

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **040628**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.07.07**

(21) Номер заявки  
**202100005**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.11.27**

(51) Int. Cl. **B23K 26/08** (2014.01)  
**G05B 19/18** (2006.01)  
**B23Q 15/06** (2006.01)  
**G01B 7/14** (2006.01)

---

**(54) УСТАНОВКА И СПОСОБ ЛАЗЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОНИКИ**


---

(43) **2022.05.31**

(96) **2020/EA/0074 (BY) 2020.11.27**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ "ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК БЕЛАРУСИ"; ОТКРЫТОЕ  
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"ПЛАНАР" (BY)**

(72) Изобретатель:

**Басинюк Владимир Леонидович,  
Еловой Олег Михайлович, Ковенский  
Алексей Евгеньевич, Цыркун  
Дмитрий Петрович, Чикун Юрий  
Николаевич, Школык Святослав  
Борисович (BY)**

(56) WO-A1-2019206726  
WO-A1-2020069889  
US-A1-20150212509  
US-A1-20080066596  
US-A1-20090003952

(57) Изобретение относится к области машиностроения и может быть использовано для лазерной микрообработки неметаллических материалов электроники, преимущественно хрупких, в частности таких как кремний, "сапфир" и т.п. при разделении пластин из этих материалов на кристаллы. Решение поставленной задачи повышения качества обрабатываемого паза достигается тем, что в установку для лазерной микрообработки материалов микроэлектроники введены блок контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и блок контроля (15) параметров колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи, а также два программно-управляемых механизма, включая первый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации изменения расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7), а второй - механизм (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи, причем в плате (9) дополнительно установлены второй (18) аналого-цифровой преобразователь и два цифроаналоговых преобразователя (19) и (20), и при лазерной микрообработке материалов электроники для обеспечения стабильной величины мощности лазера (1) на каждом участке контура реза поддерживают не только с учетом расчетных точек его контура, скорости рабочей подачи, а также определением в процессе обработки отклонения от заданного расстояния между обрабатываемой поверхностью (14) и кареткой (7) и компенсации этого отклонения первым программно-управляемым механизмом (16), и контролем отклонения скорости рабочей подачи лазера, обусловленного колебаниями исполнительного органа в направлении движения и компенсации этого отклонения вторым программно-управляемым механизмом (17). Анализ качества обработки полупроводниковой пластины (12) показал, что разноразмерность по глубине и ширине реза уменьшилась на ~40-50%, а величина прилегающей к резу огибающей дефектной зоны - в 2-2,3 раза.

**B1****040628****040628****B1**

Изобретение относится к области машиностроения и может быть использовано для лазерной микрообработки неметаллических материалов электроники, преимущественно хрупких, в частности, таких как кремний, "сапфир" и т.п. при разделении пластин из этих материалов на кристаллы.

В настоящее время в микроэлектронике существует устойчивая тенденция к уменьшению толщин полупроводниковых пластин из кремния, сапфира и т.п., на поверхности которых сформированы кристаллы, а также размеров и топологической нормы кристаллов, которые сегодня имеют параметры кристаллов в среднем  $\sim 10 \times 10$  мм и топографическую норму 20-65 нм. В ближайшее десятилетие толщины пластин из полупроводниковых материалов будут уменьшаться до 50-100 мкм, размеры кристаллов - до  $1 \times 1$  мм и топологическая норма - до 4 нм при одновременном увеличении диаметра пластин до 450 мм. В связи с этим существенно возрастают требования к качеству обработки материалов при разделении пластин из полупроводниковых материалов на кристаллы, в частности

к точности размеров по глубине или толщине реза, образованного при испарении лазером обрабатываемого материала, в особенности при использовании самой современной технологии "стеле" (лазерной обработке пластины с обратной кристаллам стороны);

к уменьшению прилегающих к зоне реза дефектных участков. Увеличение диаметра полупроводниковых пластин при уменьшении их толщины обуславливает многократное снижение их жесткости. Вследствие этого под собственным весом и усилием ее вакуумного крепления на столе разноразмерность наклеенной на опорную поверхность пластины полимерной пленки возникают отклонения от плоскостности обрабатываемой лазером поверхности пластины. В сочетании с неизбежными отклонениями в направляющих, обеспечивающих рабочую подачу исполнительного органа происходят локальные изменения расстояния от объектива до обрабатываемой поверхности, а возникающие при движении исполнительного органа механические низкочастотные колебания [1] в направлении рабочей подачи приводят к колебаниям интенсивности воздействия лазерного луча на обрабатываемую поверхность и снижению качества ее обработки. Наиболее ярко это проявляется при обработке малых по толщине пластин и топографической норме менее 20 нм. Как следствие - выбраковывается часть ранее годных и уже прошедших операцию зондирования кристаллов.

Обобщенная функциональная схема лазерной установки для микрообработки материалов содержит [2]: лазер, фокусирующую оптическую систему, обрабатываемую деталь, координатный стол, систему визуального контроля зоны лазерной обработки, систему контроля параметров лазера, систему контроля технологического процесса лазерной обработки, микропроцессор.

Установка для лазерной резки хрупкого неметаллического материала [3] содержит: лазер, фокусирующий объектив, дополнительный лазер с фокусирующим объективом, координатный стол, механизм нанесения дефекта (локальной иницирующей трещины на линии термораскалывания пластины), устройство подачи хладагента, механизм вертикального перемещения с кареткой, компьютер и блок управления координатным столом посредством технологической программы, вводимой с компьютера.

Из известных наиболее близкой по технической сущности является выбранная в качестве прототипа установка для лазерной микрообработки материалов электроники [4], преимущественно хрупких, содержащая два лазера с фокусирующими объективами, координатный стол, механизм вертикального перемещения с кареткой, на которой закреплены фокусирующие объективы (один - жестко, второй - с возможностью поворота), акустическое устройство контроля с приемно-усилительным трактом, состоящее из предварительного усилителя, фильтра, основного усилителя и блока обработки сигналов, например, компьютера с размещенной в нем дополнительной платой с аналого-цифровым преобразователем, блок управления координатным столом и механизмом вертикального перемещения.

Известен способ резки хрупких неметаллических материалов [5], преимущественно стекла, кварца и сапфира, включающий локальное воздействие на линии реза пучком излучения лазера с варьированием его энергии.

Из известных и наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является выбранный в качестве прототипа способ лазерной обработки хрупких материалов [6] в изделиях 3-D формы, в котором стабильность величины мощности лазера на каждом участке контура реза обеспечивается стабильным расположением объектива относительно координатного положения точек контура реза изделия 3-D формы и постоянной скоростью движения объектива с учетом геометрических параметров этой формы, однако при этом не учитываются влияние локальных изменений расстояния между объективом и точками контура реза и варьирование в определенном диапазоне величины скорости подачи исполнительного органа из-за его колебаний в направлении движения.

