

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 10660

(13) С1

(46) 2008.06.30

(51) МПК (2006)

С 03В 8/02

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГИРОВАННОГО КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

(21) Номер заявки: а 20050093

(22) 2005.01.28

(43) 2006.08.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого" (ВУ)

(72) Авторы: Бойко Андрей Андреевич;
Подденежный Евгений Николаевич;
Стоцкая Оксана Анатольевна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого" (ВУ)

(56) ВУ 1861 С1, 1997.

ВУ 3675 С1, 2000.

ВУ 4830 С1, 2002.

WO 03/048058 А1.

EP 0433643 А1, 1991.

SU 1749185 А1, 1992.

US 5019146, 1991.

(57)

1. Способ получения легированного кварцевого стекла по золь-гель процессу, включающий получение гидролизата тетраэтилортосиликата в виде золя путем гидролиза тетраэтилортосиликата водным раствором соляной кислоты, введение в гидролизат тетраэтилортосиликата наполнителя и легирующей добавки, получение геля, сушку и термообработку, **отличающийся** тем, что получают гидролизат тетраэтилортосиликата, содержащий 18 мас. % диоксида кремния, в качестве наполнителя вводят монодисперсный золь диоксида кремния, содержащий 30 мас. % диоксида кремния, при этом объемное отношение гидролизат тетраэтилортосиликата : монодисперсный золь диоксида кремния составляет 0,2-0,5, а в качестве легирующей добавки вводят гидрозоль оксида металла или гидрозоль гидроксида металла общей формулы $M_xO(OH)_y$.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что монодисперсный золь диоксида кремния получают ионообменным методом из жидкого натриевого или калиевого стекла.

3. Способ по п. 1 или 2, **отличающийся** тем, что гидрозоль оксида металла получают методом пептизации осадков.

Изобретение относится к способам производства кварцевого стекла по золь-гель технологии, а конкретно к получению кварцевого стекла, легированного редкоземельным элементом или переходным металлом, и может быть использовано при изготовлении оптического стекла, в том числе окрашенного, в виде заготовок и оптических элементов, например светофильтров.

Известен способ получения золь-гель методом больших монолитов SiO_2 , содержащих переходные металлы, применяемый для изготовления светофильтров, заключающийся в гидролизе алкилсиликата в кислой среде, получении золя, введении растворимой в воде соли металла, гелеобразовании, сушке и термообработке геля до получения оптического монолита [1].

В известном способе образуют золь гидролизом тетраметоксисилана в присутствии метиловой кислоты и неосаждаемой соли переходного металла (нитрата или ацетата). Благодаря присутствию метиловой кислоты, предотвращается выпадение осадка легирующей

ВУ 10660 С1 2008.06.30

соли на стадиях золя и гелеобразования. Это позволяет получить оптические монолиты и окрашенное кварцевое стекло с переходными металлами с атомными номерами с 21 по 28. Формирование геля и его созревание осуществляют в закрытых формах при температуре 60-90 °С, а затем проводят высокотемпературную сушку и термообработку геля. Однако возможность получения легированного кварцевого стекла для каждого из элементов 21-28 обусловлена свойствами метиловой кислоты, уникальностью ее действия. Сложность синтеза метиловой кислоты, дефицитность и необходимость организации ее производства ограничивают применение известного способа. Но и при использовании метиловой кислоты существуют ограничения технологии, препятствующие получению оптически однородного стекла. В их числе: высокое содержание примеси углерода в оптических монолитах; большое влияние продолжительности термообработки и ее температуры на окраску и однородность монолита; выпадение осадка при использовании, например, соли меди, а значит, получение оптических неоднородностей при изготовлении монолита (кварцевого стекла, легированного медью); растрескивание монолитов вследствие больших усадок геля, вызванных отсутствием твердого наполнителя, приводящее к росту числа бракованных оптических монолитов.

Известен также способ получения кварцевого стекла, включающий гидролиз тетраэтилортосиликата водным раствором соляной кислоты (HCl), образование золя, введение в него тонкодисперсного порошка кремнезема, доведение рН полученного золь-коллоида до 5-6 добавлением слабого основания, гелеобразование, выдержку геля в водном растворе легирующей добавки, его сушку и термообработку до состояния кварцевого стекла [2].

