

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01N 21/6402 (2020.08); G01N 33/0037 (2020.08); G01N 33/0057 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020122801, 03.07.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.07.2020Дата регистрации:
28.01.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.07.2020

(45) Опубликовано: 28.01.2021 Бюл. № 4

Адрес для переписки:

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3,
Институт сильноточной электроники СО РАН,
зам. директора по НР ИСЭ СО РАН
Батракову А.В.

(72) Автор(ы):

Панченко Юрий Николаевич (RU),
Пучикин Алексей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт сильноточной
электроники Сибирского отделения
Российской академии наук, (ИСЭ СО РАН)
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: RU 75242 U1, 27.07.2008. WO
2010056998 A1, 20.05.2010. RU 123527 U1,
27.12.2012. EP 2133689 B1, 07.06.2017.

(54) Способ дистанционного обнаружения в воздухе опасных веществ, содержащих нитрогруппу

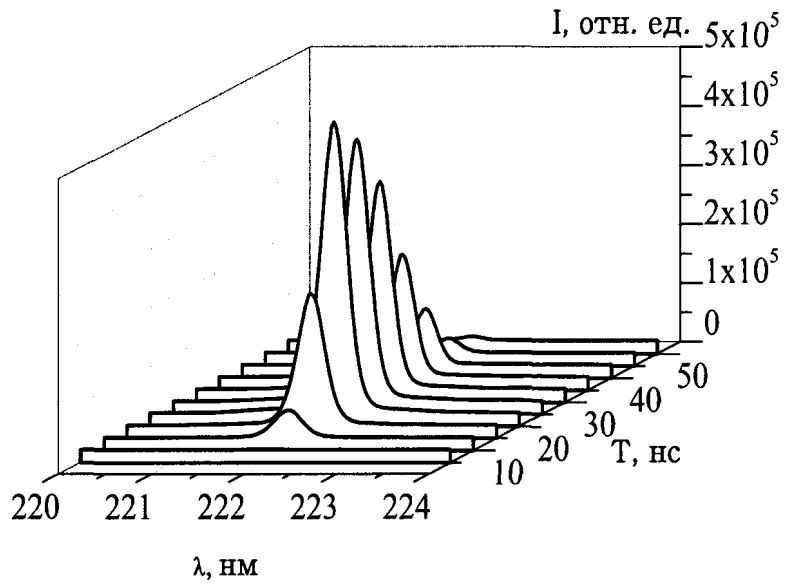
(57) Реферат:

Изобретение относится к квантовой электронике и может быть использовано при разработке лидарных систем для дистанционного обнаружения в воздухе малых концентраций (ppb-ppm) паров и следов опасных веществ, содержащих нитрогруппу (например, высокоэнергетические материалы (ВЭМ), бурый газ, селитры). Способ основан на методе лазерной фрагментации нитросоединений с последующей лазерно-индуцированной флуоресценцией NO-радикалов (ЛФ/ЛИФ). На исследуемую область воздействуют излучением электроразрядного KrCl лазера с длиной волны 222.1 нм и шириной спектральной линии $\Delta\lambda \approx 0.4$ нм. Это обеспечивает

резонансное возбуждение оптических переходов $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=2) \leftarrow X^2\Pi(v''=2)$ и $C^2\Sigma^+(v'=0) \leftarrow X^2\Pi(v''=4)$, полученных после фотофрагментации первичных молекул и их крупных характеристических NO_2 -фрагментов. После чего регистрируют индуцированную флуоресценцию NO-фрагментов на переходах $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=2) \rightarrow X^2\Pi(v''=0)$ и $C^2\Sigma^+(v'=0) \rightarrow X^2\Pi(v''=2)$ с длинами волн 205 и 206 нм соответственно. Технический результат заключается в обеспечении возможности повышения чувствительности метода ЛФ/ЛИФ. 2 ил.