Общим недостатком приведенных выше и в целом существующих установок и способов лазерной микрообработки неметаллических материалов является низкое качество обработки, обусловленное колебаниями ширины и глубины реза, а также возникновением значительной по ширине прилегающей к нему дефектной зоны вследствие отсутствия средств и способов контроля, учета и компенсации влияния на величину мощности лазера локальных, обусловленных упругой деформацией обрабатываемого изделия, изменения расстояния между объективом и точками контура реза и варьированием скорости рабочей подачи исполнительного органа в результате его механических колебаний в направлении движения.

Задачей изобретения является повышение качества лазерной микрообработки неметаллических материалов, таких как кремний, сапфир и т.п., путем снижения колебаний ширины и глубины реза, а также уменьшения ширины прилегающей к резу дефектной зоны посредством создания средств и способов контроля, учета и компенсации влияния на величину мощности лазера локальных изменений расстояния между объективом и точками контура реза, обусловленных упругой деформацией обрабатываемой пластины и варьированием скорости рабочей подачи исполнительного органа вследствие его механических колебаний в направлении движения.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в установке для лазерной микрообработки материалов электроники, содержащей по меньшей мере один лазер (1) с фокусирующим объективом (2), размещенным в корпусе (3), станину (4), координатный стол (5), механизм программно-управляемого вертикального перемещения (6) с кареткой (7), на которой жестко закреплен корпус (3) фокусирующего объектива (2), блок обработки сигналов (8), например компьютер с размещенной в нем платой (9), имеющей аналого-цифровой преобразователь (10), механизм управления (11) координатным столом (5), согласно техническому решению координатный стол (5) установлен на станине (4) с возможностью трехкоординатного линейного перемещения относительно станины (4), кругового поворота вокруг оси, перпендикулярной рабочей поверхности координатного стола (5), и с возможностью фиксации положения полупроводниковой пластины (12) в положении с заданными координатами, при этом установка дополнительно снабжена двумя блоками контроля, включая блок контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), установленным с возможностью контроля расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и имеющий выход, связанный с входом аналого-цифрового преобразователя (10), и блок контроля (15) параметров колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи, а также двумя программно-управляемыми механизмами, включая первый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации изменения расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7), и второй механизм (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи, причем в плате (9) дополнительно установлены второй (18) аналого-цифровой преобразователь, вход которого связан с выходом дополнительного блока контроля (15) параметров колебаний исполнительного органа, и два цифроаналоговыми преобразователя (19) и (20), выход первого (19) из которых связан со входом первого программно-управляемого механизма (16) адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7), а выход второго цифроаналогового преобразователя (20) связан с входом второго программно-управляемого механизма (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи и блок (15) контроля параметров колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи жестко связан с исполнительным органом, а первый программно-управляемый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) размещен между механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) и жестко связан с ними. Фиксацию положения полупроводниковой пластины (12) на координатном столе (5) в положении с заданными координатами обеспечивают по меньшей мере одной глухой выборкой на рабочей поверхности координатного стола (5) для размещения в ней обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), при этом глубина глухой выборки соответствует толщине полупроводниковой пластины (12), а ее контур соответствует контуру периферийной поверхности полупроводниковой пластины (12).

Блок (13) контроля расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) при рабочей подаче состоит из полого корпуса (21), внутри которого установлена жестко связанная с ним направляющая втулка (22) с цилиндрическим внутренним отверстием (23), которое выходит на внешнюю и внутреннюю полого часть корпуса (21), при этом в цилиндрическом внутреннем отверстии установлен с возможностью осевого перемещения стержень (24), один из концов (25) которого выходит из полого корпуса (21) и снабжен установленным на торце и жестко связанным с ним конусообразным наконечником (26), например алмазной призмой, а второй конец (27) стержня (24) расположен в полости корпуса (21), выступает за пределы направляющей втулки (22) и снабжен шайбой (28), размещенной коаксиально его оси в средней выступающей за пределы направляющей втулки (22) части и жестко связанной со стержнем (24), причем блок (13) контроля расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) снабжен пружиной (29), установленной коаксиально оси стержня (24) между обращенными друг к другу поверхностями шайбы (28) и полого корпуса (21) с возможностью взаимодействия с ними, а также постоянным магнитом (30), установленным на торце второго конца (27) стержня (24) и жестко связанным с ним, и датчиком Холла (31), который расположен с зазором ответно постоянному магниту (30) внутри полого корпуса (21) и жестко связан с ним, при этом вход датчика Холла (31) связан с источником питания (32), в выход связан с аналого-цифровым преобразователем (10) платы (9).

В установке первый программно-управляемый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пласти-

ны (12) и кареткой (7) выполнен в виде по меньшей мере одного пьезокерамического актюатора, например АП-Т 20/01, размещенного между механизмом вертикального перемещения (6) и кареткой (7) и жестко связанного с ними рабочими поверхностями, при этом для увеличения диапазона перемещений адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7), между механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) размещают по меньшей мере два установленных последовательно, жестко связанных между собой и своими открытыми рабочими поверхностями с механизмом вертикального перемещения (6) и кареткой (7) пьезокерамических актюатора, например АП-Т 20/01, а для увеличения усилий адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) между механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) размещают по меньшей мере два установленных параллельно и жестко связанных своими открытыми рабочими поверхностями с механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) пьезокерамических актюатора, например АП-Т 20/01.

При использовании в качестве исполнительного органа каретки (7) каретку (7) устанавливают с возможностью горизонтального перемещения, а установку снабжают дополнительным механизмом (33) горизонтального перемещения каретки (7), при этом дополнительный механизм (33) горизонтального перемещения каретки (7) устанавливают с возможностью взаимодействия с кареткой (7) в горизонтальной плоскости.

Второй программно-управляемый механизм (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи выполнен в виде по меньшей мере одного пьезокерамического актюатора, например АП-Т 20/01, установленного либо между координатным столом (5) и механизмом (11) управления этим столом при использовании координатного стола (5) в качестве исполнительного органа, либо между кареткой (7) и дополнительным механизмом (33) горизонтального перемещения каретки (7) при использовании в качестве исполнительного органа каретки (7), при этом пьезокерамический актюатор жестко связан рабочими поверхностями, соответственно либо с координатным столом (5) и механизмом (11) управления координатным столом (5) при использовании координатного стола (5) в качестве исполнительного органа, либо между дополнительным механизмом (33) горизонтального перемещения каретки (7) и кареткой (7) при ее использовании в качестве исполнительного органа, при этом для увеличения диапазона перемещений адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа второй программно-управляемый механизм (17) выполнен в виде по меньшей мере двух последовательно и жестко связанных между собой пьезокерамических актюаторов, например АП-Т 20/01, при этом открытые рабочие поверхности пьезокерамических актюаторов жестко связаны с исполнительным органом и либо с механизмом (11) управления координатным столом (5), при использовании координатного стола (5) в качестве исполнительного органа, либо с дополнительным механизмом (33) и кареткой (7), при ее использовании в качестве исполнительного органа, а для увеличения усилий адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа второй программно-управляемый механизм (17) выполнен в виде по меньшей мере двух параллельно установленных пьезокерамических актюаторов, например АП-Т 20/01, причем открытые рабочие поверхности пьезокерамических актюаторов жестко связаны с исполнительным органом и, либо с механизмом (11) управления столом (5) при его использовании в качестве исполнительного органа, либо с дополнительным механизмом (33) и кареткой (7) при ее использовании в качестве исполнительного органа.

