ISNN:2181-1296



SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ШАРОФА РАШИДОВА

SAMARKAND STATE UNIVERSITY NAMED AFTER SHAROF RASHIDOV

ILMIY AXBOROTNOMA

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
SCIENTIFIC JOURNAL

ANIQ VA TABIIY FANLAR SERIYASI

Matematika, Mexanika, Informatika
Fizika, Kimyo, Biologiya, Geografiya

№ 1/1 (137)
2023

ISSN 2181-1296

ILMIY AXBOROTNOMA

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК SCIENTIFIC JOURNAL

2023-yil, 1-son (137/) ANIQ VA TABIY FANLAR SERIYASI

Matematika, Mexanika, Informatika, Fizika, Kimyo, Biologiya, Geografiya

Samarqand viloyat matbuot boshqarmasida ro‘yxatdan o‘tish tartibi 09-25.
Jurnal 1999-yildan chop qilina boshlagan va OAK ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR **R. I. XALMURADOV, t.f.d., professor**
BOSH MUHARRIR O‘RINBOSARLARI: **H.A. XUSHVAQTOV, f-m.f.d., dotsent**
A. M. NASIMOV, t.f.d., professor

TAHRIRIYAT KENGASHI:

ANIQ FANLAR

SH.A.ALIMOV - O‘zFA akademigi
S.N.LAKAYEV - O‘zFA akademigi (SamDU)
M.M.MIRSAIDOV - O‘zFA akademigi
A.S.SOLEEV - f.-m.f.d., professor (SamDU)
I.A.IKROMOV - f.-m.f.d., professor (SamDU)
B.X.XO‘JAYAROV - f.-m.f.d., professor (SamDU)
A.G.YAGOLA - f.-m.f .d., professor (Moskva davlat universiteti, Rossiya)
I.I.JUMANOV - f.-m.f .d., professor (SamDU)
X.X.XUDOYNAZAROV - t.f.d., professor (SamDU)
ALBERTO DEL BIMBO - Florensiya universiteti professori, Italiya
L.SABIROV - f.-m.f .d., professor (SamDU)
A.JUMABOYEV - f.-m.f .d., professor (SamDU)
N.N.NIZAMOV - f.-m.f.d., professor (SamDU)
O.Q.QUVONDIQOV - f.-m.f.d., professor (SamDU)
I.A.RAXMATULLAYEV - f.-m.f .d., professor
A.SH.YARMUXAMEDOV - f.-m.f.n., (SamDU)
X.S.XAYDAROV - f.-m.f .n., dotsent (SamDU)

TABIY FANLAR

M.X.ASHUROV - O‘zFA akademigi
N.B. FERAPONTOV - k.f .d., professor (Moskva davlat universiteti, Rossiya)
SH. M. TUGIZOV - professor, Koliforniya universiteti, AQSh
H. I. AKBAROV - k.f.d., professor (O'zMU)
E. A. ABDURAXMONOV - k.f.d., professor (SamDU)
N. K. MUXAMADIYEV - k.f.d., professor (SamDU)
L. A. BULAVIN - Kiev milliy universiteti professori, Ukraina
X. Q. XAYDAROV - b.f.d., professor (SamDU)
Z. I. IZZATULLAYEV - b.f.d., professor (SamDU)
Sh. T. XOLIQULOV - g.f.d., professor (SamDU)
S. B. ABBASOV - g.f.d., professor (SamDU)
Q. S. YARASHEV - g.f.d., professor (SamDU)
GUN-SIK PARK - Seul univeriteti professori, Koreya
D.B.XURSANOV - g.f.f.d., dotsent (SamDU)
M. S. QUZIYEV - b.f.f.d., dotsent (SamDU)

Obuna indeksi – yakka tartibdagi obunachilar uchun **- 5583,**
tashkilot, korxonalar uchun **- 5584**

