



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013143694/03, 27.09.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.09.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.09.2013

(45) Опубликовано: 10.01.2015 Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2433091 C1, 10.11.2011. RU 2284969 C2, 10.10.2006. RU 2169710 C2, 27.06.2001. US 7486862 B2, 03.02.2009. US 7905114 B1, 15.03.2011

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, нач. пат.
отдела, пат. поверенному N 1439 М.М.
Скобелеву

(72) Автор(ы):

Борцов Александр Анатольевич (RU),
Ильин Юрий Борисович (RU),
Карачёв Александр Анатольевич (RU),
Пнев Алексей Борисович (RU),
Карасик Валерий Ефимович (RU),
Барышников Николай Васильевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация, от имени которой
выступает Министерство промышленности
и торговли Российской Федерации
(МИНПРОМТОРГ РОССИИ) (RU)

(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА, ЛЕГИРОВАННОГО АЗОТОМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области волоконной оптики и, в частности, к формированию заготовок волоконных световодов осаждением из газовой фазы. Техническим результатом изобретения является разработка режима изготовления заготовок для волоконных световодов на основе легированного азотом кварцевого стекла с обеспечением стабилизации и плавного управления температуры в области плазменного столба опорной трубки в диапазоне от 1000°C до 1950°C, с сокращением времени установления требуемой температуры трубки и с повышенной точностью подстройки температуры. Способ изготовления заготовок включает подачу в опорную трубку смеси молекулярных газовых реагентов, содержащих атомы азота, кислорода и кремния, возбуждение в ней разряда СВЧ, формирование плазменного столба, обеспечение его сканирования вдоль опорной трубки и осаждение продуктов протекающей в смеси

реакции на внутренней поверхности опорной трубки. Дополнительно во вторую опорную трубку подают смесь молекулярных газовых реагентов, возбуждают в ней разряд СВЧ, формируют плазменный столб, осуществляют его сканирование вдоль опорной трубки, осаждение продуктов реакции на внутренней поверхности опорной трубки, синхронное перемещение плазменных столбов в первой и второй опорных трубках, передачу мощности от области плазменного столба второй опорной трубки к области плазменного столба первой опорной трубки, измерение и регулирование температуры поверхности первой опорной трубки путем изменения передаваемой мощности от области плазменного столба второй опорной трубки к области плазменного столба первой опорной трубки в зависимости от измеренной температуры. 11 з.п. ф-лы. 2 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 537 450** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
C03B 37/018 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2013143694/03, 27.09.2013**

(24) Effective date for property rights:
27.09.2013

Priority:

(22) Date of filing: **27.09.2013**

(45) Date of publication: **10.01.2015** Bull. № 1

Mail address:

**105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja ul., 5, str. 1,
MG TU im. N.Eh. Baumana, TsZIS, nach. pat. ot dela,
pat. poverennomu N 1439 M.M. Skobelevu**

(72) Inventor(s):

**Bortsov Aleksandr Anatol'evich (RU),
Il'in Jurij Borisovich (RU),
Karachev Aleksandr Anatol'evich (RU),
Pnev Aleksej Borisovich (RU),
Karasik Valerij Efimovich (RU),
Baryshnikov Nikolaj Vasil'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Rossijskaja Federatsija, ot imeni kotoroj
vystupaet Ministerstvo promyshlennosti i
torgovli Rossijskoj Federatsii
(MINPROMTORG ROSSII) (RU)**

(54) **METHOD OF MANUFACTURING WORKPIECES FOR OPTICASING ON NITROGEN-DOPED QUARTZ GLASS**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: method of manufacturing workpieces includes supply of mixture of molecular gas reagents, containing nitrogen, oxygen and silicon atoms into support tube, excitation of UHF discharge in it, formation of plasma column, provision of its scanning along support tube and precipitation of products of reaction, taking place in mixture, onto internal surface of support tube. Mixture of molecular gas reagents is additionally supplied into second support tube, UHF discharge is excited in it, plasma column is formed, its scanning along support tube is realised, precipitation of reaction products on internal surface of support tube, synchronous movement of plasma columns in first and second support tubes, transmission

of power from region of plasma column of second support tube to region of plasma column of first support tube, measurement and regulation of temperature of first support tube surface by measurement of transmitted power from region of plasma column of second support tube to region of plasma column of first support tube depending on measured temperature, are carried out.

EFFECT: elaboration of mode of manufacturing optical fibres on the basis of nitrogen-doped quartz glass with provision of stabilisation and smooth control of temperature in region of plasma column of support tube, with reduction of time for installation of required tube temperature and with increased accuracy of temperature adjustment.

