



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК  
[B23K 26/50 \(2014.01\)](#)  
[C01B 32/28 \(2017.01\)](#)  
(52) СПК  
[B23K 26/50 \(2020.01\)](#)  
[C01B 32/28 \(2020.01\)](#)

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.04.2020)

(21)(22) Заявка: [2019108757](#), 26.03.2019(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.03.2019Дата регистрации:  
24.04.2020Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 26.03.2019(45) Опубликовано: [24.04.2020](#) Бюл. № [12](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2465377 C1, 27.10.2012. WO  
99/33671 A1, 08.07.1999. WO 2009/017433 A1,  
05.02.2009.Адрес для переписки:  
107045, Москва, Сретенский б-р, 5, а/я 97,  
для Мазур Н.З.

(72) Автор(ы):

Ионин Андрей Алексеевич (RU),  
Кудряшов Сергей Иванович (RU),  
Смирнов Никита Александрович (RU),  
Данилов Павел Александрович (RU),  
Левченко Алексей Олегович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

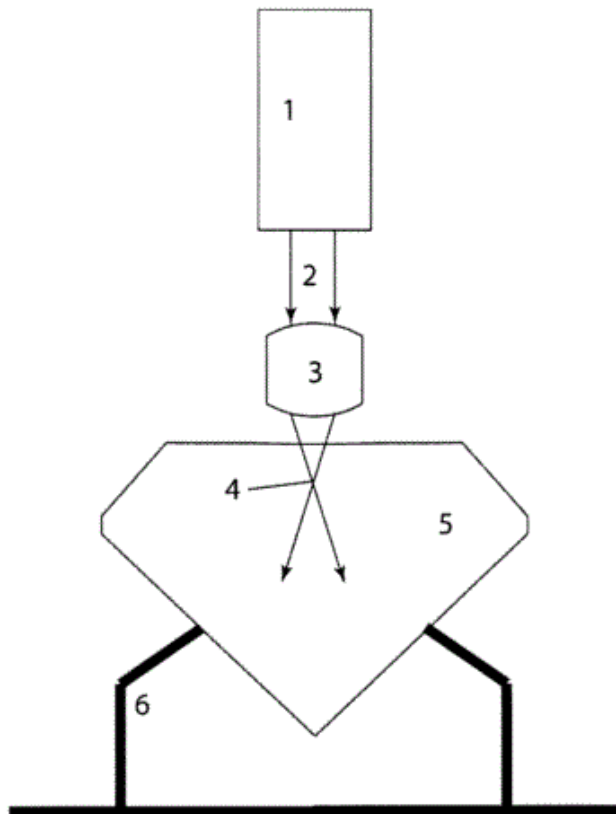
Акционерная компания "АЛРОСА"  
(публичное акционерное общество) (АК  
"АЛРОСА" (ПАО)) (RU),  
Общество с ограниченной  
ответственностью "Микролазер" (ООО  
"Микролазер") (RU)

**(54) Способ создания и детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза и системы для детектирования (варианты)**

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам создания внутри алмазов изображений, несущих информацию различного назначения, например кода идентификации, метки, идентифицирующие алмазы. Техническим результатом является повышение точности создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза и его детектирования. Указанный технический результат достигается в способе создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза, в котором под поверхностью алмаза создают изображение, состоящее из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза, при этом создают изображение, являющееся меткой, состоящей из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера. Образование нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза осуществляют посредством обработки алмаза оптическим излучением, сфокусированным в фокальной области, расположенной в области предполагаемого размещения нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза, с подачей ультракоротких импульсов излучения, обеспечивающих образование заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, выполненных на вакансиях и междоузлиях, в указанной фокальной области, и обеспечивающих интегральный флюенс в указанной фокальной области ниже порогового флюенса, при котором происходит локальное превращение алмаза в графит или иную неалмазную форму

углерода или образование в кристалле трещин, расколов. 5 н. и 12 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг.1

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.

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 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 инициировались дефектами или примесями (атомы азота, водорода, серы, фосфора, никеля, бора и другие), присутствующими в объеме материала, где записывающий лазерный луч достигает своего наименьшего поперечного размера или, эквивалентно, своей максимальной интегральной плотности оптического потока. 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 миниатюрных изображений, имеющих изобразительную и смысловую нагрузку, невозможно.

