



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2013103587/28, 28.06.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.06.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.06.2011

(43) Дата публикации заявки: 10.08.2014 Бюл. № 22

(45) Опубликовано: 10.07.2016 Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 4502620 A, 05.03.1985. WO 9633430 A1, 24.10.1996. US 5460311 A, 24.10.1995. US 2004190850 A1, 30.09.2004. RU 2182345 C2, 10.05.2002. US 4852244 A, 01.08.1989. EP 0985160 B1, 15.03.2000.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 28.01.2013

(86) Заявка РСТ:  
US 2011/042256 (28.06.2011)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2012/006127 (12.01.2012)

Адрес для переписки:

117342, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 65, корп. 4, кв. 34, И.Л. Стояченко

(72) Автор(ы):

**БАРНОКИ Майкл К. (US),  
ГУЛАТИ Суреш Т. (US),  
ХИИ Кинг-фу (US),  
КЕСК Дональд (US),  
ПАУЭЛЛ Вильям Р. (US),  
ВАЛЛАНС Р. Риэн (US)**

(73) Патентообладатель(и):

**НАНО-ПРЕСИЖЕН ПРОДАКТС, ИНК.  
(US)**

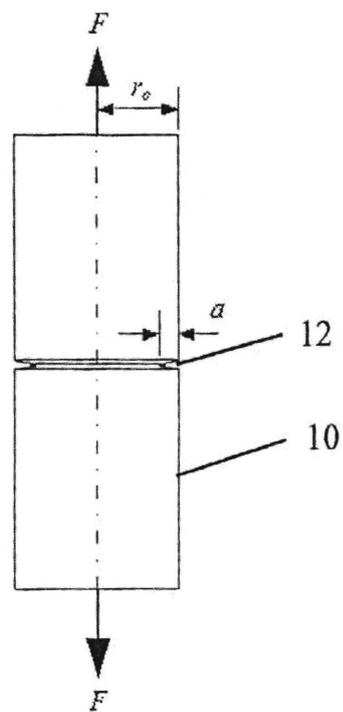
**(54) ЗАРАНЕЕ ОПРЕДЕЛЕННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области соединения световодов, а именно к способам скалывания оптоволокну. Для получения скола к оптоволокну прикладывают осевое растяжение в определенном местоположении, причем прикладывают изменяющееся со временем осевое растяжение для поддержания коэффициента интенсивности напряжений этой трещины в допустимых пределах для получения стабильного разрастания трещины при разумной скорости для скалывания волокна без необходимости полирования торцевой поверхности. Тщательный контроль прилагаемой силы растяжения с течением времени позволяет контролировать скорость

распространения трещины посредством поддержания по существу постоянного коэффициента интенсивности напряжений. Прилагаемую силу осевого растяжения уменьшают с течением времени и/или роста трещины (распространения трещины). В результате энергия деформации в материале волокна высвобождается, формируя единую плоскость с оптически качественной поверхностью, не требующей полирования. На сколотом торце оптоволокну формируется по существу плоская оптическая поверхность улучшенного оптического качества. Техническим результатом является возможность скалывания

оптоволоконна таким образом, чтобы минимизировать световые потери, когда волокна последовательно закреплены. 3 н. и 17 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1

RU 2589524 C2

RU 2589524 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*G02B 6/25* (2006.01)  
*B26F 3/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013103587/28, 28.06.2011

(24) Effective date for property rights:  
28.06.2011

Priority:

(22) Date of filing: 28.06.2011

(43) Application published: 10.08.2014 Bull. № 22

(45) Date of publication: 10.07.2016 Bull. № 19

(85) Commencement of national phase: 28.01.2013

(86) PCT application:  
US 2011/042256 (28.06.2011)

(87) PCT publication:  
WO 2012/006127 (12.01.2012)

Mail address:

117342, Moskva, ul. Miklukho-Maklaja, 65, korp.  
4, kv. 34, I.L. Stojachenko

(72) Inventor(s):

**BARNOKI Majkl K. (US),**  
**GULATI Suresh T. (US),**  
**KHII King-fu (US),**  
**KESK Donald (US),**  
**PAUELL Vilyam R. (US),**  
**VALLANS R. Rien (US)**

(73) Proprietor(s):

**NANO-PRECISION PRODUCTS, INC. (US)**

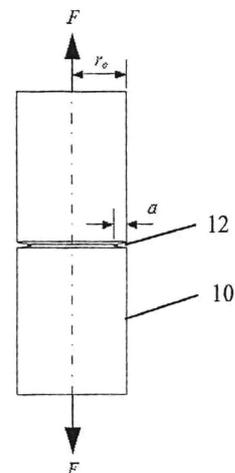
(54) **PRESET BREAKING OF OPTICAL FIBRE**

(57) Abstract:

FIELD: lighting.

SUBSTANCE: invention relates to connection of light guides, specifically to methods of breaking optical fibre. In order to produce a chip to the optical fibre is applied axial stretching in a certain location, wherein time-varying axial stretching is applied to maintain stress intensity factor of crack in tolerable limits for production of stable crack growth at reasonable speed for chipping fibre without need for polishing of end surface. Thorough monitoring of tension force applied over time makes it possible to control speed of propagation of cracks by maintaining essentially constant stress intensity factor. Applied force of axial tension is reduced over time and/or crack growth (crack propagation). As a result of strain energy in material of fibre is released to form a single plane with optical quality surface does not require polishing. On chipped end of optical fibre is formed essentially flat optical surface of an improved optical quality.

