

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



(19) **ВУ** (11) **8576**
(13) **С1**
(46) **2006.10.30**
(51)⁷ **С 03В 8/02, 20/00**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГИРОВАННОГО КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

(21) Номер заявки: а 20030907
(22) 2003.09.29
(43) 2005.03.30

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

(72) Авторы: Алексеенко Александр Анатольевич; Гурин Валерий Степанович; Прокопенко Виталий Борисович; Бойко Андрей Андреевич; Юмашев Константин Владимирович; Прокошин Павел Валерьевич; Золотовская Светлана Анатольевна (ВУ)

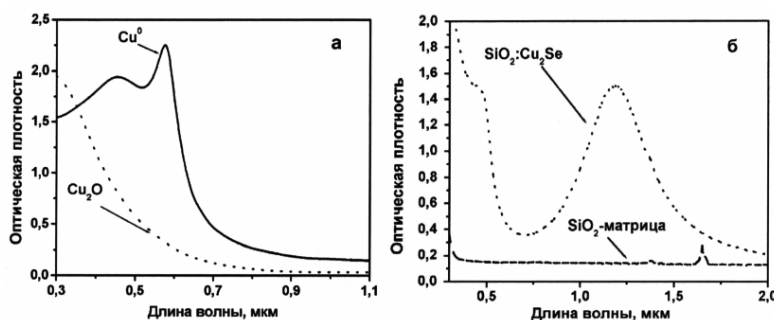
(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого" (ВУ)

(56) ВУ 1861 С1, 1997.
ВУ 3675 С1, 2000.
WO 84/02519 А1.
SU 1749185 А1, 1992.
EP 1132349 А1, 2001.
WO 93/12045 А1.
RU 2209188 С2, 2003.

(57)

1. Способ получения легированного кварцевого стекла, включающий приготовление геля, преобразование геля в ксерогель и последующую термообработку ксерогеля до образования стекла, **отличающийся** тем, что перед термообработкой осуществляют структурообразование ксерогеля путем его отжига при 800-1000 °С в течение 0,5-1,5 ч, проводят легирование отожженного ксерогеля в спиртовом растворе нитрата меди концентрацией $(1-3) \cdot 10^{-3}$ моль/л и сушку легированного ксерогеля, термообработку легированного ксерогеля проводят в два этапа, при этом на первом этапе осуществляют температурную выдержку ксерогеля в восстановительной атмосфере водорода, а на втором этапе проводят температурную выдержку ксерогеля в парах селена концентрацией 0,9 мг/см³ в замкнутом объеме.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что первый этап термообработки в атмосфере водорода осуществляют при 600 °С в течение 1 ч, а второй этап - при 1200 °С в течение 5-10 мин.



Фиг. 1

ВУ 8576 С1 2006.10.30

BY 8576 C1 2006.10.30

Изобретение относится к области формирования оптических силикатных материалов, а более конкретно - к способам получения кварцевого стекла, легированного наноразмерными частицами селенида меди, которое может быть использовано как функциональный материал в лазерной технике в качестве пассивных лазерных затворов с рабочей длиной волны 1,0-1,3 мкм.

Известен способ получения стекол, легированных наночастицами CdS и Cu_xS сложного состава [1-3]. CdS- Cu_xS -содержащие силикатные матрицы формируют посредством реакции химического обмена ионов меди с частицами CdS, сформированных на основе стекла известного состава, полученного путем плавления шихты.

Такие стекла обладают невысоким рабочим ресурсом и термостойкостью. Получение наночастиц заданного состава в таких стеклах является дорогостоящим, технологически сложным и трудоемким процессом.

Известен также способ легирования стекол сульфидами тяжелых металлов путем варки шихты состава (% по массе): SiO_2 -65, CaO-13, Na_2O -22 [4]. Оксиды металлов вводили в количестве 1 % с добавлением элементарной серы и древесного угля. Варка проводилась в кварцевых тиглях при $T = 1400$ °C в течение 4 ч, стекла отливали в слитки и выдерживали при $T = 540$ °C в течение 2 ч с последующим инерционным остыванием. Последующую "наводку" стекол осуществляли при 450-800 °C в течение 3 ч. При легировании стекол сульфидами Cu, Te, Bi, Pb был получен ряд светофильтров с крутой границей поглощения, перемещающейся в области 750-1500 нм.

