



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H01S 3/0602 (2022.05); H01S 3/0621 (2022.05); H01S 3/0625 (2022.05); H01S 3/1601 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021126370, 08.09.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.09.2021Дата регистрации:
06.09.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.09.2021

(45) Опубликовано: 06.09.2022 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

634050, Томская обл., г. Томск, пр-кт. Ленина,
36, НИ ТГУ, отдел интеллектуальной
собственности, Трипутень Анастасия
Андреевна

(72) Автор(ы):

Бураченко Александр Геннадьевич (RU),
Дормидонов Александр Евгеньевич (RU),
Винс Виктор Генрихович (RU),
Генин Дмитрий Евгеньевич (RU),
Елисеев Александр Павлович (RU),
Липатов Евгений Игоревич (RU),
Потанин Сергей Александрович (RU),
Рипенко Василий Сергеевич (RU),
Саввин Александр Демьянович (RU),
Тельминов Евгений Николаевич (RU),
Шулепов Михаил Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

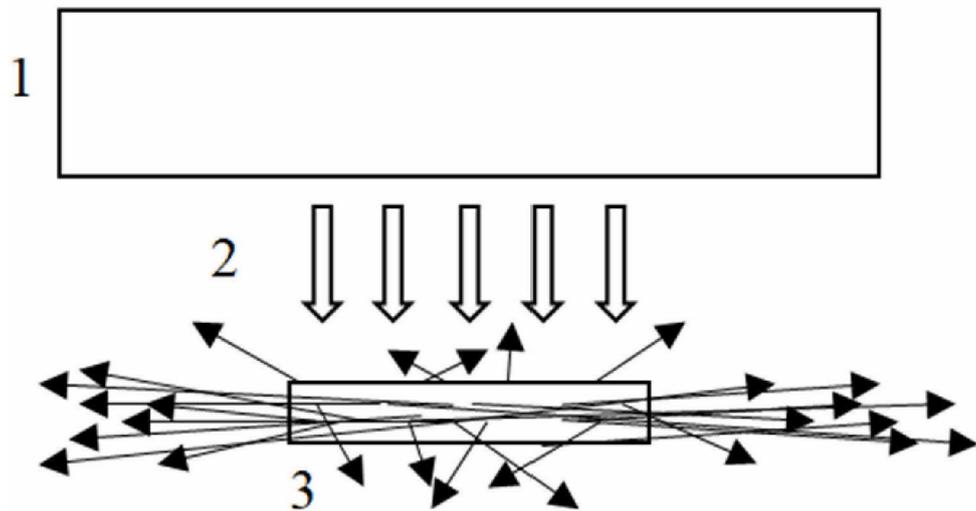
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Национальный
исследовательский Томский
государственный университет» (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2749046 C1, 03.06.2021. RU
2714863 C1, 19.02.2020. RU 2545387 C1,
27.03.2015. WO 2005057740 A2, 23.06.2005. US
11108206 B2, 31.08.2021.

(54) ФОТОВОЗБУЖДАЕМЫЙ АЛМАЗНЫЙ NV-ЛАЗЕР

(57) Реферат:

Изобретение относится к области квантовой электроники и фотоники и может быть использовано в квантовых информационных технологиях и интегральной фотонике для генерации лазерного излучения в красной части видимого спектра. Заявляемое изобретение содержит источник оптической накачки и лазерно-активный элемент в виде алмазного образца с высокой концентрацией замещающего азота и с меньшей на 1-2 порядка концентрацией NV-центров, который имеет металлизацию на одной или двух противоположных

плоскопараллельных гранях, расположенных либо под прямым углом, либо под углом Брюстера, либо под другим углом к оптической оси лазерно-активного элемента, отличающийся усилением или генерацией лазерного излучения в спектральном интервале фоновых крыльев люминесценции NV-центров в отрицательном зарядовом состоянии. Изобретение можно использовать как источник сверхлюминесценции (усиленного спонтанного излучения) или как источник лазерного излучения. 1 з.п. ф-лы, 6 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11)**2 779 410** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.
H01S 3/06 (2006.01)
H01S 3/16 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

H01S 3/0602 (2022.05); *H01S 3/0621* (2022.05); *H01S 3/0625* (2022.05); *H01S 3/1601* (2022.05)(21)(22) Application: **2021126370, 08.09.2021**(24) Effective date for property rights:
08.09.2021Registration date:
06.09.2022

Priority:

(22) Date of filing: **08.09.2021**(45) Date of publication: **06.09.2022 Bull. № 25**

