



(51) МПК

[C30B 29/04 \(2006.01\)](#)[C30B 33/04 \(2006.01\)](#)[C01B 31/06 \(2006.01\)](#)[G01N 21/87 \(2006.01\)](#)[G01N 21/64 \(2006.01\)](#)[B44B 3/00 \(2006.01\)](#)[B28D 5/00 \(2006.01\)](#)[A44C 17/00 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 06.08.2020)
Пошлина: учтена за 10 год с 01.07.2020 по 30.06.2021

(21)(22) Заявка: [2011126916/05](#), 30.06.2011(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.06.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.06.2011

(45) Опубликовано: [27.10.2012](#) Бюл. № 30(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: [RU 2357870 C1](#), [10.06.2009](#). [RU 2205733 C2](#), [10.06.2003](#). [RU 2382122 C2](#),
[20.01.2008](#). [RU 2161093 C2](#), [27.12.2000](#). [US 2010055022 A1](#), [04.03.2010](#).

Адрес для переписки:

107045, Москва, Сретенский б-р, 5, а/я 97,
пат.пов. Н.З. Мазур, рег.№ 972

(72) Автор(ы):

Васильев Виталий Валентинович (RU),
Величанский Владимир Леонидович (RU),
Зибров Сергей Александрович (RU),
Ионин Андрей Алексеевич (RU),
Кудряшов Сергей Иванович (RU),
Левченко Алексей Олегович (RU),
Селезнев Леонид Владимирович (RU),
Синицын Дмитрий Васильевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной
ответственностью "Новые энергетические
технологии" (RU)

(54) СПОСОБ СОЗДАНИЯ ОПТИЧЕСКИ ПРОНИЦАЕМОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ВНУТРИ АЛМАЗА, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ (ВАРИАНТЫ) И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ УКАЗАННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам создания внутри алмазов изображений, несущих информацию различного назначения, например коды идентификации, метки, идентифицирующие алмазы. Внутри алмаза в области, свободной от оптически непроницаемых неоднородностей, создают изображение, состоящее из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, флюоресцирующие при возбуждающем облучении, при этом образование кластеров N-V центров осуществляют с помощью выполнения следующих операций: обработки алмаза рабочим оптическим излучением, сфокусированным в фокальной области, расположенной в области предполагаемого размещения кластера N-V центров, с подачей рабочих ультракоротких импульсов излучения, обеспечивающих образование кластера вакансий в указанной фокальной области и при этом обеспечивающих интегральный флюенс в указанной фокальной области ниже порогового флюенса, при котором происходит локальное превращение алмаза в графит или иную неалмазную форму углерода; отжига, по меньшей мере, указанных областей предполагаемого размещения кластеров N-V центров, обеспечивающего в указанных областях дрейф созданных вакансий и образование N-V центров, сгруппированных в кластеры в тех же областях, что и кластеры вакансий; контроля созданных элементов изображения на основе регистрации флюоресценции N-V центров при облучении, по меньшей мере, областей размещения элементов изображения, возбуждающим оптическим излучением, обеспечивающим возбуждение N-V центров, формирования цифровой и/или объемной модели созданного изображения. Изображения, созданные в кристаллах алмазов из кластеров N-V центров, невидимы невооруженным глазом, в увеличительные стекла, а также любые оптические и электронные микроскопы. Поскольку изображение из кластеров N-V центров находится в глубине кристалла,

оно не может быть удалено полировкой и потому является надежной подписью алмаза и надежной записью информации без разрушения или порчи самого кристалла. 5 н. и 41 з.п. ф-лы, 3 ил.

Область техники

Настоящее изобретение относится к способам записи в алмазах информации, более точно к способам создания внутри алмазов изображений, несущих информацию различного назначения, например известную только ограниченному кругу лиц, например коды идентификации, метки, идентифицирующие алмазы, в частности, к способам создания внутри алмаза оптически проницаемого изображения, невидимого невооруженным глазом, с помощью увеличительных стекол и микроскопов различных типов, внутри ограненных и неограненных природных алмазов или синтетических алмазов без влияния на их характеристики поглощения, приводящего к нанесению ущерба качеству алмазов.

Предшествующий уровень техники

Проблема создания в объемах алмазов изображений, например для маркировки алмазов в целях их идентификации и отслеживания, без нанесения ущерба их качеству и, соответственно, стоимости, хорошо известна, так как некоторые свойства алмазов делают создание таких изображений весьма затруднительным.

Известно, что алмазы оптически прозрачны для длин волн в видимой области спектра в диапазоне 400-700 нм, что алмаз представляет собой материал очень высокой твердости, подверженный раскалыванию при резком механическом напряжении или чрезмерном локальном нагреве, а изображения меток, предпочтительно имеющих вид читаемых кодов, проб, заводских номеров, последовательности буквенно-цифровых знаков, во избежание несанкционированного обнаружения или удаления должны иметь очень маленькие размеры и недоступное для механических и химических воздействий расположение и не изменять внешний вид и коммерческую стоимость алмаза.

Известны различные способы нанесения изображений на поверхность ограненного алмаза. Однако фасеты поверхности ограненного алмаза ориентированы в разных направлениях, имеют весьма малые размеры и могут быть недоступны для мечения и детектирования, если драгоценный камень вставлен в оправу. Кроме того, исходные поверхностные метки могут быть уничтожены с помощью механической и химической обработки, например, полированием, травлением. Поэтому предпочтительным особенно для дорогостоящих алмазов является создание изображений метки под поверхностным слоем алмаза без изменения наружной поверхности.

Создание двух и трехмерных изображений в объеме алмаза является многообещающей технологией как для целей хранения информации, так и для применения в оптической технике.

Известны способы создания изображений в самородных алмазах в виде меток, являющихся непрозрачными для оптического излучения, за счет развития объема нарушенных микроструктур алмаза, окружающих естественные примеси, например самые разные невидимые невооруженным глазом структурные дефекты и примеси, большинство из которых является атомами азота, водорода и бора, или за счет внедрения в структуру алмаза примесных ионов, например фосфора, создающих детектируемые дефектные области.

Известен способ и система для лазерного мечения алмазов (RU 2357870 C1; WO 2006/092035; US 7284396 B1), в которых предложено гравирование кодов аутентификации в виде меток в объеме алмаза, создаваемых путем воздействия на локализованные внутренние дефекты в объеме алмаза (атомы азота, водорода, серы, фосфора, никеля, бора и другие) управляемой последовательностью лазерных импульсов в фемтосекундном диапазоне (от нескольких фемтосекунд до 200 пикосекунд) с энергией, переносимой каждым лазерным импульсом, выше пороговой энергии, требуемой, чтобы вызвать постоянные структурные изменения (повреждения) в кристалле алмаза при выбранной длине волны лазера и характеристиках фокусирования. При этом излучение производят импульсами, сфокусированными ниже поверхности и приводящими к формированию в местах случайного распределения указанных дефектов растущих дефектных микроструктур, не прозрачных для оптического излучения. Знаки состоят из неалмазных форм углерода и сформированы из нескольких микроскопических точечных меток размером несколько микрометров (2-5 мкм) при расстоянии между соседними точечными метками около 50 мкм, а массив точечных меток имеет площадь 250×250 мкм, и

требуют для детектирования использования специального считывающего устройства. Однако при этом:

- созданные точечные метки являются более крупными, чем природные дефекты в алмазе, что снижает качество и коммерческую стоимость алмазов;
- взаимное расположение точек в метке может определить лишь некую их геометрическую совокупность, например, вершин виртуального треугольника на основе трех точек, но не изображение самого треугольника;
- аутентификация камня по взаимному пространственному расположению в нем точечных меток, созданных в необработанном алмазе, не может быть надежной после его огранки, когда положение части точечных меток относительно граней и между собой может быть изменено;
- в связи со стохастическим расположением природных дефектов в алмазе создание изображений, имеющих изобразительную и смысловую нагрузку, невозможно.

Известен способ получения изображения в прозрачных материалах (SU 329899 А), в котором скрытое изображение создавали в прозрачных алмазных пластинках размером 50×50 мм и толщиной 300 мкм, вырезанных из естественных алмазных октаэдров. На поверхность такого образца накладывали металлическую маску толщиной 50 мкм, в которой фотолитографическим путем было вытравлено требуемое изображение, после чего образец подвергали бомбардировке ионами фосфора. При этом помимо цветного поверхностного изображения появлялось и внутреннее изображение, а пластинки подвергались последующему термическому отжигу, в результате которого цветное изображение пропадало. Сформированное изображение было термически устойчиво до 1200°С, не разрушалось под действием света, электрических и магнитных полей. Однако из-за высокой твердости решетки глубина проникновения ионов фосфора внутрь алмаза и глубина размещения внутреннего изображения не может быть большой, поэтому тонкий поверхностный слой, содержащий метку, может быть удален полировкой или травлением, а увеличение количества примесей фосфора в алмазе и наличие визуально различимого изображения влияет на его коммерческую стоимость.

Известен способ встраивания в монокристаллический алмаз, полученный методом химического осаждения из газовой (паровой) фазы на алмазной подложке, у которой поверхность, где происходит рост алмаза, в основном свободна от кристаллических дефектов, производственной марки или идентификационной метки (RU 2382122 С1), в котором в процессе синтеза в слой синтетического алмазного материала вводят, по меньшей мере, одну допирующую добавку химического элемента из группы, включающей азот, бор и кремний, в форме дефектных центров, испускающих при возбуждении излучение с характерной длиной волны. При этом азот может быть введен в синтетическую плазму в разных формах, обычно это N₂, NH₃, воздух, N₂H₄, и образует производственную марку или идентификационную метку в форме слоя, в котором при соответствующем оптическом возбуждении возникает флюоресценция с пиками 575 нм и/или 637 нм. Эта флюоресценция гасится, по существу, мгновенно при удалении источника возбуждения. В этом слое, содержащем допирующий азот, может также наблюдаться линия фотолюминесценции на 533 нм. Предпочтительно производственная марка или идентификационная метка имеют форму одного или более слоев или областей, введенных в алмазный материал в процессе синтеза: например, форма производственной марки или идентификационной метки, такой как товарный знак, может представлять собой одну или более совокупностей характерных слоев, периодически распределенных в алмазном слое, предмете или синтетическом драгоценном камне. Распознавание (детектирование) производственной марки или идентификационной метки может проводиться, например, визуально или с помощью специальных оптических приборов. В общем случае предпочтительным является распознавание непосредственно невооруженным глазом наблюдателя, поскольку этот метод позволяет получить пространственную информацию, в частности бинокулярную или глубинную информацию.

Кроме того, хорошо известно, что захват примесей изменяется в зависимости от сектора роста, участвующего в этом процессе, например сектор роста {111} часто захватывает более высокую концентрацию примесей, чем сектор роста {100}.

Однако в этом способе мечения синтетических выращенных алмазов в алмаз вводят заведомо известный дефект, что не улучшает качества алмаза, а из-за хаотичности размещения таких дефектов в алмазе при его синтезе совокупность таких введенных дефектов не может составить какого-либо изображения, содержащего заданные элементы.

Кроме того, этот способ является способом выращивания алмаза с заданной меткой и не может применяться для маркировки природных алмазов или выращенных по

иным технологиям искусственных алмазов.

Авторы пришли к заключению, что наиболее перспективным направлением создания различных скрытых изображений в объеме природных и синтетических алмазов, например меток, является использование оптически прозрачных дефектов, в частности, связанных с наличием в алмазе примесей азота, являющихся оптически проницаемыми для длин волн видимого диапазона спектра и позволяющих после специальной обработки получать невидимые невооруженным глазом, с помощью увеличительных стекол и микроскопов различных типов, но флюоресцирующие при облучении возбуждающим излучением элементы, которые в совокупности могут сформировать заданное изображение внутри алмаза.

Известно, что основными дефектами в алмазах, связанными с примесью азота, являются:

Дефект А - аналогичен двухатомной дипольной молекуле N_S-N_S , то есть паре атомов азота в соседних узлах кристаллической решетки;

Дефект В1 - четыре атома азота в первой координационной сфере вакансии;

Дефект В2 - пластинчатая сегрегация в плоскости $\{100\}$ принадлежит к наиболее легко обнаруживаемым дефектам и может непосредственно наблюдаться в электронном микроскопе. Этот дефект содержится только в природных кристаллах и только в сочетании с дефектами А и В1.

Дефект С - простейший азотный дефект кристаллической структуры алмаза, представляющий собой одиночный изолированный атом азота в позиции замещения. Концентрация азота в виде дефектов С в природных алмазах обычно не превышает 10^{16} см^{-3} , в некоторых разновидностях кристаллов она достигает 10^{18} см^{-3} и более. В синтетических алмазах, как правило, содержится $\sim 10 \text{ см}^{-3}$ азота.