В описываемом способе состав и размер частиц являются трудно контролируемыми параметрами. Технологические процессы получения стекол являются трудоемкими и дорогостоящими.

В работе [5] описан способ получения Cu-содержащих золь-гель стекол (до 0,5 мас. % $CuCl_2$ в золе). Стекла формировались путем спекания легированных ксерогелей на воздухе при $T = 1250$ °C с последующей обработкой в атмосфере водорода при $T = 800$ °C. Образование как двухвалентной, так и одновалентной меди для спеченных на воздухе образцов определялось по полосе поглощения с максимумом на 770 нм и интенсивному поглощению в УФ области спектра. После восстановительной обработки в водороде предварительно спеченных на воздухе образцов наблюдалось их окрашивание в красный цвет, появлялась выраженная полоса поглощения с максимумом 570 нм, что связывалось с формированием коллоидных частиц металлической меди.

Известным способом формируют только частицы оксида меди и коллоидной меди. Частицы коллоидной меди в описываемом способе формируют после образования монолитного золь-гель стекла, что не позволяет контролировать как размер, так и состав частиц (т.е. не позволяет говорить о полном химическом превращении оксидов меди в состояние коллоидных металлических частиц). Формирование известным способом частиц халькогенидов меди также является невозможным.

Наиболее близким к заявляемому способу по технической сущности является способ получения легированных кварцевых стекол, включающий приготовление золя, геля, преобразование геля в ксерогель и последующую термообработку ксерогеля до образования стекла. В указанном способе приготовление золя проводят путем гидролиза тетраэтилоксисиликата (ТЭОС) в присутствии соляной кислоты с последующим введением тонкодисперсного SiO_2 (аэросил), превращают золь в гель добавлением водного раствора аммиака до активности ионов водорода $pH = 5,5-6,5$, выдерживают образовавшийся гель в растворе легирующей добавки в деионизированной воде, сушат гелевые заготовки в термощкафу и проводят последующий отжиг в заданном температурном режиме до состояния монолитного кварцевого стекла. При этом легирующие добавки вводятся изначально в золь, а выдержка гелей осуществляется в промывочном растворе с молярным отношением "легирующая добавка/вода" = 1/1 [6].

ВУ 8576 С1 2006.10.30

Известный способ получения легированного кварцевого стекла основывается на совместном формировании структуры силикатной матрицы и оптически активных легирующих добавок. Получение монолитных стекол происходит путем нагревания легированных сухих гелей на воздухе со скоростью $100\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ с последующим финишным спеканием при $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч. В результате образуется композиционное стекло состава $\text{SiO}_2:\text{Me}_x\text{O}$. При синтезе таких стекол не используются технологические приемы, направленные на варьирование размера и стехиометрического состава введенных легирующих добавок. По этой причине проведение синтеза селенидов меди в матрице золь-гель стекла известным способом является технологически неосуществимой операцией.

Задачей, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является получение нового класса кварцевых золь-гель стекол, легированных полупроводниковыми наночастицами селенида меди. Поставленная задача решается тем, что в заявляемом способе получения легированного кварцевого стекла, включающем приготовление геля, преобразование геля в ксерогель и последующую термообработку ксерогеля до образования стекла, перед термообработкой осуществляют структурообразование ксерогеля путем его отжига при $800\text{-}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, проводят легирование отожденного ксерогеля в спиртовом растворе нитрата меди и сушку легированного ксерогеля. При этом термообработку ксерогеля проводят в два этапа: на первом этапе термообработки осуществляют температурную выдержку легированного ксерогеля в атмосфере водорода при $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на втором этапе термообработки проводят температурную выдержку ксерогеля в парах селена концентрацией $0,9\text{ мг}/\text{см}^3$ в замкнутом объеме при постепенном повышении температуры до $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ с выдержкой на конечной температуре в течение 5-10 мин.

