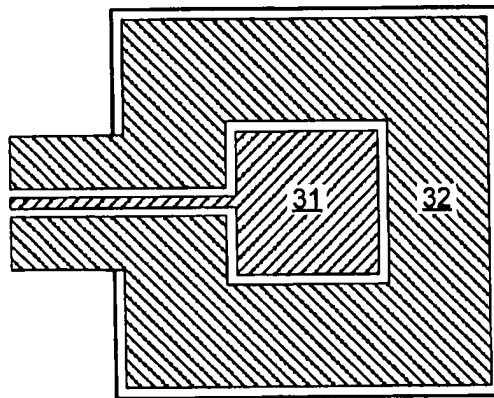
Фиг.6D



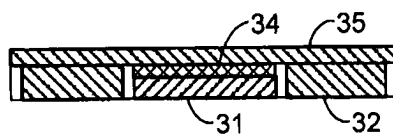
Фиг.6Е



Фиг.6F

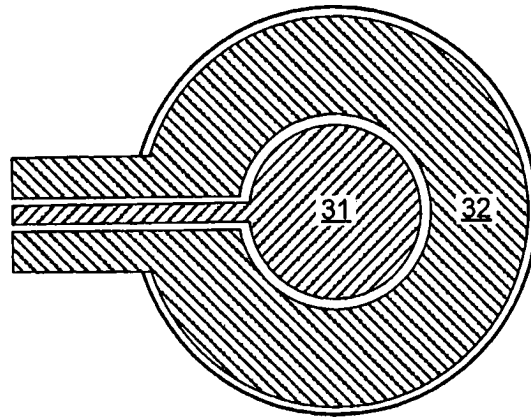


Фиг.7A

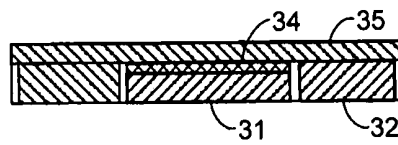


Фиг.7B

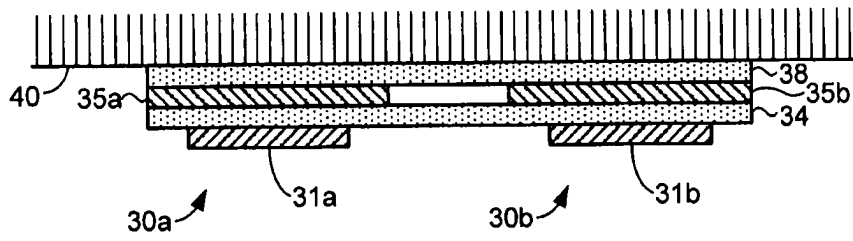




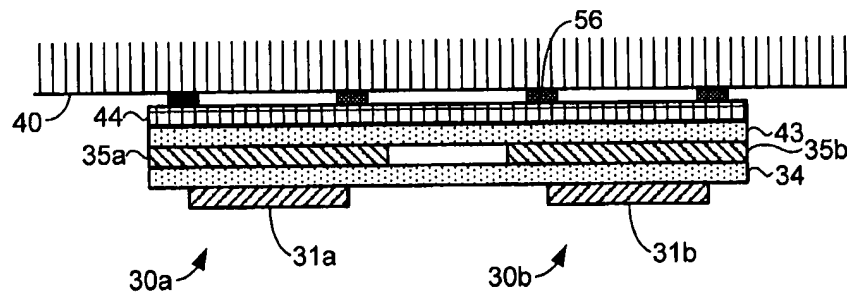
Фиг.8А



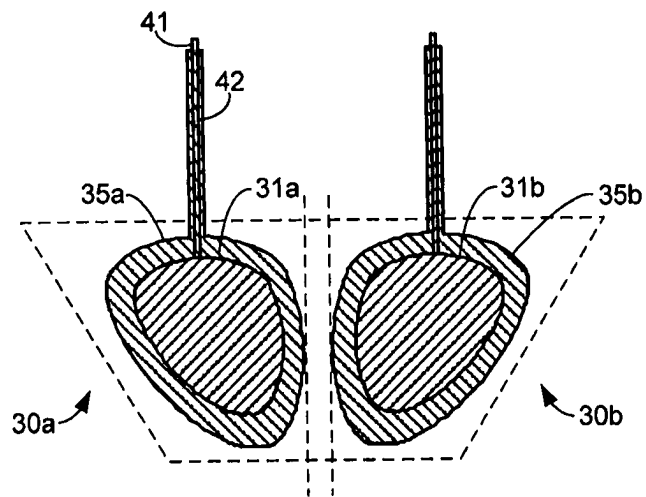