Известен способ получения изображения в прозрачных материалах (SU 329899 A), 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°C, 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 C1), 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 N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, воздух, N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>,

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.

Известны используемые в способах защиты изделий метки, содержащие нанокристаллы алмаза с активными центрами, флюоресцирующими 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 флюоресценции нанокристаллов при возбуждающем оптическом облучении судят о подлинности изделия.

При этом известно, что детектирование таких излучений флюоресценции 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 флюоресценцию, и фотоприемное устройство, настроенное на длины волн в диапазоне 630-800 нм, которое анализирует спектральные и временные характеристики принимаемого сигнала флюоресценции.

При этом заключение о наличии такой метки в изделии делают на основе спектральных характеристик флюоресценции, соответствующих известным спектральным характеристикам флюоресценции N-V центра, и различия сигнала флюоресценции 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 флюоресцирующее пятно в области, содержащей указанные нанокристаллы.

Наиболее близким аналогом является способ создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза и устройство для его детектирования (RU 2465377), заключающееся в том, что 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.

Однако данный способ трудоемок, а также может повлечь за собой ухудшение качества алмазов, за счет осуществления процесса отжига. Кроме того, в случае при большой концентрации примесей в алмазе может наблюдаться так называемое концентрационное тушение люминесценции, что влечет за собой низкое качество детектирования изображения.

Технической проблемой заявленного изобретения является исключение недостатков прототипа, а именно повышение надежности создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза и его последующего детектирования с одновременным упрощением процесса создания изображения, с достижением технического результата, заключающегося в повышении точности создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза и его детектирования.

Указанный технический результат достигается в способе создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза, в котором под поверхностью алмаза создают изображение, состоящее из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза при этом в алмазе создают изображение, являющееся меткой, состоящей из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера и при этом образование нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза осуществляют посредством обработки алмаза оптическим излучением, сфокусированным в фокальной области, расположенной в области предполагаемого размещения нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза, с подачей ультракоротких импульсов излучения, обеспечивающих образование заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера выполненных на вакансиях и междоузлиях, 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 или образование в кристалле трещин, расколов.

Дополнительной особенностью является то, что перед обработкой алмаза указанным оптическим излучением его поверхность очищают от загрязнений и наносят иммерсионный состав, подобранный таким образом, что его показатель преломления близок к показателю преломления алмаза в диапазоне длин волн, близких к длине волны используемого лазера.

Дополнительной особенностью является то, что иммерсионный состав наносят как на обработанный, так и на необработанный алмаз.

Дополнительной особенностью является то, что для создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза используется система маркировки, содержащая лазер, генерирующий рабочее излучение в виде последовательности импульсов, подсистему фокусировки, выполненную с возможностью создания фокальной перетяжки пучка излучения внутри объема алмаза, подсистему перемещения, выполненную с возможностью перемещения вдоль трех пространственных координат.

Дополнительной особенностью является то, что в качестве рабочего излучения используют излучение ультракоротких лазерных импульсов с длительностью от 30 фс до 10 пс, энергией от 1 нДж до 40 мкДж с длиной волны от 240 до 1800 нм.

Дополнительной особенностью является то, что в качестве источника возбуждающего излучения содержит источник оптического излучения,

обеспечивающий возбуждающее излучение с длиной волны от 240 до 600 нм.

Дополнительной особенностью является то, что, 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.

Указанный технический результат достигается также в способе детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза по локальному вращению поляризации света заключающийся в том, что генерируют неполяризованное излучение подсветки; преобразуют указанное излучение в линейно-поляризованное, которое пропускают сквозь алмаз, закрепленный на подсистеме перемещения; осуществляют вращение поляризации излучения подсветки; полученное излучение, выходящее из алмаза и имеющее поляризацию отличную от линейной, за счет локальных напряжений кристаллической решетки, вызванных присутствиями нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза, преобразуют в линейно поляризованное; на чувствительном элементе матрицы строят изображение из ранее созданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера; декодируют информацию, закодированную в заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера алмаза; формируют изображение на основе полученной информации.