Технический результат изобретения заключается в том, что сформированный класс кварцевых стекол, легированных наночастицами селенида меди, может быть использован как функциональный материал в лазерной технике для получения пассивных затворов для модуляции добротности и синхронизации мод лазеров с рабочей длиной волны $1,0\text{-}1,3\text{ мкм}$.

Сущность изобретения заключается в следующем.

Путем описанной ниже последовательности операций производится изготовление образцов, характеризующихся заявляемыми свойствами. В начале проводят гидролиз тетраэтилортосиликата (ТЭОС) водным раствором соляной кислоты. С помощью ультразвукового диспергирования при механическом перемешивании в течение 1 ч получают водную эмульсию тонкодисперсного порошка SiO_2 . Приготовленные растворы смешивают и центрифугируют в течение 1 ч (частота вращения $\omega_{\text{в}} = 3000\text{ об}/\text{мин}$) для осаждения нерастворимых продуктов поликонденсации. После этой операции получается золь, на основе которого в последствие происходит формирование стекла. С целью превращения золя в гель и получения гелевых заготовок проводят изменение рН золя путем добавления водного раствора аммиака. При изменении начального рН золя до величины не более 5,5 продолжительность процесса гелеобразования увеличивается (иногда до нескольких суток), что приводит к формированию непрочной и неоднородной структуры гелевой заготовки. В результате на стадии сушки и термообработки происходит растрескивание и расслоение геля (ксерогеля). При увеличении рН золя до величины более 6,5 происходит практически мгновенное гелеобразование, что приводит к замораживанию воздушных пузырей в структуре геля и неравномерному распределению внутренних напряжений (из-за чего происходит растрескивание гелевых заготовок при сушке). Таким образом, рН золя в интервале 5,5-6,5 определяет оптимальное время гелеобразования (0,5-1,5 ч), что способствует наилучшим условиям формирования структуры геля. При обработке высушенного геля на воздухе при $T = 800\text{-}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 0,5-1,5 ч, происходит формирование структуры ксерогеля с требуемой прочностью и пористостью. Уменьшение времени обработки менее 0,5 ч не приводит к необходимым структурным изменениям силикатного каркаса матрицы ксерогеля, в результате чего невозможно получить необходимые оптические

BY 8576 C1 2006.10.30

характеристики кварцевых золь-гель стекол. Увеличение времени обработки более 1,5 ч приводит к необратимым структурным изменениям ксерогеля, что не позволяет получить контролируемые оптические характеристики в формируемых кварцевых золь-гель стеклах.

При термообработке выше 1000 °С происходят необратимые изменения структуры ксерогелей (схлопывание и уменьшение количества открытых пор), что не позволяет формировать золь-гель стекла, содержащие наноразмерные частицы селенида меди.

Уменьшение температуры обработки менее 800 °С приводит к формированию ксерогелей с размерами пор больше их оптимальной величины, что отрицательно сказывается на оптических свойствах формируемых золь-гель стекол.

Введение меди в матрицу ксерогеля путем пропитки последней в спиртовом растворе нитрата меди позволяет обеспечить оптимальное распределение первичных частиц меди в системе открытых пор SiO₂-каркаса и, как следствие, в формируемом на его основе стекле, содержащем наночастицы селенида меди.

Легирование ксерогеля экспериментально установленной оптимальной концентрацией нитрата меди - $(1-3) \cdot 10^{-3}$ моль/л позволяет получать золь-гель стекла с требуемыми нелинейно-оптическими свойствами в заданном спектральном диапазоне (1,0-1,3 мкм). Превышение этой концентрации вызывает резкий рост оптической плотности образцов стекол, что определяет невозможность их использования в качестве оптических элементов. Уменьшение концентрации легирующей добавки приводит к исчезновению пика поглощения в области 1-1,3 мкм, вызываемого частицами селенида меди, что также обуславливает невозможность функционального использования сформированных образцов в указанном спектральном интервале.

При отжиге в восстановительной атмосфере водорода легированного ксерогеля происходит восстановление нитрата меди до металлической меди в виде коллоидных частиц, что определяет возможность ее дальнейшего перехода в селенид при взаимодействии с парами селена. При уменьшении времени обработки в восстановительной атмосфере менее 0,5 ч не происходит полного перехода соединений меди в состояние восстановленных коллоидных металлических частиц. При увеличении времени обработки в восстановительной атмосфере водорода более 1,5 ч происходит частичное термическое удаление меди из матрицы ксерогеля, что отрицательно сказывается на воспроизводимости требуемых оптических характеристик формируемых золь-гель стекол.