Фиг.8В



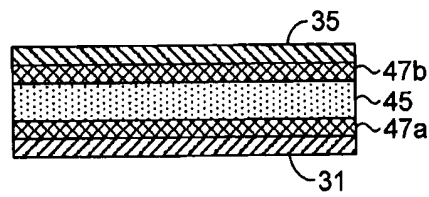
Фиг.9А



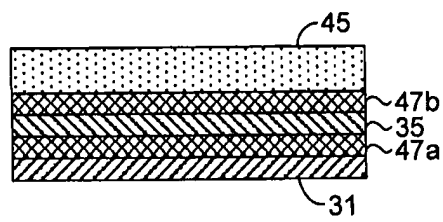
Фиг.9С



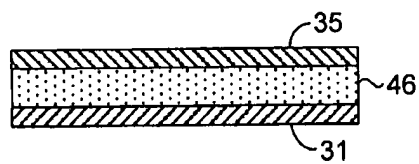
Фиг.9D



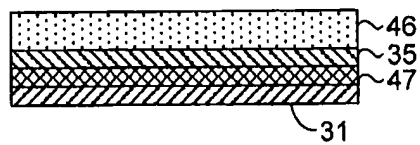
Фиг.10А



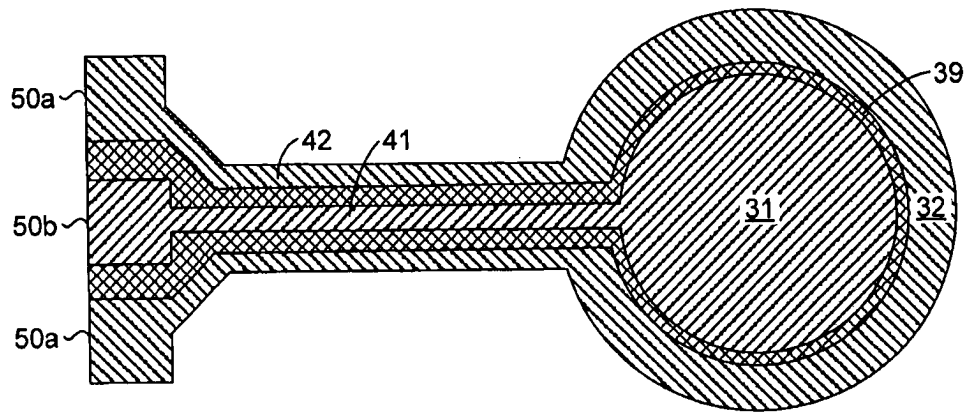
Фиг.10В



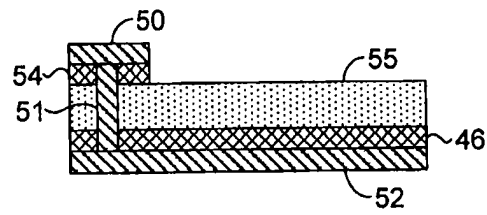
Фиг.10С



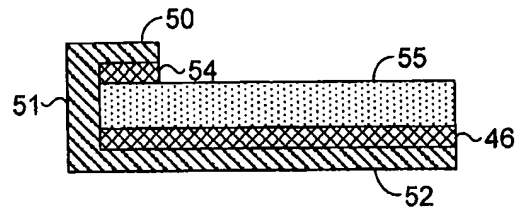