RU 2 741 745 C1

RU 2 741 745 C1



Фиг. 1

R U 2 7 4 1 7 4 5 C 1

R U 2 7 4 1 7 4 5 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11)**2 741 745**⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.
G01N 21/64 (2006.01)
G01N 21/84 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01N 21/6402 (2020.08); *G01N 33/0037* (2020.08); *G01N 33/0057* (2020.08)(21)(22) Application: **2020122801, 03.07.2020**(24) Effective date for property rights:
03.07.2020Registration date:
28.01.2021

Priority:

(22) Date of filing: **03.07.2020**(45) Date of publication: **28.01.2021** Bull. № 4

Mail address:

**634055, g. Tomsk, pr. Akademicheskij, 2/3, Institut
silnotochnoj elektroniki SO RAN, zam. direktora
po NR ISE SO RAN Batrakovu A.V.**

(72) Inventor(s):

**Panchenko Yuriy Nikolaevich (RU),
Puchikin Aleksej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
uchrezhdenie nauki Institut silnotochnoj
elektroniki Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj
akademii nauk, (ISE SO RAN) (RU)**

(54) **METHOD FOR REMOTE DETECTION IN AIR OF HAZARDOUS SUBSTANCES CONTAINING A NITRO GROUP**

(57) Abstract:

FIELD: quantum electronics.

SUBSTANCE: invention relates to quantum electronics and can be used in development of lidar systems for remote detection in air of low concentrations (ppb-ppm) of vapors and traces of hazardous substances containing a nitro group (for example, high-energy materials, brown gas, saltpeter). Method is based on a method for laser fragmentation of nitro compounds with subsequent laser-induced fluorescence of NO-radicals (LF/LIF). Analyzed region is exposed to radiation of an electric-discharge KrCl laser with wavelength of 222.1 nm and a spectral line width $\Delta\lambda \approx 0.4$ nm. This provides resonance excitation

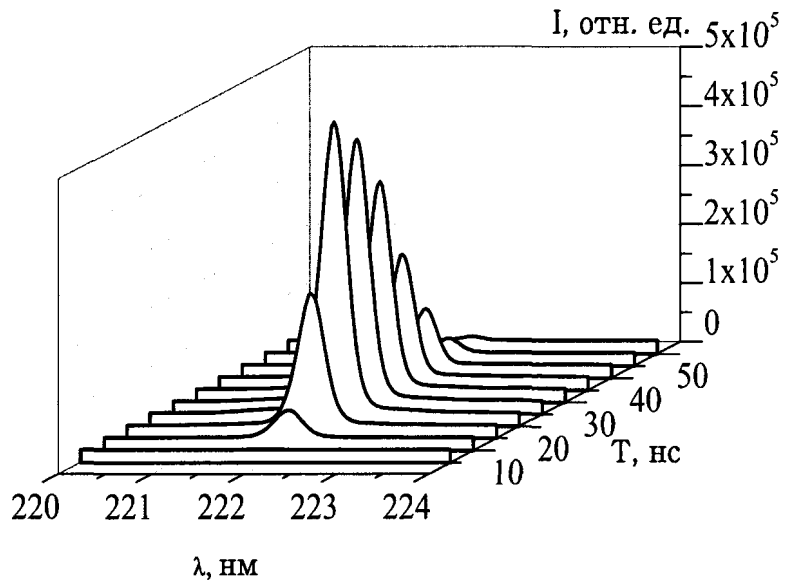
of optical junctions $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=2) \leftarrow X^2P(v''=2)$ and $C^2\Sigma^+(v'=0) \leftarrow X^2P(v''=4)$, obtained after photofragmentation of primary molecules and their large characteristic NO_2 fragments. Thereafter, induced fluorescence of NO fragments is recorded on transitions $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=2) \rightarrow X^2P(v''=0)$ and $C^2\Sigma^+(v'=0) \rightarrow X^2P(v''=2)$ with wave lengths of 205 and 206 nm respectively.