Спекание в замкнутом сосуде в парах селена при концентрации последнего 0,9 мг/см³ обеспечивает преобразование меди в селенид меди (Cu₂Se) и формирование полупроводниковых наночастиц селенида меди с размерами в пределах 10-150 нм, что приводит к требуемым нелинейно-оптическим свойствам.

Уменьшение количества селена в замкнутом сосуде не приводит к полному превращению меди в селенид и к заданному спектру поглощения. Превышение указанного количества селена приводит к переобогащению стекла элементарным селеном, что также вызывает нежелательное изменение спектра поглощения.

Таким образом, оптимальными технологическими параметрами, необходимыми для формирования золь-гель стекол, обладающих требуемыми нелинейно-оптическими свойствами, являются:

использование в качестве соли меди, вводимой в ксерогель, нитрата меди Cu(NO₃)₂·3H₂O (в аналоге - CuCl₂·2H₂O);

введение меди в структуру пор отожженной силикатной матрицы ксерогеля посредством пропитки последних в легирующем спиртовом растворе нитрата меди (в аналоге - легирующая соль меди вводится непосредственно в золь);

проведение термической обработки чистых ксерогелей на воздухе в пределах 800-1000 °С в течение 0,5-1,5 ч;

ВУ 8576 С1 2006.10.30

проведение восстановительной термообработки легированных ксерогелей в атмосфере водорода при $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч;

спекание ксерогельных заготовок, содержащих коллоидные частицы металлической меди, в герметичном кварцевом сосуде, содержащем пары селена концентрацией $0,9\text{ мг/см}^3$. При этом происходит формирование монолитных кварцевых золь-гель стекол, легированных наночастицами Cu_2Se .

На фиг. 1 приведены спектры поглощения легированного Cu_xO и Cu^0 (а), а также легированного наночастицами Cu_2Se и чистого кварцевого золь-гель стекла (б).

На фиг. 2 представлены микрофотографии монолитной стеклянной матрицы, содержащей наночастицы Cu_2Se (легирование ксерогеля до получения стекла проводилось в спиртовом растворе нитрата меди концентрацией $1 \cdot 10^{-3}$ (а) и $3 \cdot 10^{-3}$ (б) моль/л).

Пример конкретного выполнения способа получения легированного кварцевого стекла.

В начале проводят гидролиз ТЭОС водным раствором соляной кислоты. Процесс осуществляют до образования водно-спиртового гидролизата ТЭОС (золя). Затем отдельно приготавливают водную эмульсию тонкодисперсного порошка SiO_2 (техническое название - аэросил) путем ультразвукового диспергирования (с частотой 18 кГц , $P = 400\text{ Вт}$) при механическом перемешивании в течение 1 ч. Полученные растворы смешивают и посредством центрифугирования золь в течение 1 ч (частота вращения $\omega_b = 3000\text{ об/мин}$) осаждают нерастворимые продукты поликонденсации. Путем добавления водного раствора аммиака рН увеличивают до $5,5-6,5$. Нейтрализованный золь разливают по пластиковым формам (изготовленным из гидрофобного материала - полистирола либо фторопласта) и проводят операцию гелирования до формирования монолитных гельных заготовок. Гели промывают в течение суток в бидистиллированной воде для удаления остатков спирта и не прореагировавшего ТЭОС. Для получения ксерогельных заготовок проводят сушку гелей при $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в вентилируемом термошкафу в пористых картонных контейнерах для удаления большей части физически связанной воды. Затем сформированные ксерогели подвергают последовательной термообработке на воздухе для удаления остатков органических загрязнений (спирт, остатки не прореагировавшего ТЭОС), остатков сорбированной воды и получения в итоге силикатных матриц с заданным размером и системой открытых пор. После пропитки в легирующем спиртовом растворе нитрата меди (3 ммоль на 1 л спирта) проводят отжиг ксерогелей в восстановительной атмосфере водорода в течение 1 ч при температуре. Финишное спекание таких ксерогелей в запаянной кварцевой ампуле, содержащей элементарный Se, приводит к формированию монолитного золь-гель стекла, легированного наночастицами Cu_2Se . Температура окончательного спекания пористых заготовок до стекла составляла $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для получения сравнительных данных при прочих равных условиях по известным способам [6] и [5] изготавливались образцы стекла, легированные наночастицами оксида меди и металлической меди, соответственно.