Также известна физическая классификация типов алмазов в зависимости от содержания дефектов, связанных с примесями азота в кристалле алмаза (Г.Б.Бокий, Г.Н.Безруков, Ю.А.Клюев и др. Природные и синтетические алмазы. М.: Наука, 1986 г., 221 стр.; Ю.А.Клюев Алмаз природный. Светопропускание в диапазоне длин волн 0,2-25 мкм. Таблицы ССД ГССД 36-82, М., 1983 г. Изд-во Стандартов):

- Тип Ia - наиболее распространенный (до 98%) тип природных алмазов, содержащих до 0,3 ат.% азота. В зависимости от формы вхождения примесного азота в типе Ia выделены несколько подтипов:

- IaA (Чистый тип А) - в природе встречается крайне редко, основная форма вхождения примесного азота в виде А дефектов. Может быть получен термообработкой алмаза типа Ib при температурах свыше 1400°C ;

- IaV1 (Чистый тип В1) - в природе встречается крайне редко, основная форма вхождения азота в виде В1 дефектов;

- IaV' (Смешанный тип) - алмазы, содержащие помимо А-дефектов и В1-дефектов и дефекты В2 (плейтелитсы). Этот тип дополнительно подразделяется на «регулярные» с постоянным соотношением В1/В2 и «нерегулярные», где это соотношение произвольно;

- Тип Ib - алмазы, наиболее редко (0,1%) встречающиеся в природе. Алмазы этого типа содержат одиночные атомы азота (дефект С) как примесь замещения в количестве до 10^{20} см^{-3} и имеют желтый цвет, обусловленный спектром поглощения дефекта С. Большинство синтетических алмазов, выращенных из графита при низких температурах или за короткое время, относятся к этому типу. В алмазах, претерпевших более длительный цикл выращивания (как правило, более крупных) либо синтезированных, или отожженных при температурах свыше 1400°C , дефекты С начинают трансформироваться в дефекты А, образуя искусственный тип алмаза Ib+IaA;

- Тип IIa - малоазотистые алмазы. Их основные классификационные признаки: отсутствие поглощения в ИК-диапазоне $1500-1000 \text{ см}^{-1}$, ярко выраженный край фундаментального поглощения в УФ диапазоне вблизи 225 нм. Алмазы этого типа достаточно редки. В некоторых месторождениях доля алмазов типа IIa не превышает 1-2%. Концентрационная граница, определяющая принадлежность алмазов к типу IIa, весьма неопределенна. Иногда такие алмазы называют "безазотными", "беспримесными", хотя концентрация азота в некоторых из них может достигать $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$;

- Тип IIb - голубые полупроводниковые алмазы. Содержат еще меньше азота, чем алмазы IIa, около 10^{15} см^{-3} . Голубая окраска и полупроводниковые свойства обусловлены примесью бора (В-дефект) с содержанием приблизительно до 10^{16} см^{-3} .

Учитывая изложенное выше, можно утверждать, что даже в алмазах с самым низким содержанием азота в виде дефектов С около 10^{15} см^{-3} , в объеме 1 мкм^3 (или 10^{-12} см^3) будет находиться около 1000 дефектов С - атомов азота в позиции замещения.

Кроме того, известно, что в природных алмазах типа 1а дефекты А и В1 способны к трансформации в дефекты С.

Например, известен способ обработки природного алмаза типа 1а (RU 2237113 С2) при температуре более 2150°C при давлении 6,0-7,0 Гпа и последующего облучения алмазов, содержащих дефекты А, потоком электронов с дозой $5 \cdot 10^{15}$ - $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ при 2-4 МэВ, а алмазов, содержащих более 800 ppm примесей азота в виде дефектов А или В1 - потоком электронов с дозой облучения более 10^{19} см^{-2} , приводящего к формированию в кристаллической решетке этих алмазов изолированных атомов азота в позиции замещения - дефектов С.

При этом известно, что содержащиеся в алмазах атомы азота в позиции замещения - дефекты С - способны связываться с вакансией, если таковая имеется и алмаз находится при температуре, достаточной для дрейфа вакансии внутри кристалла, образуя новый устойчивый дефект - N-V центр (N - азот, V - вакансия), обладающий уникальными среди всех твердых тел радиооптическими свойствами и поглощающий в диапазоне длин волн 400-840 нм с максимальным сечением поглощения на уровне 10^{-16} см^2 (T.L.Wee, Y.K.Tzeng, C.C.Han, H.C.Chang, W.Fann, J.H.Hsu, K.M.Chen and Y.C.Yu, J.Phys. Chem. A 111 (2007), p.9379; N.B.Manson, J.P.Harrison and M.J.Sellars. The nitrogen-vacancy center in diamond re-visited, arXiv:cond-mat/0601360v2 (5 June 2006); F.Jelezko and J.Wrachtrup. Single defect centres in diamond: A review, phys. stat. sol. (a) 203, No.13, 3207-3225 (2006) / DOI 10.1002/pssa.200671403; IN Kupriyanov, V A Gusev, Yu N Pal'yanov and Yu M Borzdov. Photochromic effect in irradiated and annealed nearly IIa type synthetic diamond, J. Phys.: Condens. Matter 12 (2000) 7843-7856. Printed in the UK, 00_Photochr effect iJ1 of Ph Cond M.pdf).

Создание вакансий в алмазе может быть обеспечено, например, под воздействием электронного или ионного пучка или ультракоротких лазерных импульсов.

Создание N-V центров в алмазе, содержащем созданные ранее вакансии, может быть обеспечено отжигом алмазов при температуре, достаточной для дрейфа вакансий до места нахождения дефектов С, например, при отжиге алмазов, содержащих дефекты С, при температуре не менее 1100°C в печи в вакууме, приводящем к образованию указанных N-V-центров (RU 2237113 С2).

При отжиге в печи на поверхностях (полированных гранях) алмаза может образовываться тонкий слой графита, что нежелательно для драгоценных (ювелирных) алмазов (бриллиантов), однако указанный слой может быть легко удален мягкой полировкой.

При возбуждении интенсивным оптическим излучением N-V-центр флюоресцирует, проявляя красную или желтую окраску, эта флюоресценция может быть детектирована и по ее наличию и характерному спектру флюоресценции можно сделать вывод о наличии в алмазе N-V центров.

При наличии в алмазе донорных примесей, каковые, как правило, присутствуют в большинстве природных и искусственных алмазов, N-V центр может захватить электрон, приобретая отрицательный заряд, и начать проявлять известный эффект двойного радиооптического резонанса (ДРОР), который присущ только N-V центрам в алмазе и по наличию которого можно сделать вывод о том, что данный кристалл является именно алмазом и что он содержит именно N-V центры (N.B.Manson, J.P.Harrison and M.J.Sellars. The nitrogen-vacancy center in diamond re-visited, arXiv:cond-mat/0601360v2 (5 June 2006); F.Jelezko and J.Wrachtrup. Single defect centres in diamond: A review, phys. stat. sol. (a) 203, No.13, 3207-3225 (2006) / DOI 10.1002/pssa.200671403; IN Kupriyanov, V A Gusev, Yu N Pal'yanov and Yu M Borzdov. Photochromic effect in irradiated and annealed nearly IIa type synthetic diamond, J. Phys.: Condens. Matter 12 (2000) 7843-7856. Printed in the UK.).

В настоящее время способность N-V-центров к флюоресценции используют для выявления (детектирования) алмазов, в которых такие центры образованы во всем объеме алмаза без формирования каких-либо изображений или выявления (детектирования) изделий, содержащих такие алмазы.

Известен способ встраивания в монокристаллический алмаз, полученный методом химического осаждения, производственной марки или идентификационной метки (RU, 2382122, С1), в котором в процессе синтеза в слой синтетического алмазного материала вводят слой, в котором основной активной допирующей добавкой является молекулярный азот, гидриды бора или окислы кремния. Например, на первой стадии

выращивания алмаза синтез проводили с использованием 200/250/4500 ccm^3/c (стандартный кубический сантиметр в секунду) $\text{CH}_4/\text{Ar}/\text{H}_2$ при давлении 200×10^2 Па, при температуре 850°C в отсутствие допирующих добавок, вторую стадию роста проводили при тех же условиях, что и первую, но с добавлением $0,8 \text{ ccm}^3/\text{c}$ 20 част./млн B_2H_6 в водороде (0,003 част./млн) и с добавлением $25 \text{ ccm}^3/\text{c}$ 100 част./млн N_2 в водороде (0,5 част./млн), а третью стадию роста проводили при тех же условиях, что и первую, но с добавлением $10 \text{ ccm}^3/\text{c}$ N_2 ; в водороде (0,2 част./млн). В результате получали кристалл алмаза со слоями, содержащими азот в форме центров NV° и NV^- в которых при соответствующем более коротковолновом возбуждении возникает люминесценция на длинах волн 575 нм и 637 нм, сопровождающаяся электронно-колебательными полосами.

Комбинация этих излучений выглядит оранжевой/красной и эта люминесценция прекращается, по существу, мгновенно при удалении источника возбуждения. Центры такого типа при нормальных условиях наблюдения не вносят значительных изменений в воспринимаемый цвет драгоценного камня, так как при этом поглощение происходит только дефектами в маркирующих слоях. Этот слой хорошо виден при специальных искусственных условиях наблюдения, и наблюдатель может видеть, например, путем наблюдения через площадку камня, значительную площадь слоя, которая излучает свет внутри объема алмаза. Однако при этом производственная марка или идентификационная метка представляют собой только слой определенного цвета или комбинацию слоев различных цветов, но изображение, несущее более конкретную информацию, не может быть создано описанным способом.

Кроме того, этот способ является способом выращивания алмаза с заданной меткой и не может применяться для маркировки природных алмазов или искусственных алмазов, выращенных по иным технологиям.

Известны используемые в способах защиты изделий метки, содержащие нанокристаллы алмаза с активными центрами, флуоресцирующими под действием внешнего излучения: N-V центрами (RU 2357866 C1) или N-E8 центрами (RU 2386542 C1), полученными путем воздействия на нанокристаллы алмаза электронным или ионным пучком с последующим отжигом при высокой температуре, что приводит к образованию N-V центров или N-E8 центров, расположенных во всем объеме нанокристалла произвольно россыпью. Затем нанокристаллы, содержащие указанные оптически активные центры, вводят в изделие, и по наличию в изделии эффекта флуоресценции нанокристаллов при возбуждающем оптическом облучении судят о подлинности изделия.

При этом известно, что детектирование таких излучений флуоресценции N-V центров (RU 2357866 C1) может быть проведено в устройстве, содержащем источник оптического возбуждения с длиной волны в диапазоне 500-550 нм, например, излучением второй гармоники лазера на иттрий-алюминиевом гранате (532 нм), которое активизирует N-V центры и вызывает их флуоресценцию, и фотоприемное устройство, настроенное на длины волн в диапазоне 630-800 нм, которое анализирует спектральные и временные характеристики принимаемого сигнала флуоресценции.

При этом заключение о наличии такой метки в изделии делают на основе спектральных характеристик флуоресценции, соответствующих известным спектральным характеристикам флуоресценции N-V центра, и различия сигнала флуоресценции при одновременном возбуждении резонансным СВЧ полем и без него, что свидетельствует о наличии в изделии алмаза, в котором присутствуют N-V центры.

Однако наличие таких нанокристаллов алмаза в изделии может быть детектировано только как некое флуоресцирующее пятно в области, содержащей указанные нанокристаллы.

Раскрытие изобретения

При создании настоящего изобретения была поставлена задача разработки способа создания внутри природного, синтетического, ограненного или неограненного алмаза оптически проницаемого изображения, не видимого невооруженным глазом или с помощью увеличительных стекол и микроскопов различных типов и состоящего из взаимно расположенных между собой оптически проницаемых элементов, оказывающих пренебрежимо малое влияние на характеристики поглощения алмаза и при этом детектируемых по характерной флуоресценции при облучении возбуждающим излучением.

Поставленная задача была решена разработкой способа создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза, в котором под поверхностью алмаза

создают N-V центры, флюоресцирующие при возбуждающем облучении, отличающийся тем, что изображение создают внутри алмаза в области, свободной от оптически непроницаемых неоднородностей, при этом создают изображение, состоящее из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, и при этом образование кластеров N-V центров осуществляют с помощью выполнения следующих операций:

- обработки алмаза рабочим оптическим излучением, сфокусированным в фокальной области, расположенной в области предполагаемого размещения кластера N-V центров, с подачей рабочих ультракоротких импульсов излучения, обеспечивающих образование кластера вакансий в указанной фокальной области и при этом обеспечивающих интегральный флюенс в указанной фокальной области ниже порогового флюенса, при котором происходит локальное превращение алмаза в графит или иную неалмазную форму углерода;

- отжига, по меньшей мере, указанных областей предполагаемого размещения кластеров N-V центров, обеспечивающего в указанных областях дрейф созданных вакансий и образование N-V центров, сгруппированных в кластеры в тех же областях, что и кластеры вакансий.

При этом согласно изобретению целесообразно в качестве рабочего излучения использовать излучение ультракоротких лазерных импульсов с длительностью около 100 фс с центральной длиной волны 1058 ± 2 нм с энергией в каждом импульсе, обеспечивающей в указанной области суммарный интегральный флюенс воздействия в диапазоне от 10^{-3} до $0,4$ Дж/см².

При этом согласно изобретению целесообразно создавать элемент изображения, имеющий размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм на глубине более 100 мкм, при этом для обработки используют излучение ультракоротких лазерных импульсов, сфокусированное в фокальной области, имеющей размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм, соответственно.

При этом согласно изобретению целесообразно дополнительно осуществлять контроль созданных элементов изображения на основе регистрации флюоресценции N-V центров при облучении, по меньшей мере, областей размещения элементов изображения, возбуждающим оптическим излучением, обеспечивающим возбуждение N-V центров, формирование цифровой и/или объемной модели созданного изображения.

При этом согласно изобретению целесообразно в области расположения каждого указанного кластера, ранее не обеспечивающего желаемой интенсивности флюоресценции, проводить корректировку концентрации N-V центров в каждом созданном кластере N-V центров с помощью коррекции суммарного интегрального флюенса рабочих ультракоротких лазерных импульсов в области расположения данного кластера.

При этом согласно изобретению целесообразно коррекцию суммарного интегрального флюенса рабочих ультракоротких импульсов осуществлять путем увеличения количества указанных импульсов и/или увеличения их энергии.

При этом согласно изобретению целесообразно проводить операцию облучения областей предполагаемого расположения кластеров N-V центров рабочим ультракоротким импульсным излучением одновременно с операцией отжига.

При этом согласно изобретению целесообразно проводить операцию облучения областей предполагаемого расположения кластеров N-V центров рабочим ультракоротким импульсным излучением одновременно с операцией отжига и с операцией облучения возбуждающим излучением.

При этом согласно изобретению целесообразно проводить операцию облучения областей предполагаемого расположения кластеров N-V центров рабочим ультракоротким импульсным излучением одновременно с операцией отжига, с операцией облучения возбуждающим излучением и с операцией регистрации излучения флюоресценции кластеров N-V центров.