12 cl, 2 dwg

RU 2 537 450 C1

RU 2 537 450 C1

Область техники

Изобретение относится к области волоконной оптики и, в частности, к формированию заготовок волоконных световодов осаждением из газовой фазы.

Уровень техники

5 Известен ряд волоконных структур на основе кварцевого стекла и способов изготовления волоконных световодов различных типов (одномодовые, многомодовые, силовые и т.д.) и составов: MCVD (Modified Chemical Vapour Deposition), OVD (Outside Vapour Deposition), VAD (Vapour-Phase Axial Deposition), PMCV (Plasma MCVD), PCVD, POD (Plasma Outside Deposition), PICVD (Plasma Impulse CVD), SPCVD (Surface Plasma
10 CVD).

Известен способ изготовления заготовок для волоконных световодов на основе кварцевого стекла (патент US 4877938 «Plasma activated deposition of an insulating material on the interior of a tube» (МПК C03B 37/018; H05B 6/80, опубл. 31.10.1989), включающий нагрев опорной трубки, подачу в опорную трубку смеси молекулярных газовых
15 реагентов, возбуждение в ней СВЧ-разряда и осаждение продуктов протекающей в смеси реакции на внутренней поверхности опорной трубки.

Недостатком этого способа является значительная продольная неоднородность температуры опорной поверхности и, как следствие, невозможность получения заготовок стекла с требуемыми качеством.

20 Известен способ изготовления заготовки волоконных световодов, путем плазмохимического гетерогенного осаждения слоев оболочки и сердцевины на внутреннюю поверхность высококачественной опорной кварцевой трубы большого диаметра из газовой фазы в СВЧ-разряде пониженного давления на поверхностной волне при модуляции СВЧ-мощности и последующего схлопывания опорной кварцевой
25 трубы с осажденными слоями в штабик-заготовку (Патент РФ 2112756 «СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА», МПК C03B 37/018, G02B 6/16, опубл. 10.06.1998). В его основе лежит формирование кварцевых заготовок волоконных световодов путем плазмохимического синтеза слоев кварцевого стекла, легированных азотом на
30 внутренней поверхности опорной кварцевой трубы по технологии SPCVD (Патент FR 2628730 «Apparatus for making preforms for optical fibres», (МПК C03B 37/018; G02B 6/00, опубл. 29.06.1990) (патенты-аналоги: US 4944244 и EP 0333580).

Недостатком структуры формируемых заготовок и световодов на основе кварцевого стекла является то, что в нем не определено соотношение кремния и кислорода, поступающих в реактор в составе газовой смеси. Это делает невозможным обеспечение
35 технологического режима вхождения азота в кварцевое стекло для получения заданной разности Δn показателей преломления сердцевины и оболочки.

Наиболее близким аналогом является способ изготовления заготовок для волоконных световодов на основе кварцевого стекла, раскрытый в патенте РФ 2433091 «СПОСОБ
40 ИЗГОТОВЛЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК ОДНОМODOVЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ И ЗАГОТОВКИ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ДАННЫМ СПОСОБОМ» (МПК C03B 37/018, G02B 6/16, опубл. 10.11.2011), в котором подают в опорную трубку смесь молекулярных газовых реагентов, возбуждают в ней разряд СВЧ, формируют плазменный столб, обеспечивают его
45 сканирование вдоль опорной трубки, и осаждают продукты протекающей в смеси реакции на внутренней поверхности опорной трубки. При этом вдоль опорной трубки осуществляют измерение температуры ее поверхности и обеспечивают регулирование температуры поверхности опорной трубки путем изменения мощности плазменного

столба в зависимости от измеренной температуры.

Недостатки способа прототипа следующие:

- стабилизация температуры в области плазменного столба недостаточно быстрая и недостаточно точная, поскольку не применяется автоматическая система регулирования температуры заготовки с системой регистрирующих и управляющих температурой элементов, образующих кольцо обратной связи;

- существует значительная продольная неоднородность температуры поверхности опорной трубки при сканировании плазменного столба вдоль трубки (под параметром продольной неоднородности температуры понимается отношение между максимальной и минимальной величинами температуры вдоль продольного сечения опорной трубки к средней температуре опорной трубки при прохождении реакции осаждения, при этом продольная неоднородность температуры поверхности опорной трубки определяется температурой газов, подаваемых в трубку, скоростью их подачи, окружающим продольным распределением температуры вне опорной трубки и др.);

- отсутствует возможность плавного управления вдоль опорной трубки «длиной» области плазменного столба, поскольку вдоль опорной трубки отсутствуют регистрирующие температуру элементы, нет регулирующей системы обратной связи с элементами управления и не проводится изменение мощности СВЧ по времени при сканировании плазменного столба;

- недостаточно высокий КПД процесса (в данном случае под КПД понимается отношение полезной мощности, затрачиваемой на нагрев основной опорной трубки, к общей затраченной СВЧ мощности, подаваемой в основную опорную трубку; часть СВЧ мощности в прототипе расходуется избыточно, поскольку отсутствует система автоматической подстройки температуры опорной трубки, и потери СВЧ мощности при этом могут составлять более 80%).