В известном способе гель выдерживают в деионизованной воде, а затем в 0,01-0,02N растворе плавиковой кислоты (HF) в деионизованной воде в течение 1-1,5 ч, причем время выдержки в деионизованной воде пропорционально массе блока геля. Выдержка в деионизованной воде обеспечивает уменьшение растрескивания гелей и стекла на стадиях сушки и спекания, а выдержка в растворе плавиковой кислоты согласно изобретению - протравливание геля, его поверхностных слоев, что также уменьшает вероятность растрескивания стекла. Введение в гель легирующей добавки (иона фтора) способствует удалению связанной воды на стадиях термообработки и спекания, что снижает вероятность вспенивания и образования пузырьков. В результате этого получается кварцевое стекло достаточно высокой степени чистоты, легированное фтором. Однако выход годных изделий зависит от концентрации легирующей добавки, от времени выдержки в воде и растворе HF, от последовательности режимов выдержки. Так, выдержка блока геля в деионизованной воде более расчетного времени ведет к растрескиванию заготовок геля при сушке. Выдержка в растворе плавиковой кислоты с концентрацией большей, чем заявленная концентрация, и/или за время, большее расчетного времени, также приводит к разрушению структуры геля и уменьшению выхода годных изделий. В силу этого известный способ не обеспечивает возможность применения других добавок с целью получения высококачественного легированного кварцевого стекла. При получении блоков геля большой массы время, необходимое для диффузии фтора вглубь геля, может оказаться недостаточным, что приводит к неоднородности показателя преломления по объему блока стекла, ограничивает возможности использования стекла при изготовлении из него изделий. Для обеспечения однородного распределения иона фтора по блоку геля необходимо длительное время, превышающее 1,5 ч, что приводит к растрескиванию блоков и образованию трещин в стекле. С другой стороны, при недостатке времени на диффузию фтора возрастает вероятность неоднородного распределения легирующей добавки по объему блока, т.е. возможно возникновение технического противоречия, связанного с необходимостью обеспечения качества оптического стекла как за счет уменьшения его разрушения (растрескивания), так и за счет уменьшения вероятности возникновения неоднородностей оптических свойств, обусловленных не только неравномерностью распределения легирующей добавки, но и возникновением неоднородностей структуры (например пузырей). Таким образом, легирование геля путем выдержки его в водном растворе легирующей добавки требует учета вида добавки, влияния ее на показатели качества оптического стекла. В соответствии с вышеизложенным, известный способ позволяет получить кварцевое стекло небольших размеров и только легированное фтором, т.е. стекло одного вида.

Известен способ получения золь-гель методом монолитов SiO_2 , содержащих переходные металлы и редкоземельные элементы групп Ia, IIa, IIIb, IVb, Vb, VIb, VIIb, VIII, Ib, IIb, IIIa, IVa и Va периодической системы элементов, применяемый для изготовления кварцевых изделий больших размеров, заключающийся в гидролизе тетраэтилортосиликата в щелочной среде, получении золя, введении карбоксилата металла, гелеобразовании, сушке и термообработке геля до получения легированного кварцевого стекла [3].

В известном способе получают золь гидролизом тетраэтилортосиликата в щелочной среде в присутствии этанола и карбоксилата металла общей формулы - $\text{M}[\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COO}]_m$. С целью уменьшения усадок проводят концентрирование полученного золя при 65°C в течение 30 ч. Для ускорения гелеобразования применяют плавиковую (HF) или кремнийфтористоводородную (H_3SiF_4) кислоты. Сформированный гель созревает при комнатной температуре в течение 40 дней, затем проводят высокотемпературную обработку, причем время нагрева от комнатной температуры до температуры стеклования (1200°C) составляет 50 ч. Однако возможность получения легированного кварцевого стекла высокой степени однородности обусловлена применением карбоксилатов металлов. Сложность синтеза карбоксилатов металлов, дефицитность и в большинстве случаев необходимость организации их производства ограничивают применение известного способа. Однако и при использовании сложных соединений металлов существуют ограничения технологии, препятствующие улучшению качества оптического монолита, в их числе: высокое содержание примеси углерода в оптических монолитах, большое влияние плавиковой и кремнийфтористоводородной кислот, применяемых для ускорения гелеобразования, поскольку при превышении концентрации в процессе термообработки образуются фториды металлов, которые кластеризуются, приводя к оптическим неоднородностям. Кроме того, необходимость концентрирования золя, а также длительность процессов созревания, сушки и термообработки, растрескивание монолитов вследствие больших усадок геля, вызванных отсутствием наполнителя, приводящее к росту числа бракованных оптических монолитов, делает процесс дорогим, длительным, экономически невыгодным.