Дополнительно в способе лазерной микрообработки материалов электроники, в котором задают с учетом контура реза обрабатываемой поверхности (14) полупроводниковой пластины (12) и поддерживают с учетом расчетных точек его контура стабильное расположение фокусирующего объектива (2) лазера (1), скорость рабочей подачи и величину мощности лазера (1) на каждом участке контура реза, согласно техническому решению предварительно на координатном столе (5) выполняют, например, чистовым фрезерованием и шлифованием пальцевым инструментом, глухую выборку на рабочей поверхности, глубина которой соответствует толщине полупроводниковой пластины (12), а ее контур соответствует контуру периферийной поверхности обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и ее прямолинейному участку (34) или выборке (35), после чего вводят в память блока обработки сигналов (8) координаты выборки (35), затем фиксируют, например, с использованием технического зрения, координаты кристаллов (36) на полупроводниковой пластине (12) и разделяющих их дорожек (37) относительно прямолинейного участка (34) или выборки (35) и вводят эти координаты в память блока обработки сигналов (8) и после утонения полупроводниковой пластины (12) и ее наклейки на полимерную пленку со стороны кристаллов (36) или обратной стороны полупроводниковую пластину (12) размещают в выборке координатного стола (5) полимерной пленкой к координатному столу (5) и после фиксации обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) вакуумной присоской с учетом координат выборки на координатном столе (5) и координат разделяющих кристаллы (36) дорожек (37) в блоке обработки сигналов (8) формируют команды на перемещение координатного стола (5) и каретки (7) в положение, обеспечивающее параллельность разделяющих кристаллы (36) дорожек (37) рабочему ходу исполнительного органа и сим-

метричность линии реза ширине обрабатываемой дорожки (37), устанавливают рабочее расстояние между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), после чего включают лазер (1) и подачу исполнительного органа и с использованием блока контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) перед взаимодействием лазерного луча с точкой контура реза на обрабатываемой поверхности (14) полупроводниковой пластины (12), находящейся впереди точки взаимодействия лазерного луча с обрабатываемой поверхностью на контуре реза в направлении рабочей подачи исполнительного органа, определяют расстояние между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), после чего полученные в аналоговом виде данные передают в аналого-цифровой преобразователь (10), где преобразуют в цифровой вид и передают в блок обработки сигналов (8), в котором определяют отклонение от заданного расстояния между обрабатываемой поверхностью (14) и кареткой (7) и в блоке (8) обработки сигналов формируют в цифровом виде команду на корректировку вертикального положения каретки (7) относительно обрабатываемой поверхности (12), после чего эту команду передают в первый цифроаналоговый преобразователь (19), в котором преобразуют в аналоговый вид и передают в первый программно-управляемый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7), затем первым программно-управляемым механизмом (16) компенсируют полученное с использованием блока контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) отклонение расстояния перемещением каретки (7) в вертикальном направлении в момент попадания лазерного луча в точку контроля, обеспечив стабильное расположение фокусирующего объектива (2) лазера (1) относительно точек контура реза обрабатываемой поверхности (14) полупроводниковой пластины (12), одновременно с этим при движении исполнительного органа путем использования блока контроля (15) колебаний исполнительного органа регистрируют в аналоговом виде параметры механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи, после чего эти данные передают во второй аналого-цифровой преобразователь (18), где их преобразуют в цифровой вид и передают в блок обработки сигналов (8), в котором определяют частоту, амплитуду и фазу колебаний и формируют в цифровом виде команду на создание механических колебаний исполнительного органа в противофазе зарегистрированным блоком контроля (15) колебаниям, эту команду передают во второй цифроаналоговый преобразователь (20), в котором ее преобразуют в аналоговый вид и передают во второй программно-управляемый механизм (17) для адаптивного управления параметрами колебаний исполнительного органа, которым создают колебания исполнительного органа в направлении его движения в противофазе его механическим колебаниям, обеспечивая стабильность скорости рабочей подачи, что в совокупности с обеспечением стабильности расположения фокусирующего объектива (2) лазера (1) относительно точек контура реза обрабатываемой поверхности (14) полупроводниковой пластины (12) позволяет обеспечить стабильную величину мощности лазера (1) на каждом участке контура реза.

Повышение качества реза при лазерной микрообработке материалов электроники, таких как, например, кремний и сапфир, в частности, выполненных из них тонких (100-300 мкм) полупроводниковых пластин с использованием предлагаемого технического решения, достигается вследствие того, что при его реализации обеспечивается существенно более стабильная величина мощности лазера (1) на каждом участке контура реза на поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) за счет того, что определяются и компенсируются

неизбежные отклонения от заданного расстояния от каретки (7) до поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), которые возникают из-за прогибов тонкой полупроводниковой пластины (12) при ее установке на координатном столе (5), при которой контакт осуществляется вакуумными присосками (не показаны) через наклеенную на полупроводниковую пластину (12) полимерную пленку (не показана), а также отклонений в направляющих координатного стола (5);

колебания координатного стола (5) или каретки (7) в направлении рабочей подачи при переходных процессах.

Кроме того, использование предлагаемого технического решения позволяет осуществлять обработку полупроводниковой пластины с обратной кристаллам стороны (технология "стелс"), обеспечивающей существенное повышение качества реза за счет снижения влияния осаждения на поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) испаряемых при резке лазером материалов и возникающих в примыкающих к зоне реза трещин.

Пример установки лазерной микрообработки материалов электроники, предлагаемой в изобретении, поясняется чертежами, где в схематично упрощенном виде показаны

на фиг. 1 - схема установки лазерной микрообработки материалов электроники;

на фиг. 2 - схема блока для определения колебания расстояния между кареткой и поверхностью обрабатываемой полупроводниковой пластины;

на фиг. 3 - форма полупроводниковой пластины.

Установка для лазерной микрообработки материалов электроники состоит (фиг. 1) из лазера (1) с фокусирующим объективом (2), посредством которого осуществляется микрообработка. Фокусирующий объектив (2) лазера (1) размещен в корпусе (3). В установке на станине (4) размещен с возможностью

трехкоординатного линейного перемещения относительно станины (4) и кругового поворота вокруг своей вертикальной оси координатный стол (5).