Mail address:

**634050, Tomskaya obl., g. Tomsk, pr-kt. Lenina,
36, NI TGU, otdel intellektualnoj sobstvennosti,
Triputen Anastasiya Andreevna**

(72) Inventor(s):

**Burachenko Aleksandr Gennadevich (RU),
Dormidonov Aleksandr Evgenevich (RU),
Vins Viktor Genrikhovich (RU),
Genin Dmitrii Evgenevich (RU),
Eliseev Aleksandr Pavlovich (RU),
Lipatov Evgenii Igorevich (RU),
Potanin Sergei Aleksandrovich (RU),
Ripenko Vasilii Sergeevich (RU),
Savvin Aleksandr Demianovich (RU),
Telminov Evgenii Nikolaevich (RU),
Shulepov Mikhail Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Natsionalnyi issledovatel'skii
Tomskii gosudarstvennyi universitet» (RU)**

(54) PHOTOEXCITED DIAMOND NV LASER

(57) Abstract:

FIELD: quantum electronics.

SUBSTANCE: invention relates to the field of quantum electronics and photonics and can be used in quantum information technologies and integrated photonics to generate laser radiation in the red part of the visible spectrum. The claimed invention contains an optical pumping source and a laser-active element in the form of a diamond sample with a high concentration of substitutive nitrogen and with a 1-2 order of magnitude lower concentration of NV centers, which has metallization on one or two opposite plane-

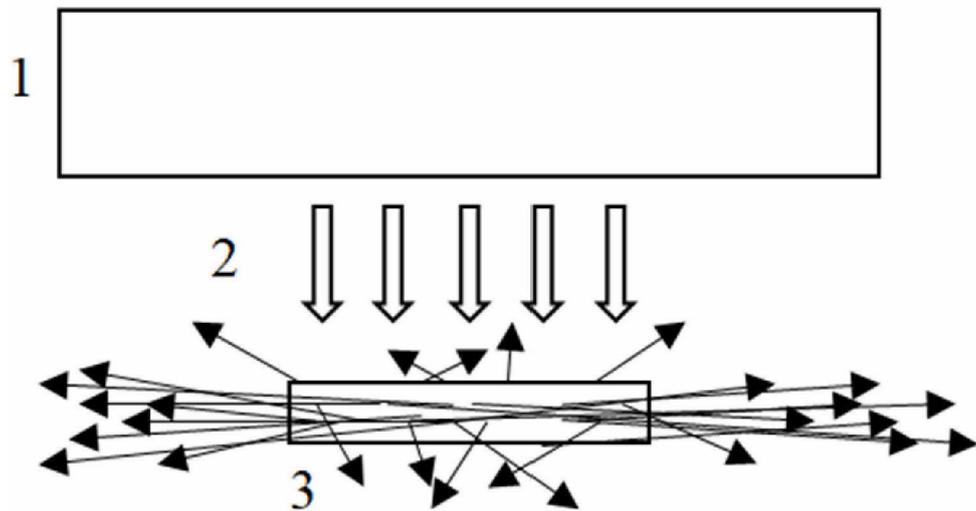
parallel faces located either at right angles, or at Brewster's angle, or at another angle to the optical axis of a laser-active element characterized by amplification or generation of laser radiation in the spectral range of the phonon wing of the luminescence of NV centers in the negative charge state.

EFFECT: invention can be used as a source of superluminescence (enhanced spontaneous radiation) or as a source of laser radiation.

1 cl, 6 dwg

C 1
0 1 4 6 7 2
R U

R U
2 7 7 9 4 1 0
C 1



Фиг. 1

RU 2779410 C1

RU 2779410 C1

Изобретение относится к области квантовой электроники и фотоники и может быть использовано в квантовых информационных технологиях и интегральной фотонике для генерации лазерного излучения в красной части видимого спектра.

Известен тонкопленочный фотовозбуждаемый органический лазер на основе полиметилметакрилата, который содержит оптический источник накачки, органическую лазерно-активную среду из полиметилметакрилата и органического люминофора, растворенного в нем и нанесенного на стеклянную подложку, выбранный в качестве прототипа (патент РФ 2666181, опубл. 06.09.2018, N01S3/213). В лазере присутствует дополнительный слой между активной средой и стеклянной подложкой, состоящий из гидролизованного тетраэтоксисилана (ТЕОС), 2-гидроксиэтилметакрилата (ТЕМА) и 2,2'-азобисизобутиронитрила (AIBN), обеспечивающий условия полного внутреннего отражения для длины волны генерации и одновременную адгезию к подложке органической лазерно-активной среды. Технический результат заключается в обеспечении возможности уменьшения порога генерации и увеличения ресурса работы. Недостатком прототипа является деградация органического люминофора в течение эксплуатации фотовозбуждаемого тонкопленочного органического лазера.