Эти недостатки делают невозможным обеспечение технологического режима с требуемыми параметрами и качеством вхождения азота в кварцевое стекло для получения заданной разности Δn показателей преломления сердцевины и оболочки в поперечном и продольном сечениях опорной трубки.

Раскрытие изобретения

Задачей заявленного изобретения является разработка технологического режима изготовления заготовок для волоконных световодов на основе легированного азотом кварцевого стекла с обеспечением стабилизации и плавного управления температуры в области плазменного столба опорной трубки, преимущественно в диапазоне от 1000°C до 1950°C, с сокращением времени установления требуемой температуры трубки (под временем установления требуемой температуры трубки понимается время между моментом времени включения СВЧ мощности и моментом времени установления заданной температуры трубки, время установления зависит от температуры окружающей среды, температуры и скорости подаваемых в трубку газов, нестабильности СВЧ мощности и др.) и с повышенной точностью подстройки температуры, а также с возможностью плавного управления «длиной» области плазменного столба вдоль опорной трубки и увеличения общего КПД процесса реакций, и, как следствие, с более высококачественным обеспечением заданного распределения содержания азота в заготовках в продольном и поперечном сечениях.

Поставленная задача решается тем, что, предлагаемый способ изготовления заготовок для волоконных световодов на основе кварцевого стекла, легированного азотом, включает подачу в опорную трубку смеси молекулярных газовых реагентов, содержащих в своем составе атомы азота, кислорода и кремния, возбуждение в ней разряда СВЧ,

формирование плазменного столба, обеспечение его сканирования вдоль опорной трубки и осаждение продуктов протекающей в смеси реакции на внутренней поверхности опорной трубки. При этом дополнительно во вторую опорную трубку, заранее установленную рядом с вышеуказанной первой опорной трубкой, подают смесь молекулярных газовых реагентов, возбуждают в ней разряд СВЧ, формируют плазменный столб, осуществляют его сканирование вдоль второй опорной трубки, осаждение продуктов протекающей в смеси реакции на внутренней поверхности второй опорной трубки, синхронное перемещение плазменных столбов в первой и второй опорных трубках, передачу мощности от области плазменного столба второй опорной трубки к области плазменного столба первой опорной трубки, измерение и регулирование температуры поверхности первой опорной трубки путем изменения передаваемой мощности от области плазменного столба второй опорной трубки к области плазменного столба первой опорной трубки в зависимости от измеренной температуры. Также регулированием температуры поверхности первой опорной трубки могут обеспечивать и стабилизацию этой температуры.

Во вторую опорную трубку преимущественно подают смесь молекулярных газовых реагентов, содержащих в своем составе атомы азота, кислорода и кремния. Причем во вторую опорную трубку преимущественно подают смесь молекулярных газовых реагентов, содержащих тот же состав атомов газовых реагентов (азота, кислорода и кремния), что и состав газовых реагентов, подаваемый в первую опорную трубку.

Разряд СВЧ возбуждают в первой опорной трубке, подводя с разных концов первой опорной трубки СВЧ-мощность от первого генератора СВЧ и второго генератора СВЧ, а во второй опорной трубке возбуждают разряд СВЧ, подводя с разных концов второй опорной трубки СВЧ-мощность от второго генератора СВЧ и третьего генератора СВЧ. Также сканирование плазменного столба вдоль первой и второй опорных трубок осуществляют изменением мощности второго генератора СВЧ по периодическому закону, например, в диапазоне частот от 10 до 150 Гц. Изменение передаваемой мощности от области плазменного столба второй опорной трубки к области плазменного столба первой опорной трубки осуществляют посредством изменения мощности третьего генератора СВЧ.

Между поверхностью первой опорной трубки и поверхностью второй опорной трубки могут размещать управляемый аттенюатор, посредством перестройки которого осуществляют изменение передаваемой мощности от области плазменного столба второй опорной трубки к области плазменного столба первой опорной трубки.

Измерение температуры поверхности первой опорной трубки могут осуществлять с помощью М измерителей температуры, размещенных вдоль первой опорной трубки. Также возможен дополнительный нагрев первой трубки за счет расположенных вдоль нее нагревательных элементов.