В состав установки входят (фиг. 1)

механизм программно-управляемого вертикального перемещения (6) с кареткой (7), на которой жестко закреплен корпус (3) фокусирующего объектива (2);

блок обработки сигналов (8), например компьютер с размещенной в нем платой (9) с аналого-цифровым преобразователем (10);

механизм управления (11) координатным столом (5), который установлен с возможностью фиксации в заданном координатном положении обрабатываемой полупроводниковой пластины (12).

Установка дополнительно снабжена двумя блоками контроля, включающими

блок контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), установленный с возможностью осуществления контроля расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) при рабочей подаче исполнительного органа, выход которого связан со входом аналого-цифрового преобразователя (10);

блок контроля (15) параметров колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи.

Дополнительно в установку введены два программно-управляемых механизма, включающих

первый программно-управляемый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации (с учетом регистрируемого блоком контроля (13) расстояния) изменения расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7);

второй программно-управляемый механизм (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи с учетом параметров колебаний, регистрируемых блоком контроля (15).

Для передачи с блока контроля (13) результатов измерений расстояния от каретки (7) до обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) плата (9) дополнительно снабжена вторым аналого-цифровым преобразователем (18), вход которого связан с выходом блока контроля (15) параметров колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи.

Для обеспечения возможности программного управления механизмами (16) и (17) в состав платы (9) введены два цифроаналоговых преобразователя (19) и (20). Выход первого (19) цифроаналогового преобразователя связан со входом первого программно-управляемого механизма (16) адаптивной автоматизированной компенсации изменения расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7), регистрируемого блоком (13). Выход второго цифроаналогового преобразователя (20) связан со входом механизма (17) адаптивного управления скоростью рабочей подачи исполнительного органа с учетом регистрируемых блоком (15) параметров его колебаний в направлении рабочей подачи.

Блок контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) установлен на каретке (7), например, посредством резьбового соединения (не показано) и жестко связан с ней. Блок (15) контроля параметров колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи установлен на исполнительном органе и жестко связан с ним.

Первый программно-управляемый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) размещен между механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) и жестко связан с ними.

Фиксация обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) относительно рабочего хода исполнительного органа обеспечивается глухой выборкой (не показана) на рабочей поверхности координатного стола (5), глубина которой соответствует толщине обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), а контур - контуру ее периферийной поверхности.

Блок контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) при рабочей подаче состоит из следующих компонентов (фиг. 2):

полого корпуса (21);

направляющей втулки (22), установленной внутри полого корпуса (21), жестко связанной с ним и имеющей цилиндрическое внутреннее отверстие (23), которое выходит на внешнюю и внутреннюю часть полого корпуса (21);

стержня (24), установленного в цилиндрическом внутреннем отверстии направляющей втулки (22) коаксиально ее оси с возможностью осевого перемещения, один из концов (25) которого выходит из полого корпуса (21) и снабжен установленным на торце конусообразным наконечником (26), выполненным в виде, например, алмазной призмы, и жестко связанным с ним основанием, а второй конец (27) стержня (24) расположен в полости корпуса (21) и выступает за пределы направляющей втулки (22);

шайбы (28), размещенной коаксиально оси стержня (24) в его средней, расположенной в полости корпуса (21), части и жестко связанной со стержнем (24);

пружины (29), установленной коаксиально оси стержня (24) между обращенными друг к другу поверхностями шайбы (28) и полого корпуса (21) с возможностью взаимодействия с ними;

постоянного магнита (30), установленного на торце второго конца (27) стержня (24) и жестко связанного с ним одним из полюсов (не показан);

датчика Холла (31), расположенного с зазором ответно постоянному магниту (30) внутри полового корпуса (21), жестко связан с ним и имеющего выход, связанный со входом аналого-цифрового преобразователя (10) платы (9);

источника питания (32), выход которого связан со входом датчика Холла (31).

Блок (15) контроля параметров колебаний исполнительного органа ориентирован в направлении его рабочей подачи и выполнен на основе двухкоординатного пьезоэлектрического преобразователя типа ADXL-203 EB. Он жестко связан с частью установки, посредством которой реализуется рабочая подача. Это либо координатный стол (5), либо каретка (7).

Механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) выполнен в виде по меньшей мере одного пьезокерамического актюатора типа АП-Т 20/01, который размещен между механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) и жестко связанного с ними рабочими поверхностями, т.е. поверхностями, между которыми изменяется расстояние при функционировании пьезокерамического актюатора.

При необходимости увеличения диапазона перемещений адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) между механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) размещают два, три и более установленных последовательно, жестко связанных между собой и своими открытыми рабочими поверхностями с механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) пьезокерамических актюатора типа АП-Т 20/01.

При необходимости увеличения усилий адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) между механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) размещают два, три и более установленных параллельно, жестко связанных своими открытыми рабочими поверхностями с механизмом вертикального перемещения (6) и кареткой (7) пьезокерамических актюатора типа АП-Т 20/01.

При использовании в качестве исполнительного органа каретки (7), каретку (7) устанавливают с возможностью горизонтального перемещения, а установку снабжают дополнительным механизмом (33), который устанавливают с возможностью взаимодействия с кареткой (7) в горизонтальной плоскости.

Второй программно-управляемый механизм (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи, реализуемого с учетом регистрируемых блоком контроля (15) параметров колебаний, выполнен в виде по меньшей мере одного пьезокерамического актюатора типа АП-Т 20/01. Этот пьезокерамический актюатор размещают либо между координатным столом (5) и механизмом управления (11) этим столом (при использовании координатного стола (5) в качестве исполнительного органа), либо между кареткой (7) и дополнительным механизмом (33) горизонтального перемещения каретки (7) при использовании в качестве исполнительного органа каретки (7).

Пьезокерамический актюатор жестко связывают рабочими поверхностями соответственно либо с координатным столом (5) и механизмом (11) управления этим столом при его использовании в качестве исполнительного органа, либо между дополнительным механизмом (33) горизонтального перемещения каретки (7) и кареткой (7) (при ее использовании в качестве исполнительного органа).

Для увеличения диапазона перемещений адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа второй программно-управляемый механизм (17) выполняют в виде двух, трех и более последовательно и жестко связанных между собой пьезокерамических актюаторов типа АП-Т 20/01, открытые рабочие поверхности которых жестко связаны с исполнительным органом и либо с механизмом (11) управления координатным столом (5), при использовании координатного стола (5) в качестве исполнительного органа, либо с дополнительным механизмом (33) горизонтального перемещения каретки (7) и кареткой (7), при ее использовании в качестве исполнительного органа.

Для увеличения усилий адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа второй программно-управляемый механизм (17) выполнен в виде двух, трех и более параллельно установленных пьезокерамических актюаторов типа АП-Т 20/01, открытые рабочие поверхности которых жестко связаны с исполнительным органом и либо с механизмом (11) управления координатным столом (5), при использовании координатного стола (5) в качестве исполнительного органа, либо с дополнительным механизмом (33) горизонтального перемещения каретки (7) и кареткой (7) при ее использовании в качестве исполнительного органа.