Данные оптической спектроскопии были получены с использованием спектрофотометра "CARY-17D". Размер и морфология частиц в SiO_2 -матрице стекла изучались методом просвечивающей электронной микроскопии (электронный микроскоп "УЭМ-100ЛМ").

Оптический спектр поглощения чистой матрицы золь-гель стекла без легирующих добавок (фиг. 1) не имеет выраженных оптических особенностей в области $300-1500\text{ нм}$. Стекла в этом случае получали путем спекания чистой ксерогельной заготовки на воздухе при $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (10 мин).

В стеклах, сформированных согласно прототипу [6], наблюдается образование ионов меди Cu^+ , встроенных в силикатную золь-гель матрицу, и окисленных форм Cu_xO . При сравнительно низкой концентрации легирующих добавок синтезированные материалы представляли собой оптически однородные стекла, спектроскопические свойства которых определялись природой легирующих добавок (фиг. 1). Формирование таких стекол проводилось путем спекания ксерогелей, допированных ионами Cu^{2+} , на воздухе ($T_{\text{max}} \sim 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$)

до состояния монолитного стекла. При этом наблюдается практически полное встраивание частиц оксида меди в структуру SiO_2 -матрицы стекла (фиг. 1).

Для стекол, сформированных согласно технологическим режимам, приведенным в работе [5], т.е. путем обработки спеченных на воздухе золь-гель стекол, легированных наночастицами оксида меди, в восстановительной атмосфере водорода при $T = 800^\circ\text{C}$ в течение 1 часа наблюдается формирование частиц металлической меди (фиг. 2) размером 5-50 нм. В таких стеклах, содержащих наночастицы металлической меди, имеет место характерный максимум поглощения в области длин волн $\lambda \sim 570$ нм (фиг. 1).

При формировании в структуре стекла, согласно изобретению, наночастиц селенида меди наблюдается образование частиц (фиг. 2) с формой, близкой к сферической. Их концентрация в таких структурах составляет 10^{12} - 10^{13} см^{-3} , а размер частиц находится в интервале 10÷150 нм.

Ниже приводятся результаты экспериментальных данных по выявлению влияния технологических режимов получения кварцевых золь-гель стекол, легированных Cu_xSe на положение дополнительной полосы поглощения (табл. 1).

Образец № 1. К 100 мл ТЭОС добавляли 56 мл бидистиллированной H_2O и 1 мл водного раствора HCl . После интенсивного перемешивания в течение 15 мин получалась водно-спиртовая смесь поликремниевой кислоты. Отдельно смешивали 161 мл бидистиллированной H_2O с 30 г ультрадисперсного SiO_2 марки А-300 под действием ультразвука в течение 1 ч (с частотой 18 кГц) до образования гомогенного водного раствора. Затем эти два раствора перемешивали и проводили осаждение крупных агломератов частиц и нерастворимых продуктов процесса поликонденсации посредством центрифугирования сформированного золя в течение 1 ч при частоте вращения $\omega = 3000$ об/мин. Добавлением водного раствора аммиака повышали pH золя до интервала 5,5-6,5, разливали нейтрализованный золь в формы из фторопласта и выдерживали в течение 0,5 ч при комнатной температуре. По окончании реакции гелеобразования (по мере застывания золя и появления синерезисной жидкости) гели заливали бидистиллированной водой и промывали в течение 1 сут. в открытых пластиковых контейнерах для удаления не прореагировавшего ТЭОС и остатков спирта. Далее гели помещали в закрытые картонные контейнеры и сушили в вентилируемых термошкафах при $T = 40^\circ\text{C}$ в течение 7 суток. По достижении постоянного веса пористые SiO_2 -заготовки (ксерогели) вынимали из контейнеров и со скоростью подъема температуры $50^\circ\text{C}/\text{ч}$ отжигали до $T = 800^\circ\text{C}$.