Фиг.10D



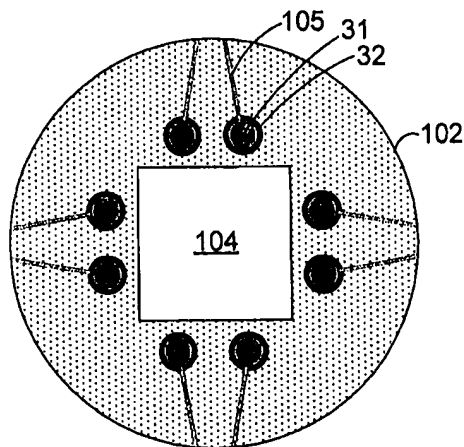
Фиг.11



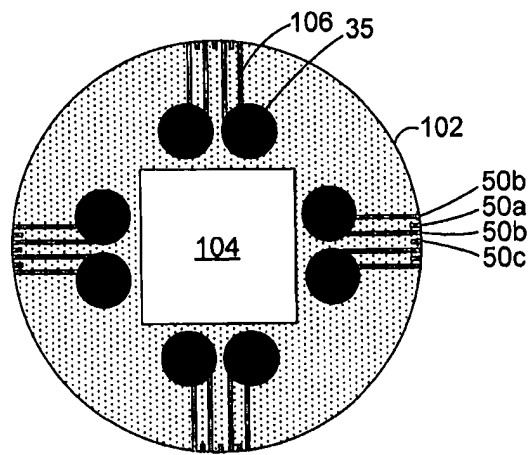
Фиг.12A



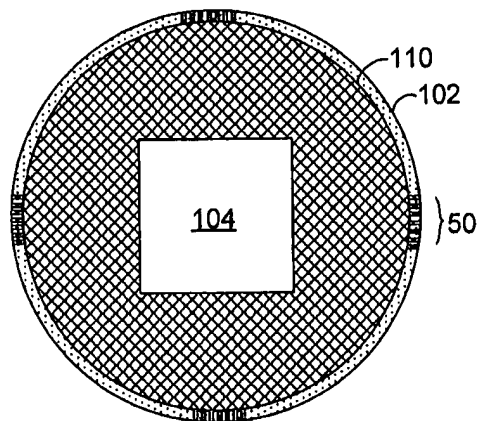
Фиг.12B



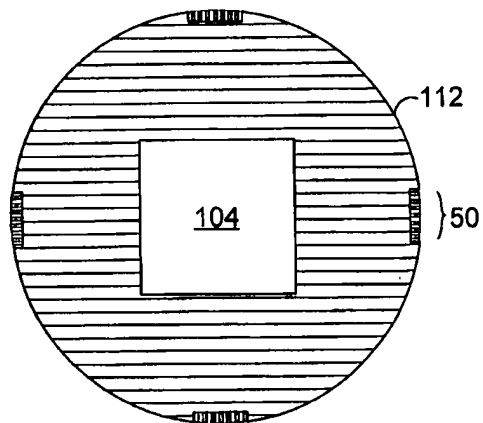
Фиг.13A



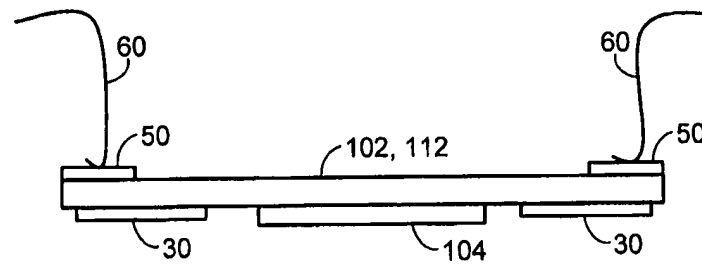
Фиг.13В



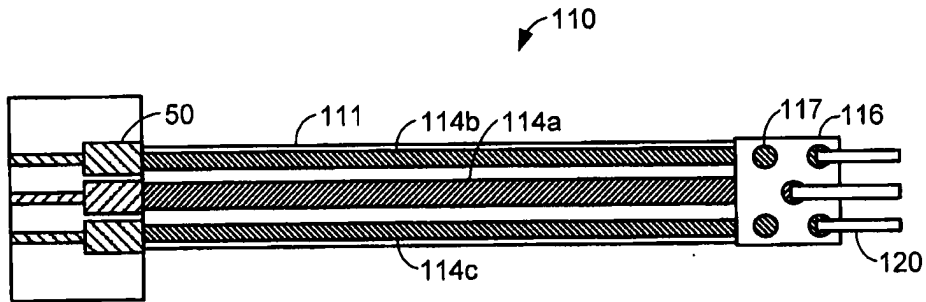
Фиг.13С



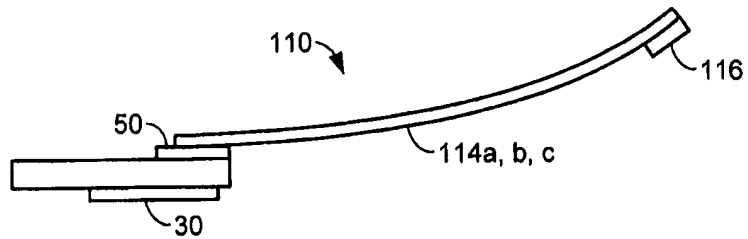