EFFECT: enabling breaking of optical fibre so as to minimise light loss when fibres are installed in series.  
20 cl, 5 dwg



Фиг. 1

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

### 1. Испрашиваемый приоритет

Приоритет настоящей заявки установлен по предварительной заявке №61/359,327, поданной 28 июня 2010 г., полное содержание которой раскрыто в настоящей заявке со ссылкой на нее. Все публикации, указанные ниже, раскрываются в настоящей заявке со ссылками на них.

### 2. Область техники

[0001] Настоящее изобретение относится к оптоволокну, в частности к скалыванию оптоволокну для уменьшения его длины и получения плоского конца этого волокна.

### 3. Описание предшествующего уровня техники

[0002] В отношении передачи световой энергии посредством оптоволоконного световода существует множество преимуществ и такое использование оптоволокну является очень разнообразным. Одномодовые оптоволоконные световоды и многомодовые оптоволоконные световоды попросту могут использоваться для передачи видимого света в какое-либо отдаленное местоположение. Сложные системы связи могут передавать множество определенных оптических сигналов. Такие системы часто требуют закрепления волокна торец в торец, причем такое закрепление последующего волокна вызывает потери световой энергии. Сколотый торец должен быть гладким и не иметь дефектов. В случае если торцы волокна являются неровными, то в результате отражения и преломления света на поверхности сколотых торцов (например, в областях после сращивания или сварки) образуются чрезмерные световые потери. Для подавляющего большинства оптоволокну в отношении его применения является важным скалывание волокна таким образом, чтобы торец волокна был абсолютно плоским перед его закреплением с торцом другого волокна. При закреплении оптоволокну торец в торец для минимизации световых потерь желательно, чтобы торцевые поверхности волокон были гладкими и находились в плоскости, перпендикулярной к оси этих волокон или под определенным углом к оси этих волокон. Одним словом, поверхность сколотого торца должна иметь единую зеркальную поверхность для оптимизации закрепления волокон в разъёмных коннекторах, устройствах защитного отключения и фотонных приборах.

[0003] Стандартное скалывание совершают посредством использования механических или лазерных устройств для скалывания оптоволокну. В настоящее время в соответствии с одним из способов стандартного механического скалывания для получения скола на оптоволокну воздействуют посредством осевого растяжения и затем оптоволокну надрезают для начала операции скалывания. Полученные характеристики угла скола и поверхности скола являются прямым результатом качества надреза и осевой нагрузки и/или распределения напряжений в оптоволокну. Применение прилагаемого осевого растяжения необходимо для распространения скола. Однако чрезмерное растяжение вызывает быстрое распространение этого скола, в результате чего на сколом торце образуется гребень. При использовании слишком небольшого растяжения режущая кромка для получения скола должна проникнуть слишком глубоко в волокно, в результате чего образуется недостаточный скол.

[0004] Учитывая неоднородности, создающиеся на сколом торцах волокна, обычные способы скалывания включают стандартное скалывание оптоволокну с последующим механическим полированием полученной поверхности торца для исключения неоднородностей неплоской сколом поверхности. Альтернативный способ использования вышеуказанного процесса - это использование данного способа, но с применением лазерного полирования вместо механического. Такое полирование может

быть автоматизировано, но это требует более сложного и дорогостоящего оборудования и применения более сложных операций, которые могут быть выполнены лишь на заводе или в лаборатории. Кроме того, волокно деформируется и часто увеличивается в диаметре, когда торец волокна плавится и переходит из твердого состояния в жидкое в результате лазерной обработки.

[0005] Лазерное скалывание может либо создать поверхность торца волокна, которая требует дальнейшего полирования для получения плоской сколотой поверхности, либо торца, отполированного лазером в течение процесса лазерного скалывания. Посредством лазерного скалывания получают гораздо лучшую оптическую поверхность на торцах оптоволокна, однако такой процесс должен проводиться с использованием специального лазерного скалывающего оборудования (см., например, автоматизированную и полностью интегрированную систему лазерного скалывания компании "OpTek Systems" на сайте [www.opteksystems.com](http://www.opteksystems.com)).

[0006] Относительное распространение и большее чем когда-либо использование оптоволокна в системах связи, обработки данных и иных системах передачи сигнала вызвало спрос на удовлетворяющие потребностям и эффективные средства взаимосвязанных терминалов. В настоящее время самыми демонтируемыми коннекторами волокон являются установленные непосредственно на заводе. Для установки оптоволокна в полевых условиях особенно целесообразным является разработка процесса, который бы просто и надежно применялся для надлежащего скалывания оптоволокна таким образом, чтобы минимизировать световые потери, когда волокна последовательно закреплены. Необходимо разработать эффективный, действенный и надежный способ обработки торцевой поверхности оптоволокна.

#### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0007] В качестве настоящего изобретения заявлен способ, который может быть просто и надежно применен для надлежащего скалывания оптоволокна с гладкими торцами таким образом, чтобы минимизировать световые потери, когда волокна последовательно закреплены. Процесс представляет эффективный, действенный и надежный способ обработки торцевой поверхности оптоволокна без использования полирования.