Наиболее близким к заявляемому по технической сущности является способ получения легированного кварцевого стекла по золь-гель процессу, включающий образование золя гидролизом тетраэтилортосиликата водным раствором соляной кислоты, введение в золь наполнителя и легирующей добавки (неорганической соли металла, растворимой в водно-спиртовой среде), образование геля, сушку и термообработку до состояния кварцевого стекла [4].

Согласно способу-прототипу, гель выдерживают в растворе с молярным соотношением "легирующая добавка : вода" в течение времени, определяемого из формулы: $t = k \frac{m}{R}$, причем время выдержки пропорционально массе геля и обратно пропорционально растворимости в воде. Выдержка в растворе не позволяет мигрировать ионам металла к поверхности, обеспечивая однородность распределения легирующей примеси по всему объему геля, а низкое давление пара (не выше 5 мм рт. ст.) легирующей соли позволяет при термообработке получить однородное по оптическим свойствам кварцевое стекло. В известном способе выход годных изделий зависит от концентрации легирующей добавки, от времени выдержки в среде и от вида самой добавки. Так, выдержка блока геля в растворе менее или более расчетного времени приводит к концентрированию легирующей примеси на поверхности геля, что не обеспечивает однородность распределения примеси, кроме того, ограниченность применения растворимых в водно-спиртовой среде неорганических солей металлов (имеющих давление пара в интервале температур термообработки не более 5 мм рт. ст.) ограничивает использование известного способа, поскольку требует синтеза определенного класса соединений, что приводит к удорожанию готового изделия.

Задачей настоящего изобретения является получение легированного кварцевого стекла повышенной степени однородности по золь-гель технологии с высоким процентом выхода годных изделий.

Поставленная задача решается тем, что при получении легированного кварцевого стекла по золь-гель процессу, включающему получение гидролизата тетраэтилортосили-

ВУ 10660 С1 2008.06.30

ката в виде золя водным раствором соляной кислоты, введение в гидролизат тетраэтилорто-тосиликата наполнителя и легирующей добавки, получение геля, сушку и термообработку, согласно изобретению, получают гидролизат тетраэтилорто-тосиликата, содержащий 18 мас. % диоксида кремния, в качестве наполнителя вводят монодисперсный золь диоксида кремния, содержащий 30 мас. % диоксида кремния, при этом объемное соотношение гидролизат тетраэтилорто-тосиликата : монодисперсный золь диоксида кремния составляет 0,2-0,5, а в качестве легирующей добавки вводят гидрозоль оксида металла или гидрозоль гидроксида металла общей формулы $M_xO(OH)_y$, при этом монодисперсный золь диоксида кремния получают ионообменным методом из жидкого натриевого или калиевого стекла и гидрозоль оксида металла получают методом пептизации осадков.

Использование в качестве наполнителя монодисперсного золя диоксида кремния, полученного ионообменным методом из жидкого (натриевого или калиевого) стекла, позволяет получать гели с однородной структурой и узким распределением пор по размерам, поскольку частицы SiO_2 в наполнителе имеют размер $12,6 \pm 0,5$ нм, т.е. практически монодисперсны, и, кроме того, представляют собой частицы сферической формы, а гидролизат тетраэтилорто-тосиликата в данном случае выступает в качестве связующей фазы для этих частиц. Малый размер частиц и их узкое распределение по размерам приводит к снижению температуры спекания на $150^\circ C$. Использование легирующей добавки в виде гидрозоля оксидов металлов позволяет применять гелеобразователи различного типа, поскольку они не выпадают в осадок, что приводит к повышению однородности распределения легирующей примеси по объему геля и соответственно к улучшению оптических свойств легированного кварцевого стекла, а также увеличению процента выхода годных изделий.

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом.