MUNDARIJA

Faraz Mehmood, Soleev A. *New generalization of ostrowski-grüss like inequality on time scales*……..	2-9
Alimov A.A. *On the properties of solutions of a nonlinear filtration problem with a source and multiple nonlinearities*.....	10-17
Axatov A.R., Tojiyev M.R. *Fazo-vaqt tahlili va tayanch vektor mashinasi asosida yong'inni tezkor aniqlash algoritmi*……	18-25
Байжуманов А.А. *Проблемы минимизации специальных дизъюнктивных нормальных форм сложных конъюнкций высказываний систем нелинейных булевых уравнений*……	26-30
Djuraev A.S., Obidov A.E. *Pedagogik kadrlar malakasini oshirish uchun moslashuvchan elektron ta'lim tizimini modellashtirish*	31-39
Иванов А.К., Мухамедов А.К., Шаронов И.А., Эшбуриев Р.М. *Об измерении радиоактивности мукомольно-крупяной пищевой продукции*.....	40-46
Ishankulov A.F., Tursunova N.R., Ergasheva D.R., Khalilov K.F., Galyametdinov Y.G., Mukhamadiyev N.K. *Obtaining semiconductor CdS, CdSe AND CdSe/ZnS core/shell nanoparticles and their composites with polymers*……	47-51
Шодиев Д.С., Хайруллаев М., Махмудов Ш. *О задаче коши для бигармонического уравнения* ……	52-57
Рахматуллаев И.А., Ботиров Х.З., Курбонов А.К., Хайдаров Х.С., Ахмедова Ш.Ш, Абдирахматова М.П. *Способ регистрации слабых оптических сигналов с помощью резонаторных кювет и импульсно-периодических лазерных источников*……	58-65
Jo'rakulov I.T., Umrzoqov F.B. $Ge_2Sb_2Te_5$ *yupqa qatlam plyonkalarining solishtirma kontakt qarshiligini o'rganish*……	66-71
Ikromova D.I. *On the sharp estimates for the fourier transform of measures supported to surfaces related with* E_8 *type singularities*……	72-83
Arziqulov M.M., Shermuxamedov U.A. *Urganch shahri iqlimiy ko'rsatgichlarining o'zgarishi va atmosfera gazlari konsentratsiyasiga bog'liqligi*.....	84-88
Komilova N.K., Maxmudov B.X. *Geokriminogen vaziyat va uni tadqiq etishdagi yondashuvlar*……	89-94
Fayzullayev N.I., Tillayev S.U., Mamirzayev M.A. *Metandan nanouglerod va vodorod olish reaksiyasi tezligiga turli omillarning ta'siri*.....	95-101
Djabbarov O.R., Zaripova A.R., Sodiqova U.U. *Divergent ko'rinishdagi biologik populyatsiya sistemalarining avtomodel yechimlari asimptotikasi*....	102-106
Tursunova N.G., Musulmanov N.H., Fayzullaev N.I. *Mezog'ovakli uglerod sintezining maqbul sharoitini tanlash*……	107-116
Бурнашев В.Ф., Кайтаров З.Д. *Численное исследование многофазной фильтрации в деформируемой пористой среде с учетом внешнего воздействия*……	117-130
Turayeva B.I., Kutliyeva G.J., Zuhritdinova N.Y., Kamolova X.F., Maxkamov A. *Tokdan ajratib olingan bakteriyalarning uzum fitopatogen mikromitsetlariga nisbatan antifungal xususiyatlari*.....	131-135
Mardonov J.A. *Uch o`lchovli fazoda laplas maydoni uchun karleman formulasi*……	136-140

УДК 535.361 **DOI: https://doi.org/10.59251/2181-1296.2023.v1.1.1878**

СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ СЛАБЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РЕЗОНАТОРНЫХ КЮВЕТ И ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

И.А.Рахматуллаев[1], Х.З.Ботиров[2], А.К.Курбонов[3], Х.С.Хайдаров[4], Ахмедова Ш.Ш.[3], М.П.Абдирахматова[3]

[1]Ташкентский филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
[2]Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развития Республики Узбекистан,
[3]Каршинский государственный университет,
[4]Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова
E-mail: ilyoss@rambler.ru

Аннотация. В статье обсуждается оригинальный способ регистрации слабых оптических сигналов с помощью резонаторных кювет и импульсно-периодических лазерных источников. Данная методика основана на волоконно-оптической регистрации спектров фотолюминесценции, комбинационного рассеяния и двухфотонно-возбуждаемой люминесценции с использованием малогабаритного спектрометра, резонаторных кювет и системы обработки данных, позволяющей провести сравнение анализируемого спектра со спектром эталонного вещества. Разработанный способ регистрации слабых оптических сигналов открывает широкие возможности для регистрации слабых сигналов вторичного излучения важных неорганических и органических веществ, а также для создания малогабаритных лазерных анализаторов химических соединений, необходимых для решения многих практических задач.

