

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 16478

(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 КВАРЦА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ

(21) Номер заявки: а 20100957

(22) 2010.06.23

(43) 2012.02.28

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

(72) Авторы: Шершнев Евгений Борисович; Никитюк Юрий Валерьевич; Шолох Владимир Федорович; Соколов Сергей Иванович (ВУ)

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

(56) RU 2224648 С1, 2004.

ВУ 982 С1, 1995.

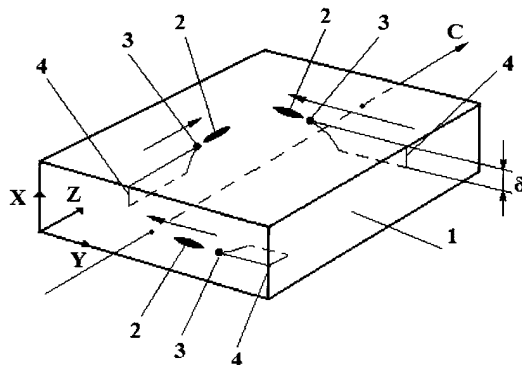
RU 2237622 С2, 2004.

GB 1254120, 1971.

JP 11240730 А, 1999.

(57)

Способ разделения резкой кристаллического кварца под действием термоупругих напряжений, включающий выбор направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического кварца, определение значения коэффициента линейного термического расширения в зависимости от направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического кварца, выбор интенсивности нагрева в каждом направлении резки за счет изменения скорости относительного перемещения лазерного пучка и кварца 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 кварца и локальное охлаждение зоны нагрева хладагентом, отличающийся тем, что перед выбором интенсивности нагрева определяют значение коэффициента теплопроводности в зависимости от направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического кварца и выбирают интенсивность нагрева пропорционально коэффициенту линейного термического расширения в направлении, перпендикулярном



плоскости разделения, и обратно пропорционально коэффициенту теплопроводности в направлении, перпендикулярном плоскости разделения, причем соотношение скорости относительного перемещения лазерного пучка и кварца v , м/с, и мощности лазерного излучения P , Вт, при резке кристаллического кварца вдоль оси симметрии третьего порядка, когда линия реза лежит в плоскости, параллельной оси симметрии третьего порядка, выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = k \frac{\alpha_{+}}{\lambda_{+}},$$

или при резке кристаллического кварца перпендикулярно оси симметрии третьего порядка, когда линия реза лежит в плоскости, параллельной оси симметрии третьего порядка, выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = k \frac{\alpha_{\parallel}}{\lambda_{+}},$$

или при резке кристаллического кварца перпендикулярно оси симметрии третьего порядка, когда линия реза лежит в плоскости, перпендикулярной оси симметрии третьего порядка, выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = k \frac{\alpha_{+}}{\lambda_{\parallel}},$$

где k - коэффициент пропорциональности, c^{-1} ;

α_{+} , α_{\parallel} - коэффициенты линейного термического расширения кристаллического кварца в направлениях, перпендикулярных оси симметрии третьего порядка и параллельных ей соответственно, K^{-1} ;

λ_{+} , λ_{\parallel} - коэффициенты теплопроводности кристаллического кварца в направлениях, перпендикулярных оси симметрии третьего порядка и параллельных ей соответственно, Вт/(м·К).

Изобретение относится к способам лазерного термораскалывания анизотропных материалов и может быть использовано в электронной промышленности, а так же 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].

Сущность указанного способа заключается в следующем.

При воздействии на поверхность материала лазерного пучка происходит образование разделяющей трещины, динамика развития которой определяется распределением термоупругих напряжений, сформированных в результате теплового расширения областей материала, подвергшихся локальному лазерному нагреву. При этом разделение материала происходит по всей толщине и характеризуется низкой скоростью термораскалывания.

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 малоприменимым и бесперспективным.

Известен способ разделения резкой 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.

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 монокристаллических материалов, для которых характерна анизотропия теплофизических и механических свойств.

Наиболее близким к заявляемому является способ разделения резкой кристаллического кварца под действием термоупругих напряжений, включающий выбор направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического кварца, определение значения коэффициента линейного термического расширения в зависимости от направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического кварца, выбор интенсивности нагрева в каждом направлении резки за счет изменения скорости относительного перемещения лазерного пучка и кварца 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 кварца и локальное охлаждение зоны нагрева хладагентом [3].

Существенным недостатком данного способа является то, что учет влияния анизотропии термического расширения на технологические параметры обработки в известном способе осуществляют некорректно, что приводит к ошибочному выбору технологических параметров лазерного термораскалывания.

В известном способе не обращают внимание на то, что при лазерном термораскалывании определяющее влияние на формирование лазерно-индуцированной трещины оказывают напряжения, действующие перпендикулярно плоскости разделения, величина которых пропорциональна линейному коэффициенту термического расширения в том же направлении (в направлении, перпендикулярном плоскости разделения).

Еще одним недостатком известного способа является то, что в нем не учитывают влияние анизотропии коэффициента теплопроводности кристаллического кварца на процесс лазерного термораскалывания.

Таким образом, применение известного способа на практике приводит к ошибочному выбору технологических параметров лазерного термораскалывания и не позволяет осуществлять высококачественную резку пластин из кристаллического кварца.

Техническая задача, решаемая заявляемым изобретением, заключается в повышении качества резки пластин из кристаллического кварца за счет правильного определения технологических параметров лазерного термораскалывания в различных направлениях, обусловленного корректным учетом влияния анизотропии теплопроводности и термического расширения.