[0008] В соответствии с одним из вариантов заявляемого изобретения осевое растяжение прикладывают к оптоволокну, которое надрезают в месте предполагаемого скола с образованием начальной трещины, где прилагаемое осевое растяжение регулируют для поддержания коэффициента интенсивности напряжений этой трещины в допустимых пределах получения стабильного разрастания трещины при разумной скорости для скалывания волокна без необходимости полирования торцевой поверхности. Более конкретно, в одном из вариантов настоящего изобретения базовым подходом является надрез насечки на оптоволокну на его внешнем диаметре, либо по всему диаметру окружности этого волокна, либо в выбранных местах этой окружности. Затем к продольной оси волокна прикладывают изменяющуюся со временем коаксиальную силу для скалывания волокна. Изначально при надрезании волокна может поддерживаться или не может поддерживаться по существу постоянное растяжение. Тщательно контролируемый процесс надреза обеспечивает только изначальную трещину на поверхности волокна, а не под поверхностью волокна, причем трещина, о которой идет речь, определяет местоположение, в котором посредством достаточного осевого растяжения будет начато распространение скола этой трещины. Надрез может быть получен механически с помощью надрезного инструмента, или лазерного разреза, или посредством иных форм абляции, например сфокусированного

ионного луча. Применение к волокну силы, изменяющейся со временем, образует изначальную трещину для ее радиального распространения внутрь по направлению к центру волокна. В одном из вариантов настоящего изобретения тщательный контроль прилагаемой силы растяжения с течением времени позволяет контролировать скорость распространения трещины посредством поддержания по существу постоянного коэффициента интенсивности напряжений. В другом варианте настоящего изобретения прилагаемую силу осевого растяжения уменьшают с течением времени и/или роста трещины (распространения трещины). В результате энергия деформации в материале волокна высвобождается, формируя единую плоскость с оптически качественной поверхностью, не требующей полирования. Более конкретно, на сколоте торце оптоволокна формируют по существу плоскую оптическую поверхность или грань улучшенного оптического качества. Поверхность грани может быть сформирована под углом к продольной оси волокна посредством подходящего нанесения первоначального надреза.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0009] Для более полного понимания существа и преимуществ настоящего изобретения, а также предпочтительных режимов его использования далее следует подробное описание, связанное с прилагающимися к нему чертежами. На чертежах позиции, содержащиеся в описании, соответствуют позициям на прилагающихся чертежах.

На фиг.1 показано скалывание оптоволокна в режиме I (метод нормального отрыва) в соответствии с одним из вариантов настоящего изобретения.

На фиг.2 показан график зависимости тягового усилия на кварцевом оптоволокне от глубины трещины.

На фиг.3 показана график зависимости скорости распространения трещины от коэффициента интенсивности напряжений.

На фиг.4 показан график зависимости тягового усилия на волокне от времени.

На фиг.5 показана монография поверхности разрыва оптоволокна в точке трещины.

#### ДЕТАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ

[0010] Настоящее изобретение описано ниже в отношении различных вариантов этого изобретения со ссылками на чертежи. Несмотря на то что настоящее изобретение описано в части наилучшего режима для достижения задач, на которые направлено изобретение, для специалиста в данной области техники очевидно, что могут быть выполнены различные варианты настоящего изобретения без отклонения от сущности и объема правовой охраны изобретения.

[0011] Настоящее изобретение обеспечивает способ, который может быть просто и надежно применен для получения надлежащего скалывания оптоволокна с гладкими торцами таким образом, чтобы минимизировать световые потери, когда волокна последовательно закреплены (например, сращенные или закрепленные торец в торец). Этот способ согласно настоящему изобретению представляет эффективный, действенный и надежный способ обработки торцевой поверхности оптоволокна без использования полирования для облегчения операций на заводе, а также в полевых условиях.

[0012] В одном из вариантов заявляемого изобретения осевое растяжение, прикладываемое к оптоволокну, которое надрезают в месте предполагаемого скола с образованием начальной трещины, регулируют так, чтобы для поддержания коэффициента интенсивности напряжений этой трещины в допустимых пределах получить стабильное разрастание трещины при разумной скорости для скалывания волокна. В другом варианте настоящего изобретения осевое растяжение прилагают

при его изменении во времени.

[0013] Более конкретно, в одном из вариантов настоящего изобретения базовым подходом является надрез или разметка канавки либо на оптоволокне на его внешнем диаметре по всему диаметру окружности этого волокна, либо в выбранных местах этой окружности. Затем к продольной оси волокна прикладывают изменяющуюся со временем коаксиальную силу для скалывания волокна. Изначально при надрезании волокна может поддерживаться или не может поддерживаться по существу постоянное растяжение. Надрез может быть получен механически с помощью надрезного инструмента, или лазерного разреза, или посредством иных форм абляции, например ионного луча. Тщательно контролируемый процесс надреза обеспечивает только 5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
изначальную трещину на поверхности волокна с желаемой глубиной, а не под поверхностью волокна (т.е. трещины под надрезанной канавкой отсутствуют), причем трещина, о которой идет речь, определяет местоположение, в котором посредством достаточного осевого растяжения будет начато распространение скола этой трещины. Более точно, посредством нарезки канавки получают изначальную трещину на поверхности волокна в несколько десятков нанометров, причем надрезной инструмент нарезает материал волокна в пластичном режиме вместо хрупкого режима, тем самым избегая появления трещин под надрезанной канавкой. Небольшая глубина надреза (меньше нескольких десятков нанометров) во время процесса нарезки достигается путем точной подачи надрезного инструмента или прижимания этого инструмента к волокну посредством небольшого усилия пружины. Применение к волокну силы, изменяющейся со временем, образует изначальную трещину с последующим ее радиальным распространением внутрь по направлению к центру волокна.