Введение меди в ксерогели осуществляли путем пропитки в спиртовом растворе нитрата меди концентрацией $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л в течение 1 суток.

Далее проводили обработку ксерогелей в атмосфере водорода при $T = 600^\circ\text{C}$ в течение 1 ч. После этого ксерогели помещали в кварцевые ампулы, содержащие элементарный селен, запаивали и нагревали в течение 1 ч до $T = 1200^\circ\text{C}$ до образования монолитного золь-гель стекла, содержащего наночастицы Cu_2Se . Время выдержки при финишной температуре составляло 10 мин. Имеет место появление выраженного пика поглощения с максимумом на 1,17 мкм.

Образец № 2. Получение образца № 2 осуществляли аналогично образцу № 1. Отличие состояло в том, что температура отжига чистого ксерогеля составляла 600°C . Изменение пористой структуры ксерогеля и концентрации легирующих добавок определило невысокую интенсивность пика поглощения в сформированных золь-гель стеклах с максимумом на 1,15 мкм (табл. 1).

Образец № 3. Получение образца № 3 осуществляли аналогично образцу № 1. Отличие состояло в том, что концентрация нитрата меди в легирующем растворе составляла $3 \cdot 10^{-3}$ моль/л спирта. Увеличение концентрации меди привело к росту оптической плотности образца и сдвигу максимума поглощения до 1,2 мкм (табл. 1).

Основные технологические параметры формирования в матрице золь-гель стеклов наночастиц селенида меди.

Номер образца	Температура отжига ксерогеля, °С	Концентрация $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ в C_2H_5OH , ммоль/л	Температура обработки в водороде, °С	Содержание элементарного селена в ампуле, мг/см ³	Положение максимума пика поглощения, мкм
1	800	1	600	0,9	1,17
2	600	1			1,15
3	800	3			1,20
4	950	3			1,30
5	1000	3			1,10

Образец № 4. Получение образца № 4 осуществляли аналогично образцу № 1. Отличие состояло в том, что температура отжига чистого ксерогеля составляла 950 °С и концентрация нитрата меди в легирующем растворе составляла $3 \cdot 10^{-3}$ моль/л спирта. Изменение пористой структуры ксерогеля и концентрации легирующих добавок определило смещение пика поглощения в сформированных золь-гель стеклах (табл. 1) до 1,3 мкм.

Образец № 5. Получение образца № 5 осуществляли аналогично образцу № 1. Отличие состояло в том, что температура отжига чистого ксерогеля составляла 1000 °С и концентрация нитрата меди в легирующем растворе составляла $3 \cdot 10^{-3}$ моль/л спирта. Изменение пористой структуры ксерогеля и концентрации легирующих добавок вызвало смещение пика поглощения (табл. 1) до 1,1 мкм.

Исходя из полученных данных можно видеть (табл. 1), что различные режимы обработки дают различное положение полосы поглощения, обусловленной присутствием частиц селенида меди. Другими словами, получение силикатных матриц по золь-гель методу позволяет контролировать оптические свойства стекол, содержащих наночастицы Cu_2Se .

Изучение нелинейно-оптических характеристик стекол, содержащих такую полосу поглощения в ИК-области, показало возможность их использования в качестве пассивных затворов, обеспечивающих модуляцию добротности твердотельных лазеров, излучающих в спектральном диапазоне 1-1,3 мкм (табл. 2), с импульсной ламповой и непрерывной диодной накачкой. Эффективность модуляции добротности при этом составляет 1-10 %.