Фиг.13D



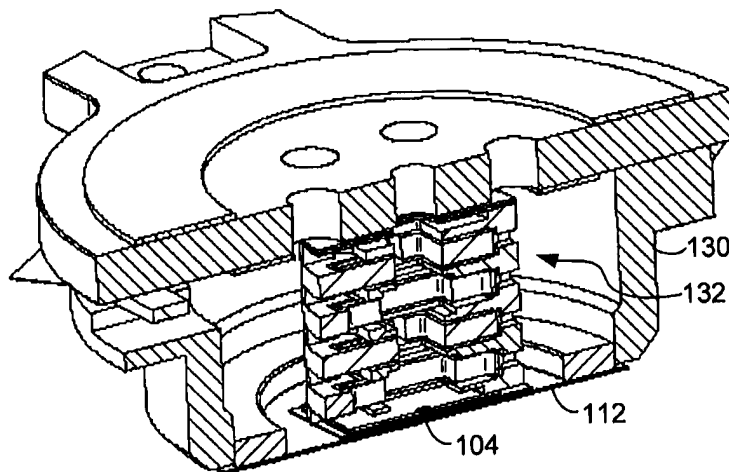
Фиг.14



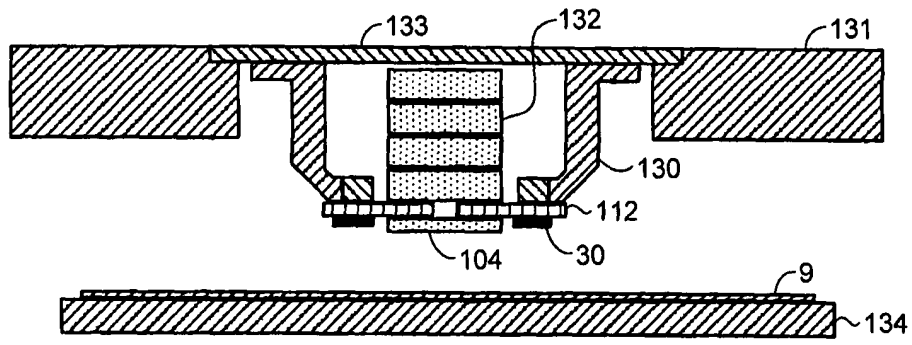
Фиг.15А



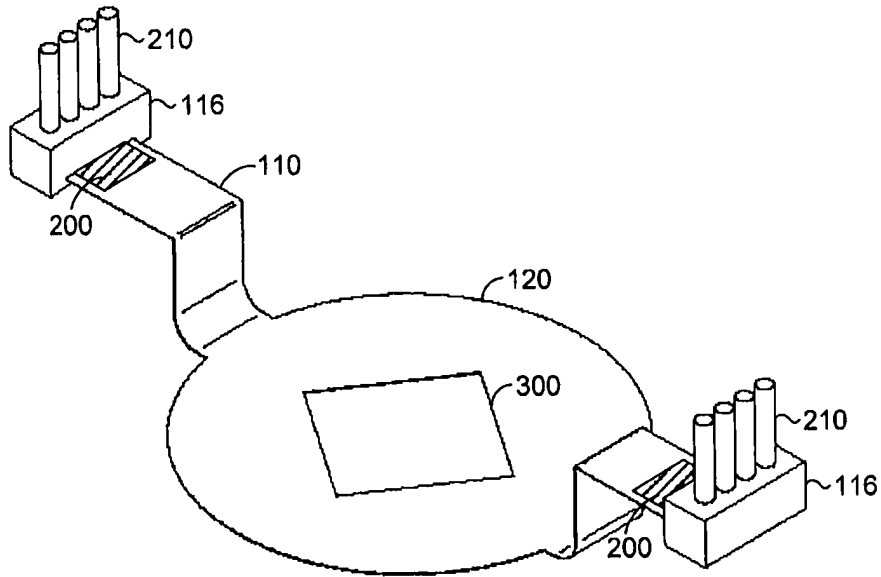
Фиг.15В



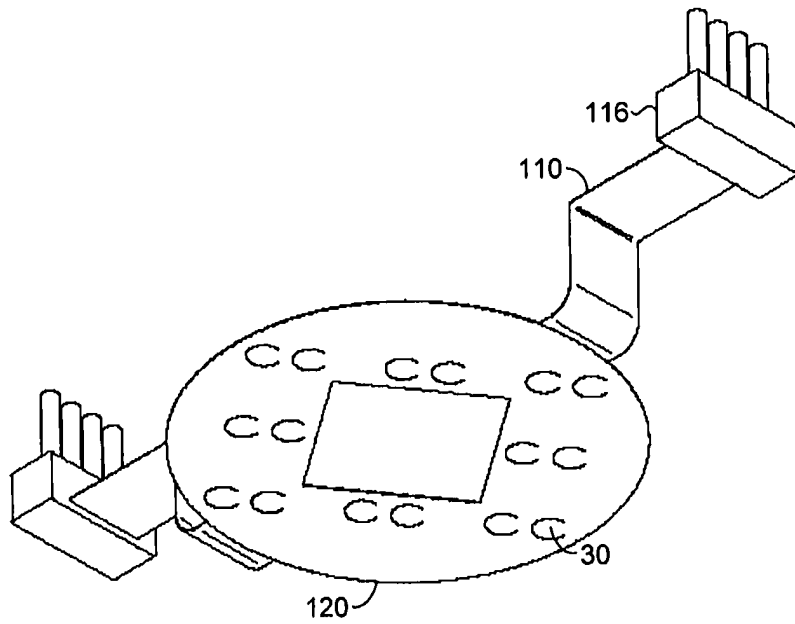
Фиг.16А



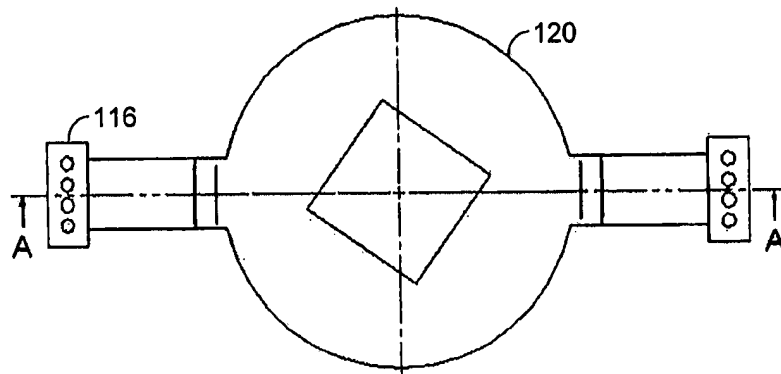
Фиг.16В



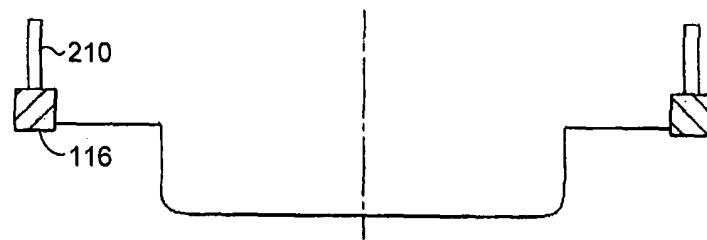
Фиг.17А