EFFECT: technical result consists in providing the possibility of increasing the sensitivity of the LF/LIF method.

1 cl, 2 dwg

RU 2 741 745 C1

RU 2 741 745 C1



Фиг. 1

R U 2 7 4 1 7 4 5 C 1

R U 2 7 4 1 7 4 5 C 1

Изобретение относится к квантовой электронике и может быть использовано при разработке лидарных систем, для дистанционного обнаружения в воздухе малых концентраций (ppb-ppm) паров и следов опасных веществ (ОВ), содержащих нитрогруппу (например: высокоэнергетические материалы (ВЭМ), бурый газ, селитры).

5 В настоящее время, среди большого многообразия различных спектроскопических диагностик использующихся для решения подобных задач, наибольшее распространение получили следующие оптические методы: лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия, спонтанное комбинационное рассеяние, когерентное антистоксовое комбинационное
10 рассеяние, лазерная фототермическая спектроскопия, лазерно-индуцированная флуоресценция (ЛИФ), лазерная фотофрагментация с последующей лазерно-индуцированной флуоресценцией (ЛФ/ЛИФ). Каждый из перечисленных способов имеет свои преимущества и недостатки, а также включает в себя различные способы использования возбуждающего и рассеянного излучения, что позволяет существенно расширить возможности использования этих методов.

15 Одним из перспективных методов дистанционного обнаружения ОВ, содержащих нитрогруппу, с точки зрения его чувствительности и селективности, является метод ЛФ/ЛИФ. В работе [1] были предложены основные принципы и условия применимости метода ЛФ/ЛИФ для обнаружения паров различных веществ находящихся в атмосфере. В литературе известны лидарные системы для обнаружения паров ВЭМ в воздухе на
20 основе одночастотного метода ЛФ/ЛИФ [2-7]. Данные оптические устройства отличаются используемыми длинами волн зондирующего пучка, энергия квантов которых соответствует резонансным переходам молекул $\text{NO } A^2\Sigma-X^2\Pi$, $D^2\Sigma-X^2\Pi$ и $V^2\Pi-X^2\Pi$.

25 Известен способ и устройство для дистанционного обнаружения паров ВЭМ в воздухе (Patent No. 5364795 A US, G01N 33/22) [2]. В данной работе при использовании метода ЛФ/ЛИФ применялось лазерное излучение с длиной волны 226 нм, которое осуществляло фотофрагментацию основных молекул ВЭМ, а также последующее возбуждение их характеристических $\text{NO-фрагментов } A^2\Sigma^+(v'=0)\leftarrow X^2\Pi(v''=0)$. Регистрация
30 флуоресценции осуществлялась на оптических переходах $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=0)\rightarrow X^2\Pi(v''=0-2)$ с длинами волн 236 и 248 нм соответственно. Из имеющихся недостатков описанного изобретения, следует отметить присутствие высокоинтенсивной шумовой компоненты в принимаемом сигнале, которая вызывалась стоксовым рассеянием в длинноволновой
35 области спектра, а также присутствием фонового $\text{NO } X^2\Pi(v''=0)$ в атмосфере.

Известен способ и устройство для дистанционного обнаружения паров ВЭМ в воздухе (Patent No. 5728584 A US, G01N 33/22) [3]. В данной работе авторами при реализации метода ЛФ/ЛИФ использовалось излучение ArF лазера ($\lambda=193$ нм) обеспечивающее
40 фотодиссоциацию молекул ВЭМ и последующее возбуждение перехода $\text{NO } D^2\Sigma(v'=0)\leftarrow X^2\Pi(v''=1)$. Регистрация флуоресценции наблюдалась на оптических переходах $\text{NO } D^2\Sigma-X^2\Pi$ и $A^2\Sigma-X^2\Pi$, заселение электронного уровня $A^2\Sigma$ обеспечивалось безызлучательными электронными переходами с уровнем $D^2\Sigma$ и $C^2\Pi$ (в соответствии с диаграммой Яблонского).

