

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 16483

(13) С1

(46) 2012.10.30

(51) МПК

B 28D 5/00 (2006.01)

C 03B 33/02 (2006.01)

C 03B 33/09 (2006.01)

(54) СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ РЕЗКОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ

(21) Номер заявки: а 20101161

(22) 2010.07.30

(43) 2012.04.30

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

(72) Авторы: Сердюков Анатолий Николаевич; Шалупаев Сергей Викентьевич; Никитюк Юрий Валерьевич; Шолох Владимир Федорович (ВУ)

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

(56) RU 2224648 С1, 2004.

ВУ 8451 С1, 2006.

RU 2237622 С2, 2004.

GB 1254120, 1971.

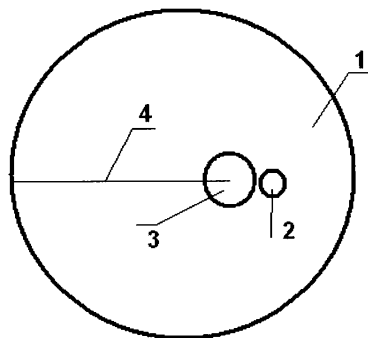
JP 11240730 А, 1999.

(57)

Способ разделения резкой кристаллического кремния под действием термоупругих напряжений, включающий выбор направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического кремния, выбор интенсивности нагрева за счет изменения скорости относительного перемещения лазерного пучка и кремния v , м/с, и/или изменения мощности лазерного излучения P , Вт, нанесение надреза по линии реза, лазерный нагрев линии реза до температуры, не превышающей температуру релаксации термоупругих напряжений, при относительном перемещении лазерного пучка и кремния и локальное охлаждение зоны нагрева хладагентом, отличающийся тем, что перед выбором интенсивности нагрева определяют значение модуля Юнга E , ГПа, в направлении, перпендикулярном плоскости разделения, интенсивность нагрева выбирают пропорционально модулю Юнга E , ГПа, в направлении, перпендикулярном плоскости разделения, причем соотношение скорости относительного перемещения лазерного пучка и кремния v , м/с, и мощности лазерного излучения P , Вт, выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = kE,$$

где k - коэффициент пропорциональности, м/(Па·с·Вт).



Изобретение относится к способам резки анизотропных материалов под действием термоупругих напряжений, в частности к способам лазерного термораскалывания кристаллического кремния.

Изобретение может быть использовано в электронной промышленности, а также в других областях техники и производства, где существует необходимость прецизионной обработки изделий из кристаллических материалов.

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

В рассматриваемом способе увеличение скорости термораскалывания 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 обеспечить высокую точность резки и делает описанный способ практически малопригодным и бесперспективным.

Известен способ разделения хрупких неметаллических материалов под действием термоупругих напряжений, формируемых в результате лазерного нагрева материала вдоль линии реза, до температуры, не превышающей температуры релаксации термоупругих напряжений за счет пластических деформаций, и локального охлаждения зоны нагрева при относительном перемещении обрабатываемой поверхности и зон нагрева и охлаждения [2].

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

Однако этот способ не позволяет осуществлять высококачественную резку монокристаллических материалов, для которых характерна анизотропия свойств.

Наиболее близким к заявляемому является способ разделения резкой кристаллического кремния под действием термоупругих напряжений, включающий выбор направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического кремния, выбор интенсивности нагрева за счет изменения скорости относительного перемещения лазерного пучка и кремния v , м/с, и/или изменения мощности лазерного излучения P , Вт, нанесение надреза по линии реза, лазерный нагрев линии реза до температуры, не превышающей температуру релаксации термоупругих напряжений, при относительном перемещении лазерного пучка и кремния и локальное охлаждение зоны нагрева хладагентом [3].

Существенным недостатком известного способа является то, что в нем не учитывается влияние анизотропии упругих свойств на процесс лазерного термораскалывания.

Техническая задача, решаемая заявляемым изобретением, заключается в повышении качества резки пластин из кристаллического кремния за счет правильного определения технологических параметров лазерного термораскалывания в различных кристаллографических направлениях, учитывающего влияние анизотропии модуля Юнга.

Технический результат, достигаемый заявляемым изобретением, заключается в обеспечении формирования лазерно-индуцированных трещин с заданными геометрическими характеристиками при термораскалывании в различных кристаллографических направлениях пластин из кристаллического кремния.

Технический результат достигается тем, что в способе разделения резкой кристаллического кремния под действием термоупругих напряжений, включающем выбор направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического кремния, выбор интенсивности нагрева за счет изменения скорости относительного перемещения лазерного пучка и кремния v , м/с, и/или изменения мощности лазерного излучения P , Вт, нанесение надреза по линии реза, лазерный нагрев линии реза до температуры, не превышающей температуру релаксации термоупругих напряжений, при относительном перемещении лазерного пучка и кремния и локальное охлаждение зоны нагрева хладагентом, перед выбором интенсивности нагрева определяют значение модуля Юнга E , ГПа, в

ВУ 16483 С1 2012.10.30

направлении, перпендикулярном плоскости разделения, интенсивность нагрева выбирают пропорционально модулю Юнга E , ГПа, в направлении, перпендикулярном плоскости разделения, причем соотношение скорости относительного перемещения лазерного пучка и кремния v , м/с, и мощности лазерного излучения P , Вт, выбирают из условия:

$$\frac{v}{P} = k \cdot E,$$

где k - коэффициент пропорциональности, м/(Па·с·Вт).