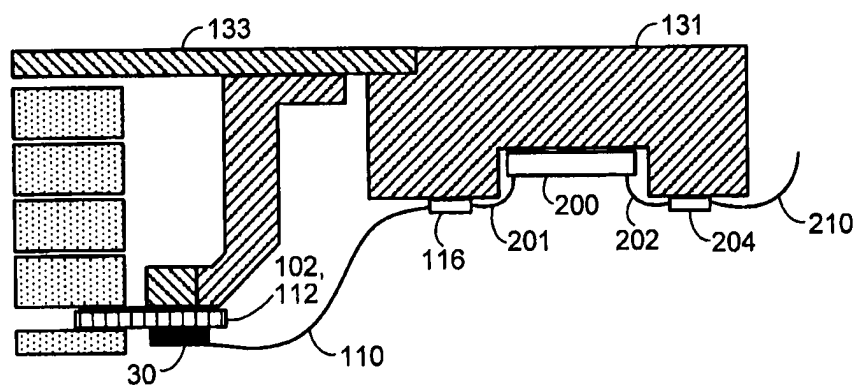
Фиг.17В



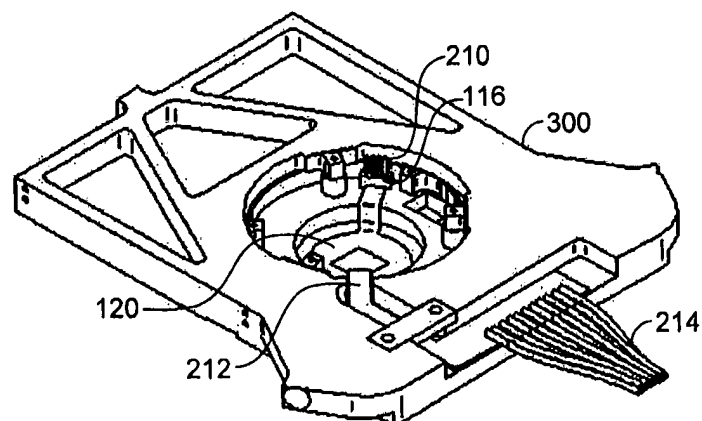
Фиг.17С



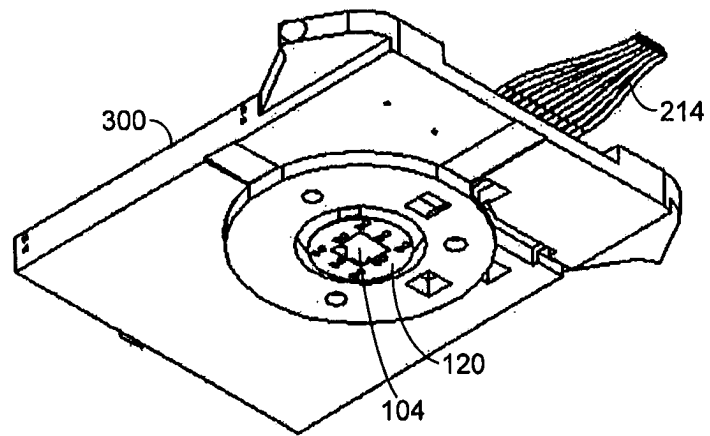
Фиг.17D



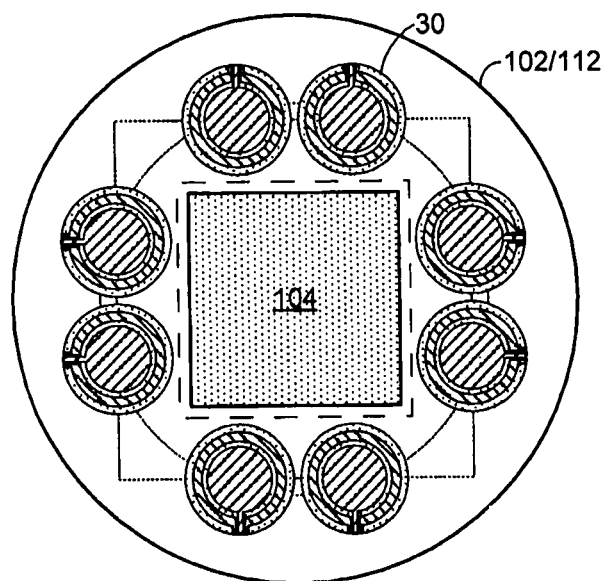
Фиг.18



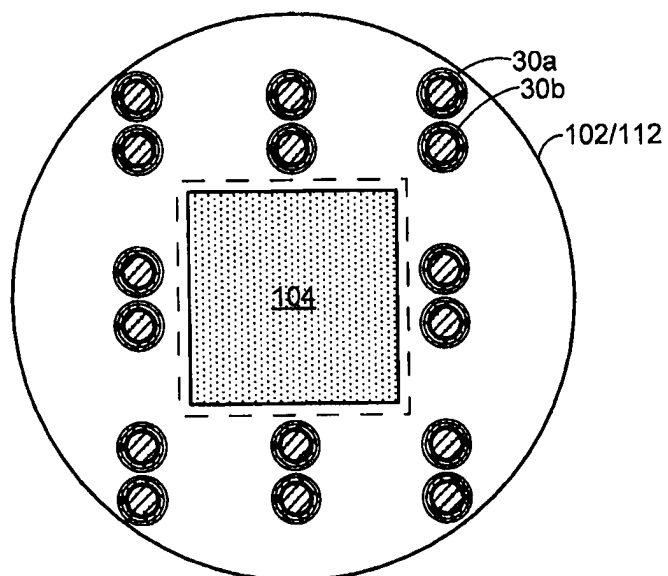
Фиг.19А



Фиг.19В

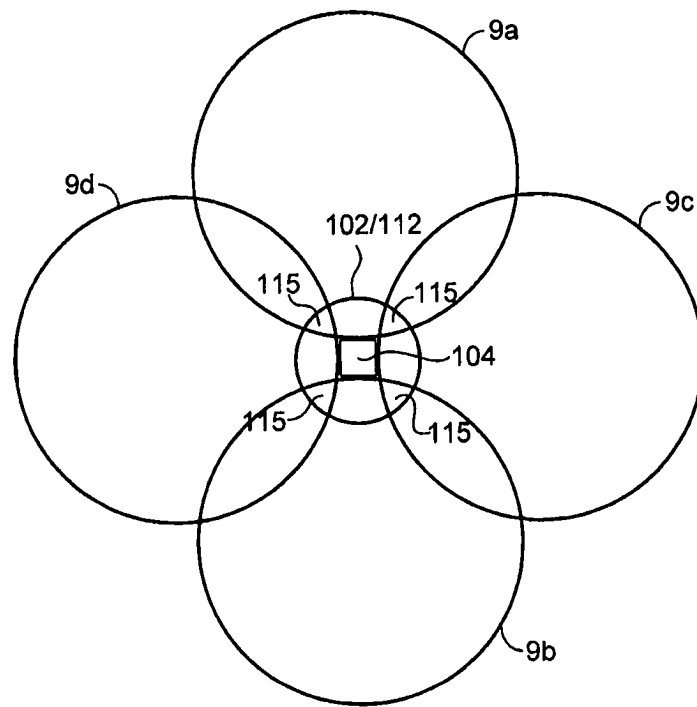


Фиг.20А

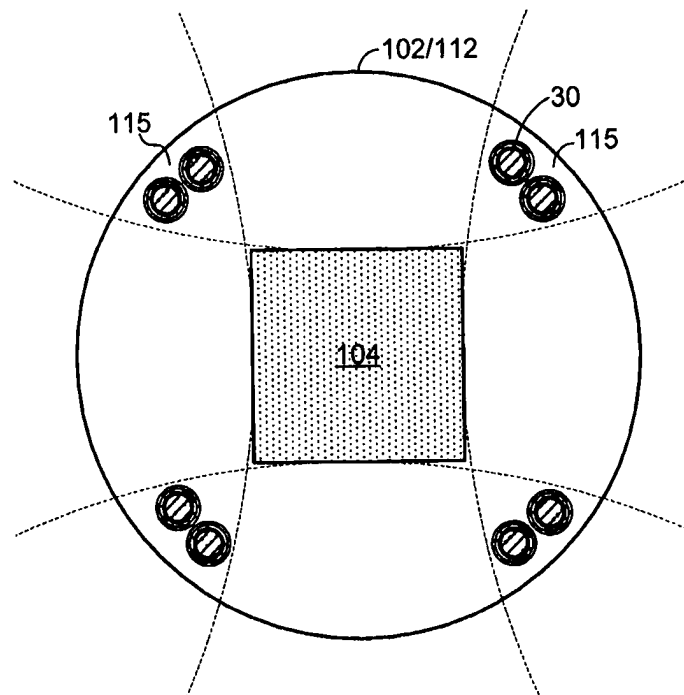


Фиг.20В