При этом согласно изобретению целесообразно отжиг алмазов осуществлять в печи в вакууме или инертной атмосфере при температуре 700-1200°C.

При этом согласно изобретению целесообразно отжиг алмазов массой менее 100 мкг осуществлять с помощью облучения области предполагаемого расположения кластера N-V центров сфокусированным в ней непрерывным оптическим излучением до образования флюоресцирующего кластера N-V центров.

При этом согласно изобретению целесообразно отжиг осуществлять излучением второй гармоники лазера на Nd:YAG с длиной волны 532 нм и мощностью от 1 до 100 Вт.

При этом согласно изобретению целесообразно отжиг и возбуждение образующихся N-V центров осуществлять с помощью излучения второй гармоники лазера на Nd:YAG с длиной волны 532 нм и мощностью от 1 до 100 Вт.

При этом согласно изобретению целесообразно облучение указанными рабочим и возбуждающим излучением и регистрацию созданных флюоресцирующих элементов изображения осуществлять через, по меньшей мере, одну оптически проницаемую площадку, предварительно выполненную на поверхности алмаза, и алмаз размещают в потоке рабочего излучения таким образом, чтобы указанная площадка была перпендикулярна направлению указанного рабочего излучения.

Поставленная задача была также решена созданием первого варианта устройства для осуществления способа создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза, содержащее источник рабочего оптического излучения, обеспечивающего создание вакансий в алмазе, устройство для отжига, обеспечивающего дрейф вакансий и создание внутри алмаза N-V центров, флюоресцирующих под действием возбуждающего излучения, отличающееся тем, что приспособлено для создания изображения, состоящего из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, в алмазе, имеющем одну предварительно выполненную на поверхности алмаза оптически проницаемую полированную площадку, и содержит:

- средство (1) для закрепления алмаза (2) и его координированного перемещения в пространстве;
- источник (3) рабочего оптического излучения (4), приспособленный для формирования пучка излучения ультракоротких импульсов, обеспечивающего создание вакансий в алмазе (2), сгруппированных в кластер, и выполненный с возможностью регулирования количества и энергии указанных импульсов;
- источник (5) оптического излучения, приспособленный для формирования пучка непрерывного излучения (6), обеспечивающего отжиг алмаза (2), достаточный для дрейфа вакансий в области расположения создаваемого элемента изображения с образованием N-V-центров, сгруппированных в кластер, и обеспечивающего оптическое возбуждение создаваемых N-V-центров;
- систему (7) подачи указанных излучений (4, 6) от источников (3, 5) через упомянутую оптически проницаемую площадку (2а), обеспечивающую формирование фокальной перетяжки пучков указанных излучений (4, 6) в области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза (2);
- систему (17) управления устройством, обеспечивающую подачу команд на средство (1) для закрепления алмаза (2), источники (3, 5) излучений (4, 6), на систему (7) подачи излучений.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (3) рабочего оптического излучения (4) содержало источник, обеспечивающий излучение ультракоротких лазерных импульсов с длительностью порядка 100 фс с центральной длиной волны 1058 ± 2 нм.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (3) рабочего оптического излучения (4) содержало источник излучения ультракоротких лазерных импульсов с возможностью коррекции энергии каждого импульса и их количества, позволяющий обеспечить в области указанной фокальной перетяжки (18) суммарный интегральный флюенс воздействия в диапазоне от 10^{-3} до $0,4$ Дж/см².

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (5) оптического излучения содержало лазер, обеспечивающий излучение с длиной волны 532 нм и снабженный ослабителем, с максимальной средней мощностью 7 Вт.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство дополнительно содержало дихроичное зеркало (11), пропускающее излучения указанных источников (3, 5) излучения и отражающее излучение флюоресценции N-V центров, а также содержит систему (12) регистрации флюоресценции созданных элементов изображения через указанную предварительно выполненную на поверхности алмаза (2) оптически проницаемую полированную площадку (2а) и обеспечивающую измерение интенсивности флюоресценции создаваемых N-V центров.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (17) управления устройством также обеспечивала подачу команд на систему (12) регистрации и прием цифровой информации от системы (12) регистрации, ее обработку, формирование цифровой и/или объемной модели созданного изображения, сравнение созданного изображения с заданным эталоном.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (7) подачи излучений (4, 6) включала в себя дихроичное зеркало (8), пропускающее излучение (6) отжига и возбуждения и отражающее рабочее излучение (4), адаптивное зеркало (9), обеспечивающее коррекцию волнового фронта рабочего излучения (4), и параболическое зеркало (10) внеосевое, приспособленное для фокусировки рабочего излучения (4) и излучения (6) отжига и возбуждения в области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза перпендикулярно указанной площадке (2а).

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (7) подачи излучений обеспечивала возможность фокусировки излучений (4, 6) в фокальной области (18), имеющей размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм на глубине более 100 мкм.

Кроме того, поставленная задача была решена созданием второго варианта устройства для осуществления способа создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза, содержащее источник рабочего оптического излучения, обеспечивающего создание вакансий в алмазе, устройство для отжига, обеспечивающего дрейф вакансий и создание внутри алмаза N-V центров, флюоресцирующих под действием возбуждающего излучения, отличающееся тем, что приспособлено для создания изображения, состоящего из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, в алмазе, имеющем две предварительно выполненные на поверхности алмаза оптически проницаемые полированные площадки, и содержит:

- средство (1) для закрепления алмаза (2) и его координированного перемещения в пространстве;

- источник (3) рабочего оптического излучения (4), приспособленный для формирования пучка излучения ультракоротких импульсов, обеспечивающего создание вакансий в алмазе (2), сгруппированных в кластер, и выполненный с возможностью регулирования количества и энергии указанных импульсов;

- источник (5) оптического излучения, приспособленный для формирования пучка непрерывного излучения (6), обеспечивающего отжиг алмаза (2), достаточный для дрейфа вакансий в области расположения создаваемого элемента изображения с образованием N-V-центров, сгруппированных в кластер, и обеспечивающего оптическое возбуждение создаваемых N-V-центров;

- систему (7) подачи указанных излучений (4, 6) от источников (3, 5) в алмаз (2) через одну из упомянутых оптически проницаемых площадок (2а), обеспечивающую формирование фокальной перетяжки пучков указанных излучений (4, 6) в области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза (2);

- систему (17) управления устройством, обеспечивающую подачу команд на средство (1) для закрепления алмаза (2), источники (3, 5) излучений (4, 6), систему (7) подачи излучений.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (3) рабочего оптического излучения (4) содержало источник, обеспечивающий излучение ультракоротких лазерных импульсов с длительностью порядка 100 фс с центральной длиной волны 1058 ± 2 нм.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (3) рабочего излучения (4) содержало источник излучения ультракоротких лазерных импульсов с возможностью коррекции энергии каждого импульса и их количества, позволяющий обеспечить в области указанной фокальной перетяжки (18) суммарный интегральный флюенс воздействия в диапазоне от 10^{-3} до $0,4$ Дж/см².

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (5) оптического излучения содержало лазер, обеспечивающий излучение с длиной волны 532 нм и снабженный ослабителем, с максимальной средней мощностью 7 Вт.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство дополнительно содержало систему (12) регистрации, обеспечивающую регистрацию флюоресценции созданных элементов изображения через другую оптически проницаемую площадку (2б) из указанных площадок (2а, 2б), и обеспечивающую измерение интенсивности флюоресценции создаваемых N-V центров.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (17) управления устройством также обеспечивала подачу команд систему (12) регистрации и прием цифровой информации от системы (12) регистрации, ее обработку, формирование цифровой и/или объемной модели созданного изображения.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (7) подачи излучений (4, 6) включала в себя дихроичное зеркало (8), пропускающее излучение (6) отжига и возбуждения и отражающее рабочее излучение (4), адаптивное зеркало (9), обеспечивающее коррекцию волнового фронта рабочего излучения (4), и параболическое зеркало (10) внеосевое, приспособленное для фокусировки рабочего излучения (4) и излучения (6) отжига и возбуждения в заданной области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза перпендикулярно указанной площадке (2а).

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (7) подачи излучений обеспечивала возможность фокусировки излучений (4, 6) в фокальной области (18), имеющей размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм на глубине более 100 мкм.

Поставленная задача была также решена созданием третьего варианта устройства для осуществления способа создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза и содержащее источник рабочего оптического излучения, обеспечивающего создание вакансий в алмазе, устройство для отжига, обеспечивающего дрейф вакансий, и создание внутри алмаза N-V-центров, флюоресцирующих под действием возбуждающего излучения, отличающееся тем, что приспособлено для создания изображения, состоящего из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, в алмазе, имеющем одну предварительно выполненную на поверхности алмаза оптически проницаемую полированную площадку, и содержит:

- источник (3) рабочего оптического излучения (4), приспособленный для формирования пучка излучения ультракоротких импульсов, обеспечивающего создание вакансий в алмазе (2), сгруппированных в кластер, и выполненный с возможностью регулирования количества и энергии указанных импульсов;
- печь (19), выполненную с возможностью создания внутри инертной к алмазу атмосферы или вакуума, обеспечивающую отжиг алмаза (2), достаточный для дрейфа вакансий в области расположения создаваемого элемента изображения с образованием N-V центров, сгруппированных в кластер, имеющую одно оптически прозрачное окно (19а) и приспособленную для закрепления в ней алмаза (2) в позиции, обеспечивающей параллельность указанной полированной грани (2а) плоскости указанного окна (19а);
- средство (1а) для закрепления печи (19) и ее координированного перемещения в пространстве;
- систему (7) подачи излучения (4) от указанного источника (3) излучения через указанную оптически проницаемую площадку (2а), и обеспечивающую формирование фокальной перетяжки пучка указанного излучения (4) в области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза (2);
- систему (17а) управления устройством, обеспечивающую подачу команд на источник (3) излучения (4) и на систему (7) подачи излучений.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (3) рабочего излучения (4) содержало лазер, обеспечивающий излучение ультракоротких импульсов с длительностью около 100 фс с центральной длиной волны 1058 ± 2 нм.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (3) рабочего излучения (4) содержало лазер, обеспечивающий излучение ультракоротких импульсов с возможностью коррекции энергии каждого импульса и их количества, позволяющей обеспечить в указанной фокальной области (18) суммарный интегральный флюенс воздействия в диапазоне от 10^{-3} до $0,4$ Дж/см².

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство дополнительно содержало источник (5а) оптического излучения, приспособленный для формирования пучка непрерывного излучения (6а), обеспечивающего оптическое возбуждение создаваемых N-V центров, обеспечивающий излучение с длиной волны 532 нм.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (5а) возбуждения содержало лазер, снабженный ослабителем, со средней мощностью 7 Вт.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве указанной печи (19) содержало печь, обеспечивающую температурный режим в диапазоне 700-1200°C, заполненную аргоном.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство дополнительно содержало дихроичное зеркало (11), пропускающее рабочее и возбуждающее излучения (4, 6а) указанных источников (3, 5а) и отражающее излучение

флюоресценции N-V центров, а также дополнительно содержит систему (12) регистрации флюоресценции созданных элементов изображения через указанную предварительно выполненную на поверхности алмаза оптически проницаемую полированную площадку (2а) и обеспечивающую измерение интенсивности флюоресценции создаваемых N-V центров.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (7) подачи излучения (4) от указанного источника (3) также обеспечивала подачу излучения (6а) от указанного источника (5а) излучения через указанную оптически проницаемую площадку (2а), обеспечивая формирование фокальной перетяжки пучков указанных излучений (4, 6а) в области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза (2).

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (17а) управления устройством дополнительно обеспечивала подачу команд на источник (5а) излучений (6а), а также прием цифровой информации от системы (12) регистрации, ее обработку, формирование цифровой и/или объемной модели созданного изображения.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (7) подачи рабочего и возбуждающего излучений (4, 6а) от источников (3 5а) включала в себя дихроичное зеркало (8), пропускающее излучение (6) отжига и возбуждения и отражающее рабочее излучение (4), адаптивное зеркало (9), обеспечивающее коррекцию волнового фронта рабочего излучения (4), и параболическое зеркало (10) внеосевое, приспособленное для фокусировки рабочего излучения (4) и излучения (6а) возбуждения в заданной области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза (2) перпендикулярно указанной площадке (2а).

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (7) подачи излучений обеспечивала возможность фокусировки излучений (4, 6а) в области указанной фокальной перетяжки (18), имеющей размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм на глубине более 100 мкм.