Указанный технический результат достигается также способом детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза по искажению комбинационного (Рамановского) рассеяния или по локальному искажению спектров люминесценции естественных примесей заключающийся в том, что генерируют возбуждающее излучение; фокусируют указанное излучение внутри алмаза закрепленного на подсистеме перемещения в фокальную перетяжку, поперечный размер которой составляет порядка поперечного размера ранее созданного изображения; коллимируют часть рассеянного излучения, испускаемого оптически проницаемыми элементами микронного или субмикронного размера в алмазе, представляющими собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера; настраивают селективное устройство по длинам волн таким образом, чтобы через него не проходило излучение рассеянное невозмущенной частью алмаза, либо настраивают на длину волны естественной (природной) примеси, присутствующей в данном алмазе; регистрируют полученное излучение; перемещают алмаз, закрепленный на подсистеме перемещения, осуществляя сканирование в плоскости, перпендикулярной оптической оси; картируют изображение, полученное после сканирования; декодируют информацию, закодированную в заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера алмаза; формируют изображение на основе полученной информации.

Указанный технический результат достигается также в системе детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза, содержащая источник излучения, подсистему формирования изображения, подсистему декодирования, подсистему перемещения алмаза при этом система детектирования осуществляет детектирование оптически проницаемого изображения внутри алмаза по локальному вращению поляризации света при просвечивании поляризованным излучением ранее созданного изображения, состоящего из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера представляющих собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера при этом источник излучения выполнен с возможностью генерирования неполяризованного излучения, а система дополнительно содержит: первый поляризатор, осуществляющий преобразование излучения, полученного от источника излучения в линейно поляризованное излучение; объектив; второй поляризатор, преобразующий излучение, полученное от нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера в алмазе и имеющего компоненты с поляризацией отличной от линейной, в линейно поляризованное, а также выполнен с возможностью осуществления поворота вокруг оптической оси системы; подсистему

перемещения алмаза, осуществляющую перемещение вдоль трех пространственных координат, а также вращение по трем пространственным осям.

Дополнительной особенностью является то, что в качестве источника излучения подсветки может быть использована лампа с конденсором.

Дополнительной особенностью является то, что в зависимости от угла поворота второго поляризатора, области кластеров дефектов отображаются на чувствительном элементе в виде более темных или более светлых областей.

Указанный технический результат достигается также в системе детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза, содержащая источник излучения, подсистему формирования пучка излучения, подсистему перемещения алмаза, подсистему декодирования, при этом система детектирования осуществляет детектирование оптически проницаемого изображения внутри алмаза по искажению комбинационного (Рамановского) рассеяния или по локальному искажению спектров люминесценции естественных примесей, возникающих за счет локальных напряжений кристаллической решетки вызванных присутствием нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза, образованных на вакансиях и междоузлиях с участием химических элементов примесей, в объеме микронного или субмикронного размера и дополнительно содержит: полупрозрачное зеркало или поляризатор; подсистема перемещения алмаза, выполнена с возможностью перемещения вдоль трех пространственных координат, а также вращения по трем пространственным осям; устройство селективное по длинам волн, осуществляющее настройку длины волны; фотоприемник; подсистему управления, управляющую перемещением алмаза, а также сканирования в плоскости перпендикулярной оптической оси для построения изображения метки.

Дополнительной особенностью является то, что устройство отражения представляет собой полупрозрачное зеркало или поляризатор.

Дополнительной особенностью является то, что устройство, селективное по длинам волн представляет собой монохроматор.

Дополнительной особенностью является то, что в качестве источника возбуждающего излучения содержит источник оптического излучения, обеспечивающий возбуждающее излучение с длиной волны от 240 до 600 нм.

Дополнительной особенностью является то, что в качестве источника возбуждающего излучения содержит лазер мощностью от 0,1 до 10 Вт.

Изобретение поясняется чертежами:

Фиг. 1 - система маркировки для осуществления способа создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза;

Фиг. 2 - кластер дефектов;

Фиг. 3 - система детектирования для осуществления способа детектирования по локальному вращению поляризации света;

Фиг. 4 - система детектирования для осуществления способа по локальному искажению спектров комбинационного (Рамановского) рассеяния и по искажению спектров флуоресценции дефектов, какой-либо природной примеси, присутствующей в данном кристалле.