Также дополнительно рядом с первой опорной трубкой могут предварительно установить еще N дополнительных опорных трубок, в каждую из которых затем подают смесь молекулярных газовых реагентов (обычно такую же, как в первую и вторую трубки), возбуждают разряд СВЧ, формируют плазменный столб, обеспечивают его сканирование вдоль каждой дополнительной опорной трубки, осаждают продукты протекающей в смеси реакции на их внутренней поверхности. При этом обеспечивают перемещение плазменных столбов в каждой из N дополнительных опорных трубок, синхронное с перемещением плазменных столбов в первой и второй опорных трубках, причем N дополнительных опорных трубок устанавливают относительно первой опорной трубки таким образом, чтобы обеспечить передачу мощности от области их

плазменных столбов к области плазменного столба первой опорной трубки. Для регулирования температуры вдоль первой опорной трубки дополнительно используют изменение передаваемой мощности от области плазменного столба каждой из дополнительных N опорных трубок к области плазменного столба первой опорной трубки в зависимости от измеренной температуры. Также каждую из N дополнительных опорных трубок и вторую опорную трубку лучше всего устанавливать параллельно первой опорной трубке и по кругу вокруг нее.

Благодаря предлагаемому способу за счет стабилизации температуры в области плазменного столба, с помощью передаваемой СВЧ мощности происходит плавное управление температурой и более чем на 30% сокращается время установления требуемой температуры и более чем на 30% улучшается точность подстройки температуры (т.к. для управления реакцией используется СВЧ мощность электрического поля от второй опорной трубки) и более чем на 30% уменьшается продольная неоднородность температуры поверхности опорной трубки при сканировании плазменного столба вдоль трубки, а также появляется возможность плавного управления «длиной» (вдоль опорной трубки) области плазменного столба, и общий КПД процесса реакций увеличивается более чем на 5%.

За счет стабилизации температуры в области плазменного столба с помощью передаваемой СВЧ электрической мощности внутри опорной трубки улучшается распределение содержания азота в заготовках в продольном сечении (прим.: контроль и управление содержанием азота с относительной точностью менее 1% по длине заготовки (в данном случае под точностью понимается отношение максимальной величины отклонений содержания азота от его средней величины к средней величине содержания азота на заданном отрезке длины), приводят к улучшению ряда параметров оптического волокна, например, к снижению оптических потерь более чем на 5%) и поперечном сечении, и, как следствие, обеспечивается требуемое значение разности показателей преломления Δn в продольном и поперечном сечениях заготовки и улучшается однородность заготовки.

Перечень фигур

На фиг.1 показан базовый вариант выполнения устройства для реализации способа изготовления заготовок для волоконных световодов.

На фиг.2 показан второй дополненный вариант выполнения указанного устройства.

Осуществление изобретения

На фиг.1 представлено устройство, реализующее заявляемый способ. Устройство содержит опорную трубку 1 из кварцевого стекла, в которую поступает смесь молекулярных газовых реагентов 2 через вход 3. Рядом с первой опорной трубкой 1 размещена вторая опорная трубка 19, в которую подают смесь молекулярных газовых реагентов 2 через делитель 20 и вход 21. Устройство так же содержит первый генератор СВЧ 4, второй генератор СВЧ 12 и третий генератор СВЧ 17. Выход первого генератора СВЧ 4 соединен со входом делителя 5, первый выход которого соединен с первым входом третьего генератора СВЧ 17, а второй выход через волновод 6 соединен с согласующим устройством 8. Выход второго генератора СВЧ 12 соединен со входом модулятора 13, управляемого генератором низкой частоты 16. Выход модулятора 13 соединен с входом делителя 14, первый выход которого соединен со входом согласующего устройства 15, а второй выход - с входом согласующего устройства 35. Выход третьего генератора СВЧ 17 соединен с согласующим устройством 34. Для регистрации температуры в различных областях поверхности опорной трубки 1 размещены измерители температуры 29, 30, 31 и 32, соединенные, соответственно, с

входами 1-4 устройства обработки 28, выход которого соединен со входом устройства управления 33. Выход устройства управления 33 соединен со вторым входом третьего генератора СВЧ 17 и по связи 37 с управляемым аттенуатором 36. В результате в устройстве образуется система обратной связи, включающая устройство обработки 28 и устройство управления 33.

Для регистрации температуры в различных областях поверхности опорной трубки 1 размещают измерители температуры 29, 30, 31 и 32. Сигналы со всех измерителей температуры 29, 30, 31 и 32 поступают соответственно на входы 1-4 устройства обработки 28, выход которого соединен со входом устройства управления 33. Выход устройства управления 33 соединен со вторым входом третьего генератора СВЧ 17, выход которого соединен с согласующим устройством 34. В результате измерения температуры вдоль поверхности первой опорной трубки посредством системы обратной связи, включающей устройство обработки 28 и устройство управления 33, происходит управление мощностью третьего генератора СВЧ и аттенуатором 36. Посредством перестройки аттенуатора 36 и изменения мощности третьего генератора 17, соединенных с управляющим устройством 33 обратной связью, в зависимости от измеренной температуры осуществляется изменение передаваемой мощности от области плазменного столба 26 второй опорной трубки 19 к области плазменного столба 10 первой опорной трубки 1, что приводит к изменению температуры области плазменного столба первой опорной трубки.