Задача, на решение которой направлено заявляемое в качестве изобретения техническое решение, состоит в повышении фотостабильности лазерной активной среды для видимого диапазона электромагнитного спектра, увеличении предельных мощностей накачки, применении источников лазерного излучения на алмазе в интегральной фотонике и квантовых информационных технологиях.

Технический результат состоит в получении генерации лазерного излучения видимого диапазона электромагнитного спектра в активной среде, состоящей из алмаза с примесью одиночных замещающих атомов азота и центров азот-вакансия (NV-центров). NV-центры в алмазном образце, созданные радиационно-термической обработкой, имеют различные зарядовые состояния и излучают различные длины волн спектра.

Технический результат достигается за счет того, что в заявляемом изобретении, содержащем источник оптический накачки и лазерно-активный элемент в виде алмазного образца, содержащего высокую концентрацию замещающего азота и на 1-2 порядка меньшую концентрацию NV-центров, который имеет металлизацию на одной, двух или большем числе граней, по крайней мере две из которых являются противоположными плоскопараллельными гранями, которые расположены либо под прямым углом, либо под углом Брюстера, либо под другим углом к оптической оси лазерно-активного элемента при усилении или генерации лазерного излучения в спектральном интервале фоновых крыла люминесценции NV-центров в отрицательном зарядовом состоянии. Кроме того, заявляемое изобретение отличается тем, что алмазный образец содержит азотные атомы в замещающем положении с условной концентрацией N и фотоактивные центры азот-вакансия в отрицательном зарядовом состоянии с условной концентрацией $(0.005 \div 0.5) \cdot N$. Некоторые из граней алмазного образца могут быть металлизированы. Алмазный образец имеет как минимум две плоскопараллельные грани, расположенные под прямым углом, углом Брюстера или другим углом к оптической оси алмазного образца. Связь между совокупностью существенных признаков заявляемого изобретения и достигаемым техническим результатом состоит в том, что заявленное отличие в концентрациях замещающего азота и центров азот-вакансия обеспечивает в алмазном образце существование NV-центров в отрицательном зарядовом состоянии и малую концентрацию NV-центров в нейтральном зарядовом состоянии, что в свою очередь предотвращает конкуренцию между процессами оптического поглощения и вынужденного излучения в NV-центрах в двух зарядовых

состояниях.

Изобретение можно использовать как источник сверхлюминесценции (усиленного спонтанного излучения), или как источник лазерного излучения.

В первом случае устройство работает следующим образом (фиг. 1): Источник оптической накачки (1) излучает в спектральной области фононного крыла поглощения NV-центров в алмазе (480-630 нм). Излучение (2) поглощается NV-центрами в отрицательном зарядовом состоянии находящимися в алмазном образце (3), в результате чего достигается инверсия населенности. В результате волноводного эффекта излучение, распространяющееся под углом меньшим, чем угол полного внутреннего отражения для алмаза, усиливается и выходит через малые грани. Поскольку грани плоскопараллельны и отполированы, то они играют роль резонатора с малой добротностью, в результате чего возникает усиленное спонтанное излучение (сверхлюминесценция). Только малая часть спонтанного излучения выходит через наибольшие грани.

Данный режим работы устройства подтверждается представленными спектрами излучения (фиг. 2) Спектральный максимум сверхлюминесценции находится в спектральном интервале 710-725 нм, в зависимости от примесно-дефектного состава алмазного образца. На рисунке представлены спектры для четырех алмазных образцов С31, С43, С93, С94, имеющих различную концентрацию NV-центров и замещающего азота. Излучение в спектральном интервале 580-630 нм обусловлено фотолюминесценцией NV-центров в нейтральном зарядовом состоянии, которые образуются вследствие ионизации NV-центров в отрицательном зарядовом при высоких уровнях фотовозбуждения.

Режим генерации лазерного излучения реализуется в том случае, если создать положительную обратную связь, установив оптический резонатор напротив наименьших граней. Основные схемы генерации лазерного излучения показаны на фиг. 3-5. Также, как и в предыдущем случае излучение оптической накачки в спектральной области фононного крыла поглощения NV-центра в алмазе (480-630 нм) (2) возбуждает инверсию населенности в лазерно-активном элементе (3). Но в данном режиме необходимо использовать оптический резонатор. Для этого на плоскопараллельные отполированные грани можно напылить отражающий материал, создав глухое (4) и полупрозрачное (5) зеркала. За счет усиления формируется лазерное излучение (6), выходящее через полупрозрачное зеркало.