45 Существенным недостатком описанного изобретения, также как и в работе [2], являлось наличие в принимаемом сигнале высокоинтенсивной шумовой компоненты, включающей в себя континуум длинноволнового рассеяния и флуоресценцию молекул атмосферного кислорода, вызываемую полосами поглощения Шумана-Рунге.

Известен способ и устройство для дистанционного обнаружения паров ВЭМ в воздухе (Patent No.7955855 B2 US) [4]. В данной работе при реализации метода ЛФ/ЛИФ авторы применяли лазерное излучение с длиной волны 236,2 нм, что обеспечивало фотодиссоциацию основной молекулы ОВ и возбуждение оптического перехода $NO A^2\Sigma^+(v'=0) \leftarrow X^2\Pi(v''=1)$, при этом сигнал флуоресценции регистрировался на длине волны 226 нм перехода $NO A^2\Sigma^+(v'=0) \rightarrow X^2\Pi(v''=0)$.

Недостатком описанного изобретения является малый спектральный сдвиг принимаемого сигнала относительно возбуждающего излучения, что приводит к существенному усложнению оптической системы шумоподавления регистрационной аппаратуры.

На основе сделанного анализа имеющихся патентов можно утверждать, что дистанционное обнаружение ОВ в воздухе является актуальной и требует дальнейших исследований, которые бы позволили повысить чувствительность и селективность предлагаемого метода ЛФ/ЛИФ.

Основной проблемой возникающей при реализации метода является малая концентрация паров (ед. ppb) ВЭМ в воздухе, что обусловлено низкой степенью испаряемости данных типов веществ, при температурах $\leq 25^\circ C$.

Для решения этой проблемы, в приведенных выше работах, использовался перестраиваемый узкополосный лазерный источник с высокой спектральной яркостью, что позволяло резонансно настраиваться на вращательные уровни заданных электронно-колебательных состояний. Следует отметить, что такие лазерные источники имеют сложную многокомпонентную конструкцию, что не только снижает надежность работы, но и существенно увеличивает весо-габариты установки и ее стоимость.

Известен источник лазерного излучения, выполненный на базе узкополосной электроразрядной KrCl лазерной системы [5]. В устройстве использовался метод ЛИФ, в котором с помощью узкополосного излучения обеспечивалось возбуждение резонансных переходов $A^2\Sigma^+(v'=1) \leftarrow X^2\Pi(v''=1)$ и $A^2\Sigma^+(v'=2) \leftarrow X^2\Pi(v''=2)$ молекул NO^* образуемых в результате высокотемпературного механизма окисления азота в области горения пламени (механизм Я.Б. Зельдовича). Заселение колебательных состояний основного электронного состояния $NO X^2\Pi(v''=1,2)$ задавалось распределением Больцмана в условиях термодинамического равновесия, при температуре пламени $\sim 1800^\circ C$. Регистрируемый спектр флуоресценции состоял из нескольких интенсивных спектральных полос соответствующих переходам $(2, v'')$ и $(1, v'')$ А-Х системы.

Недостатком данного технического решения является низкая эффективность обнаружения молекул NO^* в пламени с температурой $1800^\circ C$. Основной причиной этого является малая заселенность второго колебательного уровня Х ($v''=2$), а также отсутствие резонанса между длиной волны зондирующего излучения и максимумом поглощения оптического перехода $A^2\Sigma^+(v'=1) \leftarrow X^2\Pi(v''=1)$.