Устройство на фиг.2 дополнительно содержит расположенные рядом с первой опорной трубкой вдоль нее дискретные нагревательные элементы 42, 43, 44, 45, например, в виде спиральных колец, горелок и т.п.), температура которых регулируется с помощью соответствующих управляющих блоков 38, 39, 40, и 41, соединенных с устройством обработки 28. Использование дополнительных нагревательных элементов позволяет дополнительно улучшить возможность стабилизации температуры вдоль первой опорной трубки и уменьшить время выхода на заданный температурный режим.

Способ осуществляют следующим образом.

В опорную трубку 1 из кварцевого стекла поступает смесь молекулярных газовых реагентов 2 под давлением в несколько мм рт.ст. через вход 3. С одной стороны в опорную трубку 1 от первого генератора СВЧ 4 через делитель 5, волновод 6 и согласующее устройство 8 подводится поток СВЧ мощности 7. При этом внутри опорной трубки 1 распространяется поверхностная электромагнитная волна 9, которая вступает во взаимодействие со смесью молекулярных газовых реагентов 2. С противоположной стороны в опорную трубку 1 от второго генератора СВЧ 12 через модулятор 13, делитель 14, волновод и согласующее устройство 15 подводится другой поток СВЧ мощности. В противоположном направлении распространяется поверхностная электромагнитная волна, которая вступает во взаимодействие со смесью молекулярных газовых реагентов 2. В результате взаимодействия двух поверхностных электромагнитных волн в смеси молекулярных газовых реагентов в опорной трубке 1 возникает и поддерживается стационарный разряд, формирующий плазменный столб 10.

В качестве смеси молекулярных газовых реагентов 2 используют осушенные кислород O_2 и азот N_2 вместе с тетрахлоридом кремния $SiCl_4$. Смесью молекулярных газовых реагентов 2, попадая в область плазменного столба 10, испытывают химические превращения, благодаря появлению в смеси молекулярных газовых реагентов 2 активных радикалов, которые "нарабатываются" в смеси молекулярных газовых реагентов 2 из невозбужденных молекул при их взаимодействии с "горячими"

электронами" плазмы (плазменного столба 10). В результате тетрахлорид кремния превращается в оксид кремния, который адсорбируется стенками опорной трубки и доокисляется в результате гетерогенной реакции с участием азот-содержащих радикалов до диоксида кремния, формируя, таким образом, зону осаждения 11 легированного кварцевого стекла.

Изменением подводимой от второго генератора СВЧ 12 мощности изменяется положение плазменного столба 10 относительно начала опорной трубки 1 и реализуется режим сканирования зоны осаждения 11 вдоль опорной трубки 1 и, тем самым, осуществляется режим послойного осаждения на ее внутренней поверхности. Рядом с первой опорной трубкой 1 размещают вторую опорную трубку 19, в которую подают смесь молекулярных газовых реагентов 2 через делитель 20 и через вход 21 под давлением в несколько мм рт.ст. С одной стороны во вторую опорную трубку 19 от третьего генератора СВЧ 17, синхронизированного с первым генератором СВЧ 4, через согласующее устройство 34 подводится поток СВЧ мощности. При этом внутри второй опорной трубки 19 распространяется поверхностная электромагнитная волна 25, которая вступает во взаимодействие со смесью молекулярных газовых реагентов 2. С противоположной стороны второй опорной трубки от второго генератора СВЧ 12 через модулятор 13, делитель 14 и согласующее устройство 35 подводится другой поток СВЧ мощности и распространяется поверхностная электромагнитная волна в противоположном направлении, которая вступает во взаимодействие со смесью молекулярных газовых реагентов 2. В результате взаимодействия двух поверхностных электромагнитных волн в смеси молекулярных газовых реагентов во второй опорной трубке 19 возникает и поддерживается стационарный разряд, формирующий плазменный столб 26.