Ключевые слова: резонаторная кювета, оптический сигнал, фотолюминесценция, комбинационное рассеяние света, порошок, лазер на парах меди, спектр, вторичное излучение.

Rezonatorli kyuvetalar va impuls-davriyli lazerli manbalar yordamida sust optik signallarni qayd qilish usuli

Annotasiya. Maqolada rezonatorli kyuvetalar va impuls-davriyli lazerli manbalar yordamida sust optik signallarni qayd qiluvchi original usul muhokama qilingan. Mazkur usul fotolyuminessensiya, yorug'likning kombinasion sochilishi va ikki fotonli uyg'otilgan lyuminessensiya spektrlarini kichik o'lchamli spektrometr, rezonatorli kyuvetalar va axborotlarni qayta ishlov beruvchi sistemalar yordamida nur tolali optik qayd qilishga asoslangan bo'lib, tahlil qilinadigan spektrlarni ularning etalonlari bilan taqqoslash imkoniyatini beradi. Sust optik signallarni qayd qilish uchun yaratilgan ushbu original usul muhim noorganik va organik moddalarning sust ikkilamchi nurlanish signallarini qayd etishda hamda ko'p amaliyotdagi masalalarni yechishda zarur bo'lgan kichik o'lchamli lazerli analizatorlarni ishlab chiqishda keng imkoniyatlarni ochadi.

Kalitli so'zlar: rezonatorli kyuveta, optik signal, fotolyuminessensiya, yorug'likning kombinasion sochilishi, kukun, mis bug'laridagi lazer, spektr, ikkilamchi nurlanish.

Method for recording weak optical signals using cavity cuvettes and periodic pulsed laser sources

Abstract. The article discusses an original method for detecting weak optical signals using resonator cuvettes and repetitively pulsed laser sources. This technique is based on fiber-optic recording of photoluminescence, Raman scattering and two-photon-excited luminescence spectra using a small-sized spectrometer, resonator cuvettes, and a data processing system that makes it possible to compare the analyzed spectrum with the spectrum of a reference substance. The developed method for detecting weak optical signals opens up wide opportunities for detecting weak signals of

secondary radiation of important inorganic and organic substances, as well as for creating small-sized laser analyzers of chemical compounds necessary for solving many practical problems.

Key words: resonator cuvette, optical signal, photoluminescence, Raman scattering, powder, copper vapor laser, spectrum, secondary radiation.

Введение. В настоящее время одной из важнейших задач современной оптики является разработка новых научно-технических подходов к созданию спектральных оптических приборов и методов исследования объектов с дифракционным и субдифракционным пространственным разрешением [1]. Методы люминесценции и комбинационного (рамановского) рассеяния света являются одними из наиболее перспективных при физических, химических и биологических исследованиях, а также в медицинских приложениях, что обусловлено их высокой чувствительностью и информативностью. Оптическая диагностика со сверхвысоким пространственным разрешением крайне важна для наноиндустрии, поскольку позволяет контролировать такие параметры наноструктур как размер, форма и взаимное расположение, а также химический состав и наличие локальных механических напряжений [1].

Как известно, что вторичное излучение (ВИ) возникает в процессах фотолюминесценции (ФЛ), комбинационного рассеяния света (КРС) и в результате разнообразных многофотонных эффектов [2-4]. Время существования ВИ зависит от типа процесса и характеристик материальной среды. Несмотря на огромные успехи лазерной спектроскопии ВИ до сих пор остаются проблемы, связанные с оптимизацией лазерного источника света, также с методами повышения эффективности преобразования возбуждающего излучения в сигнал ВИ [4]. В связи с этим, в последние годы разрабатываются новые методы и приборы для регистрации слабых сигналов ВИ микро- и наноструктур. Это, в частности, относится к дисперсным средам, характеризующимся сильным рассеянием возбуждающего (лазерного) излучения. Обычно, при регистрации спектров ВИ в подобных структурах, лазерное излучение фокусируется во внутрь исследуемой среды. При достаточно интенсивных излучениях импульсных лазеров, исходные характеристики веществ сильно изменяются: среда сильно разогревается и даже может происходить фотодеструкция вещества [5,6].

