

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 23866

(13) С1

(46) 2022.12.30

(51) МПК

C 03B 33/02 (2006.01)

(54) СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКОЙ АНИЗОТРОПНОГО НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

(21) Номер заявки: а 20200262

(22) 2020.09.21

(43) 2022.04.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины" (ВУ)

(72) Автор: Никитюк Юрий Валерьевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины" (ВУ)

(56) ВУ 16483 С1, 2012.

ВУ 14622 С1, 2011.

ВУ 982 С1, 1995.

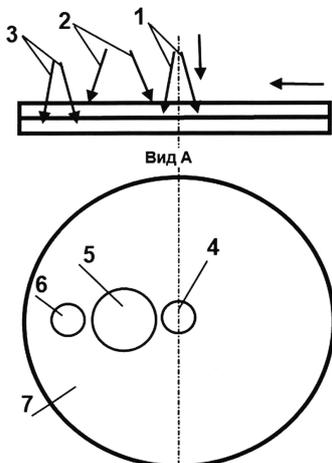
RU 2333163 С1, 2008.

RU 2224648 С1, 2004.

US 6541730 В2, 2003.

(57)

Способ разделения лазерной резкой анизотропного неметаллического материала, выполненного из слоя кристаллического кремния и слоя стекла, при котором выбирают направление резки упомянутого материала; укладывают упомянутый материал на координатном столе таким образом, чтобы слой кристаллического кремния был расположен сверху; выполняют его надрез по линии реза; затем, перемещая упомянутый материал, последовательно осуществляют лазерный нагрев линии реза лазерным пучком с длиной волны 1,06 мкм, инициируя образование разделяющей микротрещины в слое кристаллического кремния, охлаждают упомянутую микротрещину хладагентом, обеспечивая ее распространение до слоя стекла, который нагревают лазерным пучком с длиной волны 10,6 мкм, обеспечивая распространение микротрещины в слое стекла до его разделения.



ВУ 23866 С1 2022.12.30

Изобретение относится к способам резки хрупких неметаллических материалов под действием термоупругих напряжений, в частности к способам лазерного термораскалывания двухслойных структур из кристаллического кремния и стекла.

Изобретение может быть использовано в электронной промышленности, а также в других областях техники и производства, где существует необходимость прецизионной обработки изделий из двухслойных структур, состоящих из кристаллического кремния и стекла, которые, например, применяются при изготовлении полупроводниковых микроэлектромеханических устройств.

Известен способ термораскалывания стекла и других хрупких неметаллических материалов под действием термоупругих напряжений, возникающих в результате лазерного нагрева поверхностных слоев материала и образования в нем разделяющей трещины [1].

Сущность указанного способа заключается в следующем.

При воздействии на поверхность материала лазерного пучка с длиной волны, обеспечивающей поглощение излучения поверхностным слоем обрабатываемого материала, происходит образование разделяющей трещины, развитие которой определяется распределением термоупругих напряжений, сформированных в результате теплового расширения областей материала, подвергшихся поверхностному лазерному нагреву. При этом разделение материала характеризуется низкой скоростью термораскалывания.

В известном способе увеличение скорости термораскалывания материала возможно за счет увеличения мощности лазерного излучения.

Однако чрезмерное увеличение мощности лазерного излучения приводит к перегреву материала и образованию поперечных трещин вдоль линии обработки, что не позволяет осуществлять высококачественную резку материалов, для которых характерна анизотропия свойств.

Известен способ термораскалывания стекла под действием термоупругих напряжений, возникающих в результате объемного лазерного нагрева материала и образования в нем разделяющей трещины [2].

Известный способ обеспечивает возможность резки пакетов стеклянных пластин (несколько пластин из стекла, уложенных друг на друга без зазора).

Сущность указанного способа заключается в следующем.

При воздействии на стекло лазерного пучка с длиной волны, соответствующей объемному поглощению излучения обрабатываемым материалом, происходит образование разделяющей трещины, развитие которой определяется распределением термоупругих напряжений, сформированных в результате теплового расширения областей материала, подвергшихся объемному лазерному нагреву.

Известный способ не позволяет осуществлять высококачественную резку материалов, для которых характерна анизотропия свойств.

Кроме того, известный способ не обеспечивает высококачественную резку двухслойных структур, выполненных из различных материалов, лазерным пучком одной длины волны, так как лазерный пучок одной длины волны не позволяет обеспечить материалам требуемое поглощение лазерного излучения одновременно в каждом из них из-за различий их физических свойств.