[0014] В одном из вариантов настоящего изобретения тщательный контроль прилагаемой силы растяжения с течением времени позволяет контролировать скорость распространения трещины посредством поддержания допустимого коэффициента интенсивности напряжений для разрушения волокна (например, по существу постоянного коэффициента интенсивности напряжений ниже критического коэффициента интенсивности напряжений при конкретном режиме нагрузки). В результате энергия деформации в материале волокна высвобождается, формируя единую плоскость с 5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
оптически качественной поверхностью, не требующей полирования. Более конкретно, на сколом торце оптоволокна формируют по существу плоскую оптическую поверхность или грань улучшенного оптического качества без операции полирования. Поверхность грани может быть сформирована под углом к продольной оси волокна посредством подходящего нанесения первоначального надреза (например, эллиптический надрез в плоскости, находящейся под углом (например, 8 градусов) к продольной оси волокна).

[0015] В другом варианте настоящего изобретения после изначального наращивания силы осевого растяжения до уровня, достаточного для начала распространения трещины (максимальное значение осевого растяжения в процессе скалывания при поддержании коэффициента интенсивности напряжений в отношении трещины ниже критического коэффициента интенсивности напряжений), прилагаемую силу осевого растяжения затем в течение времени уменьшают по отношению к такому максимальному значению осевого растяжения при растяжении торцов волокна для продолжения распространения трещины. С другой стороны, после того как началось распространение трещины посредством наращивания силы осевого растяжения до максимального значения осевого растяжения, прилагаемая сила осевого растяжения уменьшается при дальнейшем увеличении глубины трещины. В раскрытых вариантах, описанных далее в настоящей

заявке, прилагаемая сила осевого растяжения монотонно уменьшается и далее уменьшается при скорости, которая уменьшается с течением времени или с течением распространения трещины. Следует отметить, что максимальное значение силы осевого растяжения может быть больше, чем сила растяжения, необходимая для начала распространения трещины, и это максимальное значение силы осевого растяжения может поддерживаться постоянным в течение короткого промежутка времени при наращивании силы осевого растяжения до того, как сила осевого растяжения уменьшается.

[0016] Несмотря на то что это не является необходимым для понимания настоящего изобретения, ниже кратко изложена предлагаемая теория в подкрепление к раскрытию в описании настоящего изобретения.

[0017] Существует три основных режима разрыва волокна: режим I (метод нормального отрыва), режим II (метод поперечного сдвига) и режим III (метод продольного сдвига). Для контролируемого разрыва оптоволокна в настоящем изобретении (процесс детерминированного скалывания оптоволокна) применяется режим I. На фиг.1 показан разрез образца оптического волокна 10. На фиг.1 показано только голое волокно без покрытия (т.е. включая оболочку и сердечник), защитное полимерное покрытие не показано. Волокно 10 является цилиндрическим и выполнено в поперечном сечении в виде окружности. Волокно 10 имеет сердцевину из допированного кварца, покрытую оболочкой из кварца. Как показано на указанной фигуре, внешняя кольцеобразная насечка 12 нанесена вокруг оптоволокна 10 (т.е. на поверхности оболочки) в целях начала процесса скалывания при нагрузке в режиме I. Например, кольцеобразная насечка волокна с глубиной трещины "а" на волокне образована посредством надрезки или разметки с помощью алмазного или твердосплавного наконечника путем вращения вокруг собственной оси либо вращения этого наконечника вокруг волокна. Когда один торец волокна 10 растягивают в осевом направлении при изменении тягового усилия F по времени (т.е. равная и противоположно направленная сила осевого растяжения F), а противоположный торец волокна 10 фиксируют, то достигается стабильное разрастание трещины на волокне в радиальном направлении внутрь по направлению к центру волокна при стабильных скоростях распространения этой трещины.

[0018] Ниже перечислены переменные и основные уравнения, принятые во внимание:

Переменные:

$K_I$  = коэффициент интенсивности напряжений

$\sigma$  = прилагаемое напряжение

a = глубина трещины

$a_0$  = изначальная глубина трещины

$\alpha$  = повышающий коэффициент

F = прилагаемая сила

A = площадь, не затронутая трещинами

$r_0$  = радиус волокна (от оболочки включительно)

v = скорость распространения трещины

t = время

C = подгоняемый параметр

n = подгоняемый параметр (показатель усталости)

Следует отметить, что повышающий коэффициент  $\alpha$  может быть определен из статьи "Two-Level Finite Element Study of Axisymmetric Cracks," International Journal of Fracture,

89, с.93-203 (1998 год), A.Y.T. Leung, R.K.L. Su.

Основные уравнения:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a}$$

$$\sigma = F/A$$

$$A = \pi r^2$$

$$r = r_0 - a$$

$$\alpha = K_I / (\sigma \sqrt{\pi a}) = \frac{1}{2} \left( \frac{r_0}{r} \right)^{3/2} \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{r}{r_0} \right) + \frac{3}{8} \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 - 0.363 \left( \frac{r}{r_0} \right)^3 + 0.731 \left( \frac{r}{r_0} \right)^4 \right]$$

$$F = \frac{K_I A}{\alpha \sqrt{\pi a}}$$

$$a(t) = vt + a_0$$

$$\frac{da}{dt} = v = CK_I^n$$

[0019] Учитывая, что желательно поддерживать допустимый коэффициент интенсивности напряжений трещины на волокне, осевую силу прилагают для достижения стабильного разрастания трещины при разумной скорости и получения оптически качественной поверхности на сколотых торцах, при этом была проанализирована связь между прилагаемой осевой силой и глубиной трещины, а также между прилагаемой осевой силой и временем.