Натуральная, необработанная поверхность как природных, так и синтетических алмазов не обладает оптическим качеством - имеет неровности, шероховатости, рельеф. Это не позволяет сфокусировать сквозь нее в объеме алмаза лазерное излучение, не позволяет получить фокальное пятно хорошего качества для выполнения маркировки. Кроме того, сквозь рельефную необработанную поверхность алмаза невозможно "увидеть" структуры, находящиеся внутри его объема из-за того, что поверхность случайным образом преломляет лучи - размывает изображение. Похожий эффект возникает на ограненном алмазе (бриллианте), в котором излучение преломляется на многих его гранях. В этом случае на поверхность алмаза наносят иммерсионный состав, подобранный так, что его показатель преломления близок к показателю преломления используемого в системе маркировки лазера, или самого алмаза в диапазоне длин волн, близких к длине волны используемого в системе детектирования источника излучения и к длине волны, испускаемой, либо рассеиваемой меткой. Таким образом, в процессе создания оптически проницаемого изображения, равенство показателей преломления приводит к тому, что лучи, проходя через рельефную поверхность алмаза, не испытывают преломления, и таким образом хорошо фокусируются в объеме алмаза, а в процессе детектирования, лучи уже не испытывают случайных преломлений (либо преломления малы) на рельефной поверхности алмаза и становится возможным получить изображение метки, записанной ранее в его объеме (а равно и природных

дефектов, вкраплений, трещин и т.п.). При этом ввод возбуждающего излучения также может производиться сквозь иммерсионный состав.

Благодаря чему заявленный способ создания и детектирования оптически проницаемого изображения согласно изобретению может быть применен для создания изображения в ограненных и неограненных природных и синтетических 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 нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера, люминесцирующие при воздействии излучения определенных длин волн, либо вызывающие локальные искажения спектров комбинационного (Рамановского) рассеяния или спектров люминесценции какой-либо природной примеси, присутствующей в данном кристалле, за счет локальных напряжений решетки кристаллов.

Способ создания и детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза заключается в следующем.

На поверхность алмаза наносят иммерсионный состав, подобранный таким образом, чтобы его показатель преломления близок к показателю преломления алмаза на длине волны используемого лазера и проводят маркировку сквозь него.

Лазер 1 системы маркировки (фиг. 1), генерирует рабочее излучение 2 в виде последовательности импульсов длительностью от 30 фс по 10 пс, энергией от 1 нДж до 40 мкДж и длиной волны от 240 до 1800 нм, что намного ниже флюенса, при котором происходит превращение алмаза в графит или иную неалмазную форму углерода. Указанное излучение фокусируется системой фокусировки 3 (линза, объектив) и создает фокальную перетяжку пучка 4 в фокальной плоскости внутри объема алмаза 5, в котором предварительно на поверхности была выполнена полированная оптически прозрачная площадка. Алмаз 5 закреплен на подсистеме перемещения и закрепления 6, который выполнен с возможностью его перемещения как вдоль трех пространственных координат, так и дополнительно по двум угловым координатам. Лазерное излучение 2 (фиг. 2) приводит к формированию в области фокуса 4, т.е. там, где интенсивность максимальна, нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза, в том числе с участием химических элементов примесей, в объеме микронного или субмикронного размера 7. Объем в котором произведены нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза, в том числе с участием химических элементов примесей, представляет собой элементарный пиксель изображения, являющегося меткой. Для достижения желаемой интенсивности люминесценции созданных нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера проводится корректировка концентрации атомарных дефектов в каждом созданном изображении с помощью коррекции суммарного интегрального флюенса рабочих ультракоротких лазерных импульсов в области расположения каждого указанного объема с нарушениями в периодичности кристаллической структуры алмаза путем увеличения количества импульсов. При этом макроскопического повреждения алмаза не происходит, но происходит образование электронно-дырочной плазмы, ее нагрев, частичное нарушение межатомных связей в алмазе, и, как следствие, появляются нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза, в том числе с участием химических элементов примесей. После того как в заданной точке внутри алмаза сформировано нарушение в периодичности кристаллической структуры алмаза, в том числе с участием химических элементов примесей, подсистема перемещения и закрепления алмаза осуществляет перемещение алмаза в пространстве, в соответствии с введенной пользователем цифровой моделью записываемого в объем кристалла изображения. Таким образом, фокальную плоскость перемещают в новое место внутри кристалла алмаза, после чего повторяют вышеуказанные операции.