В способе лазерной обработки неметаллических материалов, в котором задают с учетом контура реза и поддерживают стабильное расположение фокусирующего объектива (2) лазера (1) относительно расчетных точек контура реза поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), скорость рабочей подачи и величину мощности лазера (1) на каждом участке контура реза дополнительно осуществляют следующее:

предварительно на рабочей поверхности координатного стола (5) чистовым фрезерованием и шлифованием пальцевым инструментом выполняют глухую выборку, глубина которой соответствует толщине полупроводниковой пластины (12), а ее контур - контуру периферийной поверхности обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) с прямолинейным участком (34) или выборкой (35);

вводят в память блока обработки сигналов (8) координаты выборки (35) и фиксируют с использованием технического зрения координаты кристаллов (36) на обрабатываемой полупроводниковой пластине (12) и разделяющих их дорожек (37) относительно прямолинейного участка (34) или выборки (35) и вводят эти координаты в память блока обработки сигналов (8);

после утонения обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и ее наклейки на полимерную пленку (не показана) со стороны кристаллов (36) полупроводниковую пластину (12) крепят в выборке (35) координатного стола (5) вакуумной присоской (не показана) и, после фиксации полупроводниковой пластины (12) в блоке обработки сигналов (8) с учетом координат выборки на координатном столе (5) и дорожек (37) формируют команды на перемещение координатного стола (5) и каретки (7) в положение, обеспечивающее параллельность разделяющих кристаллы (36) дорожек (37) рабочему ходу исполнительного органа и вертикальным перемещением каретки (7) устанавливают рабочее расстояние между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12);

включают лазер (1) и подачу исполнительного органа;

до начала взаимодействия лазерного луча с точкой контура реза на поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), находящейся на определенном расстоянии (5-6 мм) от точки ее взаимодействия с лазерным лучом, с использованием блока контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) определяют расстояние между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и эти данные в аналоговом виде передают в аналого-цифровой преобразователь (10), где преобразуют в цифровой вид и передают в блок обработки сигналов (8), в котором определяют отклонение от заданного расстояния между обрабатываемой поверхностью (14) и кареткой (7);

в блоке (8) обработки сигналов формируют в цифровом виде команду на корректировку положения каретки (7) относительно поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), передают эту команду в первый цифроаналоговый преобразователь (19), в котором ее преобразуют в аналоговый вид и передают в первый программно-управляемый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7);

первым программно-управляемым механизмом (16) адаптивной автоматизированной компенсации расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) компенсируют полученное отклонение перемещением каретки (7) в вертикальном направлении в момент попадания лазерного луча в точку контроля, обеспечив стабильное расположение фокусирующего объектива (2) лазера (1) относительно точек контура реза на поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12).

Одновременно с приведенным выше после включения лазера (1) и подачи исполнительного органа выполняют следующее:

регистрируют в аналоговом виде параметры механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи;

полученные данные передают во второй дополнительный аналого-цифровой преобразователь (18), где его преобразуют в цифровой вид и передают в блок обработки сигналов (8);

в блоке обработки сигналов (8) определяют частоту, амплитуду и фазу колебаний и формируют в цифровом виде команду на создание механических колебаний исполнительного органа с такой же частотой и амплитудой, но в противофазе зарегистрированным блоком контроля (15) колебаниям;

сформированную команду передают во второй цифроаналоговый преобразователь (20), в котором ее преобразуют в аналоговый вид и передают во второй механизм (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи;

вторым механизмом (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи осуществляют гашение колебаний исполнительного органа в направлении его движения, обеспечивая стабильность скорости рабочей подачи.

В совокупности это позволяет обеспечить стабильность величины мощности лазера (1) на каждом участке контура реза.

Лазерную микрообработку полупроводниковой пластины (12) выполняют со стороны, обратной расположению кристаллов (36), т.е. по технологии "стелс".

Повышение качества реза тонких (100-300 мкм) полупроводниковых пластин (12) из такого материала как, например, сапфир, при использовании предлагаемого технического решения достигается вследствие того, что при обработке обеспечивается существенно более стабильная величина мощности лазера (1) на каждом участке контура реза.

Пример реализации способа лазерной микрообработки материалов электроники.

При реализации предлагаемого способа на опытном образце установки лазерной резки неметалли-



ческих материалов ЭМ-291 ПОЭФ.442151.010 ОАО "Планар" с лазером BeLL 532/20 DPSS Nd был проведен следующий комплекс операций:

предварительно на рабочей поверхности координатного стола (5) чистовым фрезерованием с последующей шлифовкой была изготовлена глухая выборка, глубина которой составляла 300 мкм, что соответствовало толщине полупроводниковой пластины (12) из кремния диаметром 150 мм после ее утонения, а ее контур - контуру периферийной поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) с прямолинейным участком (34);

с использованием технического зрения были определены уточненные координаты выборки, которые были введены в память блока обработки сигналов (8) ОАО "Планар" ЭКОН.442229.001 с дополнительной платой;

после формирования кристаллов и утонения полупроводниковой пластины (12) до толщины 300 мкм со стороны кристаллов (36) с использованием технического зрения были уточнены (при формировании кристаллов осуществлялась жесткая привязка их координат к прямолинейному участку (34) полупроводниковой пластины (12) координаты расположения кристаллов (36), разделяющих их дорожек (37) и ширины этих дорожек, полученные координаты введены в память блока обработки сигналов (8);

на полупроводниковую пластину (12) была наклеена со стороны кристаллов (36) полимерная пленка Nitto, полупроводниковая пластина (12) размещена в выборке координатного стола (5) полимерной пленкой к координатному столу (5) и зафиксирована на нем вакуумной присоской;

с учетом координат выборки на координатном столе (5) и разделяющих кристаллы (36) дорожек (37) в блоке обработки сигналов (8) была сформирована команда управления перемещением каретки (7) в положение, обеспечивающее параллельность разделяющих кристаллы (36) дорожек (37) рабочему ходу исполнительного органа и рабочее расстояние между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), при этом:

а) алмазный конусообразный наконечник (26) блока контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) был с натягом введен в контакт с поверхностью (14) полупроводниковой пластины (12) на расстоянии 6 мм в направлении рабочей подачи от прогнозируемого положения пятна контакта лазерного луча на поверхности (14) полупроводниковой пластины (12);

б) от источника питания RS-25-5 MEAN WELL было подано напряжение на датчик Холла (31) S S3 51 AT, и с его выхода снято напряжение, соответствующее расстоянию между ним и постоянным магнитом (30), в качестве которого был использован неодимовый магнит 03 мм, толщиной 2 мм;