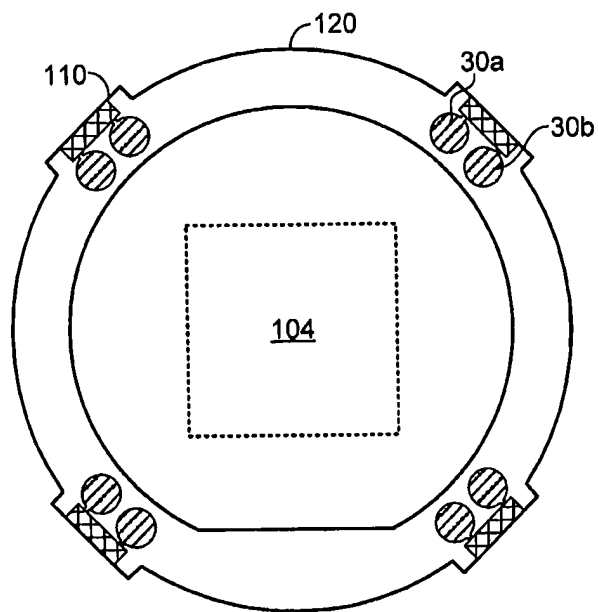




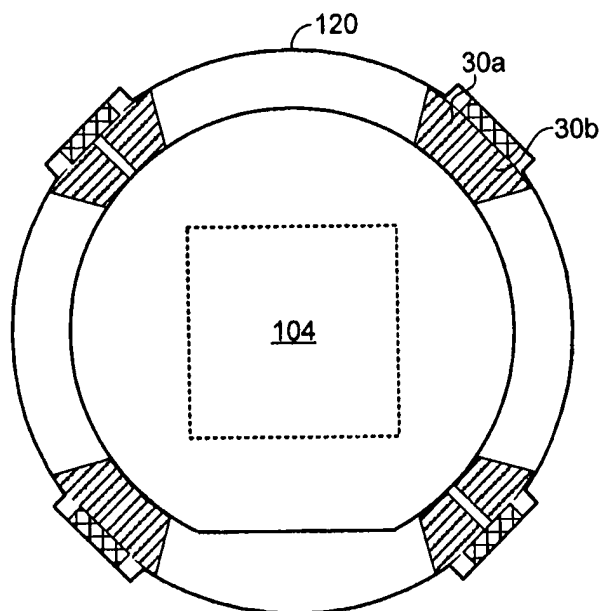
Фиг.20С



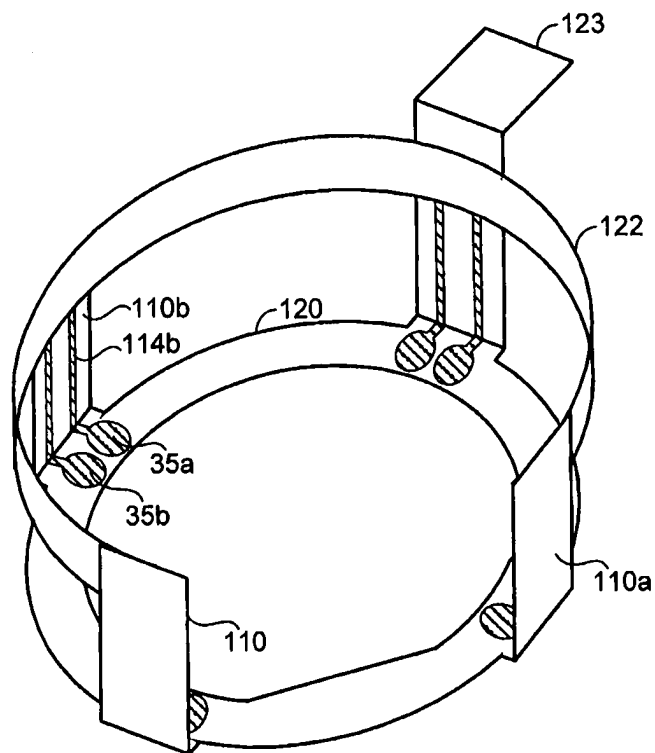
Фиг.20D



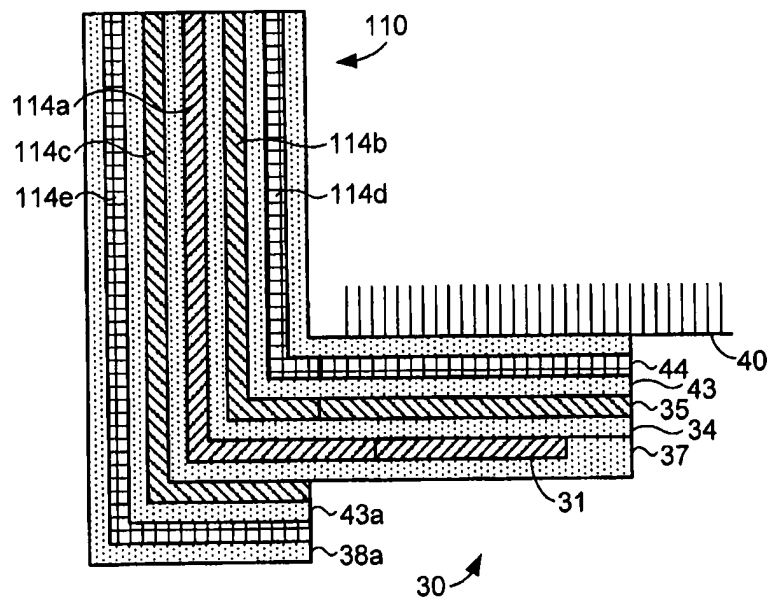
Фиг.21А



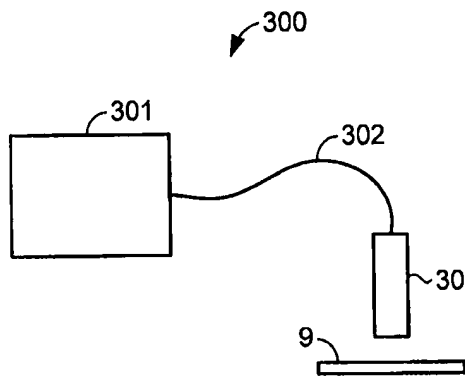
Фиг.21В



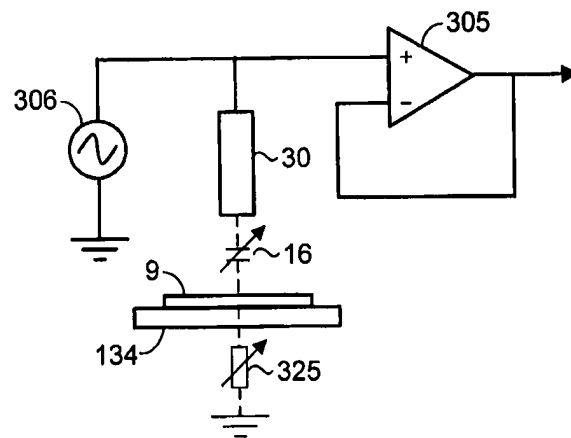
Фиг.21С



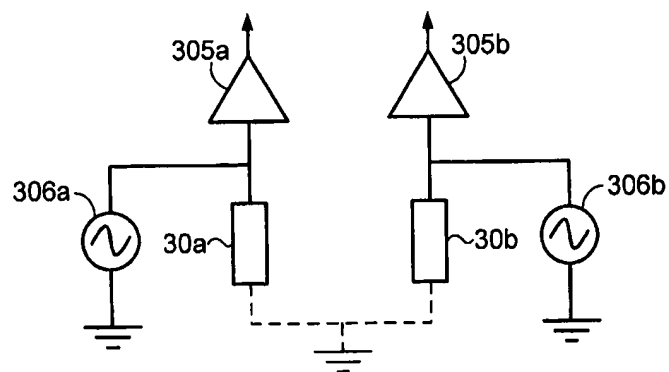