Поставленная задача была также решена созданием устройства для детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза путем возбуждения дефектов алмаза, флюоресцирующих в состоянии возбуждения, и регистрации их излучения флюоресценции, отличающееся тем, что приспособлено для детектирования внутри кристалла, оптически проницаемого изображения, состоящего из совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, через по меньшей мере одну оптически прозрачную полированную площадку на поверхности кристалла (2а) и содержащее:

- источник (20) излучения возбуждения, приспособленный для формирования пучка непрерывного оптического излучения (21), обеспечивающего оптическое возбуждение имеющихся в алмазе (2) N-V центров и их флюоресценцию;
- дихроичное зеркало (23), пропускающее возбуждающее излучение (21) указанного источника (20) и отражающее излучение флюоресценции N-V центров;
- систему (22) формирования пучка возбуждающего излучения, обеспечивающую равномерное освещение всего алмаза (2) возбуждающим излучением (21) через указанную одну оптически проницаемую площадку (2а) на поверхности алмаза (2), с интенсивностью, достаточной для возбуждения N-V центров в указанном алмазе (2);
- средство (1) для закрепления алмаза (2) в положении, соответствующем расположению его указанной полированной площадки (2а) перпендикулярно потоку возбуждающего излучения (21);
- систему (24) регистрации, обеспечивающую регистрацию излучения флюоресценции через указанную одну оптически прозрачную полированную площадку (2а) на поверхности алмаза и взаимного расположения излучающих элементов;
- спектрометр (29), обеспечивающий выделение спектра флюоресценции N-V центров на фоне рассеянного в кристалле излучения (21) возбуждения и его регистрацию;
- систему (30) цифровой обработки полученных данных от системы (24) регистрации;
- генератор (32) СВЧ излучения и подключенная к нему и согласованная с ним полосковая СВЧ линия (33), подводящая СВЧ мощность к кристаллу (2);
- систему (31) управления, обеспечивающую подачу команд на включение/выключение источника (20) возбуждающего излучения (21), на средство (1) для закрепления алмаза (2), на генератор (32) СВЧ излучения, прием цифровой информации от системы (24) регистрации и от системы (30) цифровой обработки,

идентификацию спектра флюоресценции как спектра кластеров N-V центров, формирование цифровой и/или объемной модели обнаруженного изображения.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы система (24) регистрации содержала полосовой фильтр (25), позволяющий выделить спектр флюоресценции элементов изображения на фоне рассеянного излучения (21) возбуждения, полупрозрачное зеркало (26), пропускающее рассеянное излучение возбуждения, ослабленное внутри алмаза (2) и отражающее часть излучения флюоресценции N-V центров на спектрометр (29), систему (27) фокусирования излучения флюоресценции, обеспечивающую формирование на чувствительной площадке камеры изображения флюоресцирующих кластеров N-V центров с достаточным увеличением, и камеру (28), обеспечивающую регистрацию указанного изображения и его передачу в систему (30) цифровой обработки и в систему (31) управления.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (20) излучения (21) возбуждения содержало источник оптического излучения, обеспечивающий излучение с длиной волны 532 нм.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы устройство в качестве источника (20) возбуждения содержало лазер, снабженный ослабителем, со средней мощностью 7 Вт.

При этом согласно изобретению целесообразно, чтобы генератор (32) СВЧ излучения генерировал СВЧ волну с частотой $2,87 \pm 0,03$ ГГц и мощностью 3 Вт.

Краткое описание чертежей

В дальнейшем изобретение поясняется описанием примеров осуществления способа создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза согласно изобретению с помощью устройств для его осуществления и прилагаемыми чертежами, на которых:

Фиг.1 - схема устройства для осуществления способа создания оптически проницаемого изображения согласно изобретению, вариант выполнения с облучением алмаза и регистрацией элементов изображения через одну площадку на поверхности алмаза и отжигом лазерным излучением;

Фиг.1а - схема устройства для осуществления способа создания оптически проницаемого изображения согласно изобретению, вариант выполнения с облучением алмаза и регистрацией элементов изображения через две площадки на поверхности алмаза и отжигом лазерным излучением;

Фиг.2 - схема устройства для осуществления способа создания оптически проницаемого изображения согласно изобретению, вариант выполнения с облучением алмаза и регистрацией элементов изображения через одну площадку на поверхности алмаза и отжигом в печи;

Фиг.3 - схема устройства детектирования изображения, созданного способом согласно изобретению, вариант выполнения с облучением алмаза и регистрацией излучения флюоресценции через одну площадку на поверхности алмаза.

При этом приведенные примеры и чертежи не ограничивают возможностей осуществления изобретения, не выходящих за рамки формулы изобретения.

Наилучший вариант осуществления изобретения

Способ создания оптически проницаемого изображения согласно изобретению может быть применен для создания изображения в ограненных и неограненных природных и синтезированных алмазах. При этом изображение, полученное с применением способа согласно изобретению, может быть выполнено плоским или объемным, содержать различные плоские или объемные элементы, например, в виде линий, фигур, букв, цифр, символов, состоящих из оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, расположенных в алмазе в определенной заданной области и представляющих собой кластеры N-V центров, флюоресцирующие при воздействии излучения определенных длин волн.

В зависимости от выбранного варианта осуществления способа, облучение области предполагаемого расположения элемента изображения рабочим излучением и возбуждающим излучением, сфокусированными в области предполагаемого расположения элемента изображения, и регистрация полученных элементов изображения может быть произведена через по меньшей мере одну предварительно выполненную оптически проницаемую полированную площадку на поверхности алмаза.

Способ может быть осуществлен с помощью устройств, схемы которых представлены на Фиг.1 и 1а, в которых обеспечивают облучение алмаза сфокусированными в области предполагаемого размещения элемента изображения, подлежащего созданию, рабочим оптическим излучением ультракороткого импульса, воздействием которого осуществляют создание кластера вакансий в этой области, и

постоянным излучением, воздействием которого осуществляют отжиг, приводящий к созданию кластера N-V центров. Кроме того, производят облучение указанной области предполагаемого размещения элемента изображения возбуждающим оптическим излучением, при воздействии которого осуществляют регистрацию созданных кластеров N-V-центров, если таковые созданы в процессе указанного выше облучения алмаза, и регистрируют их создание путем регистрации излучения флюоресценции N-V-центров, являющегося контрольным параметром для подтверждения факта создания в области предполагаемого размещения кластера N-V центров с количеством флюоресцирующих N-V центров в указанном кластере, достаточном для желаемой интенсивности флюоресценции, обеспечивающей возможность детектирования и идентификации создаваемого изображения.

Устройства согласно изобретению, представленные на Фиг.1 и 1а, в двух вариантах выполнения, позволяют при проведении всех операций способа осуществлять облучение области предполагаемого размещения элемента изображения рабочим оптическим излучением и оптическим излучением отжига через одну площадку 2а на поверхности алмаза 2 (Фиг.1 и 1а), перпендикулярно ей, а регистрацию полученных элементов изображения производить через ту же площадку 2а (Фиг.1) или через другую площадку 2б на поверхности алмаза (Фиг.1а).

При этом устройство, показанное на Фиг.1, содержит:

- средство 1, приспособленное для закрепления в различных позициях алмаза 2, имеющего на поверхности, по меньшей мере, одну оптически проницаемую полированную площадку, например площадку 2а, и координированного перемещения закрепленного алмаза 2 в пространстве, при этом упомянутое средство 1 может представлять собой моторизированный оптический столик 1, обеспечивающий перемещение закрепленного алмаза 2 с шагом 0,5 мкм. Специалисту очевидно, что упомянутый шаг перемещения может быть любым, исходя из требований, предъявляемых к упомянутому средству 1, а упомянутое значение указывает лишь на один из предпочтительных вариантов осуществления.

- источник 3 рабочего оптического излучения, приспособленный для формирования пучка излучения 4 ультракоротких импульсов, обеспечивающего создание кластеров вакансий в алмазе 2, и выполненный с возможностью регулирования энергии указанных импульсов;

- источник 5 оптического излучения 6, приспособленный для формирования пучка непрерывного излучения, обеспечивающего отжиг алмаза 2, достаточный для дрейфа вакансий в области расположения создаваемого кластера вакансий, образования N-V-центров, и обеспечивающего возбуждение создаваемых N-V-центров и их флюоресценцию;

- систему 7 подачи излучений 4 и 6 в область предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза 2 с формированием фокальной перетяжки пучков указанных излучений 4 и 6 в фокальной области 18, включающую дихроичное зеркало 8, адаптивное зеркало 9 и внеосевое параболическое зеркало 10;

- дихроичное зеркало 11, пропускающее излучения источников 3 и 5 и отражающее излучение флюоресценции N-V центров;

- систему 12 регистрации элементов изображения, включающую фильтр 13, фокусирующую систему 14, фотоприемник 15, систему 16 цифровой обработки полученных данных и

- систему 17 управления устройством, обеспечивающую подачу команд на источники 3, 5 излучений, систему 7 подачи излучений на моторизированный оптический столик 1 и прием цифровой информации от системы 12 регистрации.

Устройство, показанное на Фиг.1а, в отличие от устройства, показанного на Фиг.1, не требует использования дихроичного зеркала 11.

При этом специалисту должно быть понятно, что регистрацию флюоресценции кластеров N-V центров, созданных в определенном объеме алмаза в совокупности, определяющей плоское изображение, можно производить с одной площадки алмаза, а регистрацию созданного объемного изображения целесообразно производить с нескольких площадок алмаза, каждый раз меняя его положение, поворачивая его, и используя аналогичные системы 12 регистрации.

Согласно изобретению возможно создание кластеров вакансий осуществлять отжигом алмаза в печи в вакууме или инертной атмосфере при температуре 700-1200°C с одновременным облучением возбуждающим излучением и с одновременной регистрацией излучения флюоресценции полученных кластеров N-V центров.

При этом используют устройство в другом варианте выполнения, показанное на Фиг.2, содержащее:

- источник 3 рабочего оптического излучения, приспособленный для формирования пучка излучения 4 ультракоротких импульсов, обеспечивающего создание кластеров вакансий в алмазе 2, и выполненный с возможностью регулирования количества и энергии указанных импульсов;

- печь 19 с возможностью создания внутри инертной к алмазу атмосферы или вакуума, заполненную инертной к алмазу средой, например аргоном, имеющую, по меньшей мере, одно оптически проницаемое окно 19а и приспособленную для закрепления в ней в различных позициях алмаза 2,

- средство 1а, приспособленное для закрепления на нем печи 19 и координированного перемещения печи 19 с закрепленным в ней алмазом 2 в пространстве;

- источник 5а оптического излучения 6а, приспособленный для формирования пучка непрерывного излучения, обеспечивающего возбуждение создаваемых N-V-центров и их флюоресценцию, в качестве которого может быть использован источник 5 устройства, показанного на Фиг.1;

- систему 7 подачи излучений 4 и 6а в область предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза 2 с формированием фокальной перетяжки пучков указанных излучений 4 и 6а в фокальной области 18, включающую дихроичное зеркало 8, адаптивное зеркало 9 и параболическое зеркало 10 внеосевое;

- дихроичное зеркало 11, пропускающее излучения источников 3 и 5а, и отражающее излучение флюоресценции N-V центров.

- систему 12 регистрации элементов изображения, включающую фильтр 13, фокусирующую систему 14, фотоприемник 15, систему 16 цифровой обработки полученных данных;

- систему 17а управления устройством, обеспечивающую подачу команд на источники 3, 5а излучений, на систему 7 подачи излучений на средство 1а, прием цифровой информации от системы 12 регистрации, ее обработку и формирование цифровой и/или объемной модели созданного изображения.

При этом в вариантах устройства, показанных на Фиг.1, 1а и 2, в качестве средства 1 или 1а может быть использован моторизованный оптический столик 6-Axis NanoMax NanoPositioner фирмы «Thorlabs» (www.thorlabs.de/NewGroupPage9.cfm?ObjectGroup_ID=1100).

При этом в качестве источника 3 рабочего оптического излучения 4 (Фиг.1, 1а и 2) может быть использован лазерный генератор ультракоротких импульсов, снабженный генератором гармоник, затвором и ослабителем. В настоящее время существует много коммерчески доступных лазеров ультракоротких импульсов, например итербиевые, титан-сапфировые, хром-форстеритовые, волоконные эрбиевые системы, содержащие ослабитель, которые генерируют импульсы длительностью от 20 фс до 5 пс на длинах волн видимого и ближнего ИК диапазона. Указанные лазеры и системы могут быть дополнены коммерчески доступными генераторами гармоник, что расширяет диапазон длин волн до УФ диапазона.

В исследованиях в качестве источника 3 был использован итербиевый твердотельный фемтосекундный лазер TeMa-1058 фирмы «Авеста-проект», имеющий длительность импульса около 100 фс на длине волны 1058 ± 2 нм и максимальную энергию в импульсе >22 нДж, с регулируемым ослабителем и затвором на выходе, которые позволяют открывать и закрывать выходную апертуру лазера в заданные моменты времени, а также ослаблять энергию импульсов до заданного значения.

В качестве источника 5 оптического излучения 6 для отжига, обеспечивающего дрейф созданных вакансий и возбуждение созданных N-V центров (Фиг.1 и 1а), и в качестве источника 5 а оптического излучения 6а, обеспечивающего только возбуждение созданных N-V центров (Фиг.2), может быть использован, например, лазер Verdi G2 фирмы Coherent средней мощностью 7 Вт с длиной волны 532 нм, оборудованный ослабителем.

Система 7 подачи излучений 4 и 6 (Фиг.1 и 1а), как и система 7а подачи излучений 4 и 6а (Фиг.2), содержит дихроичное зеркало 8, отражающее излучение 4 и пропускающее излучение 6 (Фиг.1 и 1а) или 6а (Фиг.2), адаптивное зеркало 9, обеспечивающее коррекцию волнового фронта излучений 4 и 6 (Фиг.1 и 1а) или 4 и 6а (Фиг.2), и параболическое зеркало 10 внеосевое, приспособленное для фокусировки излучений 4 и 6 (Фиг.1 и 1а) или 4 и 6а (Фиг.2) в заданной области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза 2 с формированием фокальной перетяжки пучков указанных излучений 4 и 6 в фокальной области 18, при этом совокупное действие зеркал 9 и 10 должно обеспечивать фокусировку излучения 4 и 6 (Фиг.1 и 1а) или 4 и 6а (Фиг.2) в фокальную область, имеющую размеры в диапазоне

0,5-20,0 мкм, например в область 18 размером 3 мкм, и подавать излучение 4 и 6 (Фиг.1 и 1а) или 4 и 6а (Фиг.2) перпендикулярно площадке 2а алмаза 2.

Система 12 регистрации (Фиг.1, 1а и 2) элементов изображения состоит из устройств, позволяющих детектировать флюоресценцию созданных элементов изображения, измерять ее интенсивность и сравнивать ее с эталоном элементов изображения, и содержит фильтр 13, фокусирующую систему 14, фотоприемник 15, систему 16 цифровой обработки полученных данных.

При этом в качестве фотоприемника 15 может быть использован, например, фотоприемник SM05PD1A (FDS100) фирмы «Thorlabs» (www.thorlabs.de/thorProduct.cfm?partNumber=FDS100).