В соответствии с изменением подводимой от второго генератора СВЧ 12 мощности, меняется положение плазменного столба 26 вдоль второй опорной трубки 19 и реализуется синхронное с плазменным столбом первой трубки сканирование плазменного столба вдоль второй опорной трубки посредством изменения мощности второго генератора по периодическому закону с частотой в диапазоне от 10 до 150 Гц и, тем самым, осуществляется режим послойного осаждения на внутренней поверхности второй опорной трубки. Например, для изготовления заготовки для волоконного световода с оболочкой из нелегированного кварцевого стекла, сердцевиной из стекла, легированного азотом, и величиной $\Delta n = 0,02$ первую опорную трубку диаметром 20 мм и толщиной стенок 2 мм нагревают до температуры 1250°C. В опорную трубку подают смесь 2 с химическим составом $\text{SiCl}_4 + \text{O}_2 + \text{N}_2$ при полном давлении 1 мм рт.ст. СВЧ-мощность 7 изменяют в диапазоне от 1 кВт до 5 кВт. Требуемый уровень легирования стекла азотом получают при соотношении массовых расходов $[\text{SiCl}_4]:[\text{O}_2]=0,92$ и $[\text{O}_2]:[\text{N}_2]=0,5$. При этом отношение поступающих в реактор в единицу времени атомов кислорода и кремния составляет 2,2, а отношение азота и кислорода равно 2.

При этом обеспечивается плавное управление температурой, обычно в диапазоне температур от 1000°C до 1950°C, точность подстройки температуры составляет от 0,5°C до 25°C (примечание: под точностью понимается разность температур между температурой заготовки до подстройки и температурой после проведения подстройки), время установления требуемой температуры - от 1 до 100 секунд, ориентировочная величина КПД - от 15 до 20%.

Для сравнения, по авторским экспертным оценкам, в способе прототипа продольная неоднородность температуры поверхности опорной трубки, может составлять от 25°C

до 250°C, время установления требуемой температуры заготовки - от 100 до 1000 секунд и более, так как в прототипе не существует автоматической регулировки температуры.

В предлагаемом способе при введении системы обратной связи регулирования температуры путем регистрации и управления температурой опорной трубки
 5 осуществляется более экономный расход СВЧ мощности; а при достижении заданной температуры СВЧ мощность, вводимая в опорную трубку, снижается и за счет этого достигается более экономный расход СВЧ мощности в целом в опорной трубке; в прототипе же нет системы регулирования - и этого снижения СВЧ мощности не происходит; в результате ориентировочные величины КПД в способе-прототипе могут
 10 составлять от 5 до 10%, а в предлагаемом способе: КПД - от 15 до 20%.

Таким образом, в результате предлагаемого способа достигается существенно лучшая стабилизация температуры в области плазменного столба, обеспечивается плавное управление температурой, сокращение времени установления требуемой температуры и повышение точности ее подстройки, возможность плавного управления вдоль опорной
 15 трубки «длиной» области плазменного столба и увеличение общего КПД процесса реакций, что обеспечивает высокое качество заданного распределения содержания азота в продольном и поперечном сечениях заготовок для волоконных световодов на основе кварцевого стекла, легированного азотом.

20 Формула изобретения

1. Способ изготовления заготовок для волоконных световодов на основе кварцевого стекла, легированного азотом, включающий подачу в опорную трубку смеси молекулярных газовых реагентов, содержащих в своем составе атомы азота, кислорода и кремния, возбуждение в ней разряда СВЧ, формирование плазменного столба,
 25 обеспечение его сканирования вдоль опорной трубки и осаждение продуктов протекающей в смеси реакции на внутренней поверхности опорной трубки, отличающийся тем, что дополнительно подают смесь молекулярных газовых реагентов во вторую опорную трубку, заранее установленную рядом с вышеуказанной первой опорной трубкой, возбуждают во второй опорной трубке разряд СВЧ, формируют
 30 плазменный столб, осуществляют его сканирование вдоль второй опорной трубки, осаждение продуктов протекающей в смеси реакции на внутренней поверхности второй опорной трубки, синхронное перемещение плазменных столбов в первой и второй опорных трубках, передачу мощности от области плазменного столба второй опорной трубки к области плазменного столба первой опорной трубки, измерение температуры
 35 поверхности и регулирование температуры поверхности первой опорной трубки путем изменения передаваемой мощности от области плазменного столба второй опорной трубки к области плазменного столба первой опорной трубки в зависимости от измеренной температуры.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что регулированием температуры поверхности первой опорной трубки обеспечивают стабилизацию температуры вдоль первой опорной
 40 трубки.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что во вторую опорную трубку подают смесь молекулярных газовых реагентов, содержащих в своем составе атомы азота, кислорода и кремния.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что во вторую опорную трубку подают смесь молекулярных газовых реагентов, содержащих тот же состав атомов газовых реагентов, что и состав газовых реагентов, подаваемый в первую опорную трубку.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что возбуждают разряд СВЧ в первой опорной

трубке, подводя с разных концов первой опорной трубки СВЧ мощность от первого генератора СВЧ и второго генератора СВЧ, а во второй опорной трубке возбуждают разряд СВЧ, подводя с разных концов второй опорной трубки СВЧ-мощность от второго генератора СВЧ и третьего генератора СВЧ.