Детектирование созданного изображения производится по локальному вращению поляризации света, либо по локальному искажению спектров комбинационного (Рамановского) рассеяния изображения, ранее созданного в кристалле, либо по локальному искажению спектров флуоресценции какой-либо природной примеси, присутствующей в указанном кристалле, либо по люминесценции атомарных напряжений кристаллической решетки вызванных присутствием нарушений в



периодичности кристаллической структуры алмаза, образованных на вакансиях и междоузлиях с участием химических элементов примесей, в объеме микронного или субмикронного размера.

Система детектирования (фиг. 3, 4), позволяет считывать информацию, ранее созданную в алмазе.

Система детектирования (фиг. 3) для осуществления способа детектирования по локальному вращению поляризации света содержит источник излучения подсветки 8, например, лампа с конденсором, который излучает пучок неполяризованного излучения 9. После прохода через поляризатор 10 излучение подсветки 11 становится поляризованным (приобретает линейную поляризацию). Вместо источника излучения подсветки и поляризатора может быть использован источник линейно поляризованного излучения, например лазер. Излучение 11 проходит через алмаз 5 (ход лучей показан схематично). Алмаз 5 закреплен на системе перемещения 6, обеспечивающей его перемещение в пространстве вдоль трех координат (опционально дополнительно по одной, двум, или трем осям).

В областях кластеров метки 12 происходит вращение плоскости поляризации излучения подсветки за счет локальных напряжений кристаллической решетки, вызванных присутствием нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза, в том числе с участием химических элементов примесей, в результате излучение 13, выходящее из кристалла, имеет компоненты с поляризацией, отличающейся от линейной. Излучение 13 проходит объектив 14 и поляризатор (анализатор) 15, который вновь преобразует излучение в линейно поляризованное 16. Поляризатор (анализатор) 15 имеет возможность поворота вокруг оптической оси системы. Система формирования изображения 17 (объектив) строит изображение флуоресцирующей метки на чувствительном элементе (матрице) камеры 18. В зависимости от угла поворота поляризатора (анализатора) 15 области кластеров метки отображаются на матрице в виде более темных или более светлых областей. При необходимости проводят регулировку угла поворота поляризатора (анализатора) 15 с целью получения максимально контрастного изображения.

Изображение 19 с камеры 18 декодируется системой декодировки 20, на выходе из которой получают информацию, закодированную в метке.

В случае если размер поперечного сечения пучка излучения подсветки меньше размера метки, то производят сканирование, перемещая алмаз с помощью подсистемы перемещения 6 в плоскости, перпендикулярной направлению распространения пучка излучения подсветки и производят шивку изображения.

Система детектирования (фиг. 4) для осуществления способа детектирования по локальному искажению спектров комбинационного (Рамановского) рассеяния, по локальному искажению спектров флуоресценции какой-либо природной примеси, присутствующей в данном кристалле содержит лазер 21 генерирующий возбуждающее излучение 22 (длина волны от 240 до 600 нм, мощность от 0.01 до 1 Вт), которое отражается от полупрозрачного зеркала 23 (или поляризатор, напр. призма Глана и т.п.) и фокусируется системой фокусировки 24 внутри алмаза 5, закрепленного на подсистеме перемещения 6, обеспечивающей его перемещение в пространстве вдоль трех координат (опционально дополнительно по одной, двум или трем осям) в фокальную перетяжку 25. При этом поперечный размер фокальной перетяжки составляет порядка поперечного размера кластера метки. В области фокуса возбуждающее излучение претерпевает комбинационное (Рамановское) рассеяние, в результате которого испускается рассеянное излучение 26.

Часть рассеянного излучения коллимируется подсистемой фокусировки 24, проходит сквозь полупрозрачное зеркало 23, затем проходит через устройство, селективное по длинам волн (например, монохроматор) 27. Устройство 27 подбирают (настраивают) на такую длину волны, чтобы через нее проходило излучение, рассеянное «чистым», невозмущенным кристаллом (т.е. элементом объема, в котором нет нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза).