Сущность заявляемого способа разделения пластин из кристаллического кремния под действием термоупругих напряжений заключается в следующем.

При лазерном термораскалывании определяющее влияние на формирование лазерно-индуцированной трещины играют напряжения, действующие перпендикулярно плоскости разделения, а величина этих напряжений пропорциональна модулю Юнга в том же направлении.

Величина термоупругих напряжений, возникающих при изменении температуры в твердом теле прямо, пропорциональна произведению соответствующего коэффициента линейного термического расширения на величину изменения температуры и на величину соответствующего модуля Юнга:

$$\sigma = E\alpha\Delta T,$$

где σ - напряжение, действующее перпендикулярно плоскости разделения;

α - коэффициенты линейного термического расширения в направлении, перпендикулярном плоскости разделения;

E - модуль Юнга в направлении, перпендикулярном плоскости разделения;

ΔT в данном случае равно разности между максимальной температурой в зоне лазерного нагрева T_{\max} и температурой в зоне воздействия хладагента T_{\min} .

Также известно, что T_{\max} обратно пропорциональна скорости относительного перемещения лазерного пучка и материала и прямо пропорциональна мощности лазерного излучения.

Поэтому для соотношения скорости относительного перемещения лазерного пучка и материала и мощности лазерного излучения в зависимости от изменения значений модуля Юнга в кубических кристаллах справедливо следующие условие:

$$\frac{v}{P} = k \cdot E,$$

где v - скорость относительного перемещения лазерного пучка и материала, м/с;

P - мощность лазерного излучения, Вт;

k - коэффициент пропорциональности, м/(Па·с·Вт);

E - модуль Юнга в направлении перпендикулярном плоскости разделения, ГПа.

С учетом существенного отличия модуля Юнга в зависимости от ориентации кристалла кремния при резке в различных направлениях необходимо осуществлять дифференцированный нагрев, обеспечивающий формирование необходимых для создания лазерно-индуцированной трещины термоупругих напряжений в каждом направлении ориентации. Это может быть обеспечено либо за счет изменения скорости резки, либо за счет соответствующего изменения мощности лазерного излучения.

Сущность изобретения поясняется фигурой, на которой представлена схема образования надреза с помощью лазерного пучка и хладагента в кристаллическом кремнии.

Заявляемый способ разделения кристаллического кремния под действием термоупругих напряжений осуществляют следующим образом.

В начале осуществления способа определяют выбор направления резки относительно кристаллографической ориентации образца.

Далее определяют соотношение скорости относительного перемещения лазерного пучка и материала и мощности лазерного излучения выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = k \cdot E,$$

предварительно определив значение модуля Юнга E в направлении, перпендикулярном плоскости разделения по методике, изложенной в [4].

Далее наносят предварительный надрез на обрабатываемой поверхности в начале контура обработки. Нагревают пластину из кристаллического кремния 1 с помощью лазерного пучка 2 до температуры, не превышающей температуры релаксации термоупругих напряжений, и локально охлаждают зону нагрева хладагентом 3 в результате перемещения по обрабатываемой поверхности зон нагрева и охлаждения. При этом под действием формируемых термоупругих напряжений образуется трещина 4 (фигура).

Ниже приведены конкретные примеры.

В качестве материала использовали пластины кристаллического кремния толщиной 460 мкм. 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. Для резки был использован АИГ - лазер с длиной волны излучения 1,06 мкм и с регулируемой мощностью от 0 до 100 Вт. Лазерное излучение фокусировали при помощи сферической оптики в пучок круглого сечения диаметром 1 мм.

При этом экспериментально было установлено, что скорость резки кремниевой пластины толщиной 460 мкм, вырезанной в плоскости (110) при постоянной мощности лазерного излучения $P = 80$ Вт, в направлении [001] составляет 42 мм/с, а в направлении [110] скорость резки составляет 35 мм/с.

Также экспериментально установлено, что скорость резки кремниевой пластины толщиной 460 мкм, вырезанной в плоскости (100) при постоянной мощности лазерного излучения $P = 80$ Вт, в направлениях [001] и [010] составляет 35 мм/с.

Значение коэффициента k с учетом вышеперечисленных параметров составило $3 \cdot 10^{-6}$ м/(Па·с·Вт).

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 приводит к ошибочному выбору технологических параметров лазерного термораскалывания и не позволяет осуществлять высококачественную резку пластин из кристаллического кремния.

Источники информации:

1. Мачулка Г.А. Лазерная обработка стекла. - М.: Сов. Радио, 1979. - С. 48- 67.
2. Патент РФ 2024441, МПК С 03В 33/02, 1994.
3. Патент РФ 2224648, МПК С 03В 33/00, 2004 (прототип).
4. Концевой Ю. А., Литвинов Ю. М., Фаттахов Э. А. Пластичность и прочность полупроводниковых материалов и структур. - М.: Радио и связь, 1982. - 240 с.