Таблица 2

Функциональные характеристики стекол с полупроводниковыми микрочастицами, применяемых как пассивные затворы для модуляции добротности и синхронизации мод лазеров с рабочей длиной волны $\lambda = 1-1,3$ мкм

существующие аналоги:

Стекланная матрица	Полупроводниковые частицы	Режим работы	Длина волны	Энергия в импульсе, Дж	Литература
Силикатная	$CuInS_{2(1-x)}Se_{2x}$	Синхронизация мод	1,064	$7,5 \cdot 10^{-5}$	[7]
Силикатная	PbS	Модуляция добротности	1,064 1,34	$1,96 \cdot 10^{-7}$ $7,5 \cdot 10^{-8}$	[8]
Силикатно-фосфатная		Синхронизация мод	1,064 1,34	$2,0 \cdot 10^{-5}$ $2,50 \cdot 10^{-4}$	

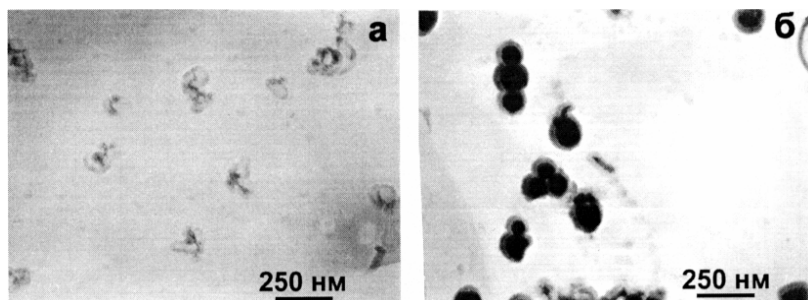
заявляемые образцы стекла:

Стекланная матрица	Полупроводниковые частицы	Режим работы	Длина волны, мкм	Энергия в импульсе, Дж
SiO_2	Cu_2Se	Модуляция добротности	1,064 1,34	$5,0 \cdot 10^{-3}$ $2,0 \cdot 10^{-3}$
		Синхронизация мод	1,064 1,34	$1,45 \cdot 10^{-4}$ $3,0 \cdot 10^{-5}$

Таким образом, в результате проведенных исследований разработан новый способ получения кварцевого золь-гель стекла, легированного наноразмерными частицами селенида меди, что обуславливает возможность его использования в качестве быстрорелаксирующих поглотителей (пассивных затворов) в существующих лазерных системах и установках, работающих в диапазоне длин волн 1-1,3 мкм и применяемых в качестве медицинского, телекоммуникационного и др. оборудования.

Источники информации:

1. Klimov V., Bolivar Haring P., Kurz H., Karavanskii V., Krasovskii V., Korkishko Yu. Linear and nonlinear transmission of Cu_xS quantum dots // *Appl. Phys. Lett.* - 1995. - V.67. - No 5. - P. 653-655.
2. Klimov V.I., Karavanskii V.A. Mechanisms for optical nonlinearities and ultrafast carrier dynamics in Cu_xS nanocrystals // *Phys. Rev. (b)*. - 1996. - V.54. - No 11. - P. 8087-8094.
3. Klimov V.I., Haring Bolivar P., Kurz H., Karavanskii V.A. Optical nonlinearities and carrier trapping dynamics in CdS and nanocrystals // *Superlat and Microstruct.* - 1996. - V.20 - No 3. - P. 395-404.
4. Кутолин С.А., Нейч А.И. Физическая химия цветного стекла. - М.: Стройиздат. - 1988. - С. 84.
5. Malashkevich G.E., Poddenezhny E.N., Melnichenko I.M., Boiko A.A., Gaishun V.E., Semchenko A.V., Strek W., Maruszewski K. Influence of saturation with hydrogen on the structure and spectroscopic properties of optical centers in Co- and Cu-containing silica gel-glasses // *Spectrochimica acta A*. - 1998. - V. 54. - P. 1751-1753.
6. Патент РБ 1861, МПК⁶ С 03В 8/02, 20/00, 1997.
7. Зюльков В.А., Казаченко А.Э., Котов С.Г., Ковалев Д.В., Ставров А.А. Новый твердотельный пассивный затвор для неодимовых лазеров // *Квантовая электроника*. - 1992. - Т. 19. - № 7. - С. 629-630.
8. Malyarevich A.M., Savitsky V.G., Denisov I.A., Prokoshin P.V., Yumashev K.V., Raaben E., Zhilin A.A., Lipovskii A.A. PbS(Se) quantum dot doped glass applications as laser passive Q-switches // *Phys. Stat. Sol. (b)*. - 2001. - V. 224. -No 1. - P. 253-256.



Фиг. 2