Были проведены расчеты в отношении тягового усилия  $F$  как функции глубины трещины  $a$  от времени  $t$  для волокна радиусом  $r_0 = 62,5$  нм, изначальной глубины трещины  $a_0 = 1$  нм, критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC} = 0,750$  МПа·м<sup>1/2</sup> для кварцевого оптоволокна.

[0020] На фиг.2 показан график осевой силы  $F$  как функции глубины трещины  $a$  при различных критических коэффициентах интенсивности напряжений  $K_I$ . Отрезки при различных коэффициентах интенсивности напряжений  $K_I$  соединены кривой I (отображающей коэффициент  $K_{IC}$ ) справа и кривой II слева. Как показано на указанной фигуре, коэффициенты интенсивности напряжений  $K_I$  постепенно уменьшаются от значения  $K_{IC}$  кривой I до значений кривой II. Нарастивание прилагаемой силы осевого растяжения (для начала распространения трещины) до максимального значения, которое находится в начале каждой из кривых, не показано на фиг.2. Для каждой из кривых после того, как сила для начала распространения повышена, коэффициент  $K_I$  поддерживается по существу постоянным. Для значений коэффициента  $K_I$  более чем  $K_{IC} = 0,750$  МПа·м<sup>1/2</sup> в области над кривой I распространение трещины считают нестабильным. Для значений коэффициента  $K_I$  менее чем  $0,35$  МПа·м<sup>1/2</sup> в области под кривой II считают, что не будет достигнуто значительного распространения трещины вследствие недостаточного тягового усилия для того, чтобы достаточный коэффициент интенсивности напряжений этой трещины на кварцевом оптоволокне увеличивался при разумной скорости. Таким образом, тяговое усилие на волокне должно поддерживаться в области между кривой I и кривой II для того, чтобы достигнуть стабильного распространения трещины при разумной скорости в целях скалывания

волокон. На фиг.2 видно, что для поддержания коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  в пределах границ кривой I и кривой II (например, коэффициент интенсивности напряжений  $K_I$  по существу постоянный после повышения прилагаемой силы F) прилагаемая сила F изначально должна быстро уменьшаться, в то время как глубина трещины изначально быстро возрастает, а сила F уменьшается относительно медленно при большой глубине трещины. В одном варианте сила F может монотонно уменьшаться и может уменьшаться при скорости, которая прогрессивно уменьшается с течением времени.

[0021] Для рассмотрения тягового усилия F на волокне как функции времени t из фиг.3 выбирают пары значений стабильной скорости распространения  $v$  трещины и коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$ , которые могут быть определены при помощи статьи "Subcritical Crack Growth in Silica Optical Fibers in a Wide Range of Crack Velocities", Journal of the American Ceramic Society, 79 [1], с.51-57 (1996 год), M. Muraoka, H. Abe.

На фиг.4 показано осевое тяговое усилие на оптическом волокне как функция времени для трех пар комбинаций значений стабильной скорости распространения трещины и коэффициента интенсивности напряжений. На указанной выше фигуре представлены следующие пары значений:  $0,590 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  и  $1 \times 10^{-5} \text{ м/с}$ ,  $0,580 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  и  $5 \times 10^{-6} \text{ м/с}$ ,  $0,557 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  и  $2 \times 10^{-6} \text{ м/с}$ , посредством которых достигают время скалывания волокна примерно 6 с, 12,5 с и 31 с соответственно в отношении изначальной глубины трещины в 1 нм. Структура волокна является такой же, как и для параметров в отношении фиг.2, указанной выше, т.е. радиус волокна  $r_0=62,5 \text{ нм}$ , изначальная глубина трещины  $a_0=1 \text{ нм}$ , критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{IC}=0,750 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ .

[0022] Как показано на фиг.4, коэффициент интенсивности напряжений  $K_I$  и скорость распространения  $v$  трещины снижаются прогрессивно от значений на кривой слева до значений на кривой справа. Усилие повышается до максимального значения прилагаемого усилия, инициирующего рост скалывания, которое находится в начале каждой из кривых, что не показано на фиг.4. Для каждой из кривых после того, как сила для начала распространения повышена, коэффициент интенсивности напряжений  $K_I$  и скорость распространения  $v$  трещины поддерживаются по существу постоянными. На фиг.4 видно, что после повышения усилия прилагаемое усилие F изначально должно быстро уменьшаться в течение времени, а сила F уменьшается относительно медленно после продолжительного периода времени. Сила F может монотонно уменьшаться, а также может уменьшаться при скорости, которая прогрессивно уменьшается с распространением трещины. Для стабильного распространения трещины в кварцевом оптоволокне скорость распространения трещины должна быть между  $10^{-15}$  и  $10^{-4} \text{ м/с}$ . Для скалывания оптоволокна за разумный период времени скорость распространения трещины должна быть слишком мала ( $<10^{-6} \text{ м/с}$ ). Например, при скорости распространения трещины  $10^{-8} \text{ м/с}$  для полного процесса раскалывания волокна понадобится 1,74 часов. Таким образом, более разумной скоростью распространения трещины должна быть скорость между от  $10^{-6}$  до  $10^{-4} \text{ м/с}$ .