в) полученное с датчика Холла напряжение было передано в первый аналого-цифровой преобразователь (19), где оно было преобразовано в цифровой вид и передано в блок обработки сигналов (8), в котором, с использованием ранее полученной тарировочной зависимости, получена исходная величина зазора в микрометрах между постоянным магнитом (30) и датчиком Холла (31), характеризующее начальное расстояние между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), соответствующее настройке фокусировки лазера, после чего это расстояние было зафиксировано в памяти блока обработки сигналов (8);

осуществлено включение лазера (1) и рабочей подачи исполнительного органа (координатного стола (5));

при движении координатного стола (5) с использованием блока контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), установленного на расстоянии 6 мм перед участком взаимодействия лазерного луча с точкой контура реза на поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), по перемещению стержня (24) определялось изменение расстояния между постоянным магнитом (30) и датчиком Холла (31), соответствующее изменению расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), затем полученные в аналоговом виде данные (напряжения с датчика Холла (31)) были переданы в аналого-цифровой преобразователь (10), где преобразованы в цифровой вид и введены в блок обработки сигналов (8), в котором, с использованием тарировочной зависимости, определена величина отклонения от заданного расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7);

по величине отклонения от заданного расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) в блоке (8) обработки сигналов в цифровом виде была сформирована команда на корректировку положения каретки (7) относительно обрабатываемой поверхности (14), которая была передана в первый цифроаналоговый преобразователь (19), где преобразована в аналоговый вид и передана в первый программно-управляемый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации изменения расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7), после чего механизм (16) компенсировал полученное отклонение перемещением каретки (7) в вертикальном направлении в момент попадания лазерного луча в точку контроля, обеспечив стабильное расположение фокусирующего объектива (2) лазера (1) относительно точек контура реза поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12);

одновременно с приведенным выше началом процесса резания при движении исполнительного ор-

гана с использованием блока контроля (15) параметров колебаний исполнительного органа (координатного стола (5)) в направлении его рабочей подачи регистрировались с дискретизацией сигнала с частотой 250 Гц в аналоговом виде параметры механических колебаний исполнительного органа в направлении его движения, затем эти данные передавались во второй аналого-цифровой преобразователь (18), где они преобразовывались в цифровой вид и передавались в блок обработки сигналов (8);

в блоке обработки сигналов (8) были определены частота, соответствующая гармоническим колебаниям с собственной частотой ~ 11 Гц;

после этого в блоке (8) была сформирована в цифровом виде команда на создание механических колебаний исполнительного органа с частотой и амплитудой его колебаний в противофазе этим колебаниям и передана во второй цифроаналоговый преобразователь (20), в котором она была преобразована в аналоговый вид и передана во второй программно-управляемый механизм (17) для адаптивного управления параметрами колебаний исполнительного органа, посредством которого было осуществлено эффективное гашение колебаний исполнительного органа в направлении его движения, что позволило обеспечить стабильную скорость рабочей подачи и, в совокупности с обеспечением стабильного расположения фокусирующего объектива (2) лазера (1) относительно точек контура реза поверхности (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), - стабильную величину мощности лазера (1) на каждом участке контура реза.

После завершения обработки полупроводниковой пластины (12) в одном направлении полупроводниковая пластина (12) поворачивалась механизмом (11) управления координатным столом (5) на 90° и был проведен полный цикл ее обработки в этом направлении.

Анализ качества обработки полупроводниковой пластины (12) показал, что разноразмерность по глубине и ширине реза уменьшилась на ~40-50%, а величина прилегающей к резу огибающей дефектной зоны - в 2-2,3 раза.

#### Перечень обозначений

- 1 - Лазер;
- 2 - фокусирующий объектив;
- 3 - корпус фокусирующего объектива;
- 4 - станина;
- 5 - координатный стол;
- 6 - механизм программно-управляемого вертикального перемещения;
- 7 - каретка;
- 8 - блок обработки сигналов;
- 9 - плата;
- 10 - аналого-цифровой преобразователь;
- 11 - механизм управления координатным столом;
- 12 - полупроводниковая пластина;
- 13 - блок контроля расстояния между кареткой и поверхностью обрабатываемой полупроводниковой пластины;
- 14 - поверхность обрабатываемой полупроводниковой пластины;
- 15 - блок контроля параметров колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи;
- 16 - первый программно-управляемый механизм адаптивной автоматизированной компенсации изменения расстояния между поверхностью обрабатываемой полупроводниковой пластины и кареткой;
- 17 - второй программно-управляемый механизм адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи;
- 18 - второй аналого-цифровой преобразователь, установленный на плате;
- 19 - первый цифроаналоговый преобразователь;
- 20 - второй цифроаналоговый преобразователь;
- 21 - полый корпус блока контроля расстояния между кареткой и поверхностью обрабатываемой полупроводниковой пластины;
- 22- направляющая втулка;
- 23 - внутреннее отверстие направляющей втулки;
- 24 - стержень;
- 25 - конец стержня, выходящий из полого корпуса;
- 26 - алмазный конусообразный наконечник стержня;
- 27 - второй конец стержня, расположенный в полости корпуса и выступающий за пределы направляющей втулки;
- 28 - шайба в средней выступающей за пределы направляющей втулки части стержня, размещенная коаксиально его оси внутри полого корпуса и жестко связанная со стержнем;
- 29 - пружина;
- 30 - постоянный магнит, установленный на торце второго конца стержня и жестко связанный с ним;
- 31 - датчик Холла;
- 32 - источник питания датчика Холла;

- 33 - дополнительный механизм горизонтального перемещения каретки;
- 34 - прямолинейный участок полупроводниковой пластины;
- 35 - выборка на обрабатываемой полупроводниковой пластине;
- 36 - кристаллы на обрабатываемой полупроводниковой пластине;
- 37 - разделяющие кристаллы дорожки.