На начальном этапе проводят подготовку исходных зольей.

Золь диоксида кремния с концентрацией SiO_2 18 мас. %, полученный гидролизом тетраэтилорто-тосиликата (ТЭОС), формируют следующим образом: проводят гидролиз ТЭОС водным раствором соляной кислоты.

Монодисперсный золь диоксида кремния получают ионообменным методом из жидкого (натриевого или калиевого) стекла (содержание SiO_2 составляет 30 мас. %, средний размер частиц $12,6 \pm 0,5$ нм).

Золь оксида металла получают путем пептизации осадков гидрооксидов азотной кислотой из растворимых в воде неорганических солей (обычно хлоридов, нитратов) водным раствором аммиака. При этом получают стабильный гидрозоль оксида металла.

После приготовления исходных ингредиентов получают смешанный золь путем смешивания монодисперсного золя диоксида кремния с золем гидроксида металла в заданном соотношении, стабилизируют его путем добавления водного раствора аммиака до значения рН 11,5-12. Затем в полученную смесь при перемешивании добавляют золь диоксида кремния, полученный гидролизом в количестве, взятом из интервала объемных соотношений "гидролизат ТЭОС : монодисперсный золь диоксида кремния" 0,2-0,5, доводят рН смеси до 6,0-6,5 водным раствором аммиака. Смесь разливают во фторопластовые, плотно закрывающиеся литьевые формы, выдерживают в формах в течение 20-30 мин до образования геля. После образования геля формы открывают и помещают гели в деионизованную воду для промывки и удаления спирта на период 1-3 ч. Затем осуществляют сушку полученных гелей в пористых контейнерах в термошкафу при температуре $50 \pm 5^\circ C$. Высушенные гели подвергают высокотемпературной обработке при $1000-1050^\circ C$ в течение 1 ч до получения прозрачного легированного кварцевого стекла с однородным распределением примеси, без трещин, вздутий и пузырей.

Ниже приведены примеры реализации заявляемого способа, а также примеры, подтверждающие выбор объемного соотношения "гидролизат ТЭОС : монодисперсный диоксид кремния" в интервале 0,2-0,5.

Пример 1.

Для получения легированного кварцевого стекла, например, оксидом церия поступают следующим образом. Для приготовления золя диоксида кремния гидролизом ТЭОС с кон-

ВУ 10660 С1 2008.06.30

центрацией SiO_2 18 мас. % берут 90 мл 0,01N HCl и при интенсивном перемешивании доливают 80 мл ТЭОС.

Перемешивание ведут в течение 30 мин. Полученный золь имеет $\text{pH} = 1$.

Для приготовления золя гидроксида металла готовят два раствора: А1 и А2. Для приготовления раствора А1 берут 10 мл NH_4OH (10 %), 20 мл H_2O_2 (100 %) и 20 мл H_2O и смешивают. Раствор А2 готовят следующим образом: 1 г $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ доливают до 50 мл H_2O и размешивают. Затем раствор А2 вливают при интенсивном перемешивании в раствор А1. Полученный бордово-коричневый раствор оставляют до получения осадка. Через сутки промывают осадок 3-4 раза деионизованной водой. Затем по каплям добавляют HNO_3 до растворения осадка. Полученный золь гидроксида церия имеет $\text{pH} = 1$.

После приготовления золь формируют смешанный золь. Для этого в 20 мл золя диоксида кремния, полученного гидролизом ТЭОС, добавляют 2 мл золя гидроксида церия (золь Z1). В 20 мл золя монодисперсного диоксида кремния, полученного ионно-обменным методом, добавляют раствор аммиака до $\text{pH} = 12$ (золь Z2). Затем делают серию образцов (по 10 шт., диски \varnothing 40 мм, толщиной 5 мм) при разном соотношении "гидролизат тетраэтилоортосиликата : монодисперсный золь диоксида кремния" (табл. 1). При этом pH смешанного золя равен 6-6,5.