После устройства 27 излучение регистрируется фотоприемником 28, например ФЭУ включающий аналогово-цифровой преобразователь (дает очень высокую чувствительность, динамический диапазон). Электрический сигнал с фотоприемника 28 подается на подсистему управления 29. Подсистема управления 29 управляет перемещением кристалла, закрепленного на подсистеме перемещения и закрепления 6, производя сканирование в области объема кристалла. Если рассеяние происходит от «чистого» объема кристалла - фотоприемник 28 регистрирует излучение, прошедшее через устройство 27. Если рассеяние происходит от кластера дефектов, то длина волны рассеянного излучения смещается за счет локальных напряжений в кристалле, возникших из-за нарушения в периодичности кристаллической структуры

алмаза, в том числе с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера. В этом случае устройство 27 не пропускает излучение. Таким образом, при сканировании система управления строит (картирует) изображение метки 30, которое декодируется системой декодировки 31, на выходе из которой получают информацию, закодированную в метке.

В альтернативном варианте (по искажению спектров флуоресценции какой-либо природной примеси, присутствующей в данном кристалле) устройство 27 настраивают на длину волны флуоресценции какой-либо естественной (природной) примеси, присутствующей в данном кристалле. В кластерах метки эта длина волны также смещается за счет локальных напряжений, возникших из-за присутствия нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза, в том числе с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера картирование метки происходит по тому же принципу.

Созданные в кристаллах алмазов описанным выше способом из заданных совокупностей оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера изображения невидимы невооруженным глазом в увеличительные стекла, а также в любые оптические и электронные микроскопы, так как концентрация нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза, с участием химических элементов примесей, в объеме микронного или субмикронного размера - вакансий, междоузлий и их производных в метках относительно мала, мал размер самой метки. При этом изображение, созданное из совокупностей оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, находится в глубине кристалла, поэтому не может быть удалено полировкой. Способов полного уничтожения нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза, с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера, а также всех возможных их производных в кристалле алмаза без разрушения или порчи самого кристалла не известно. Таким образом, изображение, состоящее из нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера, является надежной подписью алмаза и надежной записью информации.

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, выполненных с применением известных конструктивных элементов и аппаратуры. Созданные изображения могут быть детектированы с помощью систем для детектирования согласно изобретению.

#### Формула изобретения

1. Способ создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза, в котором под поверхностью алмаза создают изображение, состоящее из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза, отличающееся тем, что в алмазе создают изображение, являющееся меткой, состоящей из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера, и при этом образование нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза осуществляют посредством обработки алмаза оптическим излучением, сфокусированным в фокальной области, расположенной в области предполагаемого размещения нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза, с подачей ультракоротких импульсов излучения, обеспечивающих образование заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, выполненных на вакансиях и междоузлиях, 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 или образование в кристалле трещин, расколов.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что перед обработкой алмаза указанным оптическим излучением его поверхность очищают от загрязнений и наносят иммерсионный состав, подобранный таким образом, что его показатель преломления близок к показателю преломления алмаза в диапазоне длин волн, близких к длине волны используемого лазера.

3. Способ по п. 2, отличающееся тем, что иммерсионный состав наносят как на обработанный, так и на необработанный алмаз.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что для создания оптически проницаемого изображения внутри алмаза используется система маркировки, содержащая лазер, генерирующий рабочее излучение в виде последовательности импульсов, подсистему фокусировки, выполненную с возможностью создания фокальной перетяжки пучка излучения внутри объема алмаза, подсистему перемещения, выполненную с возможностью перемещения вдоль трех пространственных координат.

5. Способ по п. 4, отличающийся тем, что в качестве рабочего излучения используют излучение ультракоротких лазерных импульсов с длительностью от 30 фс до 10 пс, энергией от 1 нДж до 40 мкДж с длиной волны от 240 до 1800 нм.

6. Способ по п. 4, отличающийся тем, что в качестве источника возбуждающего излучения содержит источник оптического излучения, обеспечивающий возбуждающее излучение с длиной волны от 240 до 600 нм.

7. Способ по пп. 1 и 4, 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.

8. Способ детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза по локальному вращению поляризации света, заключающийся в том, что

- генерируют неполяризованное излучение подсветки;
- преобразуют указанное излучение в линейно-поляризованное, которое пропускают сквозь алмаз, закрепленный на подсистеме перемещения;
- осуществляют вращение поляризации излучения подсветки;
- полученное излучение, выходящее из алмаза и имеющее поляризацию, отличную от линейной, за счет локальных напряжений кристаллической решетки, вызванных присутствиями нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза, преобразуют в линейно поляризованное;
- на чувствительном элементе матрицы строят изображение из ранее созданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера;
- декодируют информацию, закодированную в заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера алмаза;
- формируют изображение на основе полученной информации.