[0023] Было обнаружено, что посредством тщательного контроля прогрессивно уменьшающегося осевого усилия для поддержания допустимого значения коэффициента интенсивности напряжений (например, по существу постоянного коэффициента

интенсивности напряжений) ниже критического коэффициента интенсивности напряжений для стабильного распространения трещины достигают распространения трещины при разумной скорости, результатом чего является торцевая поверхность допустимого оптического качества, не требующая полирования. Энергия деформации в материале волокна высвобождается, формируя единую плоскость с оптически качественной поверхностью. Для оптоволокон, например, в части оптоэлектронной техники приемлемым оптическим качеством поверхности является единая гладкая поверхность, которая чрезвычайно плоская и имеет, например, максимальное отклонение менее чем 500 нм и предпочтительно 100 нм по отношению к номинальной поверхности и высоту неровностей профиля поверхности менее 20 нм и предпочтительно менее 5 нм.

[0024] Результаты проведенных экспериментов, основанных на предшествующем анализе и расчетах, показали, что посредством патентоспособного процесса скалывания, описанного выше, достигают предполагаемых результатов, а именно - торцевая поверхность имеет допустимые оптические качества для оптоэлектронной техники и не требует полирования.

[0025] Скалывание торцевых поверхностей оптоволокон, ортогональных к продольной оси или находящихся под углом к продольной оси, может быть осуществлено на основании изложенных выше принципов без отклонения от существа и объема притязаний настоящего изобретения. Например, представляется возможным делать в плоскости, наклоненной (например, под углом 8 градусов) по отношению к продольной оси оптоволокон, надрезание эллипса по окружности оптоволокон для скалывания торца оптоволокон под углом (например, 8 градусов).

[0026] Вместо надрезания замкнутой линии изначальной трещины по окружности поверхности волокна, как показано на фиг. 1, патентоспособный процесс может быть осуществлен посредством использования нанесения множества дискретных трещин на поверхности волокна в выбранных областях по его окружности (например, однородное или симметричное нанесение изначальных трещин точечного типа на поверхности). Профиль напряжений, создаваемый точечной поверхностной трещиной на волокне, показан на монографии поверхности разрыва (изначальная дискообразная трещина) оптоволокон (при 25°C, 90% относительной влажности), которая показана на фиг.5, что известно из статьи "Effect of Humidity on Small-Crack Growth in Silica Optical Fibers", Journal of the American Ceramic Society, 76 [6], с.1545-1550 (1993 год), М. Muraoka, К. Ebata, Н. Abe.

[0027] Кроме того, в предыдущем варианте настоящего изобретения вместо получения изначальной трещины на поверхности волокна до приложения растяжения к этому волокну с таким значением (например, максимальное значение осевого растяжения в процессе скалывания, которое описано выше), при котором начинается распространение трещины, волокно может быть растянуто при или близком к такому максимальному значению перед получением изначальной трещины на поверхности волокна. Согласно настоящему изобретению после начала распространения трещины прилагаемую силу растяжения регулируют способом, описанным выше, для поддержания допустимого значения коэффициента интенсивности напряжений (например, по существу постоянного коэффициента интенсивности напряжений), причем получают распространение трещины, результатом чего является торцевая поверхность допустимого оптического качества, не требующая полирования.

[0028] Настоящее изобретение детально описано и проиллюстрировано со ссылками на предпочтительные варианты, причем для специалиста в данном уровне техники

очевидно, что могут быть осуществлены различные изменения в отношении формы и деталей без отклонения от существа изобретения, объема притязаний и идей в отношении настоящего изобретения. Соответственно раскрытое изобретение должно рассматриваться только как пояснительное и ограниченное только объемом притязаний формулы изобретения.

#### Формула изобретения

1. Способ скалывания оптоволокна, включающий:  
обеспечение начальной трещины на поверхности оптоволокна;  
приложение первоначальной силы, чтобы инициировать распространение трещины от начальной трещины; и  
после того, как распространение трещины начато, приложение к оптоволокну изменяющегося со временем осевого растяжения, где прилагаемое осевое растяжение уменьшается со временем, для распространения роста трещины с целью разрушения оптоволокна.
2. Способ по п. 1, в котором прилагаемое осевое растяжение уменьшается монотонно.
3. Способ по п. 1, в котором прилагают осевое растяжение, уменьшающееся со скоростью, которая уменьшается со временем.
4. Способ по п. 2, в котором прилагают осевое растяжение, уменьшающееся по мере распространения трещины.
5. Способ по п. 4, в котором прилагают осевое растяжение, уменьшающееся со скоростью, которая прогрессивно уменьшается по мере распространения трещины.
6. Способ по п. 5, в котором прилагают осевое растяжение для получения скорости распространения трещины в диапазоне от  $10^{-6}$  до  $10^{-4}$  м/с.
7. Способ по п. 1, в котором прилагают осевое растяжение для создания коэффициента интенсивности напряжений для трещины на оптоволокне, который поддерживают по существу постоянным при уменьшении осевого растяжения.
8. Способ по п. 1, в котором прилагают осевое растяжение для образования коэффициента интенсивности напряжений для трещины на оптоволокне в диапазоне между  $0,750 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  и  $0,35 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ .
9. Способ по п. 1, в котором осевое растяжение прилагают таким образом, чтобы получить стабильное разрастание трещины с целью получения сколотой торцевой поверхности, имеющей оптически качественную поверхность, не требующую полирования.
10. Способ по п. 9, в котором оптически качественная сколотая торцевая поверхность имеет максимальное отклонение менее 100 нм по отношению к номинальной плоскости и высоту неровностей профиля поверхности менее 5 нм.
11. Способ по п. 1, в котором начальная трещина нанесена по кольцу вокруг оптоволокна.
12. Способ по п. 1, в котором начальную трещину получают без образования подповерхностной трещины под начальной трещиной.
13. Способ по п. 1, в котором осевое растяжение прилагают при растяжении оптоволокна.
14. Способ скалывания оптоволокна, включающий:  
обеспечение начальной трещины на поверхности оптоволокна;  
приложение первоначальной силы, чтобы инициировать распространение трещины;  
приложение к оптоволокну осевого растяжения таким образом, чтобы получить стабильное разрастание трещины с целью получения сколотой торцевой поверхности,