Наиболее близким аналогом предлагаемого изобретения, взятым нами за прототип, является способ, основанный на методе ЛФ/ЛИФ [7]. В данной работе для обнаружения паров ВЭМ использовалось зондирующее излучение с длиной волны 247.8 нм и шириной спектральной линии 4 пм. Данное излучение соответствует резонансному переходу $NO A^2\Sigma^+(v'=0) \leftarrow X^2\Pi(v''=2)$. Для получения зондирующего излучения, соответствующего резонансному переходу, потребовалось сформировать узкую спектральную линию (4 пм) излучения на краю контура усиления в одном KrF лазере и усилить это излучение во втором лазере. Регистрация флуоресценции осуществлялась на одной длине волны

226 нм. Данная система позволяла обнаруживать пары тринитротолуола с концентрацией ~ 1 ppb в атмосфере на расстоянии более 10 м. Основным недостатком предлагаемого способа является низкая чувствительность обнаружения паров ВЭМ и сложность формирования необходимых параметров зондирующего излучения.

5 Задачей изобретения является повышение чувствительности метода ЛФ/ЛИФ с использованием широкополосного излучения KrCl лазера, обеспечивающее обнаружение в атмосфере с температурой менее 25°C сверхнизких концентраций (менее 0.1 ppb) паров и следов опасных веществ, включающих в свой состав нитрогруппу, например, такие как ВЭМ, аммиачная селитра, бурый газ.

10 Указанная задача при осуществлении изобретения достигается тем, что в известном способе, заключающимся в воздействии ультрафиолетового лазерного излучения на исследуемую область и регистрации индуцированной флуоресценции NO-фрагментов после фотофрагментации молекул нитрогруппы, согласно изобретению, воздействие производят излучением электроразрядного KrCl лазера с длиной волны 222.1 и шириной спектральной линии $\Delta\lambda \approx 0.4$ нм, обеспечивающим резонансное возбуждение оптических переходов $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=2) \leftarrow X^2\Pi(v''=2)$ и $C^2\Sigma^+(v'=0) \leftarrow X^2\Pi(v''=4)$, полученных после фотофрагментации первичных молекул и их крупных характеристических NO_2 -фрагментов, а регистрация индуцированной флуоресценции NO-фрагментов

20 осуществляется на переходах $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=2) \rightarrow X^2\Pi(v''=0)$ и $C^2\Sigma^+(v'=0) \rightarrow X^2\Pi(v''=2)$ с длинами волн 205 и 206 нм соответственно.

Использование излучения KrCl лазера с длиной волны 222.1 нм позволило согласовать время фото диссоциации основной молекулы ОВ, которое в данных условиях взаимодействия составляет ~ 20 нс, с длительностью возбуждающего импульса излучения. Это обеспечило эффективный одноимпульсный режим работы, в котором происходит фотодиссоциация основной молекулы и возбуждение ее радикалов.

25 На фиг. 1 представлено временное распределение интенсивности импульса излучения. Используемая смесь в лазере была Ne/Kr/HCl/H₂=3300/190/4/0.5 мбар, зарядное напряжение - U₀=22 кВ. Измерение длительности импульса излучения осуществлялось CCD камерой iStar 334T Series (Andor™). Временная задержка срабатывания оптического затвора была 5 нс.

30 При взаимодействии молекул ВЭМ с излучением на $\lambda=248$ нм время диссоциации основной молекулы составляет ~ 200 нс [9], следовательно, с учетом высокой скорости тушения компонентами воздуха $\text{NO } A^2\Sigma^+$ состояния ($v_{\text{туш.}} \sim 7 \times 10^8$ 1/с), можно ожидать, что при работе ЛФ/ЛИФ с использованием излучения 222,1 нм интенсивность флуоресценции будет на порядок выше, чем в работах [5, 6, 8].

Использование широкополосного ($\Delta\lambda \approx 0.4$ нм) излучения позволяет эффективно перекрыть максимумы полос поглощения Р и R ветвей оптических переходов $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=2) \leftarrow X^2\Pi(v''=2)$ и $C^2\Sigma^+(v'=0) \leftarrow X^2\Pi(v''=4)$.