Известен способ разделения хрупких неметаллических материалов под действием термоупругих напряжений, формируемых в результате нагрева материала лазерным пучком с длиной волны, обеспечивающей поглощение излучения поверхностным слоем обрабатываемого материала, вдоль линии реза до температуры, не превышающей температуру релаксации термоупругих напряжений за счет пластических деформаций, и локального охлаждения зоны нагрева при относительном перемещении обрабатываемой поверхности и зон нагрева и охлаждения [3].

Известный способ обеспечивает высокую точность разделения, нулевую ширину реза, повышение механической прочности получаемых изделий, безотходность и низкую энергоемкость по сравнению с другими способами резки.

Сущность указанного способа заключается в следующем.

В месте воздействия лазерного излучения формируется зона значительных по величине сжимающих напряжений, которую окружает зона растягивающих напряжений. При подаче хладагента на обрабатываемую поверхность возникает дополнительная зона растягивающих напряжений, ограниченная зоной сжимающих напряжений, сформированных лазерным пучком. Инициирование разделяющей трещины происходит в поверхностных слоях материала от дефекта микроструктуры или искусственно нанесенного дефекта в зоне растягивающих напряжений, сформированных за счет подачи хладагента. Далее начальная микротрещина начинает свое движение и распространяется до зоны сжимающих напряжений, сформированных лазерным излучением. После этого нестационарный рост трещины прекращается, и ее дальнейшее движение определяется изменением пространственного распределения зон растягивающих и сжимающих напряжений, обусловленным взаимным перемещением обрабатываемого материала, лазерного пучка и хладагента.

Таким образом, при реализации известного способа распределение сжимающих напряжений в объеме материала определяет форму и глубину развития микротрещины, инициализация и развитие которой происходит в зоне растягивающих напряжений, сформированных в области подачи хладагента.

Этот способ обработки получил широкое распространение для резки различных изотропных хрупких неметаллических материалов (таких как различные типы стекол и керамики).

Однако этот способ не позволяет осуществлять высококачественную резку анизотропного неметаллического материала, состоящего из двух слоев различного состава, лазерным пучком одной длины волны из-за различий их физических свойств.

Наиболее близким к заявляемому является способ разделения лазерной резкой анизотропного неметаллического материала, выполненного в виде пластины кристаллического кремния, при котором выбирают направление резки упомянутого материала; укладывают упомянутый материал на координатном столе; выполняют его надрез по линии реза; затем, перемещая упомянутый материал, последовательно осуществляют лазерный нагрев линии реза лазерным пучком с длиной волны 1,06 мкм, иницируя образование разделяющей микротрещины в пластине кристаллического кремния, локально охлаждают упомянутую микротрещину хладагентом, обеспечивая распространение микротрещины в пластине кристаллического кремния до его разделения [4].

Этот способ позволяет осуществлять высококачественную резку анизотропного неметаллического материала в виде пластины кристаллического кремния.

Однако этот способ не позволяет осуществлять высококачественную резку двухслойных структур анизотропного неметаллического материала, выполненного из слоя кристаллического кремния и слоя стекла из-за различий их физических свойств.

Дело в том, что в известном способе используется один лазерный пучок с длиной волны 1,06 мкм, соответствующей эффективному поглощению слоем кристаллического кремния, значение коэффициента поглощения которого больше значения коэффициента поглощения слоем стекла на порядок. Это практически не позволяет обеспечить необходимого поглощения лазерного излучения одновременно в каждом из слоев материалов для развития лазерно-индуцированной трещины с заданными геометрическими характеристиками.

Таким образом, применение известного способа на практике не позволяет осуществлять высококачественную резку анизотропного неметаллического материала, выполненного из слоя кристаллического кремния и слоя стекла.

Техническая задача, решаемая заявляемым изобретением, заключается в повышении эффективности разделения анизотропного неметаллического материала, выполненного из слоя кристаллического кремния и слоя стекла под действием термоупругих напряжений.

Технический результат, достигаемый заявляемым изобретением, заключается в формировании лазерно-индуцированных микротрещин с заданными геометрическими характеристиками при резке анизотропного неметаллического материала, выполненного из слоя кристаллического кремния и слоя стекла.