При этом фильтр 13 должен иметь полосу пропускания, соответствующую полосе люминесценции N-V центров, и препятствовать прохождению рассеянного излучения источников 3 и 5 (Фиг.1 и 1а) или 3 и 5а (Фиг.2), а фокусирующая система 14 должна обеспечивать фокусировку излучения флюоресценции из фокальной области 18 на чувствительной площадке детектора фотоприемника 15.

Система 17 управления (Фиг.1 и 1а) и система 17а управления (Фиг.2), обеспечивающие подачу команд на источники 3 и 5 излучений (Фиг.1 и 1а) или 3 и 5 а излучений (Фиг.2), на систему 7 подачи излучений, на средство 1 (Фиг.1 и 1а) или 1а (Фиг.2) и сбор и обработку данных от системы 12 регистрации (Фиг.1, 1а и 2) с формированием цифровой и/или объемной модели созданного изображения, могут быть выполнены в виде персонального компьютера, оборудованного дополнительными коммерчески доступными цифроаналоговыми и аналого-цифровыми преобразователями и программным обеспечением, позволяющими осуществлять управление указанными устройствами и сбор данных с них. Системы 17 и 17а управления должны быть снабжены также программным обеспечением, позволяющим предварительно вводить цифровую модель (цифровой шаблон) изображения, подлежащего созданию, и геометрические размеры кристалла алмаза или его изображения в нескольких проекциях, и обеспечивающим подачу команд перемещения средства 1 с алмазом 2 в соответствии с указанной цифровой моделью изображения. Системы 17 и 17а управления, снабженные указанным программным обеспечением, рассчитывают и контролируют интегральный флюенс рабочего излучения 4 в фокальной области 18 и обеспечивают значение указанного интегрального флюенса рабочего излучения 4 и излучения отжига и возбуждения 6 или излучения 6а возбуждения, не превышающие заданное заранее пороговое значение, при котором происходит превращение алмаза в графит или иную неалмазную форму углерода.

Согласно изобретению создание оптически проницаемого изображения возможно как в ограненном, так и в неограненном алмазе, имеющем на поверхности, по меньшей мере, одну предварительно образованную полированную оптически проницаемую площадку. При этом согласно изобретению изображение целесообразно создавать в области алмаза, свободной от посторонних оптически неоднородностей (включений, трещин, вкраплений и т.п.).

Способ создания оптически проницаемого изображения в объеме алмаза далее описан при осуществлении его с помощью устройства согласно изобретению, показанного на Фиг.1. Однако способ может быть аналогично осуществлен и в устройствах, показанных на Фиг.1а и 2.

При этом авторы отметили, что для алмазов массой менее 100 мкг способ создания оптически проницаемого изображения предпочтительнее осуществлять с отжигом алмаза с помощью облучения области предполагаемого расположения кластера N-V центров сфокусированным в ней непрерывным оптическим излучением до образования флюоресцирующего кластера N-V центров.

При этом системы 17 или 17а управления могут обеспечивать проведение операции облучения областей предполагаемого расположения кластеров N-V центров рабочим ультракоротким импульсным излучением одновременно с операцией отжига. Или могут обеспечивать проведение операции облучения областей предполагаемого расположения кластеров N-V центров рабочим ультракоротким импульсным излучением одновременно с операцией отжига и с операцией облучения возбуждающим излучением.

Кроме того, системы 17 или 17а управления могут обеспечивать проведение операции облучения областей предполагаемого расположения кластеров N-V центров рабочим ультракоротким импульсным излучением одновременно с операцией отжига, с операцией облучения возбуждающим излучением и с операцией регистрации излучения флюоресценции.

В проведенных авторами исследованиях по осуществлению способа создания изображений согласно изобретению был выбран вариант выполнения способа с одновременным выполнением операций облучения рабочим излучением, облучения излучением отжига и возбуждения и операции регистрации излучения флюоресценции кластеров N-V центров.

При этом в качестве рабочего излучения 4 использовали излучение ультракоротких лазерных импульсов с длительностью около 100 фс с центральной длиной волны 1058 ± 2 нм с энергией в каждом импульсе, обеспечивающей в указанной области суммарный интегральный флюенс воздействия от 10^{-3} до $0,4$ Дж/см². Излучение 3 фокусировали в фокальной области 18, имеющей размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм, а именно 5 мкм на глубине 100 мкм. В качестве оптического излучения 6 отжига и возбуждения использовали оптическое излучение лазера с длиной волны 532 нм и мощностью от 0,5 до 100 Вт. При этом ожидали создания изображения, состоящего из флюоресцирующих элементов изображения, имеющих поперечные относительно оптической оси лазерных пучков размеры 5 мкм на глубине 100 мкм.

При этом для достижения желаемой интенсивности флюоресценции созданного кластера N-V центров проводили корректировку концентрации N-V центров в каждом созданном кластере N-V центров с помощью коррекции суммарного интегрального флюенса рабочих ультракоротких лазерных импульсов в области расположения каждого указанного кластера путем увеличения количества импульсов. Однако специалисту в области лазерной техники должно быть понятно, что коррекция суммарного интегрального флюенса может быть также произведена и за счет увеличения энергии последующих импульсов.

Способ создания оптически проницаемых изображений был осуществлен на примере создания плоского изображения штрихкода в ограненном природном алмазе типа 1a массой 98 мкг формы, близкой к кубической, имеющем полированную грань 2a и не содержащем посторонних оптически непроницаемых неоднородностей (включений, трещин, вкраплений и т.п.). При этом облучение алмаза указанными рабочим излучением 4, излучением 6 отжига и возбуждения и регистрацию излучения созданных флюоресцирующих элементов изображения осуществляли через одну оптически проницаемую площадку-грань 2a, алмаз размещали в потоке рабочего излучения 4 таким образом, чтобы указанная площадка 2a была перпендикулярна направлению указанного рабочего излучения 4.

Способ осуществляли следующим образом.

Алмаз 2, в котором на поверхности предварительно была выполнена полированная оптически прозрачная площадка 2a, размещали на площадке средства 1 полированной площадкой 2a перпендикулярно оси луча от параболического зеркала 10.

По команде системы 17 управления источник 5 подавал излучение 6, например постоянное излучение лазера Verdi G2 фирмы Coherent средней мощностью 1 Вт с длиной волны 532 нм, в систему 7 фокусировки.

При этом по команде системы 17 управления источник 3 излучения подавал в систему 7 подачи излучений лазерный ультракороткий импульс излучения 4 с энергией 0,2 нДж, имеющий длительность около 100 фс на длине волны 1058 ± 2 нм, что соответствует флюенсу около 10^{-3} Дж/см, что намного ниже флюенса $0,4$ Дж/см², при котором происходит превращение алмаза в графит или иную неалмазную форму углерода.

В системе 7 подачи излучений 4 и 6 излучение 4 отражалось от дихроичного зеркала 8, от адаптивного зеркала 9, управляемого системой 17 управления, которое обеспечивало коррекцию волнового фронта излучения 4, и фокусировалось параболическим зеркалом 10 в области 18 предполагаемого размещения элемента изображения в алмазе 2, закрепленном на средстве 1 таким образом, чтобы излучение 4 было направлено перпендикулярно площадке 2a алмаза 2, с формированием фокальной перетяжки пучков указанных излучений 4 и 6 в фокальной области 18.

Совместное действие зеркал 9 и 10 обеспечивало фокусировку излучения 4 источника 3 рабочего оптического излучения в фокальное пятно 18 диаметром 5 мкм на глубине 100 мкм под поверхностью алмаза. Излучение 6 отжига и возбуждения источника 5, например с длиной волны 532 нм и средней мощностью 1 Вт, проходило через дихроичное зеркало 8, отражалось от зеркал 9 и 10, фокусировалось в той же области 18 внутри алмаза, что и излучение 4 источника 3 рабочего оптического излучения. При фокусировке ультракороткого лазерного импульса (импульсов) в фокальной области 18 достигается очень высокая интенсивность лазерного излучения, интенсивность которого при этом меньше интенсивности $\sim 0,4$ Дж/см², при которой происходит фазовой переход алмаза в графит. При этом макроскопического повреждения кристалла не происходит, но происходит образование электронно-

дырочной плазмы, ее нагрев, частичное нарушение межатомных связей в кристалле, и, как следствие, появляются дефекты кристаллической решетки - вакансии.

Воздействие оптического излучения источника 5 (или 5а) с длиной волны 532 нм и мощностью от 0,5 до 100 Вт в случае использования устройств, показанных на Фиг.1 и 2, или отжиг алмаза в печи при температуре 700-1200°С в случае использования устройства, показанного на Фиг.1а, приводит к нагреву области 18 фокуса, к ускорению процесса наработки вакансий, к дрейфу уже образовавшихся вакансий, а также к последующему возбуждению созданных N-V центров, сгруппированных в кластеры, при использовании устройств, показанных на Фиг.1, 1а и 2.

Продолжали облучение алмаза указанным выше излучением 6 в течение около 20 секунд до появления в области 18 предполагаемого размещения элемента изображения излучения флюоресценции, регистрируемого с помощью системы 12 регистрации, что свидетельствовало о положительном результате отжига с образованием вакансий, о создании N-V центров и об оптическом возбуждении N-V центров, сгруппированных в указанной области в кластеры N-V центров.

При этом в течение указанного времени с помощью фотоприемника 15 системы 12 регистрации элементов изображения, сигнал с которого анализируется системой 17 управления, контролировали уровень излучения флюоресценции кластеров N-V центров из области 18, в которую сфокусировано излучение 6 источника 5. Центр полосы флюоресценции N-V центров ожидали на длине волны ~680 нм.

В случаях, когда в течение указанных 20 секунд излучение N-V центров не было зарегистрировано или уровень интенсивности его был меньше заданного пользователем, то процесс облучения указанной области предполагаемого размещения элемента изображения повторяли необходимое число раз, постепенно увеличивая энергию каждого следующего ультракороткого импульса в 1,1 раза, изменяя пропускание ослабителя, которым оборудован источник 3 рабочего оптического излучения, пока не получали желаемой интенсивности флюоресценции N-V центров в фокальной области 18. При этом интегральный флюенс импульсов рабочего оптического излучения 4 в фокальной области 18, подсчитываемый системой 17 управления на основании известной энергии импульсов и размера фокального пятна, был не более значения 0,4 Дж/см², при котором происходит превращение алмаза в графит или иную неалмазную форму углерода. При достижении желаемой интенсивности флюоресценции в этой фокальной области 18 процесс прекращали. Таким образом получали кластер N-V центров с поперечным размером около 5 мкм.

После того как в заданной точке внутри алмаза был сформирован кластер N-V центров, система 17 управления подавала команду на средство 1 на перемещение в плоскости, параллельной грани 2а алмаза, в соответствии с введенной пользователем цифровой моделью изображения. Так фокальную плоскость 18 перемещали в новое место внутри кристалла алмаза, после чего повторяли вышеуказанные операции.

Описанную выше последовательность операций повторяли заданное число раз, в результате чего внутри кристалла было сформировано заданное изображение штрихкода, состоящее из кластеров N-V центров эллипсоидальной формы с поперечным размером около 5 мкм и продольным размером около 20 мкм, взаимно расположенных между собой на расстояниях 5 мкм вдоль 5 параллельных отрезков длиной 50 мкм, отстоящих друг от друга на расстояниях 20, 30, 40 и 50 мкм.

Согласно изобретению способ создания оптически проницаемого изображения был также осуществлен в алмазах массой 10 мг в устройстве, показанном на Фиг.2, в котором производили отжиг алмаза, содержащего уже созданные вакансии, не с помощью излучения лазера, а в печи в вакууме или инертной атмосфере в течение 20 с. При отжиге в печи производили нагрев всего кристалла до температуры 700-1200°С, что приводило к дрейфу вакансий на расстояния, меньшие размера кластера, и к образованию N-V центров. При этом режимы источников 3 рабочего излучения и источника 5а возбуждающего излучения, и работа систем 7а, 12, 17а и последовательность операций были аналогичны описанным выше режимам источников 3 и 5 излучений и систем 7, 12 и 17 устройства, показанного на Фиг.1.

Детектирование созданного изображения производили по эффекту флюоресценции изображения, ранее созданного внутри кристалла алмаза из кластеров N-V центров, под воздействием возбуждающего излучения, которым освещали кристалл алмаза 2. При этом устройство для детектирования согласно изобретению, схема которого показана на Фиг.3, позволяет считывать информацию из кристалла алмаза.

Записанная ранее информация может содержать аналоговую или цифровую информацию, например уникальный цифровой код, используемый для идентификации

драгоценного алмаза (уникальная цифровая подпись алмаза), или любую другую информацию.

Устройство детектирования, схема которого показана на Фиг.3, содержит средство 1, приспособленное для закрепления кристалла 2, источник 20 возбуждающего излучения 21 (с затвором и ослабителем), систему 22 фокусировки излучения 21.

При этом облучение алмаза 2 возбуждающим излучением 21 и регистрация флюоресценции может осуществляться по оптической оси, расположенной по той же самой оси возбуждающего излучения 21, например через одну полированную площадку 2а на поверхности алмаза 2 (Фиг.3). В этом случае используется полупрозрачное дихроичное зеркало 23 (Фиг.3), пропускающее излучение 21 возбуждения и отражающее излучение флюоресценции N-V центров. Однако регистрация флюоресценции может быть произведена и под углом к оси возбуждающего излучения 21, например через другую полированную площадку на поверхности алмаза 2. При этом дихроичное зеркало не используется.

В качестве источника 20 излучения 21 может быть использован лазер, светодиод, лампа или иной источник оптического излучения, обеспечивающего возбуждение N-V центров, имеющихся в алмазе, приводящее к флюоресценции этих центров. Излучение 21 возбуждения может быть как импульсным, так и непрерывным. Например, при исследованиях в качестве возбуждающего излучения 21 использовали оптическое излучение лазера Verdi G2 фирмы Coherent, оборудованного ослабителем, с длиной волны 532 нм и с максимальной средней мощностью 7 Вт.