Можно упростить создание лазера на базе алмаза, поскольку напылить качественные зеркала на грани алмаза довольно сложно. Для этого можно реализовать так называемый внешний резонатор (фиг. 4). В данном случае глухое (7) и полупрозрачное (8) зеркала устанавливаются отдельно от лазерно-активного элемента.

Для усиления степени поляризации лазерного излучения и/или уменьшения потерь при отражении на гранях, необходимо срезать и отполировать плоскопараллельные грани под углом Брюстера (фиг. 5). Для алмаза этот угол составляет $67,65^\circ$. Остальные элементы схемы работы лазера соответствуют предыдущему случаю.

Подтверждение получения лазерного излучения на алмазном лазерно-активном элементе иллюстрируется приведенными спектрами излучения (фиг. 6). Спектральный максимум контура усиления лазерного излучения также зависит от примесно-дефектного состава алмазного образца и располагается в том же спектральном интервале (710-725 нм).

Фотовозбуждаемый алмазный NV-лазер генерирует излучение видимого диапазона в спектральном диапазоне («окне») прозрачности атмосферы и подходит в качестве

источника излучения для систем квантового распределения ключа по атмосферным каналам связи. Интегральный алмазный NV-лазер подходит для управления SiV-центрами в алмазе для задач квантовых вычислений и сенсорики, а также для задачи создания оптических процессоров и иных приложений.

5 Изобретение иллюстрируется схемами, графиками и фотографиями, представленными на фиг. 1-6.

Фиг. 1. Схема оптического фотовозбуждения лазерно-активного элемента алмазного NV-лазера в режиме сверхлюминесценции. 1 - оптический источник накачки; 2 - излучение накачки; 3 - алмазный лазерно-активный элемент в режиме сверхлюминесценции.

10 Фиг. 2. Спектры излучения фотовозбуждаемого алмазного NV-лазера в режиме сверхлюминесценции (усиленного спонтанного излучения).

Фиг. 3. Схема работы алмазного NV-лазера в режиме лазерной генерации №1. 1 - источник оптической накачки; 2 - излучение накачки; 3 - алмазный лазерно-активный элемент; 4 - напыленное глухое зеркало; 5 - напыленное полупрозрачное зеркало; 6 - лазерное излучение.

15 Фиг. 4. Схема работы алмазного NV-лазера в режиме лазерной генерации №2. 1 - источник оптической накачки; 2 - излучение накачки; 3 - алмазный лазерно-активный элемент; 6 - лазерное излучение; 7 - глухое зеркало; 8 - полупрозрачное зеркало.

20 Фиг. 5. Схема работы алмазного NV-лазера в режиме лазерной генерации №3. 1 - источник оптической накачки; 2 - излучение накачки; 3 - алмазный лазерно-активный элемент с рабочими гранями под углом Брюстера; 6 - лазерное излучение; 7 - глухое зеркало; 8 - полупрозрачное зеркало.

Фиг. 6. Спектры излучения фотовозбуждаемого алмазного NV-лазера в режиме генерации лазерного излучения.

25

(57) Формула изобретения

1. Фотовозбуждаемый алмазный NV-лазер, содержащий источник оптической накачки и лазерно-активный элемент в виде алмазного образца с высокой концентрацией замещающего азота и с меньшей на 1-2 порядка концентрацией NV-центров, который

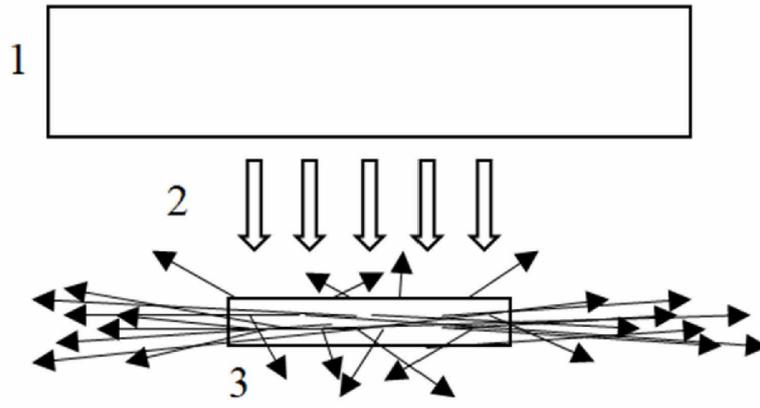
30 имеет металлизацию на одной или двух противоположных плоскопараллельных гранях, расположенных либо под прямым углом, либо под углом Брюстера, либо под другим углом к оптической оси лазерно-активного элемента, отличающийся усилением или генерацией лазерного излучения в спектральном интервале фононного крыла люминесценции NV-центров в отрицательном зарядовом состоянии.