#### Литература

1. Папина С.С. Комбинированные приводы координатных систем для прецизионного разделения полупроводниковых пластин на кристаллы: монография/С.С. Папина, В.Л. Басинюк; Объединенный ин-т машиностроения Нац. акад. наук Беларуси. - Минск: РИПО, 2016 - 118 с.
2. Парфенов В.А. Лазерная микрообработка материалов/В.А. Парфенов. Учеб. пособие. - СПб.: СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2011. - 59 с.
3. Установка для лазерной резки хрупкого неметаллического материала: пат. ВУ 5827 МПК C03B 33/00; УО "Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины". - Заявка № и 20090460; заявл. 03.06.2009, опубл. 30.12.2009.
4. Установка для лазерной резки хрупкого неметаллического материала: пат. ВУ 5902 МПК C03B 33/00; УО "Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины". - Заявка № и 20090549, заявл. 2009.06.29, опубл. 28.02.2010 (прототип).
5. Способ резки хрупких неметаллических материалов: пат. RU 2688656, C03B 33/09, B23K 26/08; ООО "Научно-исследовательское предприятие Лазерные технологии". - Заявка № 2018124659; заявл. 06.07.2018; опубл. 21.05.2019.
6. Способ лазерной обработки хрупких материалов: пат. RU 2528 287C2, МПК B23K 26/02(2006.01); ООО "Научно-исследовательский институт технического стекла" - Заявка № 2012119734/02; заявл. 15.05.2012; опубл. 20.11.2013.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка лазерной микрообработки материалов электроники, содержащая по меньшей мере один лазер (1) с фокусирующим объективом (2), размещенным в корпусе (3), станину (4), координатный стол (5), механизм программно-управляемого вертикального перемещения (6) с кареткой (7), на которой жестко закреплен корпус (3) фокусирующего объектива (2), блок обработки сигналов (8), состоящий из компьютера с платой (9), имеющей аналого-цифровой преобразователь (10), механизм управления (11) координатным столом (5), отличающаяся тем, что координатный стол (5) установлен на станине (4) с возможностью трехкоординатного линейного перемещения относительно станины (4), кругового поворота вокруг оси, перпендикулярной рабочей поверхности координатного стола (5), и с возможностью фиксации положения полупроводниковой пластины (12) в положении с заданными координатами, при этом установка дополнительно снабжена двумя блоками контроля, включая блок контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), установленным с возможностью контроля расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и имеющий выход, связанный с входом аналого-цифрового преобразователя (10), и блок контроля (15) параметров колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи, а также двумя программно-управляемыми механизмами, включая первый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации изменения расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7), и второй механизм (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи, причем в плате (9) дополнительно установлены второй (18) аналого-цифровой преобразователь, вход которого связан с выходом дополнительного блока контроля (15) параметров колебаний исполнительного органа, и два цифроаналоговых преобразователя (19) и (20), выход первого (19) из которых связан со входом первого программно-управляемого механизма (16) адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7), а выход второго цифроаналогового преобразователя (20) связан с входом второго программно-управляемого механизма (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи и блок (15) контроля параметров колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи жестко связан с исполнительным органом, а первый программно-управляемый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) размещен между механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) и жестко связан с ними.

2. Установка по п.1, отличающаяся тем, что фиксацию положения полупроводниковой пластины (12) на координатном столе (5) в положении с заданными координатами обеспечивают по меньшей мере одной глухой выборкой на рабочей поверхности координатного стола (5) для размещения в ней обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), при этом глубина глухой выборки соответствует толщине полупроводниковой пластины (12), а ее контур соответствует контуру периферийной поверхности полу-

проводниковой пластины (12).

3. Установка по п.1, отличающаяся тем, что блок (13) контроля расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) при рабочей подаче состоит из полого корпуса (21), внутри которого установлена жестко связанная с ним направляющая втулка (22) с цилиндрическим внутренним отверстием (23), которое выходит на внешнюю и внутреннюю полого часть корпуса (21), при этом в цилиндрическом внутреннем отверстии установлен с возможностью осевого перемещения стержень (24), один из концов (25) которого выходит из полого корпуса (21) и снабжен установленным на торце и жестко связанным с ним конусообразным наконечником (26), например алмазной призмой, а второй конец (27) стержня (24) расположен в полости корпуса (21), выступает за пределы направляющей втулки (22) и снабжен шайбой (28), размещенной коаксиально его оси в средней выступающей за пределы направляющей втулки (22) части и жестко связанной со стержнем (24), причем блок (13) контроля расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) снабжен пружиной (29), установленной коаксиально оси стержня (24) между обращенными друг к другу поверхностями шайбы (28) и полого корпуса (21) с возможностью взаимодействия с ними, а также постоянным магнитом (30), установленным на торце второго конца (27) стержня (24) и жестко связанным с ним, и датчиком Холла (31), который расположен с зазором ответно постоянному магниту (30) внутри полого корпуса (21) и жестко связан с ним, при этом вход датчика Холла (31) связан с источником питания (32), а выход связан с аналого-цифровым преобразователем (10) платы (9).

4. Установка по п.1, отличающаяся тем, что первый программно-управляемый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) выполнен в виде по меньшей мере одного пьезокерамического актюатора, например АП-Т 20/01, размещенного между механизмом вертикального перемещения (6) и кареткой (7) и жестко связанного с ними рабочими поверхностями.

5. Установка по пп.1 и 4, отличающаяся тем, что для увеличения диапазона перемещений адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) между механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) размещают по меньшей мере два установленных последовательно, жестко связанных между собой и своими открытыми рабочими поверхностями с механизмом вертикального перемещения (6) и кареткой (7) пьезокерамических актюатора, например АП-Т 20/01.

6. Установка по пп.1 и 4, отличающаяся тем, что для увеличения усилий адаптивной автоматизированной компенсации изменений расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7) между механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) размещают по меньшей мере два установленных параллельно и жестко связанных своими открытыми рабочими поверхностями с механизмом программно-управляемого вертикального перемещения (6) и кареткой (7) пьезокерамических актюатора, например АП-Т 20/01.

7. Установка по п.1, отличающаяся тем, что при использовании в качестве исполнительного органа каретки (7) каретку (7) устанавливают с возможностью горизонтального перемещения, а установку снабжают дополнительным механизмом (33) горизонтального перемещения каретки (7), при этом дополнительный механизм (33) горизонтального перемещения каретки (7) устанавливают с возможностью взаимодействия с кареткой (7) в горизонтальной плоскости.

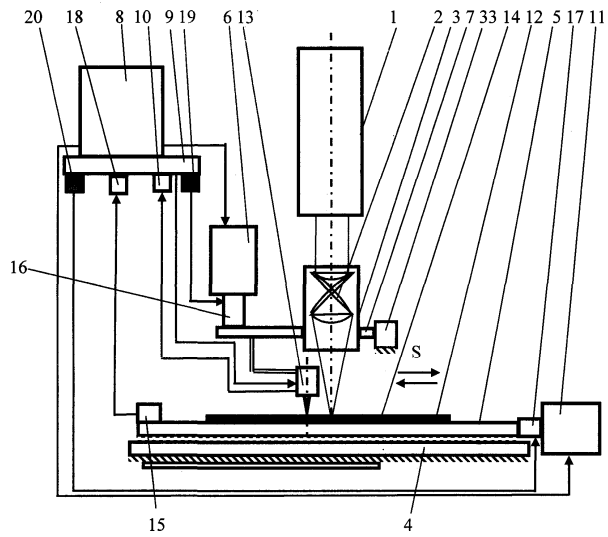
8. Установка по п.1, отличающаяся тем, что второй программно-управляемый механизм (17) адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи выполнен в виде по меньшей мере одного пьезокерамического актюатора, например АП-Т 20/01, установленного либо между координатным столом (5) и механизмом (11) управления этим столом при использовании координатного стола (5) в качестве исполнительного органа, либо между кареткой (7) и дополнительным механизмом (33) горизонтального перемещения каретки (7) при использовании в качестве исполнительного органа каретки (7), при этом пьезокерамический актюатор жестко связан рабочими поверхностями, соответственно либо с координатным столом (5) и механизмом (11) управления координатным столом (5) при использовании координатного стола (5) в качестве исполнительного органа, либо между дополнительным механизмом (33) горизонтального перемещения каретки (7) и кареткой (7) при ее использовании в качестве исполнительного органа.