где прилагаемое осевое растяжение изменяется со временем и где прилагаемое осевое растяжение уменьшается со временем.

15. Способ скалывания оптоволокна, включающий:

обеспечение начальной трещины на поверхности оптоволокна;

5 приложение первоначальной силы, чтобы инициировать распространение трещины; приложение к оптоволокну осевого растяжения таким образом, чтобы получить стабильное разрастание трещины с целью получения сколотой торцевой поверхности, в котором осевое растяжение прилагают для получения коэффициента интенсивности напряжений для трещины на оптоволокне, который равен или ниже критического

10 коэффициента интенсивности напряжений и который обеспечивает стабильное разрастание трещины.

16. Способ по п. 15, в котором коэффициент интенсивности напряжений находится в пределах от  $0,750 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  до  $0,35 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ .

15 17. Способ по п. 14, в котором прилагают осевое растяжение, уменьшающееся по мере распространения трещины.

18. Способ по п. 14, в котором скорость распространения трещины такова, что торцевая поверхность имеет оптически качественную поверхность, не требующую полирования.

20 19. Способ по п. 15, в котором скорость распространения трещины такова, что торцевая поверхность имеет оптически качественную поверхность, не требующую полирования.

20. Способ по п. 15, в котором прилагают осевое растяжение, уменьшающееся во времени.