После гелеобразования образцы помещают в деионизованную воду на 3 ч. После этого образцы извлекают из форм, помещают в пористые контейнеры и ставят в термощкаф на 2-3 суток для сушки при температуре 50 ± 5 °С. После сушки образцы подвергают термообработке в муфельной печи на воздухе по программе: подъем температуры до 600 °С со скоростью 200 °/ч, выдержка при 600 °С 1 ч, подъем температуры до 1050 °С со скоростью 250 °/ч, выдержка - 1 ч. Результаты термообработки приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, при соотношении, меньшем заявляемого, не формируется плотная структура геля и образцы растрескиваются на стадиях сушки и спекания, а при соотношении выше заявляемого количество золя, полученного гидролизом ТЭОС, высоко, а следовательно, содержание гидроксил-ионов в образцах возрастает, что приводит к вспениванию, кроме того, температура стеклования составляет 1050 °С, что ниже на 150 °С по сравнению с прототипом.

Таблица 1

Серия	Соотношение гидролизат ТЭОС : монодисперсный золь	pH смеси	Время гелеобразования, мин	Количество годных заготовок после сушки	Количество годных изделий после стеклования	Примечание
1	0,1	6,7	1	8	0	после сушки часть образцов треснула, после спекания все образцы растрескались
2	0,2	6,0	20	10	10	однородные, прозрачные образцы желтого цвета
3	0,3	6,0	25	10	10	то же
4	0,4	6,5	30	10	10	то же
5	0,5	6,5	30	10	10	то же
6	0,6	6,5	30	10	0	все образцы вспенились

Пример 2.

Пример 2 проводили аналогично примеру 1. Отличие - в получении золя гидроксида церия. Раствор А2 готовили с меньшей концентрацией частиц гидроксида церия, т.е. брали 0,5 г $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Результаты приведены в табл. 2.

ВУ 10660 С1 2008.06.30

Как видно из табл. 2, при соотношении, меньшем заявляемого, не формируется плотная структура геля и образцы растрескиваются на стадиях сушки и спекания, а при соотношении выше заявляемого количество золя, полученного гидролизом ТЭОС, высоко, а следовательно, содержание гидроксил-ионов в образцах возрастает, что приводит к вспениванию, кроме того, температура стеклования составляет 1050 °С, что ниже на 150 °С по сравнению с прототипом.

Таблица 2

Серия	Соотношение гидролизат ТЭОС : монодисперсный золь	рН смеси	Время гелеобразования, мин	Количество годных заготовок после сушки	Количество годных изделий после стеклования	Примечание
1	0,1	6,8	1	7	0	после сушки часть образцов треснула, после спекания все образцы растрескались
2	0,2	6,2	30	10	10	однородные, прозрачные образцы светло-желтого цвета
3	0,3	6,0	30	10	10	то же
4	0,4	6,3	25	10	10	то же
5	0,5	6,5	20	10	10	то же
6	0,6	6,5	20	10	0	все образцы вспенились

Пример 3.

Получение легированного празеодимом кварцевого стекла.

Пример 3 проводили аналогично примеру 1. Отличием примера 3 является то, что готовили золь гидроксида празеодима. Для этого для приготовления раствора А2 брали 1 г $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Результаты приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, при соотношении, меньшем заявляемого, не формируется плотная структура геля и образцы растрескиваются на стадиях сушки и спекания, а при соотношении выше заявляемого количество золя, полученного гидролизом ТЭОС, высоко, а следовательно, содержание гидроксил-ионов в образцах возрастает, что приводит к вспениванию, кроме того, температура стеклования составляет 1050 °С, что ниже на 150 °С по сравнению с прототипом.

Таблица 3

Серия	Соотношение гидролизат ТЭОС : монодисперсный золь	рН смеси	Время гелеобразования, мин	Количество годных заготовок после сушки	Количество годных изделий после стеклования	Примечание
1	0,1	6,8	3	8	0	после сушки часть образцов треснула, после спекания все образцы растрескались.
2	0,2	6,4	22	10	10	однородные, прозрачные образцы светло-салатового цвета
3	0,3	6,2	20	10	10	то же
4	0,4	6,3	25	10	10	то же
5	0,5	6,5	30	10	10	то же
6	0,6	6,5	30	10	0	все образцы вспенились

ВУ 10660 С1 2008.06.30

Пример 4.