5 6. Способ по п.5, отличающийся тем, что сканирование плазменного столба вдоль первой и второй опорных трубок осуществляют изменением мощности второго генератора СВЧ по периодическому закону с частотой в диапазоне от 10 до 150 Гц.

7. Способ по п.6, отличающийся тем, что изменение передаваемой мощности от области плазменного столба второй опорной трубки к области плазменного столба
10 первой опорной трубки осуществляют посредством изменения мощности третьего генератора СВЧ.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что между поверхностью первой опорной трубки и поверхностью второй опорной трубки размещают управляемый аттенуатор, посредством перестройки которого осуществляют изменение передаваемой мощности
15 от области плазменного столба второй опорной трубки к области плазменного столба первой опорной трубки.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что измерение температуры поверхности первой опорной трубки осуществляют с помощью M измерителей температуры, размещенных вдоль первой опорной трубки.

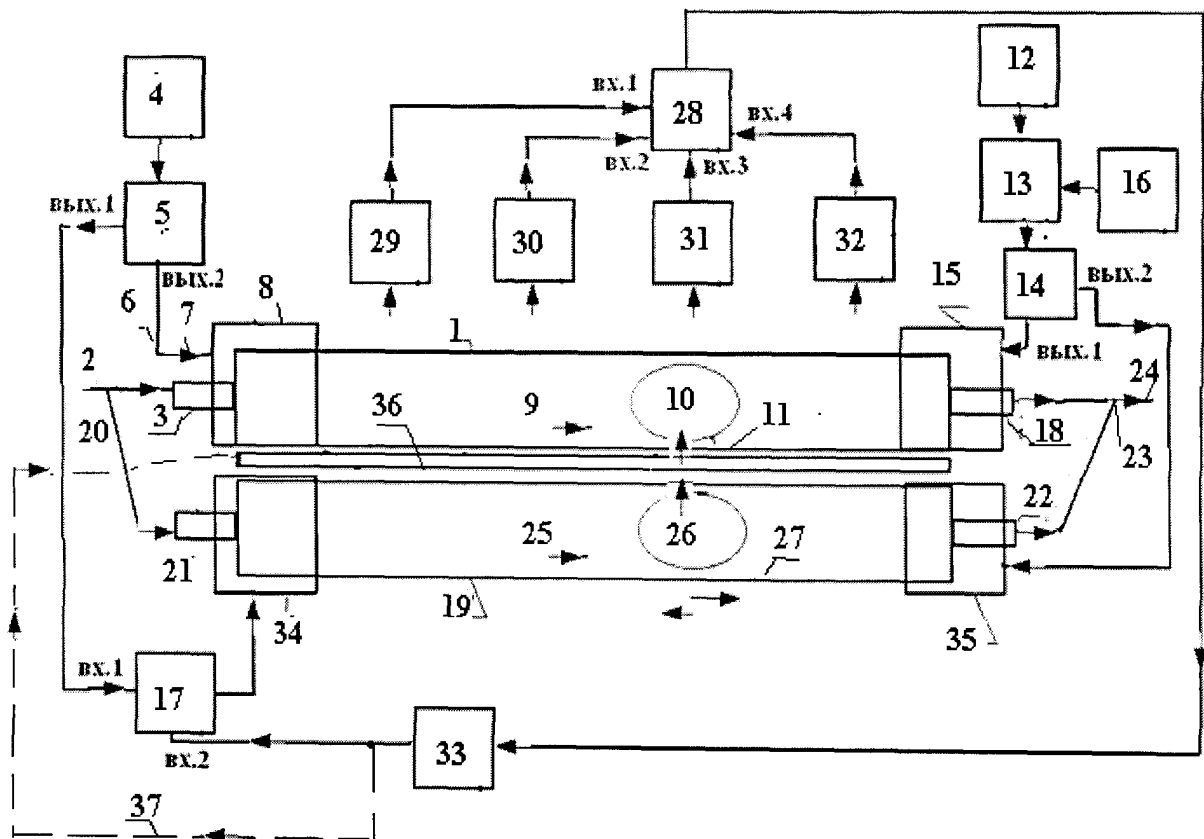
20 10. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют нагрев первой трубки за счет расположенных вдоль нее нагревательных элементов.

11. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно рядом с первой опорной трубкой заранее устанавливают N дополнительных опорных трубок, в каждую из которых затем подают смесь молекулярных газовых реагентов, возбуждают разряд
25 СВЧ, формируют плазменный столб, обеспечивают его сканирование вдоль каждой дополнительной опорной трубки, осаждают продукты протекающей в смеси реакции на их внутренней поверхности, при этом обеспечивают перемещение плазменных столбов в каждой из N дополнительных опорных трубок, синхронное с перемещением плазменных столбов в первой и второй опорных трубках, причем N дополнительных
30 опорных трубок устанавливают относительно первой опорной трубки таким образом, чтобы обеспечить передачу мощности от области их плазменных столбов к области плазменного столба первой опорной трубки, а для регулирования температуры вдоль первой опорной трубки дополнительно используют изменение передаваемой мощности от области плазменного столба каждой из дополнительных опорных трубок к области
35 плазменного столба первой опорной трубки в зависимости от измеренной температуры.

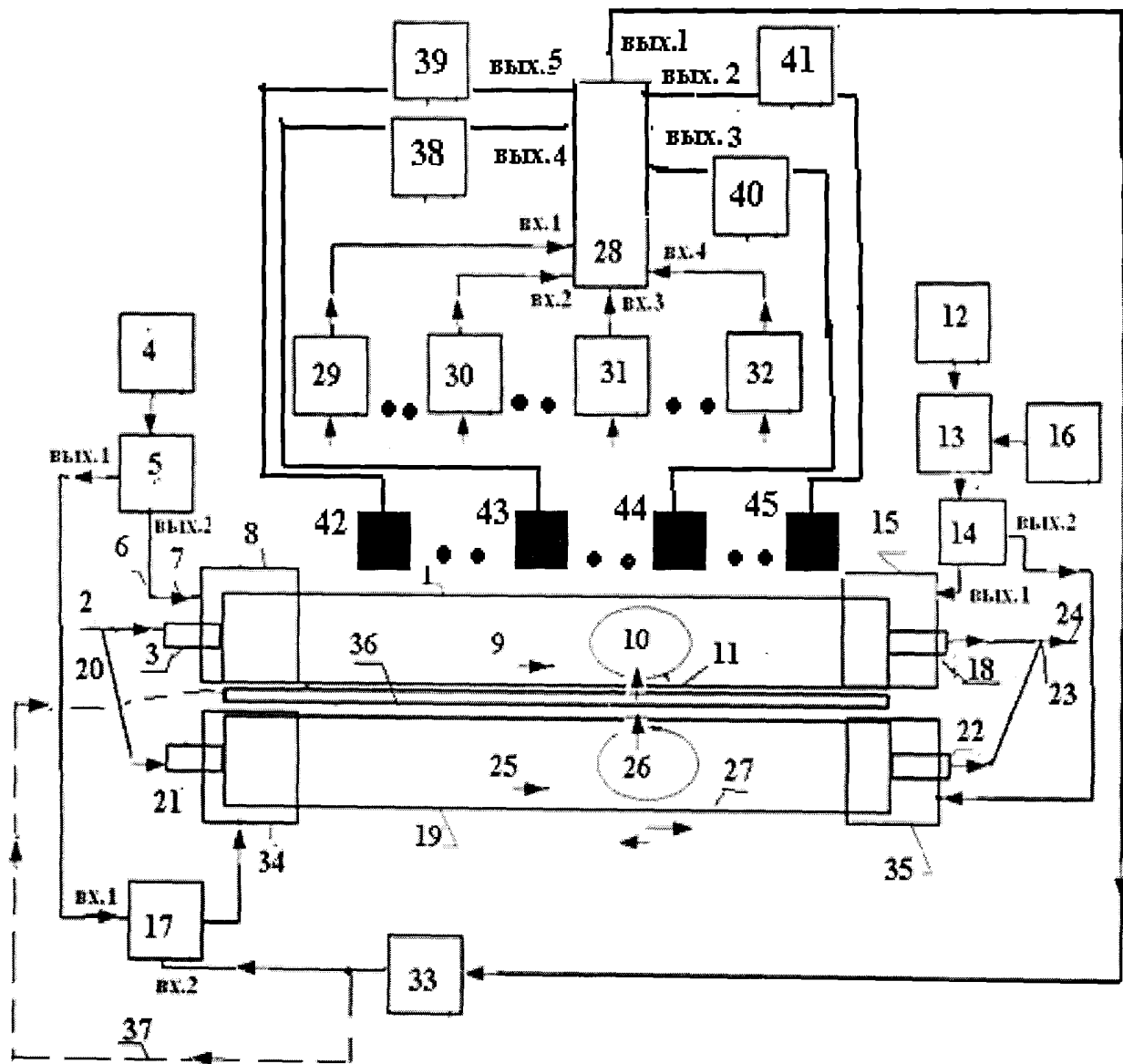
12. Способ по п.11, отличающийся тем, что каждую из N дополнительных опорных трубок и вторую опорную трубку устанавливают параллельно первой опорной трубке и по кругу вокруг нее.

40

45



Фиг.1



Фиг.2