Устройство детектирования, показанное на Фиг.3, также содержит систему 24 регистрации, содержащую полосовой фильтр 25, полупрозрачное зеркало 26, систему 27 фокусирования излучения флюоресценции, камеру 28, а также содержит спектрометр 29, систему 30 цифровой обработки полученных данных и систему 31 управления.

Система 24 регистрации позволяет регистрировать флюоресценцию элементов изображения и их взаимное расположение, при этом полосовой фильтр 25 и/или спектрометр 29 позволяют идентифицировать спектр N-V центров и выделить его на фоне рассеянного излучения 21 возбуждения. В качестве спектрометра 29 может быть использован спектрометр CCS175 фирмы «Thorlabs», подключенный к системе 31 управления.

Источник 20 возбуждающего излучения 21, например лазер (его затвор) и средство 1а управляются системой 31 управления.

Кроме того, устройство для детектирования (Фиг.3) содержит СВЧ генератор 32, генерирующий СВЧ волну с частотой $2,87 \pm 0,03$ ГГц, и мощностью 3 Вт, управляемый системой 31 управления. При этом к СВЧ генератору 32 подключена согласованная с ним полосковая СВЧ линия 33, подводящая СВЧ мощность к кристаллу алмаза 2.

При использовании устройства, показанного на Фиг.3, геометрические размеры исследуемого кристалла алмаза 2 и его изображения в различных проекциях заранее могут быть заранее введены пользователем в компьютер системы 31 управления. Первоначальное положение кристалла алмаза 2 относительно оси возбуждающего излучения 21 и линзы системы 22 фокусировки излучения 21 устанавливается пользователем и также вводится в компьютер системы 31 управления (способ установки с разумной точностью очевиден для специалиста). Однако может быть выполнена и задача детектирования изображения, не известного ранее операторам.

Если в области кристалла 2, через которую проходит возбуждающее излучение 21, присутствуют включения, в том числе N-V центры, флюоресцирующие под действием указанного излучения 21, то при использовании устройства, показанного на Фиг.3, излучение флюоресценции проходит через полосовой фильтр 25, который не пропускает рассеянное излучение 21, через полупрозрачное зеркало 26 и затем попадает в систему 27 фокусирования излучения флюоресценции, которая строит на светочувствительной площадке (на CCD-матрице) камеры 28 увеличенное изображение излучающей области, регистрируемое системой 31 управления.

В устройстве, показанном на Фиг.3, спектрометр 29 регистрирует спектр флюоресценции, излучаемый кристаллом алмаза 2 под действием излучения возбуждения 21, затем полученный спектр флюоресценции анализируется компьютером систем 31 управления и сравнивается с известным эталонным спектром N-V центров, имеющимся в системе 31 управления. На основании этого сравнения в системе 31 делается вывод о наличии кластеров N-V центров в исследуемом кристалле.

При этом в устройстве, показанном на Фиг.3, изображение флюоресцирующих кластеров N-V центров может быть обработано в системе 30 цифровой обработки (Фиг.3), и цифровые данные могут быть проанализированы в системе 31 управления

для определения соответствия их взаимного расположения заданному цифровому эталону изображения.

В устройстве, показанном на Фиг.3, в случае, если размер исследуемого кристалла алмаза 2 больше диаметра пучка излучения 21 возбуждения источника 20, фокусируемого системой 22 фокусировки, система 31 управления подает команды на последовательные перемещения средства 1а на расстояния, равные диаметру пучка лазера, в направлении, перпендикулярном пучку излучения 21 источника 20, и таким образом осуществляется сканирование плоской области внутри кристалла алмаза 2.

В случае если исследуемый кристалл алмаза 2 имеет сложную огранку, компьютер системы 31 управления подает команду на поворот средства 1а так, чтобы пучок излучения 21 всегда пересекал поверхность кристалла 2 под прямым углом. При каждом положении кристалла алмаза 2 камера 28 регистрирует изображение флюоресцирующих внутри кристалла кластеров N-V центров, которое запоминается системой 31 управления. Таким образом, после серии последовательных перемещений в указанном направлении, системой 31 управления формируется цифровое изображение флюоресцирующих кластеров N-V центров в одном плоском сечении кристалла. Аналогично получают изображение любого другого сечения.

В случае, если пользователю необходимо получить трехмерное изображение, имеющегося в кристалле изображения, например, метки в виде объемного объекта, система 31 управления выполняет повороты средства 1а и регистрирует изображения метки в различных перпендикулярных друг другу проекциях, а затем на их основании строит трехмерное цифровое изображение (цифровую модель) метки.

Также отображение флюоресцирующих кластеров N-V центров может с камеры 28 быть выведено на дисплей системы 31 управления и может быть проанализировано экспертом, который также может подавать команды на перемещения и повороты средства 1а.

Полученная трех- или двухмерная цифровая модель расположения созданных кластеров N-V центров внутри кристалла может затем быть проанализирована различными математическими методами и/или экспертом и подвергнута сравнению с эталонной цифровой моделью метки.

Обнаруженные дефекты в созданном изображении, связанные с неточностью координирования фокальной области в кристалле алмаза, могут быть сохранены пользователем и могут в дальнейшем служить отличительными особенностями, уникальными для этого кристалла, что позволяет идентифицировать также лицо, выполнившее ранее эту метку.

Кроме того, может быть проанализирована природа кристалла 2, в котором наблюдается флюоресцирующее излучение. Для этого используют облучение кристалла СВЧ излучением.

При этом система 31 управления подает команды на последовательные включения и выключения СВЧ генератора 32 с периодом 0,1 с - модулирует его мощность. В случае появления эффекта двойного радиооптического резонанса, присущего только N-V центрам в алмазе: под действием СВЧ поля изменяется интенсивность флюоресценции N-V центров внутри кристалла алмаза, изменение интенсивности флюоресценции регистрируется камерой 28 и спектрометром 29, затем анализируется компьютером системы 31 управления. При изменениях уровня флюоресценции, синхронных с модуляцией мощности СВЧ поля, следует, что данный кристалл является именно алмазом, и вывод о наличии N-V центров в данном алмазе.

Выполнение перечисленных операций позволяет:

1. Определить, присутствуют ли в исследуемом кристалле флюоресцирующие под действием накачки включения.
 2. Определить, являются ли данные включения кластерами N-V центров и является ли данный кристалл алмазом.
 3. Определить, сформировано ли из кластеров N-V центров изображение.
 4. Для кристаллов с двумя и более полированными гранями, позволяющими получить проекции изображения, по меньшей мере, в двух непараллельных плоскостях, определить, находится ли это изображение внутри кристалла, а не на поверхности кристалла.
 5. Для кристаллов с двумя и более полированными гранями, позволяющими получить проекции изображения, по меньшей мере, в двух непараллельных плоскостях, построить цифровую трехмерную, а для прочих кристаллов - двумерную модель этого изображения и записать изображение.
 6. Анализировать указанное изображение и извлекать из него информацию.
- При исследованиях авторы осуществляли детектирование изображений в кристаллах с помощью описанного выше устройства для детектирования,

показанного на Фиг.3, в природных ограненных кристаллах массой в диапазоне 90-98 мкг в количестве 15, свободных от оптически непроницаемых неоднородностей (включений, трещин, вкраплений и т.п.), внутри которых, предположительно в одной неизвестной группе из них, предварительно способом согласно изобретению было создано оптически проницаемое изображение, имеющее глубину размещения, форму и размеры, не известные операторам.

Детектирование изображения в кристаллах осуществляли следующим образом.

Детектируемый кристалл закрепляли на средстве 1а так, чтобы грань 2а была перпендикулярна потоку излучения 21 возбуждения, в качестве которого использовали постоянное лазерное излучение с длиной волны 532 нм и средней мощностью 7 Вт. Система 31 управления подавала команду включения источника 20 и включения системы 30 цифровой обработки и спектрометра 29. Система 27 формировала пучок излучения 21, равномерно освещавший весь кристалл. При этом в 10 кристаллах из общего количества 15 исследуемых кристаллов были обнаружены включения, флюоресцирующие под действием указанного излучения 21. Излучение их флюоресценции поступало через фильтр 25, который не пропускал рассеянное излучение 21, и через полупрозрачное зеркало 26, которое отражало часть излучения на спектрометр 29, поступало затем в систему 27 фокусирования излучения флюоресценции, которая строила на светочувствительной площадке (на CCD-матрице) камеры 28 увеличенное изображение плоскости, находящейся на известной глубине внутри кристалла, регистрируемое камерой 28 и системой 31 управления.

Спектрометр 29 регистрировал спектр флюоресценции в области внутри кристалла под действием излучения возбуждения. Затем полученный спектр флюоресценции и цифровые изображения флюоресцирующих элементов анализировали в компьютерах системы 31 управления. Сравнение с известным эталонным спектром N-V центров позволило сделать вывод о наличии флюоресцирующих кластеров N-V центров в 10 исследуемых кристаллах. На основании цифровых изображений были построены модели обнаруженных флюоресцирующих областей. Таким образом, в 5 алмазах были получены двумерные цифровые изображения флюоресцирующих областей в виде штрихов, состоящих из кластеров N-V центров с поперечным размером в данной проекции около 5 мкм, расположенных между собой на расстояниях 5 мкм вдоль 5 взаимно параллельных отрезков длиной 50 мкм, отстоящих друг от друга на расстояниях 20, 30, 40 и 50 мкм, расположенное на глубине 100 мкм. В других 5 алмазах было получено двумерное цифровое изображение флюоресцирующих областей в виде буквы X из расположенных между собой на расстоянии 5 мкм кластеров N-V центров в отрезках длиной 50 мкм на глубине 200 мкм. В остальных 5 алмазах флюоресценции не наблюдали, что свидетельствовало об отсутствии в них N-V центров.

Система 31 управления подавала команду последовательного включения и выключения СВЧ генератора 32 с периодом 0,1 с - модулировала его мощность. Камерой 28 и спектрометром 29 в 10 алмазах, в которых было обнаружено флюоресцирующее излучение, было зарегистрировано изменение интенсивности флюоресценции, которое затем было проанализировано компьютером системы 31 управления. Появление эффекта двойного радиооптического резонанса, присущего только N-V центрам в алмазе, с изменениями уровня флюоресценции, синхронными с модуляцией мощности СВЧ поля, позволило сделать заключение, что указанные 10 кристаллов являются именно алмазами. В других 5 алмазах какое-либо излучение отсутствовало.

Созданные в кристаллах алмазов описанным выше способом из кластеров N-V центров указанные выше изображения невидимы невооруженным глазом в увеличительные стекла, а также в любые оптические и электронные микроскопы, так как концентрация N-V центров в кластерах относительно мала, мал размер самого кластера и мало сечение поглощения N-V центров ($\sim 10^{-16}$ см²). При этом изображение, созданное из кластеров N-V центров, находится в глубине кристалла, поэтому не может быть удалено полировкой. Способов уничтожения N-V центров в кристалле алмаза без разрушения или порчи самого кристалла авторам не известно. Таким образом, изображение, состоящее из кластера (кластеров) N-V центров, является надежной подписью алмаза и надежной записью информации.

Специалистам в области информационных технологий, лазерной физики, технологий кодирования и шифрования должно быть понятно, что в способ и устройства для создания и детектирования оптически проницаемых изображений могут быть внесены улучшения и модификации, не выходящие за рамки формулы изобретения, например изменения, повышающие качество изображений, для

усовершенствования параметров и режимов работы устройств, в том числе, связанные с особенностями создаваемых изображений.

Промышленная применимость

Способ создания оптически проницаемых изображений внутри алмаза может быть применен для создания перманентной маркировки алмазов, в том числе секретной, в целях их последующей идентификации и отслеживания, без изменения их внешнего вида и без уменьшения их коммерческой стоимости, а также для записи и хранения информации внутри кристаллов алмаза. Способ может быть осуществлен в устройствах для создания оптически проницаемых изображений согласно изобретению, выполненным с применением известных конструктивных элементов и аппаратуры. Созданные изображения могут быть детектированы с помощью устройства для детектирования согласно изобретению.

Формула изобретения

1. Способ создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза, в котором под поверхностью алмаза создают N-V центры, флюоресцирующие при возбуждающем облучении, отличающийся тем, что изображение создают внутри алмаза в области, свободной от оптически непроницаемых неоднородностей, при этом создают изображение, состоящее из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, и при этом образование кластеров N-V центров осуществляют с помощью выполнения следующих операций:

- обработки алмаза рабочим оптическим излучением, сфокусированным в фокальной области, расположенной в области предполагаемого размещения кластера N-V центров, с подачей рабочих ультракоротких импульсов излучения, обеспечивающих образование кластера вакансий в указанной фокальной области и при этом обеспечивающих интегральный флюенс в указанной фокальной области ниже порогового флюенса, при котором происходит локальное превращение алмаза в графит или иную неалмазную форму углерода;

- отжига, по меньшей мере, указанных областей предполагаемого размещения кластеров N-V центров, обеспечивающего в указанных областях дрейф созданных вакансий и образование N-V центров, сгруппированных в кластеры в тех же областях, что и кластеры вакансий.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве рабочего излучения используют излучение ультракоротких лазерных импульсов с длительностью около 100 фс с центральной длиной волны 1058 ± 2 нм с энергией в каждом импульсе, обеспечивающей в указанной области суммарный интегральный флюенс воздействия в диапазоне от 10^{-3} до $0,4$ Дж/см².

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что создают элемент изображения, имеющий размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм на глубине более 100 мкм, при этом для обработки используют излучение ультракоротких лазерных импульсов, сфокусированное в фокальной области, имеющей размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм соответственно.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют контроль созданных элементов изображения на основе регистрации флюоресценции N-V центров при облучении, по меньшей мере, областей размещения элементов изображения, возбуждающим оптическим излучением, обеспечивающим возбуждение N-V центров, формирование цифровой и/или объемной модели созданного изображения.