Технический результат достигается тем, что в способе разделения лазерной резкой анизотропного неметаллического материала, выполненного из слоя кристаллического кремния и слоя стекла, выбирают направление резки упомянутого материала; укладывают упомянутый материал на координатном столе таким образом, чтобы слой кристаллического кремния был расположен сверху; выполняют его надрез по линии реза; затем, перемещая упомянутый материал, последовательно осуществляют лазерный нагрев линии реза лазерным пучком с длиной волны 1,06 мкм, инициируя образование разделяющей микротрещины в слое кристаллического кремния, охлаждают упомянутую микротрещину хладагентом, обеспечивая ее распространение до слоя стекла, который нагревают лазерным пучком с длиной волны 10,6 мкм, обеспечивая распространение микротрещины в слое стекла до его разделения.

Сущность заявляемого способа разделения лазерной резкой анизотропного неметаллического материала, выполненного из слоя кристаллического кремния и слоя стекла, заключается в следующем.

В слое кристаллического кремния в месте воздействия лазерного излучения с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению слоем кристаллического кремния, формируется зона значительных по величине сжимающих напряжений, которую окружает зона растягивающих напряжений. При подаче хладагента на поверхность слоя кристаллического кремния возникает зона значительных по величине растягивающих напряжений.

Одновременно на анизотропный неметаллический материал воздействуют дополнительным лазерным пучком с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению излучения слоем стекла, причем дополнительный лазерный пучок размещают на линии реза за лазерным пучком с длиной волны, обеспечивающей эффективное поглощение излучения слоем кристаллического кремния, и за зоной воздействия хладагента. В результате этого в слое стекла формируется дополнительная область растягивающих напряжений, примыкающая к области растягивающих напряжений, сформированных в слое кристаллического кремния в результате воздействия лазерного пучка с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению слоем кристаллического кремния, и хладагента.

Таким образом, инициирование разделяющей микротрещины происходит в поверхностных слоях кристаллического кремния от дефекта микроструктуры или искусственно нанесенного надреза в зоне растягивающих напряжений, сформированных за счет подачи хладагента.

Далее начальная микротрещина начинает свое движение и распространяется до границы слоя кристаллического кремния и слоя стекла, где она продолжает распространяться в зоне растягивающих напряжений, сформированных в результате воздействия на анизотропный материал, дополнительного лазерного пучка с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению излучения слоем стекла. После этого нестационарный рост микротрещины прекращается, и ее дальнейшее распространение определяется изменением пространственного распределения зон растягивающих и сжимающих напряжений, обусловленным взаимным перемещением анизотропного неметаллического материала, лазерных пучков и хладагента.

Смещение дополнительного лазерного пучка с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению излучения слоем стекла, в сторону от линии реза приводит к отклонению разделяющей микротрещины, а размещение данного лазерного пучка на линии

разделения между лазерным пучком с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению слоем кристаллического кремния, и зоной воздействия хладагента или до лазерного пучка с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению слоем кристаллического кремния, не обеспечивает развития лазерно-индуцированной микротрещины с заданными геометрическими характеристиками в обоих слоях двухслойной структуры.

Сопоставление заявляемого технического решения с известными из уровня техники техническими решениями показывает, что новыми существенными признаками способа являются следующие:

выбирают направление резки анизотропного неметаллического материала, выполненного из слоя кристаллического кремния и слоя стекла;

укладывают упомянутый материал на координатном столе таким образом, чтобы слой кристаллического кремния был расположен сверху;

выполняют его надрез по линии реза;

перемещая упомянутый материал последовательно, осуществляют лазерный нагрев линии реза лазерным пучком с длиной волны 1,06 мкм, инициируя образование разделяющей микротрещины в слое кристаллического кремния, охлаждают упомянутую микротрещину хладагентом, обеспечивая ее распространение до слоя стекла, который нагревают лазерным пучком с длиной волны 10,6 мкм, обеспечивая распространение микротрещины в слое стекла до его разделения.

Выявленные отличительные признаки для специалиста явным образом не следуют из уровня техники.

Проведенный заявителем анализ уровня техники позволяет установить, что аналоги, характеризующиеся совокупностями признаков, тождественными всем признакам заявляемого способа, отсутствуют.

Следовательно, заявляемое изобретение соответствует условиям патентоспособности "новизна" и "изобретательский уровень".

Заявляемый способ разделения лазерной резкой анизотропного неметаллического материала является промышленно применимым, так как в случае его осуществления с помощью технических средств, известных в данной области техники, возможна реализация указанной области назначения.

На фигуре приведена схема взаимного расположения зон воздействия лазерных пучков и зоны охлаждения за счет подачи хладагента.