40 На фиг. 2 представлены расчетные спектры возбуждения переходов NO [10] 1 - X-A (2,2), 2 - X-C(4,0), и 3 - экспериментально измеренный спектр излучения электроразрядного KrCl лазера. Следует отметить, что возможность использования широкополосного излучения существенно упрощает оптическую схему и конструкцию лазерного источника, поскольку не требуется осуществлять спектральную селекцию излучения.

Регистрация флуоресценции осуществляется на оптических переходах $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=$

2) $\rightarrow X^2\Pi(v''=0)$ и $C^2\Sigma^+(v'=0) \rightarrow X^2\Pi(v''=2)$ с длинами волн 205 и 206 нм соответственно. Регистрируемые спектральные линии лежат в непосредственной близости друг от друга и имеют антистоксовый сдвиг в 17 нм, относительно возбуждающего излучения 222.1 нм, что позволяет обеспечить более высокую степень шумоподавления приемного сигнала, чем в работе [4]. Присутствие интенсивной флуоресценции на переходе $C-X$ молекулы NO^* обусловлено возбуждением резонансного перехода $NO C^2\Sigma^+(v'=0) \leftarrow X^2\Pi(v''=4)$, вызванного эффективным заселением $NO X^2\Pi(v''=4)$ после фотодиссоциации молекул NO_2 . Образование данных молекул вызывается фотодиссоциацией основных молекул OB , при которых возникают фрагменты NO и NO_2 в соотношении $NO/NO_2 \approx 0.3-0.4$ [9].

Известно, что соотношение сечений поглощения ВЭМ (RDX, PENT, HMX) и NO_2 для излучения с длинами волн $\lambda=222.1$ и 248 нм, составляет для разных ВЭМ $\sigma_{222}/\sigma_{248}=8 \pm 2$, что позволяет в ряде случаев [5, 6, 8] на порядок увеличить эффективность метода ЛФ/ЛИФ по обнаружению OB в воздухе.

Для сравнения эффективности методов ЛФ/ЛИФ, использующих излучение с длиной волны 248 или 222.1 нм и полученных соответственно в KrF и $KrCl$ лазерах, применялась поперечная схема регистрации флуоресценции от различных паров OB и оксида азота, находящихся в герметичной кювете с добавлением воздуха атмосферного давления. В качестве количественной характеристики полученной эффективности ЛФ/ЛИФ использовалось выражение, предложенное в работе [11], которое связывает количество зарегистрированных фотоприемником сигнальных фотонов с эффективным сечением процесса ЛФ/ЛИФ: $N_{per}=F \times n \times \sigma_{eff} \times \eta$, где: $F=E/h\nu \times S$ - плотность энергии (число фотонов) возбуждающего излучения в области взаимодействия, h - постоянная Планка, ν - частота лазерного излучения, n - концентрация исследуемых молекул, σ_{eff} - эффективное сечение процесса ЛФ/ЛИФ, η - эффективность регистрации приемной аппаратурой квантов рассеянного сигнала.

Общая эффективность регистрации квантов рассеянного сигнала приемной аппаратурой составляла: $\eta=\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4=2 \times 10^{-6}$, где $\eta_1=0.8\%$ - эффективность распространения рассеянного излучения в углу Ω задаваемой приемной аппаратурой, находящейся на расстоянии 0.5 м от исследуемого объема, $\eta_2=9\%$ - эффективность пропускания фильтра, $\eta_3 \approx 2\%$ - эффективность пропускания двойного спектрографа Shamrock SR-500i-D1, $\eta_4=15\%$ - квантовая эффективность CCD камеры iStar 334T Series (Andor™) на $\lambda=205$ и 226 нм.

Эффективности регистрации сигнала флуоресценции η для зондирующих излучений с длинами волн 248 и 222.1 нм, были сравнимы между собой, при этом значение параметра шумоподавления было не менее 10^{-12} .