9. Способ детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза по искажению комбинационного (Рамановского) рассеяния или по локальному искажению спектров люминесценции естественных примесей, заключающийся в том, что

- генерируют возбуждающее излучение;
- фокусируют указанное излучение внутри алмаза, закрепленного на подсистеме перемещения в фокальную перетяжку, поперечный размер которой составляет порядка поперечного размера ранее созданного изображения;
- коллимируют часть рассеянного излучения, испускаемого оптически проницаемыми элементами микронного или субмикронного размера в алмазе, представляющими собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера;
- настраивают селективное устройство по длинам волн таким образом, чтобы через него не проходило излучение, рассеянное невозмущенной частью алмаза, либо настраивают на длину волны естественной (природной) примеси, присутствующей в данном алмазе;
- регистрируют полученное излучение;
- перемещают алмаз, закрепленный на подсистеме перемещения, осуществляя сканирование в плоскости, перпендикулярной оптической оси;

- картируют изображение, полученное после сканирования;
- декодируют информацию, закодированную в заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера алмаза
- формируют изображение на основе полученной информации.

10. Система детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза, содержащая источник излучения, подсистему формирования изображения, подсистему декодирования, подсистему перемещения алмаза, отличающаяся тем, что осуществляет детектирование оптически проницаемого изображения внутри алмаза по локальному вращению поляризации света при просвечивании поляризованным излучением ранее созданного изображения, состоящего из заданной совокупности оптически проницаемых элементов микронного или субмикронного размера, представляющих собой нарушения в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера, при этом источник излучения выполнен с возможностью генерирования неполяризованного излучения, а система дополнительно содержит:

- первый поляризатор, осуществляющий преобразование излучения, полученного от источника излучения в линейно поляризованное излучение;
- объектив;
- второй поляризатор, преобразующий излучение, полученное от нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза с участием химических элементов примесей, образованных на вакансиях и междоузлиях в объеме микронного или субмикронного размера в алмазе и имеющего компоненты с поляризацией, отличной от линейной, в линейно поляризованное, а также выполнен с возможностью осуществления поворота вокруг оптической оси системы;
- подсистему перемещения алмаза, осуществляющую перемещение вдоль трех пространственных координат, а также вращение по трем пространственным осям.

11. Система по п. 10, отличающаяся тем, что в качестве источника излучения подсветки может быть использована лампа с конденсором.

12. Система по п. 10, отличающаяся тем, что в зависимости от угла поворота второго поляризатора области кластеров дефектов отображаются на чувствительном элементе в виде более темных или более светлых областей.

13. Система детектирования оптически проницаемого изображения внутри алмаза, содержащая источник излучения, подсистему формирования пучка излучения, подсистему перемещения алмаза, подсистему декодирования, отличающаяся тем, что осуществляет детектирование оптически проницаемого изображения внутри алмаза по искажению комбинационного (Рамановского) рассеяния или по локальному искажению спектров люминесценции естественных примесей, возникающих за счет локальных напряжений кристаллической решетки, вызванных присутствием нарушений в периодичности кристаллической структуры алмаза, образованных на вакансиях и междоузлиях с участием химических элементов примесей, в объеме микронного или субмикронного размера и дополнительно содержит:

- полупрозрачное зеркало или поляризатор;
- подсистема перемещения алмаза выполнена с возможностью перемещения вдоль трех пространственных координат, а также вращения по трем пространственным осям;
- устройство селективное по длинам волн, осуществляющее настройку длины волны;
- фотоприемник;
- подсистему управления, управляющую перемещением алмаза, а также сканирование в плоскости, перпендикулярной оптической оси для построения изображения метки.