25

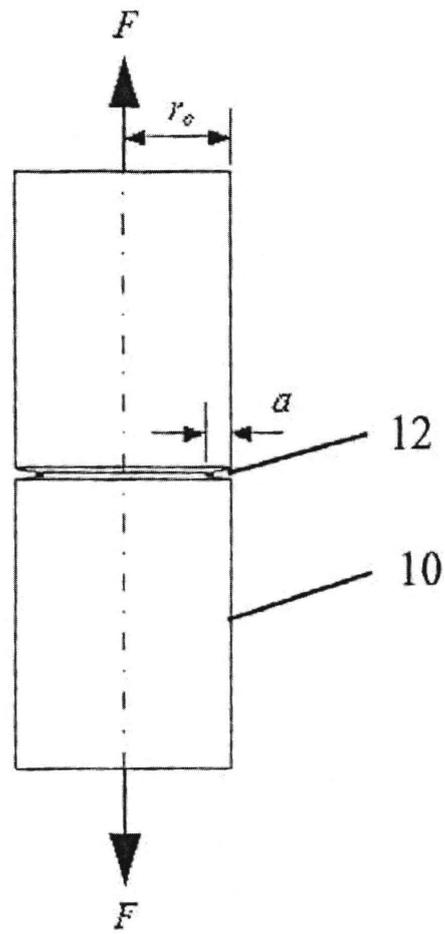
30

35

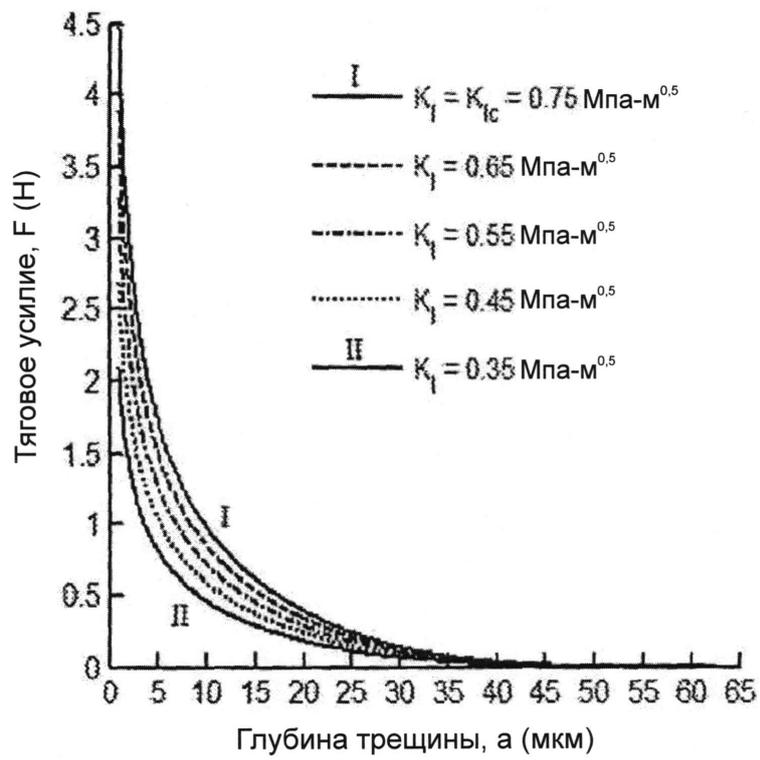
40

45

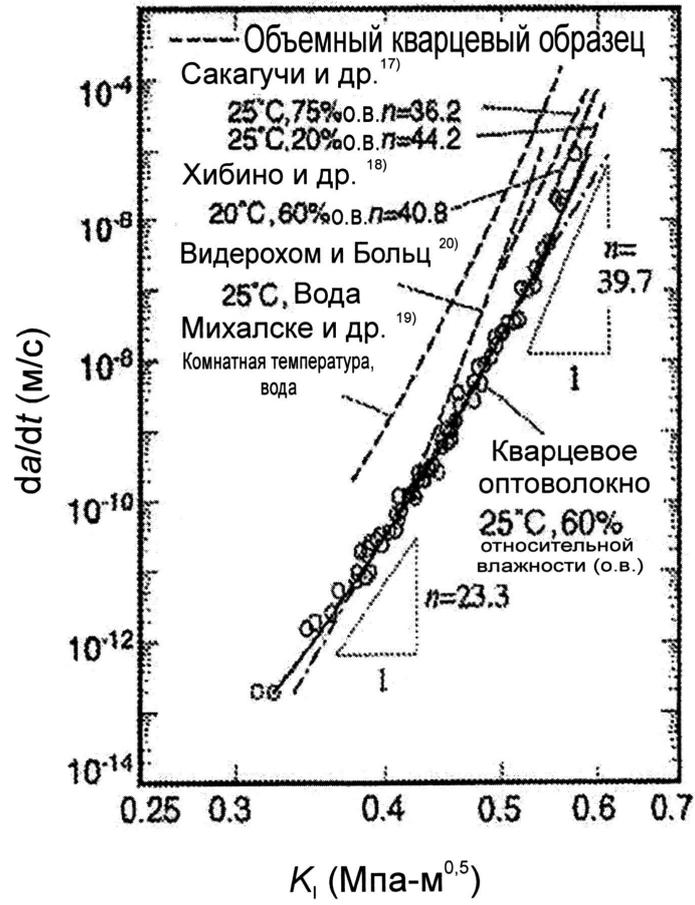
1/5



Фиг. 1

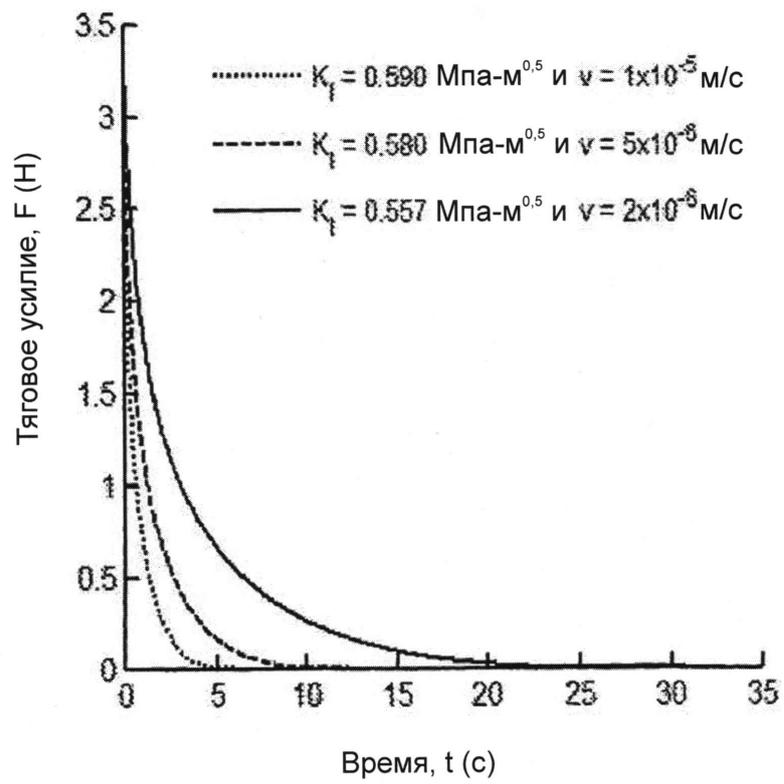


Фиг. 2



Фиг. 3

4/5

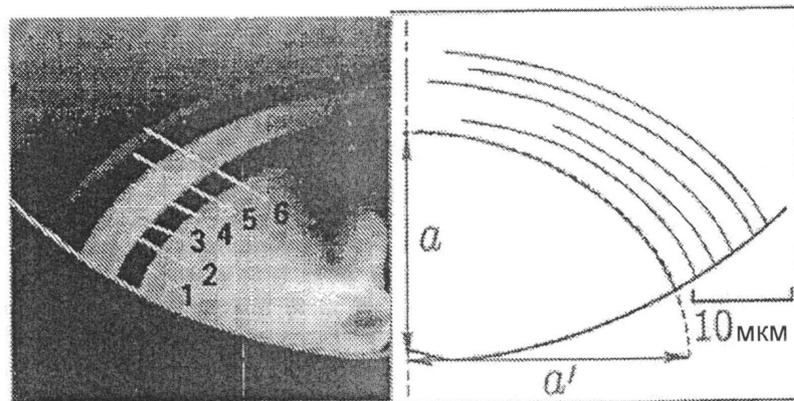


Фиг. 4

5/5



(A)



(B)

Фиг. 5