Пример 4 проводили аналогично примеру 3. Отличием примера 4 является то, что готовили золь гидроксида празеодима. Для приготовления раствора А2 брали 1,5 г $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Серия	Соотношение гидролизат ТЭОС : монодисперсный золь	рН смеси	Время гелеобразования, мин	Количество годных заготовок после сушки	Количество годных изделий после стеклования	Примечание
1	0,1	7,0	0,5	6	0	после сушки часть образцов треснула, после спекания все образцы растрескались
2	0,2	6,5	27	10	10	однородные, прозрачные образцы салатого цвета
3	0,3	6,3	25	10	10	то же
4	0,4	6,3	25	10	10	то же
5	0,5	6,0	20	10	10	то же
6	0,6	6,0	20	10	0	все образцы вспенились

Как видно из табл. 4, при соотношении, меньшем заявляемого, не формируется плотная структура геля и образцы растрескиваются на стадиях сушки и стеклования, а при соотношении выше заявляемого количество золя, полученного гидролизом ТЭОС, высоко и, следовательно, содержание гидроксил-ионов в образцах возрастает, что приводит к вспениванию, кроме того, температура стеклования составляет 1050 °С, что ниже на 150 °С по сравнению с прототипом.

Пример 5.

Получение легированного железом кварцевого стекла.

Пример 5 проводили аналогично примеру 1. Отличием примера 5 является то, что готовили золь гидроксида железа (раствор А2) следующим образом: в колбу с 250 мл кипящей деионизованной воды наливают 10 мл 2 %-ного (мас.) раствора хлорида железа. Образовавшийся золь красно-коричневого цвета охлаждают до комнатной температуры и проводят эксперимент. Результаты приведены в табл. 5.

Таблица 5

Серия	Соотношение гидролизат ТЭОС : монодисперсный золь	рН смеси	Время гелеобразования, мин	Количество годных заготовок после сушки	Количество годных изделий после стеклования	Примечание
1	0,1	6,8	1	7	0	после сушки часть образцов треснула, после спекания все образцы растрескались
2	0,2	6,4	28	10	10	однородные, прозрачные образцы светло-коричневого цвета
3	0,3	6,3	25	10	10	то же
4	0,4	6,2	22	10	10	то же
5	0,5	6,0	20	10	10	то же
6	0,6	6,0	20	10	0	все образцы вспенились

ВУ 10660 С1 2008.06.30

Как видно из табл. 5, при соотношении, меньшем заявляемого, не формируется плотная структура геля и образцы растрескиваются на стадиях сушки и спекания, а при соотношении выше заявляемого количество золь, полученного гидролизом ТЭОС, высоко и, следовательно, содержание гидроксил-ионов в образцах возрастает, что приводит к вспениванию, кроме того, температура стеклования составляет 1050 °С, что ниже на 150 °С по сравнению с прототипом. Пример 5 также показывает, что заявляемый способ получения легированного кварцевого стекла пригоден и при использовании золь гидроксидов металлов, полученных не только способом пептизации, но и другими методами.

Приведенные в табл. 1-5 результаты подтверждают правильность выбранных соотношений "золь, полученный гидролизом ТЭОС : монодисперсный золь диоксида кремния".

Приведенные примеры показывают, что согласно заявляемому способу можно получать широкую номенклатуру кварцевых стекол, легированных редкоземельными элементами и переходными металлами, обладающих хорошими оптическими свойствами. Способ гарантирует высокий процент выхода годных заготовок легированного кварцевого стекла, что позволяет рекомендовать его для прямого изготовления оптических элементов и изделий (с минимальной или без дополнительной механической обработки).

Полученные кварцевые заготовки характеризуются низким коэффициентом линейного термического расширения, большой термостойкостью, стойкостью к тепловому удару, предполагают широкую гамму применений в оптике, квантовой электронике и технике специального назначения. Они могут использоваться в качестве оптических фильтров для устройств квантовой электроники, в частности систем накачки твердотельных лазеров, в светотехнике и фотографии, могут служить для защиты глаз и других объектов от вредного излучения.

Источники информации:

1. Патент США 4851373, МПК В 01J 13/00, С 03С 3/04, 1989.
2. А.с. СССР 1723054, МПК С 03В 8/02, 1992.
3. Патент США 5019146, МПК С 03В 19/06, 1991.
4. Патент РБ 1861, МПК С 03В 8/02, С 03В 20/00, 1997 (прототип).