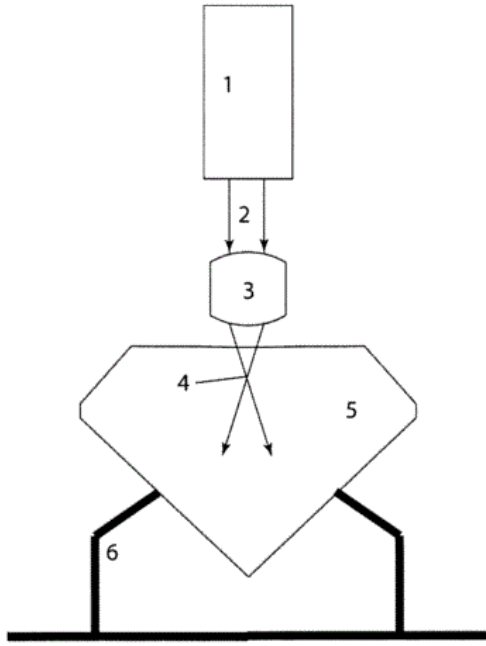
14. Система по п. 13, отличающаяся тем, что устройство отражения представляет собой полупрозрачное зеркало или поляризатор.

15. Система по п. 13, отличающаяся тем, что устройство, селективное по длинам волн, представляет собой монохроматор.

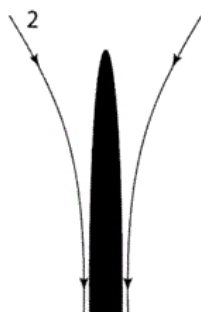
16. Система по п. 13, отличающаяся тем, что в качестве источника возбуждающего излучения содержит источник оптического излучения, обеспечивающий возбуждающее излучение с длиной волны от 240 до 600 нм.

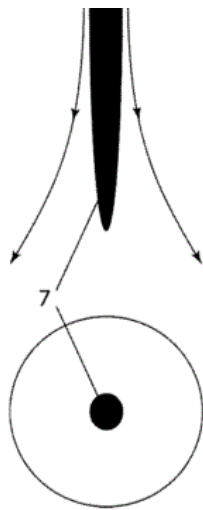
17. Система по п. 13, отличающаяся тем, что в качестве источника возбуждающего излучения содержит лазер мощностью от 0,1 до 10 Вт.



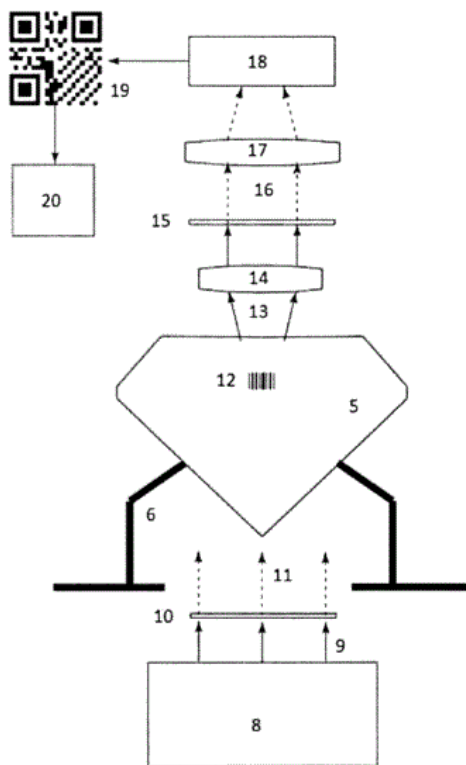


Фиг.1



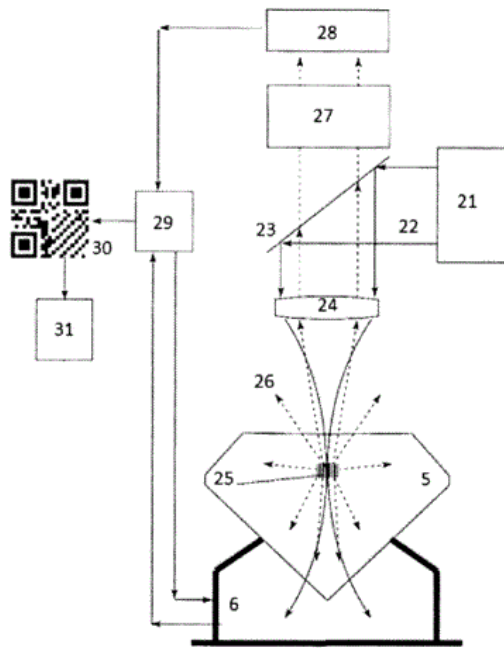


Фиг.2



Фиг.3





Фиг.4