При реализации близких значений N_{per} для заданных концентраций в атмосфере парообразных OB , используемая плотность энергии (~ 750 мДж/см²) возбуждающего узкополосного излучения с $\lambda=248$ нм превышала энергию (~ 10 мДж/см²) широкополосного излучения с $\lambda \approx 222.1$ нм, более чем в 50-100 раз (для разных OB). Данная величина согласуется с оценками повышения эффективности метода ЛФ/ЛИФ при учете условий предложенных выше.

При использовании продольной схемы регистрации флуоресценции от различных

парообразных ОБ в атмосфере, при дистанции до объекта исследования ~5 м, были получены аналогичные результаты по эффективности работы ЛФ/ЛИФ с лазерными источниками излучения на 248 и 222.1 нм.

Таким образом, предлагаемый метод ЛФ/ЛИФ с использованием широкополосного KrCl лазера, позволяет повысить чувствительность обнаружения ОБ по сравнению с прототипом (или аналогами) более чем на два порядка.

Использование данного изобретения позволит создавать высокочувствительные лидарные системы на основе метода ЛФ/ЛИФ по обнаружению в атмосфере сверхнизких концентраций паров и следов ОБ, включающих в свой состав нитрогруппу, что позволит расширить области их применения.

Источники информации:

1. M.O. Rodgers, K. Asai, D.D. Davis. Photofragmentation Laser Induced Fluorescence: a new method for detecting atmospheric trace gases // *Appl. Opt.*, 1980. Vol. 19 No. 21., P. 3597-3605. doi: 10.1364/AO.19.003597.

2. Patent No. 5364795 A US, G01N 33/22 Laser-based detection of nitro-containing compounds // Sausa R.C, Simeonsson J.B, Lemire G.W; The United States of America as represented by the Secretary of the Army (Washington, DC), 15.11.1994.

3. Patent No. 5728584 A US, G01N 33/22 Method for detecting nitrocompounds using excimer laser radiation // Sausa R.C., Simeonsson J.B, Lemire G.W; United States of America as represented by the Secretary of the Army (Washington, DC), 17.03.1998.

4. Patent No. 7955855 B2 US Detection of materials via nitrogen oxide // Rothschild M., Wynn C.M., Zayhowski J.J., Kunz R.R.; Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, MA), 07.06.2011.

5. M. Decker and V. Sick. Tunable KrCl excimer-laser operation for combustion diagnostics // *Appl. Opt.*, 1996. Vol. 35, No. 3. P. 482-484. doi: 10.1364/AO.35.000482.

6. T. Arusi-Parpar, S. Fastig, J. Shapira, B. Shwartzman, D. Rubin, Y. Ben-Hamo, and A. Englander Standoff detection of explosives in open environment using enhanced photodissociation fluorescence // *Proc. of SPIE*. 2010. Vol. 7684. P. 76840L-1-6. doi: 10.1117/12.850911.

7. Патент 75242 U1 РФ, МПК G01N 21/64 (2006.01), G01B 27/48 (2006.01) Лазерная система для дистанционного обнаружения взрывчатых веществ // Лосев В.Ф., Бобровников С.М., Ворожцов А.Б., Горлов Е.В., Максимов Е.М., Панченко Ю.Н., Резнев А.А., Сакович Г.В., Цаплиев Ю.Б.; патентообладатель Институт сильноточной электроники СО РАН (RU); 27.07.2008.

8. S.M. Bobrovnikov, E.V. Gorlov, V.I. Zharkov, Yu. N. Panchenko, and A.V. Puchikin. Two-pulse laser fragmentation/laser-induced fluorescence of nitrobenzene and nitrotoluene vapors // *Appl. Opt.* 2019. Vol. 58, No. 27. P. 7497-7502.

9. Ming-Fu Lin, Yuan T. Lee, Chi-Kung Ni, Shucheng Xu, and M.C. Lin. Photodissociation dynamics of nitrobenzene and o-nitrotoluene // *J. of Chem. Phys.* 2007. Vol. 126, No. 6. P. 064310-1-11. doi: 10.1063/1.2435351.