5. Способ по п.4, отличающийся тем, что в области расположения каждого указанного кластера, ранее не обеспечивающего желаемой интенсивности флюоресценции, проводят корректировку концентрации N-V центров в каждом созданном кластере N-V центров с помощью коррекции суммарного интегрального флюенса рабочих ультракоротких лазерных импульсов в области расположения данного кластера.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что коррекцию суммарного интегрального флюенса рабочих ультракоротких импульсов осуществляют путем увеличения количества указанных импульсов и/или увеличения их энергии.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что проводят операцию облучения областей предполагаемого расположения кластеров N-V центров рабочим ультракоротким импульсным излучением одновременно с операцией отжига.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что проводят операцию облучения областей предполагаемого расположения кластеров N-V центров рабочим ультракоротким

импульсным излучением одновременно с операцией отжига и с операцией облучения возбуждающим излучением.

9. Способ по п.4, отличающийся тем, что проводят операцию облучения областей предполагаемого расположения кластеров N-V центров рабочим ультракоротким импульсным излучением одновременно с операцией отжига, с операцией облучения возбуждающим излучением и с операцией регистрации излучения флюоресценции кластеров N-V центров.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что отжиг алмазов осуществляют в печи в вакууме или инертной атмосфере при температуре 700-1200°C.

11. Способ по п.1, отличающийся тем, что отжиг алмазов массой менее 100 мкг осуществляют с помощью облучения области предполагаемого расположения кластера N-V центров сфокусированным в ней непрерывным оптическим излучением до образования флюоресцирующего кластера N-V центров.

12. Способ по п.10 или 11, отличающийся тем, что отжиг осуществляют излучением второй гармоники лазера на Nd:YAG с длиной волны 532 нм и мощностью от 1 до 100 Вт.

13. Способ по п.4, отличающийся тем, что отжиг и возбуждение образующихся N-V центров осуществляют с помощью излучения второй гармоники лазера на Nd:YAG с длиной волны 532 нм и мощностью от 1 до 100 Вт.

14. Способ по п.4, отличающийся тем, что облучение указанными рабочим и возбуждающим излучениями и регистрацию созданных флюоресцирующих элементов изображения осуществляют через, по меньшей мере, одну оптически проницаемую площадку, предварительно выполненную на поверхности алмаза, и алмаз размещают в потоке рабочего излучения таким образом, чтобы указанная площадка была перпендикулярна направлению указанного рабочего излучения.

15. Устройство для осуществления способа создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза, содержащее источник рабочего оптического излучения, обеспечивающего создание вакансий в алмазе, устройство для отжига, обеспечивающего дрейф вакансий и создание внутри алмаза N-V центров, флюоресцирующих под действием возбуждающего излучения, отличающееся тем, что приспособлено для создания изображения, состоящего из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, в алмазе, имеющем одну предварительно выполненную на поверхности алмаза оптически проницаемую полированную площадку, и содержит:

- средство (1) для закрепления алмаза (2) и его координированного перемещения в пространстве;
- источник (3) рабочего оптического излучения (4), приспособленный для формирования пучка излучения ультракоротких импульсов, обеспечивающего создание вакансий в алмазе (2), сгруппированных в кластер, и выполненный с возможностью регулирования количества и энергии указанных импульсов;
- источник (5) оптического излучения, приспособленный для формирования пучка непрерывного излучения (6), обеспечивающего отжиг алмаза (2), достаточный для дрейфа вакансий в области расположения создаваемого элемента изображения с образованием N-V центров, сгруппированных в кластер, и обеспечивающего оптическое возбуждение создаваемых N-V центров;
- систему (7) подачи указанных излучений (4, 6) от источников (3, 5) через упомянутую оптически проницаемую площадку (2а), обеспечивающую формирование фокальной перетяжки пучков указанных излучений (4, 6) в области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза (2);
- систему (17) управления устройством, обеспечивающую подачу команд на средство (1) для закрепления алмаза (2), источники (3, 5) излучений (4, 6), на систему (7) подачи излучений.

16. Устройство по п.15, отличающееся тем, что в качестве источника (3) рабочего оптического излучения (4) содержит источник, обеспечивающий излучение ультракоротких лазерных импульсов с длительностью порядка 100 фс с центральной длиной волны 1058 ± 2 нм.

17. Устройство по п.16, отличающееся тем, что в качестве источника (3) рабочего оптического излучения (4) содержит источник излучения ультракоротких лазерных импульсов с возможностью коррекции энергии каждого импульса и их количества, позволяющий обеспечить в области указанной фокальной перетяжки (18) суммарный интегральный флюенс воздействия в диапазоне от 10^{-3} до $0,4$ Дж/см².

18. Устройство по п.15, отличающееся тем, что в качестве источника (5) оптического излучения содержит лазер, обеспечивающий излучение с длиной волны

532 нм и снабженный ослабителем, с максимальной средней мощностью 7 Вт.

19. Устройство по пп.15-18, отличающееся тем, что дополнительно содержит дихроичное зеркало (11), пропускающее излучения указанных источников (3, 5) излучения, и отражающее излучение флюоресценции N-V центров, а также содержит систему (12) регистрации флюоресценции созданных элементов изображения через указанную предварительно выполненную на поверхности алмаза (2) оптически проницаемую полированную площадку (2а) и обеспечивающую измерение интенсивности флюоресценции создаваемых N-V центров.

20. Устройство по п.19, отличающееся тем, что система (17) управления устройством также обеспечивает подачу команд на систему (12) регистрации и прием цифровой информации от системы (12) регистрации, ее обработку, формирование цифровой и/или объемной модели созданного изображения, сравнение созданного изображения с заданным эталоном.

21. Устройство по п.15, отличающееся тем, что система (7) подачи излучений (4, 6) включает в себя дихроичное зеркало (8), пропускающее излучение (6) отжига и возбуждения и отражающее рабочее излучение (4), адаптивное зеркало (9), обеспечивающее коррекцию волнового фронта рабочего излучения (4), и параболическое зеркало (10) внеосевое, приспособленное для фокусировки рабочего излучения (4) и излучения (6) отжига и возбуждения в области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза перпендикулярно указанной площадке (2а).

22. Устройство по п.15 или 21, отличающееся тем, что система (7) подачи излучений обеспечивает возможность фокусировки излучений (4, 6) в фокальной области (18), имеющей размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм на глубине более 100 мкм.

23. Устройство для осуществления способа создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза, содержащее источник рабочего оптического излучения, обеспечивающего создание вакансий в алмазе, устройство для отжига, обеспечивающего дрейф вакансий и создание внутри алмаза N-V центров, флюоресцирующих под действием возбуждающего излучения, отличающееся тем, что приспособлено для создания изображения, состоящего из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, в алмазе, имеющем две предварительно выполненные на поверхности алмаза оптически проницаемые полированные площадки, и содержит:

- средство (1) для закрепления алмаза (2) и его координированного перемещения в пространстве;
- источник (3) рабочего оптического излучения (4), приспособленный для формирования пучка излучения ультракоротких импульсов, обеспечивающего создание вакансий в алмазе (2), сгруппированных в кластер, и выполненный с возможностью регулирования количества и энергии указанных импульсов;
- источник (5) оптического излучения, приспособленный для формирования пучка непрерывного излучения (6), обеспечивающего отжиг алмаза (2), достаточный для дрейфа вакансий в области расположения создаваемого элемента изображения с образованием N-V центров, сгруппированных в кластер, и обеспечивающего оптическое возбуждение создаваемых N-V центров;
- систему (7) подачи указанных излучений (4, 6) от источников (3, 5) в алмаз (2) через одну из упомянутых оптически проницаемых площадок (2а), обеспечивающую формирование фокальной перетяжки пучков указанных излучений (4, 6) в области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза (2);
- систему (17) управления устройством, обеспечивающую подачу команд на средство (1) для закрепления алмаза (2), источники (3, 5) излучений (4, 6), систему (7) подачи излучений.

24. Устройство по п.23, отличающееся тем, что в качестве источника (3) рабочего оптического излучения (4) содержит источник, обеспечивающий излучение ультракоротких лазерных импульсов с длительностью порядка 100 фс с центральной длиной волны 1058 ± 2 нм.

25. Устройство по п.23, отличающееся тем, что в качестве источника (3) рабочего излучения (4) содержит источник излучения ультракоротких лазерных импульсов с возможностью коррекции энергии каждого импульса и их количества, позволяющий обеспечить в области указанной фокальной перетяжки (18) суммарный интегральный флюенс воздействия в диапазоне от 10^{-3} до $0,4$ Дж/см².

26. Устройство по п.23, отличающееся тем, что в качестве источника (5) оптического излучения содержит лазер, обеспечивающий излучение с длиной волны

532 нм и снабженный ослабителем, с максимальной средней мощностью 7 Вт.

27. Устройство по п.23, отличающееся тем, что дополнительно содержит систему (12) регистрации, обеспечивающую регистрацию флюоресценции созданных элементов изображения через другую оптически проницаемую площадку (2б) из указанных площадок (2а, 2б), и обеспечивающую измерение интенсивности флюоресценции создаваемых N-V центров.

28. Устройство по п.27, отличающееся тем, что система (17) управления устройством также обеспечивает подачу команд на систему (12) регистрации и прием цифровой информации от системы (12) регистрации, ее обработку, формирование цифровой и/или объемной модели созданного изображения.

29. Устройство по п.23, отличающееся тем, что система (7) подачи излучений (4, 6) включает в себя дихроичное зеркало (8), пропускающее излучение (6) отжига и возбуждения и отражающее рабочее излучение (4), адаптивное зеркало (9), обеспечивающее коррекцию волнового фронта рабочего излучения (4) и параболическое зеркало (10) внеосевое, приспособленное для фокусировки рабочего излучения (4) и излучения (6) отжига и возбуждения в заданной области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза перпендикулярно указанной площадке (2а).

30. Устройство по пп.23 или 29, отличающееся тем, что система (7) подачи излучений обеспечивает возможность фокусировки излучений (4, 6) в фокальной области (18), имеющей размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм на глубине более 100 мкм.

31. Устройство для осуществления способа создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза, содержащее источник рабочего оптического излучения, обеспечивающего создание вакансий в алмазе, устройство для отжига, обеспечивающего дрейф вакансий и создание внутри алмаза N-V центров, флюоресцирующих под действием возбуждающего излучения, отличающееся тем, что приспособлено для создания изображения, состоящего из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, в алмазе, имеющем одну предварительно выполненную на поверхности алмаза оптически проницаемую полированную площадку, и содержит:

- источник (3) рабочего оптического излучения (4), приспособленный для формирования пучка излучения ультракоротких импульсов, обеспечивающего создание вакансий в алмазе (2), сгруппированных в кластер, и выполненный с возможностью регулирования количества и энергии указанных импульсов;
- печь (19), выполненную с возможностью создания внутри инертной к алмазу атмосферы или вакуума, обеспечивающую отжиг алмаза (2), достаточный для дрейфа вакансий в области расположения создаваемого элемента изображения с образованием N-V центров, сгруппированных в кластер, имеющую одно оптически прозрачное окно (19а) и приспособленную для закрепления в ней алмаза (2) в позиции, обеспечивающей параллельность указанной полированной грани (2а) плоскости указанного окна (19а);
- средство (1а) для закрепления печи (19) и ее координированного перемещения в пространстве;
- систему (7) подачи излучения (4) от указанного источника (3) излучения через указанную оптически проницаемую площадку (2а), и обеспечивающую формирование фокальной перетяжки пучка указанного излучения (4) в области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза (2);
- систему (17а) управления устройством, обеспечивающую подачу команд на источник (3) излучения (4), на систему (7) подачи излучений и на средство (1а) для закрепления печи (19).

32. Устройство по п.31, отличающееся тем, что в качестве источника (3) рабочего излучения (4) содержит лазер, обеспечивающий излучение ультракоротких импульсов с длительностью около 100 фс с центральной длиной волны 1058 ± 2 нм.

33. Устройство по п.32, отличающееся тем, что в качестве источника (3) рабочего излучения (4) содержит лазер, обеспечивающий излучение ультракоротких импульсов с возможностью коррекции энергии каждого импульса и их количества, позволяющей обеспечить в указанной фокальной области (18) суммарный интегральный флюенс воздействия в диапазоне от 10^{-3} до $0,4$ Дж/см².

34. Устройство по п.31, отличающееся тем, что дополнительно содержит источник (5а) оптического излучения, приспособленный для формирования пучка непрерывного излучения (6а), обеспечивающего оптическое возбуждение создаваемых N-V центров, обеспечивающий излучение с длиной волны 532 нм.

35. Устройство по п.34, отличающееся тем, что в качестве источника (5а) возбуждения содержит лазер, снабженный ослабителем, со средней мощностью 7 Вт.

36. Устройство по п.31, отличающееся тем, что в качестве указанной печи (19) содержит печь, обеспечивающую температурный режим в диапазоне 700-1200°С, заполненную аргоном.

37. Устройство по п.34 или 35, отличающееся тем, что дополнительно содержит дихроичное зеркало (11), пропускающее рабочее и возбуждающее излучения (4, 6а) указанных источников (3, 5а) и отражающее излучение флюоресценции N-V центров, а также дополнительно содержит систему (12) регистрации флюоресценции созданных элементов изображения через указанную предварительно выполненную на поверхности алмаза оптически проницаемую полированную площадку (2а) и обеспечивающую измерение интенсивности флюоресценции создаваемых N-V центров.

38. Устройство по п.34 или 35, отличающееся тем, что система (7) подачи излучения (4) от указанного источника (3) также обеспечивает подачу излучения (6а) от указанных источников (5а) излучения через указанную оптически проницаемую площадку (2а), обеспечивая формирование фокальной перетяжки пучков указанных излучений (4, 6) в области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза (2).