Использование спектроскопии КРС для анализа структурной эволюции микро- и наноструктур (например, ZnO) позволяет получить важную информацию не только о качественном составе этих материалов, но и о состоянии приповерхностных областей кристаллитов [7]. Измерение ФЛ может быть полезным для определения структурных дефектов и примесей в различных материалах [8].

Однако, несмотря на большой объем работ, по получению и изучению оптических свойств микро- и наноструктур (порошков), вопросы по изучению, энергетических и спектральных характеристик ВИ подобных структур, еще слабо изучены, как в Узбекистане, так и за рубежом. Например, мало изучены вопросы по влиянию размеров частиц на оптические свойства порошков. К настоящему времени имеются отдельные данные об закономерностях и особенностях формирования спектров ВИ в микро- и наноструктур в резонаторных кюветах при использовании лазерных источников, работающих импульсно-периодическом режиме.

В связи с этим целью настоящего исследования является установление закономерностей формирования спектров вторичного излучения (ФЛ и КРС) в микро- и наноструктурах с помощью резонаторных кювет и лазеров, работающих импульсно-периодическом режиме**.**

Материалы и методы исследования. Для детального анализа слаболюминесцирующих веществ, а также для повышения интенсивности сигналов КРС ранее нами предложены методы «усиления» сигналов ВИ на базе резонаторных кювет и стробоскопической системы регистрации с использованием излучений импульсно-периодических лазеров (лазер на парах меди) [2,5,6]. Для этих целей впервые разработаны и изготовлены металлические резонаторные кюветы (рис.1**),** защищенные патентом на

изобретение [9] и позволившее проводить анализ ВИ в широком классе полупроводниковых и диэлектрических сред. Устройства позволило - реализовать «мягкий» режим возбуждения образцов лазерным излучением, обеспечить проведение многократных измерений образцов без их деструкции.



Рис. 1. Металлические резонаторные кюветы с образцами.

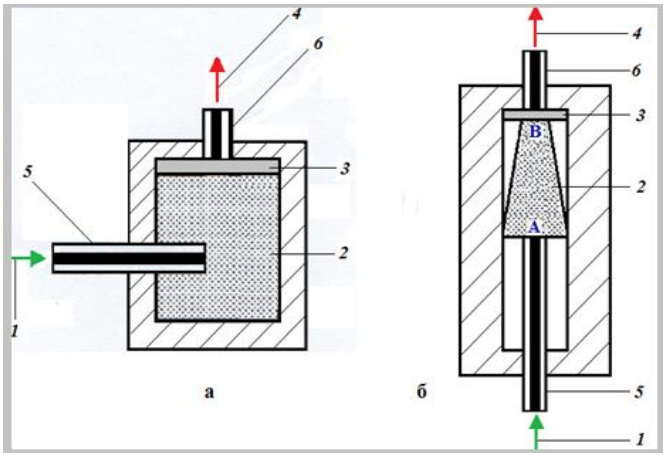


Рис. 2. Устройство резонаторной кюветы с цилиндрическим (а) и конусным (б) резонаторами: 1 – возбуждающее излучение; 2 – исследуемое вещество; 3 – абсорбционный светофильтр; 4 – вторичное излучение; 5 – входной световод; 6 – выходной световод

Идея использования резонаторных кювет состоит в том, что значительная часть доля первичного (лазерного) света, попадая в ловушку, переходит во ВИ. В корпусе фотонной ловушки была вырезана конусообразная полость, являющаяся рабочим объемом и заполняемая исследуемым порошком. Кюветы использовались для работы по схеме «на отражение» и «на просвет». В ходе экспериментальных исследований было установлено, что конусообразный полость оказалось самым оптимальным вариантом для усиления сигналов ВИ (рис. 2,б). Внутренние стенки такой кюветы характеризуются высоким коэффициентом отражения как возбуждающего, так и ВИ, а размер входного и выходного отверстий много меньше линейных размеров кюветы. Отражателями также могут служит частицы дисперсной среды, помещенной внутри кюветы. В качестве дисперсной среды предлагается использовать само анализируемое вещество или нейтральный наполнитель.