Фиг.21D



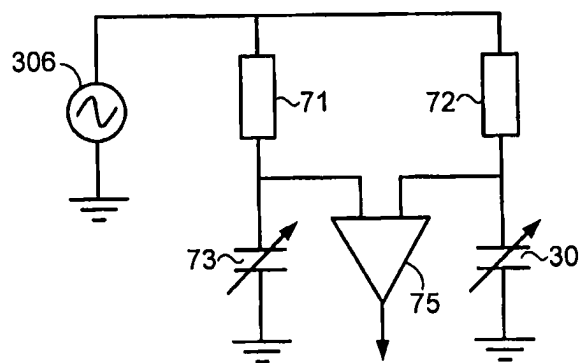
Фиг.22



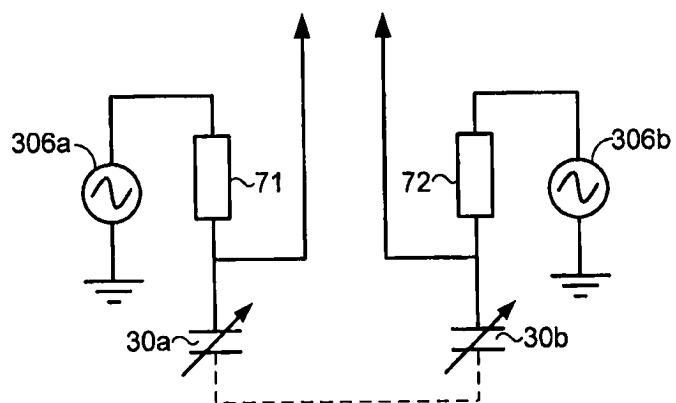
Фиг.23А



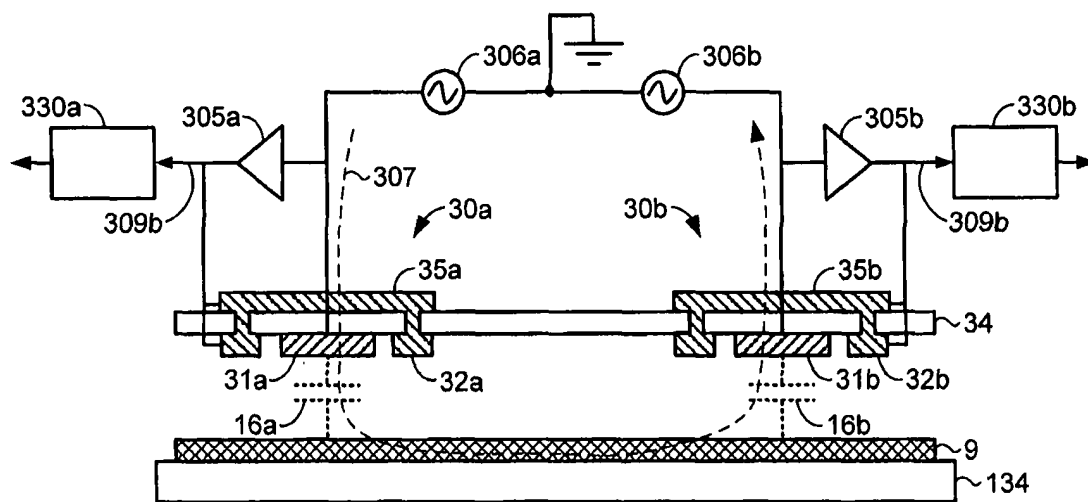
Фиг.23В



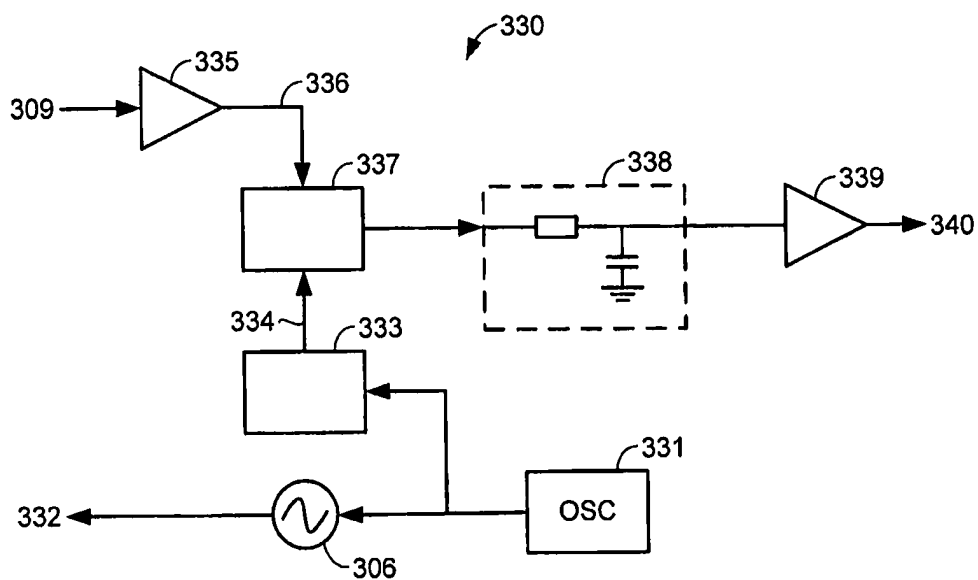
Фиг.24А



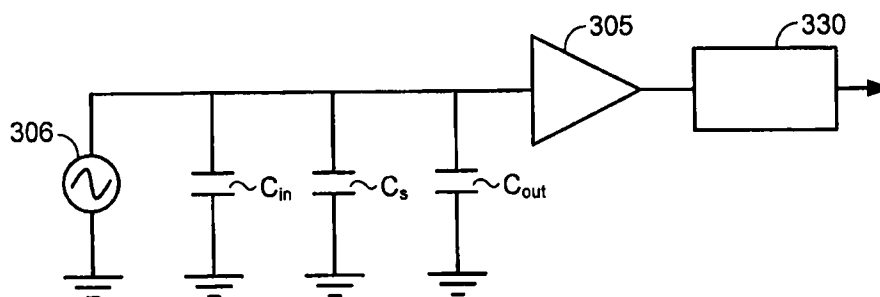
Фиг.24В



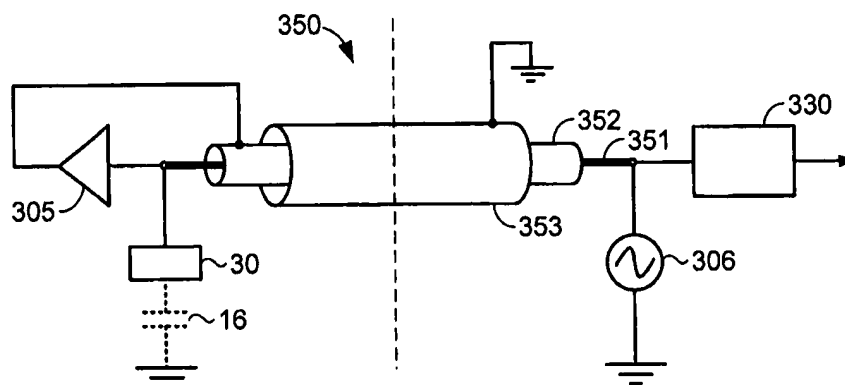
Фиг.25



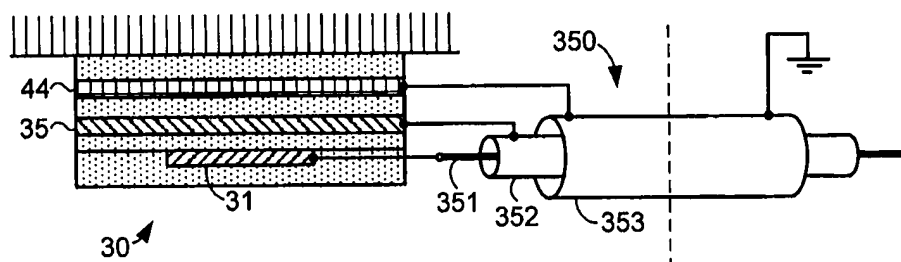