Позициями на фигуре обозначены: лазерный пучок с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению слоем кристаллического кремния, - 1; хладагент - 2; лазерный пучок с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению излучения слоем стекла, - 3; зона воздействия лазерного пучка с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению слоем кристаллического кремния, - 4; зона воздействия хладагента - 5; зона воздействия лазерного пучка с длиной волны, соответствующей эффективному поглощению слоем стекла, - 6; заготовка из анизотропного неметаллического материала - 7.

Стрелкой отмечено направление перемещения заготовки.

Способ осуществляют следующим образом.

В начале осуществления способа выбирают направление резки анизотропного неметаллического материала. Далее заготовку 7 из анизотропного неметаллического материала укладывают на плиту координатного стола таким образом, чтобы слой кристаллического кремния оказался сверху. Выполняют надрез по линии реза заготовки 7 из анизотропного неметаллического материала. Затем, перемещая заготовку 7 из анизотропного неметаллического материала, последовательно осуществляют лазерный нагрев линии реза лазерным пучком 1 с длиной волны 1,06 мкм, инициируя образование разделяющей микротрещины в слое кристаллического кремния. Охлаждают упомянутую микротрещину хладагентом 2, обеспечивая ее распространение до слоя стекла. Нагревают слой стекла после воздействия

ВУ 23866 С1 2022.12.30

хладагента 2 по линии реза лазерным пучком 3 с длиной волны 10,6 мкм, обеспечивая распространение микротрещины в слое стекла до его разделения.

Пример осуществления способа.

В качестве анизотропного неметаллического материала использовали двухслойные структуры из слоя кристаллического кремния и слоя стекла, полученные посредством приложения внешней разницы потенциалов и одновременного нагрева. Толщина слоев кремния и стекла была равна 0,42 мм.

В работе использовали YAG-лазер с регулируемой мощностью от 0 до 100 Вт, с длиной волны излучения $\lambda = 1,06$ мкм, соответствующей эффективному поглощению слоем кристаллического кремния, и CO₂-лазер с регулируемой мощностью от 0 до 60 Вт, с длиной волны излучения $\lambda = 10,6$ мкм, соответствующей эффективному поглощению слоем стекла.

Лазерное излучение с $\lambda = 10,6$ мкм и с $\lambda = 1,06$ мкм фокусировали сферическими линзами в круглые пучки радиусом $r = 1-3$ мм.

В качестве хладагента использовали воздушно-водяную смесь.

В качестве средства перемещения был использован двухкоординатный стол с ходом перемещения 500 × 500 мм, обеспечивающий скорость перемещения в диапазоне от 0 до 100 мм/с.

Экспериментально было установлено, что скорость резки анизотропного материала, выполненного из слоя кристаллического кремния, вырезанного в плоскости (110) и слоя стекла, при постоянной мощности лазерного излучения с длиной волны излучения $\lambda = 1,06$ мкм $P = 100$ Вт, в направлении [001] составляет 34 мм/с при постоянной мощности лазерного излучения с длиной волны излучения $\lambda = 10,6$ мкм $P_1 = 16$ Вт, а в направлении [011] скорость резки составляет 26 мм/с при постоянной мощности лазерного излучения с длиной волны излучения $\lambda = 10,6$ мкм $P_1 = 21$ Вт.

Значение коэффициента k с учетом вышеперечисленных параметров составило $2 \cdot 10^{-6}$ м/(ГПа·с·Вт), а значение коэффициента k_1 с учетом вышеперечисленных параметров составило 0,8 Дж/(м·К).

При этом реализация заявляемого способа обеспечила формирование лазерно-индуцированной микротрещины с заданными геометрическими характеристиками в анизотропном неметаллическом материале, выполненном из слоя кристаллического кремния и слоя стекла.

Для сравнения было осуществлено разделение аналогичных образцов по способу, изложенному в прототипе.

В ходе экспериментов было определено, что реализация процесса по способу, изложенному в прототипе, на практике не позволяет осуществлять высококачественную резку двухслойных структур из слоя кристаллического кремния и слоя стекла.

Источники информации:

1. МАЧУЛКА Г.А. Лазерная обработка стекла. Москва: Сов. Радио, 1979, с. 48-67.
2. МАЛОВ И.Е. Разработка технологии управляемого термораскалывания листового стекла излучением твердотельного лазера: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.07 / Моск. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана. Москва: 2000, 185 с.
3. RU 2024441, 1994.
4. ВУ 16483, 2012 (прототип).