10. J. Luque and D.R. Crosley, "LIFBASE: Database and Spectral Simulation Program (Version 1.5)", SRI International Report MP 99-009 (1999).

11. C.M. Wynn, S. Palmacci, R.R. Kunz, K. Clow, and M. Rothschild Detection of condensed-phase explosives via laser-induced vaporization, photodissociation, and resonant excitation // *Appl. Opt.* 2008. Vol. 47, No. 31. P. 5767-5776.

(57) Формула изобретения

Способ дистанционного обнаружения в воздухе опасных веществ, содержащих нитрогруппу, заключающийся в воздействии ультрафиолетового лазерного излучения

на исследуемую область и регистрации индуцированной флуоресценции NO-фрагментов после фотофрагментации молекул нитрогруппы, отличающийся тем, что воздействие производят излучением электроразрядного KrCl лазера с длиной волны 222.1 нм и шириной спектральной линии $\Delta\lambda\approx 0.4$ нм, обеспечивающим резонансное возбуждение

5 оптических переходов $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=2)\leftarrow X^2\Pi(v''=2)$ и $C^2\Sigma^+(v'=0)\leftarrow X^2\Pi(v''=4)$, полученных после фотофрагментации первичных молекул и их крупных характеристических NO_2 -фрагментов, а регистрация индуцированной флуоресценции NO-фрагментов

10 осуществляется на переходах $\text{NO } A^2\Sigma^+(v'=2)\rightarrow X^2\Pi(v''=0)$ и $C^2\Sigma^+(v'=0)\rightarrow X^2\Pi(v''=2)$ с длинами волн 205 и 206 нм соответственно.

15

20

25

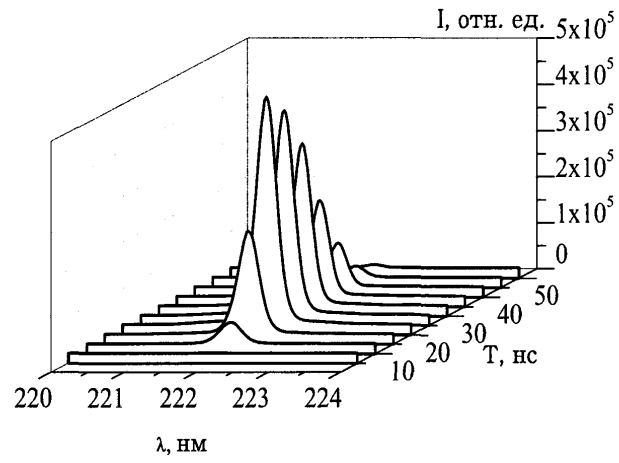
30

35

40

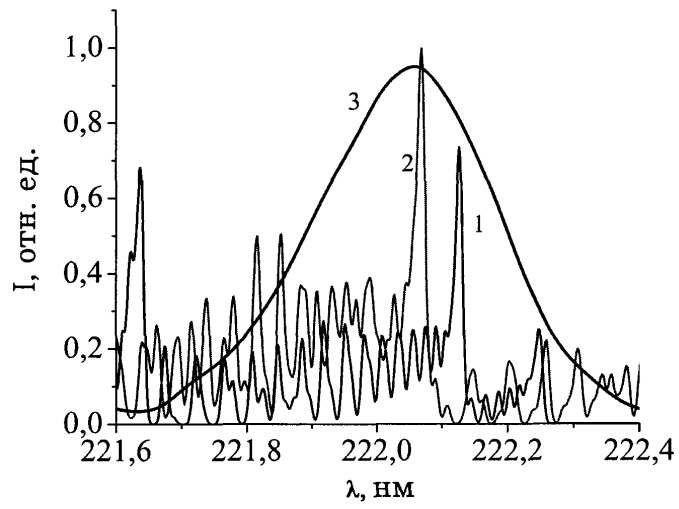
45

1



Фиг. 1

2



Фиг. 2