Фиг.26



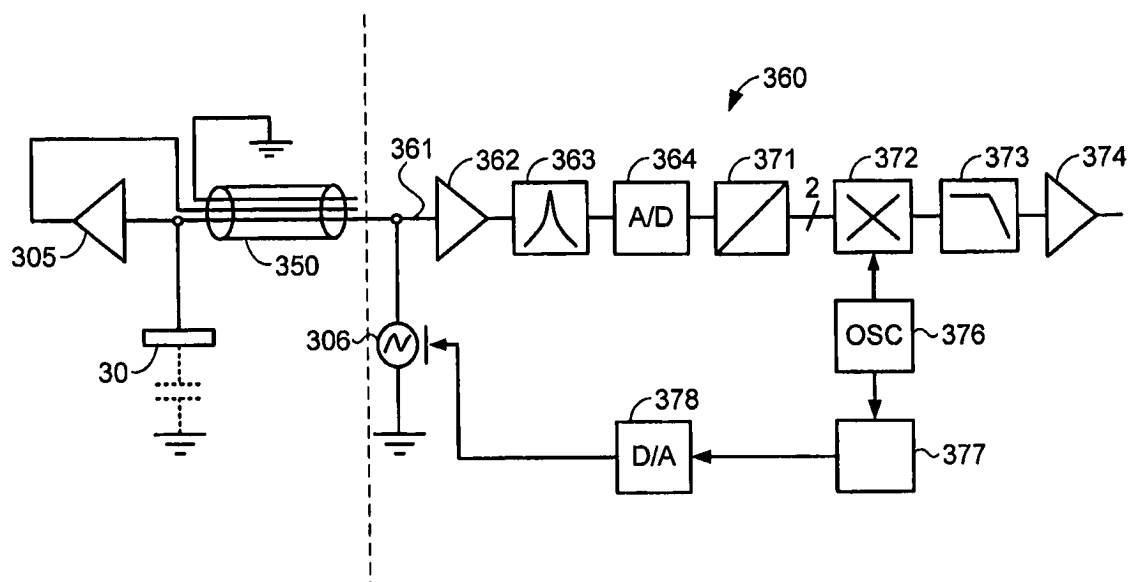
Фиг.27



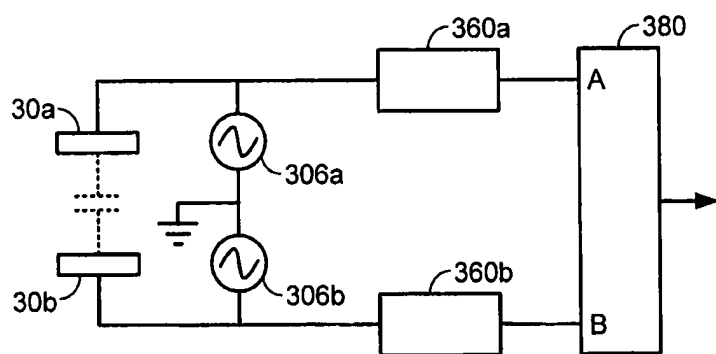
Фиг.28А



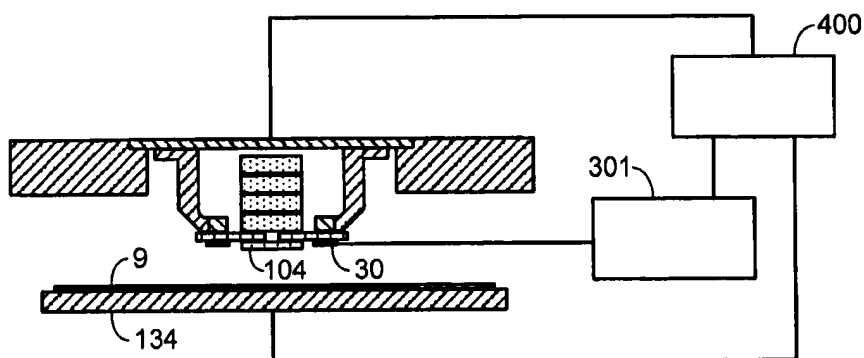
Фиг.28В



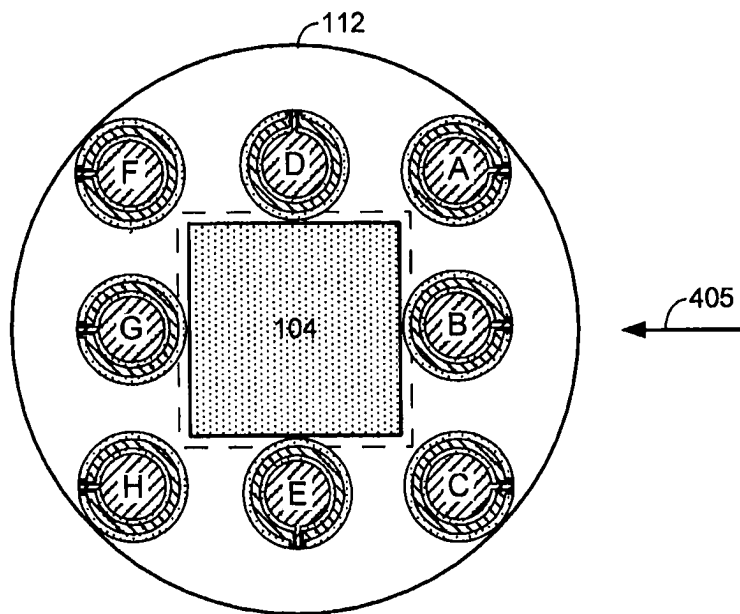
Фиг.29



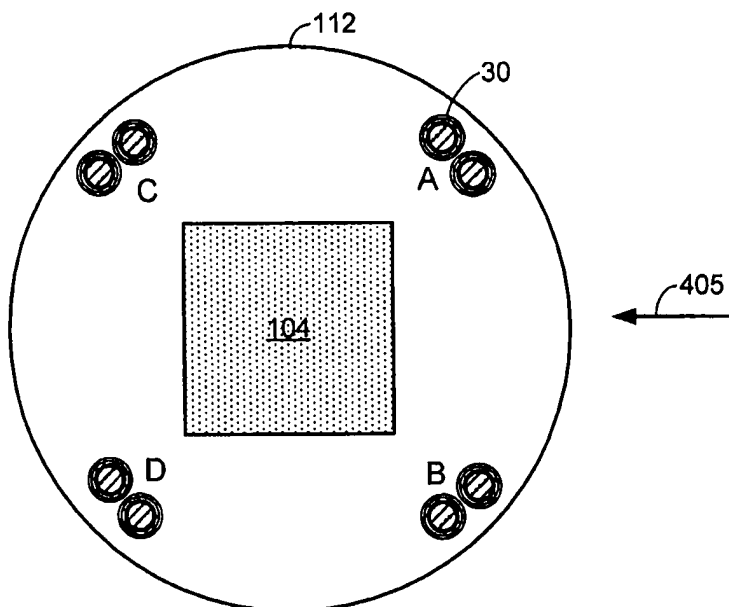
Фиг.30



Фиг.31

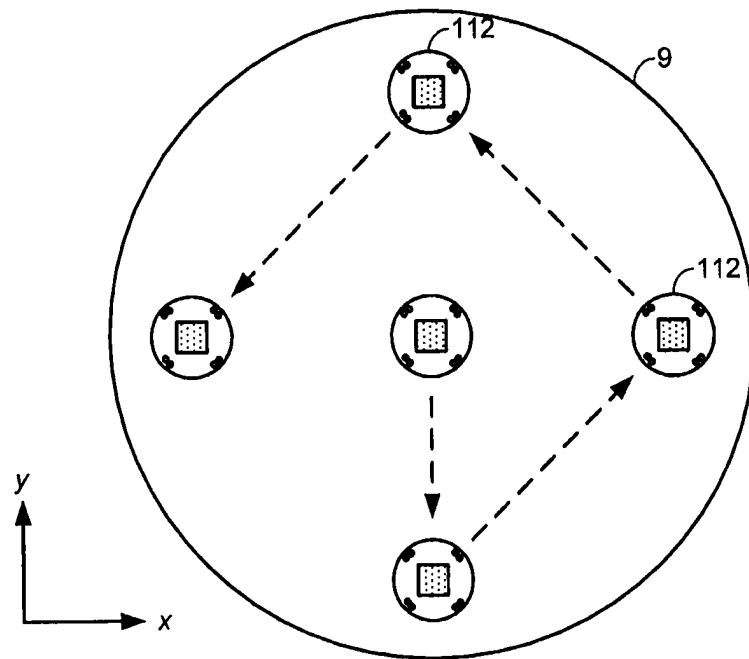


Фиг.32А



Фиг.32В





Фиг.32С