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

Технический результат достигается тем, что в способе разделения резкой кристаллического кварца под действием термоупругих напряжений, включающем выбор направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического кварца, определение значения коэффициента линейного термического расширения в зависимости от направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического

ВУ 16478 С1 2012.10.30

кварца, выбор интенсивности нагрева в каждом направлении резки за счет изменения скорости относительного перемещения лазерного пучка и кварца 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 кварца и локальное охлаждение зоны нагрева хладагентом, перед выбором интенсивности нагрева определяют значение коэффициента теплопроводности в зависимости от направления резки относительно кристаллографической ориентации кристаллического кварца и выбирают интенсивность нагрева пропорционально коэффициенту линейного термического расширения в направлении, перпендикулярном плоскости разделения, и обратно пропорционально коэффициенту теплопроводности в направлении, перпендикулярном плоскости разделения, причем соотношение скорости относительного перемещения лазерного пучка и кварца v , м/с, и мощности лазерного излучения P , Вт, при резке кристаллического кварца вдоль оси симметрии третьего порядка, когда линия реза лежит в плоскости, параллельной оси симметрии третьего порядка, выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = k \frac{\alpha_{+}}{\lambda_{+}},$$

или при резке кристаллического кварца перпендикулярно оси симметрии третьего порядка, когда линия реза лежит в плоскости, параллельной оси симметрии третьего порядка, выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = k \frac{\alpha_{\parallel}}{\lambda_{+}},$$

или при резке кристаллического кварца перпендикулярно оси симметрии третьего порядка, когда линия реза лежит в плоскости, перпендикулярной оси симметрии третьего порядка, выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = k \frac{\alpha_{+}}{\lambda_{\parallel}},$$

где k - коэффициент пропорциональности, c^{-1} ;

α_{+} , α_{\parallel} - коэффициенты линейного термического расширения кристаллического кварца в направлениях, перпендикулярных оси симметрии третьего порядка и параллельных ей соответственно, K^{-1} ;

λ_{+} , λ_{\parallel} - коэффициенты теплопроводности кристаллического кварца в направлениях, перпендикулярных оси симметрии третьего порядка и параллельных ей соответственно, Вт/(м·К).

Сущность изобретения поясняется фигурой, на которой представлена схема образования надреза с помощью лазерного пучка и хладагента в кристаллическом кварце при разных направлениях резки.

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

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

Определяют соотношение скорости относительного перемещения лазерного пучка и кварца v , м/с, и мощности лазерного излучения P , Вт, выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = k \frac{\alpha_{+}}{\lambda_{+}},$$

при резке кристаллического кварца вдоль оси симметрии третьего порядка, когда линия реза лежит в плоскости, параллельной оси симметрии третьего порядка, выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = k \frac{\alpha_{\parallel}}{\lambda_{+}},$$

или при резке кристаллического кварца перпендикулярно оси симметрии третьего порядка, когда линия реза лежит в плоскости, параллельной оси симметрии третьего порядка, выбирают из условия

$$\frac{v}{P} = k \frac{\alpha_{+}}{\lambda_{\parallel}},$$

в случае термораскалывания кристаллического кварца перпендикулярно оси симметрии третьего порядка, когда линия реза лежит в плоскости, перпендикулярной оси симметрии третьего порядка.

Далее наносят предварительный надрез на обрабатываемой поверхности в начале контура обработки. Нагревают пластину из кристаллического кварца 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 глубиной δ (фиг. 1).

Ниже приведены конкретные примеры.

В качестве материала использовались пластины кристаллического кварца толщиной 1 мм. 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 CO_2 - лазер с длиной волны излучения 10,6 мкм и с регулируемой мощностью от 0 до 80 Вт. Лазерное излучение фокусировалось при помощи сферическо-цилиндрической оптики в пучок эллиптического сечения размерами 6×1 мм, вытянутый в направлении резки. Значение коэффициента k с учетом вышеперечисленных параметров составило $1,3 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$.

Экспериментально было установлено, что при постоянной мощности лазерного излучения $P = 30$ Вт в направлении, параллельном оси симметрии третьего порядка, скорость резки составляет 85 мм/с, а в направлениях, перпендикулярных оси симметрии третьего порядка, составляет 47 мм/с для варианта резки, когда линия реза лежит в плоскости, перпендикулярной оси симметрии третьего порядка, и 51 мм/с для варианта резки, когда линия реза лежит в плоскости, параллельной оси симметрии третьего порядка.

Значение коэффициента k с учетом вышеперечисленных параметров составило $1,3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. Величина обратная коэффициенту k определяет время, в течение которого устанавливается стационарный режим термораскалывания в заданном направлении при выбранной скорости резки и мощности излучения.

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 кварца.

Анализируя результаты проведенных экспериментальных исследований, можно сделать вывод, что предлагаемый способ разделения пластин из кристаллического кварца под действием термоупругих напряжений обеспечивает возможность формирования лазерно-индуцированных трещин с заданными одинаковыми геометрическими характеристиками при термораскалывании в различных кристаллографических направлениях пластин из кристаллического кварца.

Источники информации:

1. Мачулка Г.А. Лазерная обработка стекла. - М.: Сов. Радио, 1979. - С. 48-67.

ВУ 16478 С1 2012.10.30

2. Патент РФ 2024441, МПК С 03В 33/02, 1994.
3. Патент РФ 2224648, МПК С 03В 33/02, 2002 (прототип).
4. Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю.В.Корицкого и др. - Т3. - Л.: Энергоатомиздат, 1988. - С. 581-583.