39. Устройство по п.38, отличающееся тем, что система (17а) управления устройством дополнительно обеспечивает подачу команд на источник (5а) излучений (6а), а также прием цифровой информации от системы (12) регистрации, ее обработку, формирование цифровой и/или объемной модели созданного изображения.

40. Устройство по п.38, отличающееся тем, что система (7) подачи рабочего и возбуждающего излучений (4, 6а) от источников (3, 5а) включает в себя дихроичное зеркало (8), пропускающее излучение (6) отжига и возбуждения и отражающее рабочее излучение (4), адаптивное зеркало (9), обеспечивающее коррекцию волнового фронта рабочего излучения (4), и параболическое зеркало (10) внеосевое, приспособленное для фокусировки рабочего излучения (4) и излучения (6а) возбуждения в заданной области предполагаемого размещения элемента изображения внутри алмаза (2) перпендикулярно указанной площадке (2а).

41. Устройство по пп.34, 35 или 40, отличающееся тем, что система (7) подачи излучений обеспечивает возможность фокусировки излучений (4, 6а) в области указанной фокальной перетяжки (18), имеющей размеры в диапазоне от 0,5 до 20,0 мкм на глубине более 100 мкм.

42. Устройство для детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза путем возбуждения дефектов алмаза, флюоресцирующих в состоянии возбуждения, и регистрации их излучения флюоресценции, отличающееся тем, что приспособлено для детектирования внутри кристалла оптически проницаемого изображения, состоящего из совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой кластеры N-V центров, через по меньшей мере одну оптически прозрачную полированную площадку на поверхности кристалла (2а) и содержащее:

- источник (20) излучения возбуждения, приспособленный для формирования пучка непрерывного оптического излучения (21), обеспечивающего оптическое возбуждение имеющихся в алмазе (2) N-V центров и их флюоресценцию;
- дихроичное зеркало (23), пропускающее возбуждающее излучение (21) указанного источника (20) и отражающее излучение флюоресценции N-V центров;
- систему (22) формирования пучка возбуждающего излучения, обеспечивающую равномерное освещение всего алмаза (2) возбуждающим излучением алмаза (2), с интенсивностью, достаточной для возбуждения N-V центров в указанном алмазе (2);
- средство (1) для закрепления алмаза (2) в положении, соответствующем расположению его указанной полированной площадки (2а) перпендикулярно потоку возбуждающего излучения (21);
- систему (24) регистрации, обеспечивающую регистрацию излучения флюоресценции через указанную одну оптически прозрачную полированную площадку (2а) на поверхности алмаза и взаимного расположения излучающих элементов;
- спектрометр (29), обеспечивающий выделение спектра флюоресценции N-V центров на фоне рассеянного в кристалле излучения (21) возбуждения и его регистрацию;
- систему (30) цифровой обработки полученных данных от системы (24) регистрации;
- генератор (32) СВЧ-излучения и подключенную к нему и согласованную с ним полосковую СВЧ-линию (33), подводящую СВЧ-мощность к кристаллу (2);
- систему (31) управления, обеспечивающую подачу команд на включение/

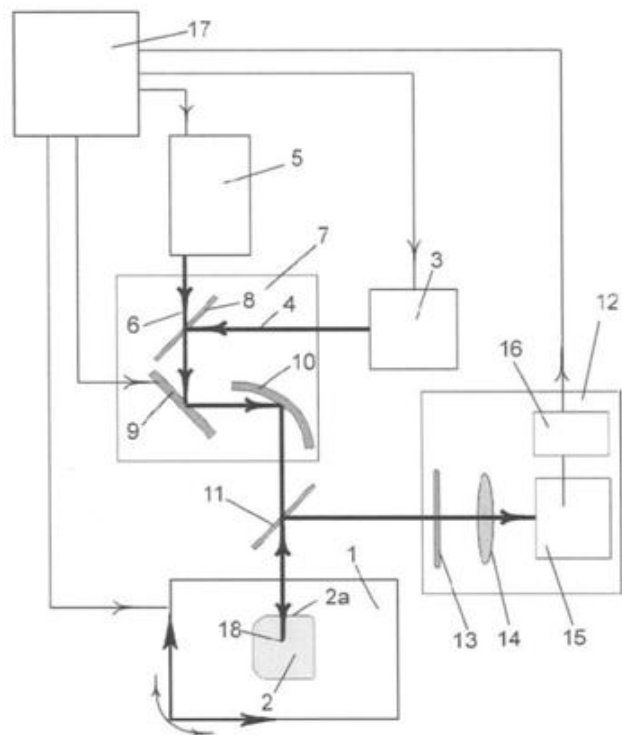
выключение источника (20) возбуждающего излучения (21) на средство (1) для закрепления алмаза (2), на генератор (32) СВЧ-излучения, прием цифровой информации от системы (24) регистрации и от системы (30) цифровой обработки, идентификацию спектра флюоресценции как спектра кластеров N-V центров, формирование цифровой и/или объемной модели обнаруженного изображения.

43. Устройство по п.42, отличающееся тем, что система (24) регистрации содержит полосовой фильтр (25), позволяющий выделить спектр флюоресценции элементов изображения на фоне рассеянного излучения (21) возбуждения, полупрозрачное зеркало (26), пропускающее рассеянное излучение возбуждения, ослабленное внутри алмаза (2) и отражающее часть излучения флюоресценции N-V центров на спектрометр (29), систему (27) фокусирования излучения флюоресценции, обеспечивающую формирование на чувствительной площадке камеры изображения флюоресцирующих кластеров N-V центров с достаточным увеличением, и камеру (28), обеспечивающую регистрацию указанного изображения и его передачу в систему (30) цифровой обработки и в систему (31) управления.

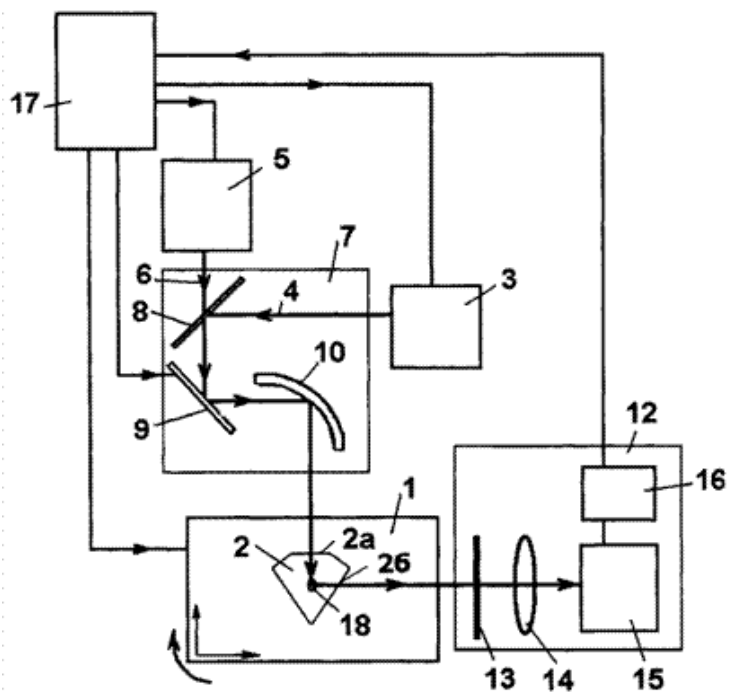
44. Устройство по п.42, отличающееся тем, что в качестве источника (20) излучения (21) возбуждения содержит источник оптического излучения, обеспечивающий излучение с длиной волны 532 нм.

45. Устройство по п.42 или 44, отличающееся тем, что в качестве источника (20) возбуждения содержит лазер, снабженный ослабителем, со средней мощностью 7 Вт.

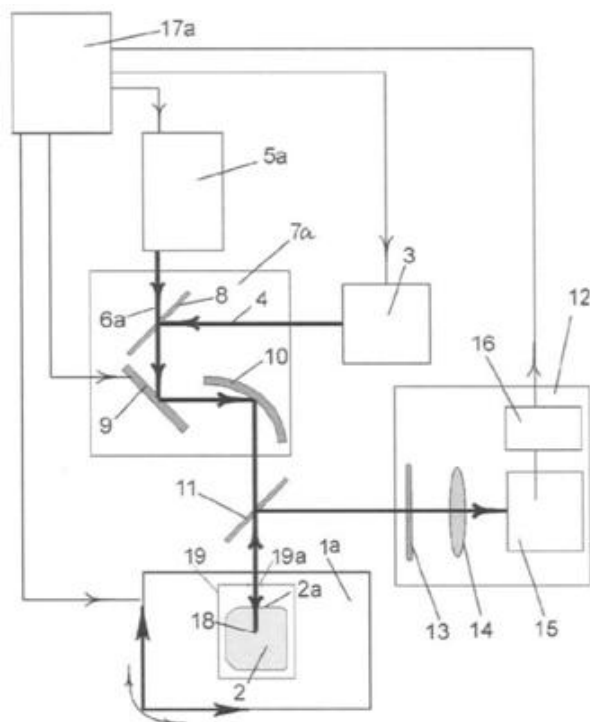
46. Устройство по п.42, отличающееся тем, что генератор (32) СВЧ-излучения генерирует СВЧ-волну с частотой $2,87 \pm 0,03$ ГГц и мощностью 3 Вт.



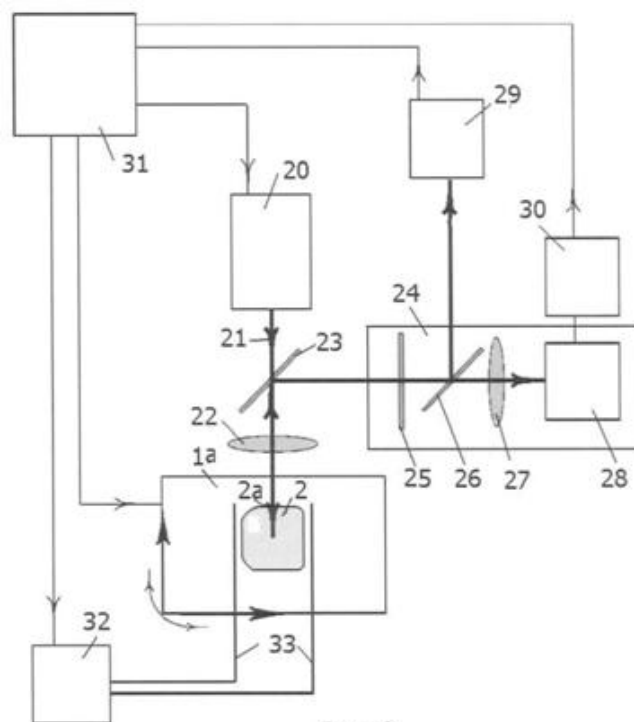
Фиг. 1



Фиг. 1a



Фиг. 2



Фиг. 3

ИЗВЕЩЕНИЯ

QB4A Государственная регистрация договора о распоряжении исключительным правом

Дата и номер государственной регистрации предоставления права использования по договору:
17.07.2014 РД0151891

Условия договора: **НИЛ, сроком на 10 лет на территории РФ**

Лицо(а), предоставляющее(ие) право использования: **Общество с ограниченной ответственностью "Новые энергетические технологии" (RU)**

Лицо, которому предоставлено право использования: **Общество с ограниченной ответственностью "Лазерлаб" (RU)**

Вид договора: **лицензионный**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **17.07.2014**

Дата публикации: [10.08.2014](#)

MM4A Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: **01.07.2015**

Дата публикации: [10.03.2016](#)

NF4A Восстановление действия патента

Дата, с которой действие патента восстановлено: **20.10.2016**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **03.10.2016**

Дата публикации: [20.10.2016](#)

PD4A Изменение наименования, фамилии, имени, отчества патентообладателя

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью "Новые энергетические технологии" (RU)

Дата внесения записи в Государственный реестр: **07.05.2018**

Дата публикации и номер бюллетеня: [07.05.2018](#) Бюл. №13

QB4A Государственная регистрация договора о распоряжении исключительным правом

Дата и номер государственной регистрации предоставления права использования по договору:
10.05.2018 РД0251299

Лицо(а), предоставляющее(ие) право использования: **Общество с ограниченной ответственностью "Новые энергетические технологии" (RU)**

Лицо, которому предоставлено право использования: **Общество с ограниченной ответственностью "Микролазер" (RU)**

Вид договора: **лицензионный**

Условия договора: **неисключительная лицензия на срок действия патента на территории РФ.**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **10.05.2018**

Дата публикации и номер бюллетеня: [10.05.2018](#) Бюл. №13

РС4A Государственная регистрация договора об отчуждении исключительного права

Дата и номер государственной регистрации договора: **18.02.2019 РД0286389**

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью "Микролазер" (RU)

Приобретатель исключительного права:

Общество с ограниченной ответственностью "Микролазер" (RU)

Лицо(а), передающее(ие) исключительное право:

Общество с ограниченной ответственностью "Новые энергетические технологии" (RU)

Адрес для переписки:

107045, Москва, Сретенский бульвар, 5, а/я 97, для Мазур Н.З.

Дата внесения записи в Государственный реестр: **18.02.2019**

Дата публикации и номер бюллетеня: [18.02.2019](#) Бюл. №5

РС4A Государственная регистрация договора об отчуждении исключительного права

Дата и номер государственной регистрации договора: **23.03.2020 РД0329036**

(73) Патентообладатель(и):

Акционерная компания "АПРОСА" (публичное акционерное общество) (RU)

Приобретатель исключительного права:

Акционерная компания "АПРОСА" (публичное акционерное общество) (RU)

Лицо(а), передающее(ие) исключительное право:

Общество с ограниченной ответственностью "Микролазер" (RU)

Адрес для переписки:

107045, Москва, Сретенский бульвар, 5, а/я 97, для Мазур Н.З.

Дата внесения записи в Государственный реестр: **23.03.2020**

Дата публикации и номер бюллетеня: [23.03.2020](#) Бюл. №9