9. Установка по пп.1 и 7, отличающаяся тем, что для увеличения диапазона перемещений адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа второй программно-управляемый механизм (17) выполнен в виде по меньшей мере двух последовательно и жестко связанных между собой пьезокерамических актюаторов, например АП-Т 20/01, при этом открытые рабочие поверхности пьезокерамических актюаторов жестко связаны с исполнительным органом и либо с механизмом (11) управления координатным столом (5) при использовании координатного стола (5) в качестве исполнительного органа либо с дополнительным механизмом (33) и кареткой (7) при ее использовании в качестве исполнительного органа.

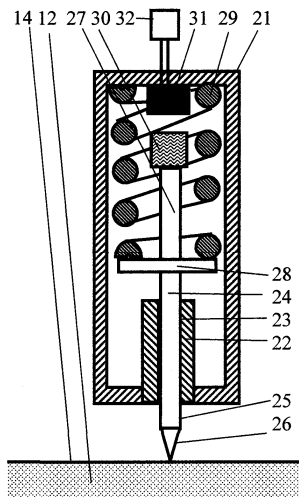
10. Установка по пп.1 и 7, отличающаяся тем, что для увеличения усилий адаптивного управления параметрами механических колебаний исполнительного органа второй программно-управляемый механизм (17) выполнен в виде по меньшей мере двух параллельно установленных пьезокерамических ак-

туаторов, например АП-Т 20/01, открытые рабочие поверхности которых жестко связаны с исполнительным органом и либо с механизмом (11) управления столом (5) при его использовании в качестве исполнительного органа, либо с дополнительным механизмом (33) и кареткой (7) при ее использовании в качестве исполнительного органа.

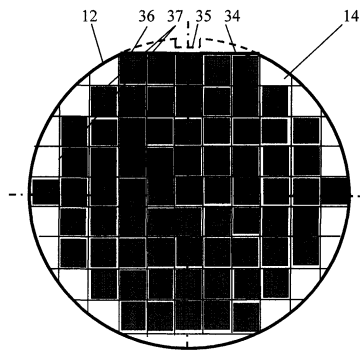
11. Способ лазерной микрообработки материалов электроники, в котором задают с учетом контура реза обрабатываемой поверхности (14) полупроводниковой пластины (12) и поддерживают с учетом расчетных точек его контура стабильное расположение фокусирующего объектива (2) лазера (1), скорость рабочей подачи и величину мощности лазера (1) на каждом участке контура реза, отличающийся тем, что предварительно на координатном столе (5) выполняют глухую выборку на рабочей поверхности, глубина которой соответствует толщине полупроводниковой пластины (12), а ее контур соответствует контуру периферийной поверхности обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и ее прямолинейному участку (34) или выборке (35), после чего вводят в память блока обработки сигналов (8) координаты выборки (35), затем фиксируют координаты кристаллов (36) на полупроводниковой пластине (12) и разделяющих их дорожек (37) относительно прямолинейного участка (34) или выборки (35) и вводят эти координаты в память блока обработки сигналов (8), и после утонения полупроводниковой пластины (12) и ее наклейки на полимерную пленку со стороны кристаллов (36) или обратной стороны полупроводниковую пластину (12) размещают в выборке координатного стола (5) полимерной пленкой к координатному столу (5), и после фиксации обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) вакуумной присоской с учетом координат выборки на координатном столе (5) и координат разделяющих кристаллы (36) дорожек (37) в блоке обработки сигналов (8) формируют команды на перемещение координатного стола (5) и каретки (7) в положение, обеспечивающее параллельность разделяющих кристаллы (36) дорожек (37) рабочему ходу исполнительного органа и симметричность линии реза ширине обрабатываемой дорожки (37), устанавливают рабочее расстояние между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), после чего включают лазер (1) и подачу исполнительного органа и с использованием блока контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) перед взаимодействием лазерного луча с точкой контура реза на обрабатываемой поверхности (14) полупроводниковой пластины (12), находящейся впереди точки взаимодействия лазерного луча с обрабатываемой поверхностью на контуре реза в направлении рабочей подачи исполнительного органа, определяют расстояние между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12), после чего полученные в аналоговом виде данные передают в аналого-цифровой преобразователь (10), где преобразуют в цифровой вид и передают в блок обработки сигналов (8), в котором определяют отклонение от заданного расстояния между обрабатываемой поверхностью (14) и кареткой (7) и в блоке (8) обработки сигналов формируют в цифровом виде команду на корректировку вертикального положения каретки (7) относительно обрабатываемой поверхности (12), после чего эту команду передают в первый цифроаналоговый преобразователь (19), в котором преобразуют в аналоговый вид и передают в первый программно-управляемый механизм (16) адаптивной автоматизированной компенсации расстояния между поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) и кареткой (7), затем первым программно-управляемым механизмом (16) компенсируют полученное с использованием блока контроля (13) расстояния между кареткой (7) и поверхностью (14) обрабатываемой полупроводниковой пластины (12) отклонение расстояния перемещением каретки (7) в вертикальном направлении в момент попадания лазерного луча в точку контроля, обеспечив стабильное расположение фокусирующего объектива (2) лазера (1) относительно точек контура реза обрабатываемой поверхности (14) полупроводниковой пластины (12), одновременно с этим при движении исполнительного органа путем использования блока контроля (15) колебаний исполнительного органа регистрируют в аналоговом виде параметры механических колебаний исполнительного органа в направлении его рабочей подачи, после чего эти данные передают во второй аналого-цифровой преобразователь (18), где их преобразуют в цифровой вид и передают в блок обработки сигналов (8), в котором определяют частоту, амплитуду и фазу колебаний и формируют в цифровом виде команду на создание механических колебаний исполнительного органа в противофазе зарегистрированным блоком контроля (15) колебаниям, эту команду передают во второй цифроаналоговый преобразователь (20), в котором ее преобразуют в аналоговый вид и передают во второй программно-управляемый механизм (17) для адаптивного управления параметрами колебаний исполнительного органа, которым создают колебания исполнительного органа в направлении его движения в противофазе его механическим колебаниям, обеспечивая стабильность скорости рабочей подачи, что в совокупности с обеспечением стабильности расположения фокусирующего объектива (2) лазера (1) относительно точек контура реза обрабатываемой поверхности (14) полупроводниковой пластины (12) позволяет обеспечить стабильную величину мощности лазера (1) на каждом участке контура реза.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3