35 2. Лазер по п. 1, отличающийся тем, что алмазный образец содержит азотные атомы в замещающем положении с условной концентрацией N и фотоактивные центры азот-вакансия в отрицательном зарядовом состоянии с условной концентрацией $(0.005 \div 0.5) \cdot N$.

40

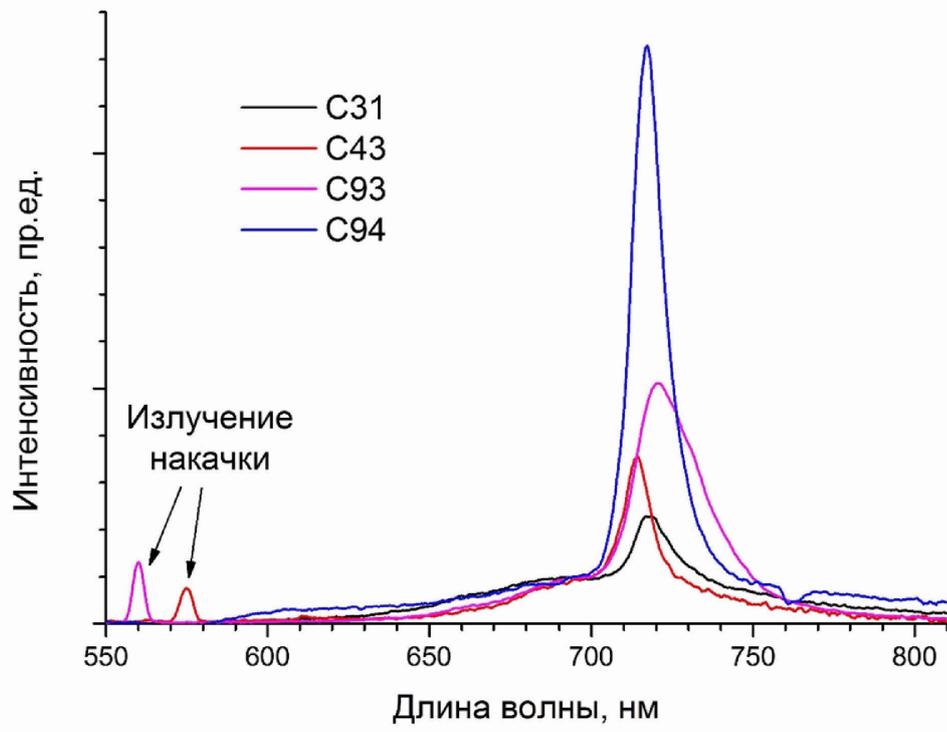
45

1

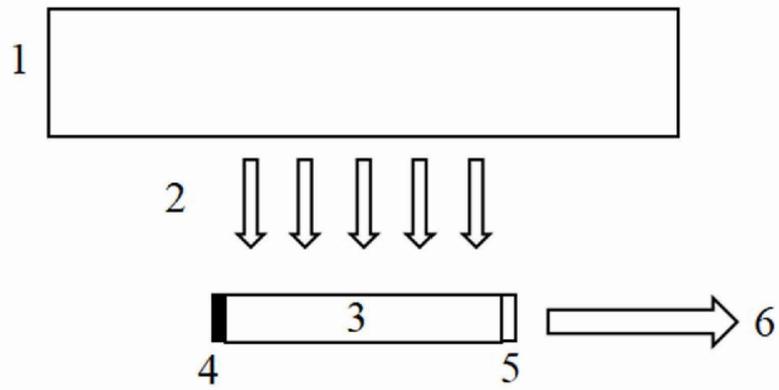


Фиг. 1

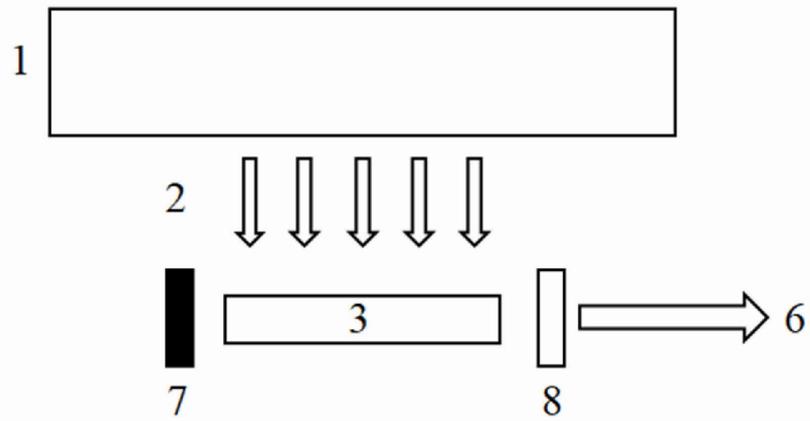
2



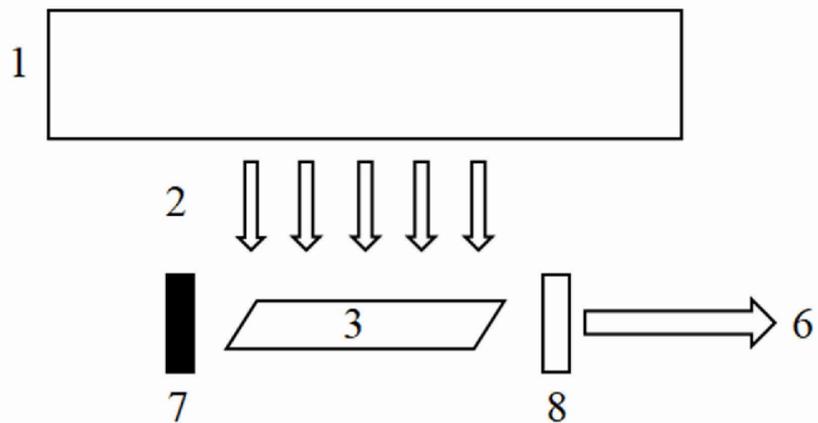
Фиг. 2



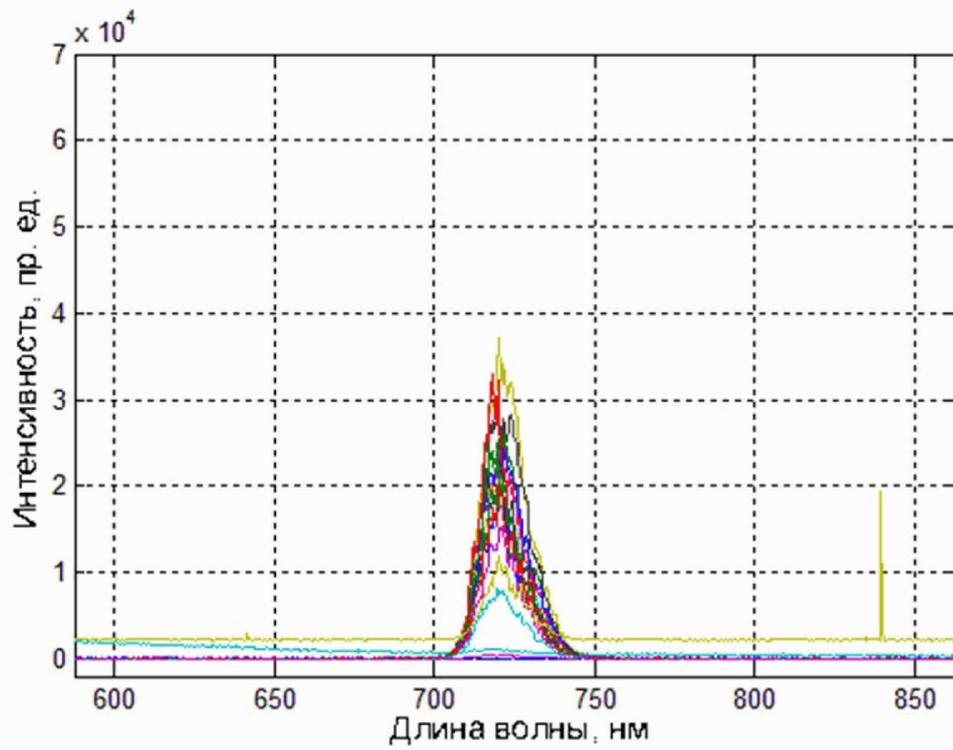
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6