Для возбуждения и регистрации спектров КРС и ФЛ использовалась волоконно-оптическая методика (рис. 3). Генерация осуществлялась в монохроматическом режиме (λ=510,6 нм), при этом желтая линия (λ=578,2 нм) была подавлена фильтром. Возбуждающее излучение лазера (1) с помощью световода (6) направлялось внутрь кюветы с образцом (7). ВИ входило в другой световод (6) диаметром 100 мкм и направлялось к входной щели волоконно-оптического миниспектрометра (8). С миниспектрометра (рис. 4) цифровая информация о спектре ВИ посредством USB-кабеля (9) передавалась на компьютер (10). Средняя мощность излучения лазера 10 Вт. Излучение генерируется в импульсно-периодическом режиме с большой частотой следования (10^4 Гц) коротких (16 нс) импульсов генерации с пиковой мощностью 10^5 Вт. Наиболее эффективной для изучения спектров ФЛ оказалась вторая оптическая гармоника зелёной линии (510,6 нм) генерации лазера, соответствующая длине волны излучения λ=255,3 нм. Высокая пиковая мощность лазерного излучения позволяет осуществить эффективное удвоение и сложение частот линий генерации лазера путем использования нелинейно-оптических кристаллов бета бората бария (BaB_2O_4). Излучение от активного элемента лазера на парах меди, работающего в режиме неустойчивого резонатора, фокусировалось длиннофокусной линзой в нелинейно-оптическом кристалле BaB_2O_4. Кристалл был вырезан таким образом, что условие синхронизма выполнялось для удвоения частот исходного лазерного излучения. Таким образом, на выходе кристалла возникало ультрафиолетовое излучение с длинами волн 255,3 нм. Излучение лазера видимого диапазона устранялось с помощью абсорбционного фильтра, помещаемого сразу после BaB_2O_4. Для

исследования КРС была использована зеленая линия генерации (λ=510,6) лазера на парах меди. Для практических задач можно использовать компактную (минигабаритную) установку на основе лазерных диодов (в качестве источников возбуждающего излучения) и ноутбука (рис. 5).

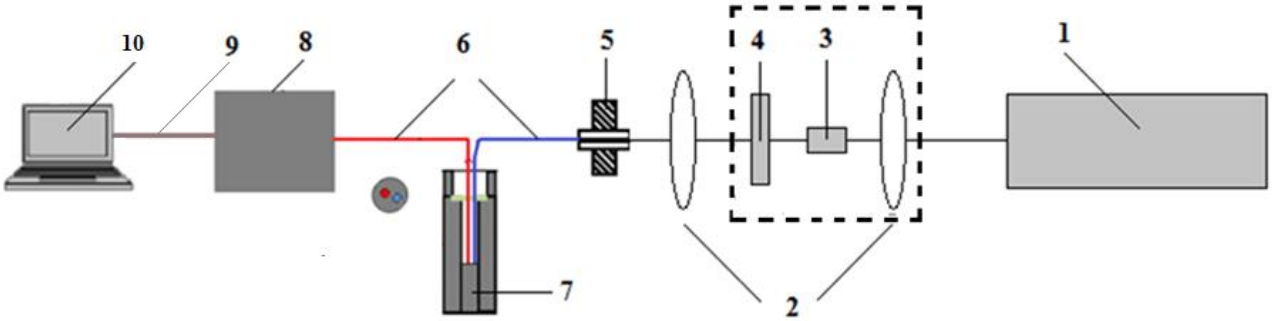


Рис. 3. Схема экспериментальной установки. 1 – лазер на парах меди; 2 – собирающая линза; 3 – нелинейно-оптический кристалл BaB_2O_4; 4 – светофильтр; 5 – держатель световода; 6 – световод; 7 – резонаторная кювета (фотонная ловушка) с образцом; 8 – миниспектрометр FSD-8; 9 – USB-кабель; 10 – компьютер.

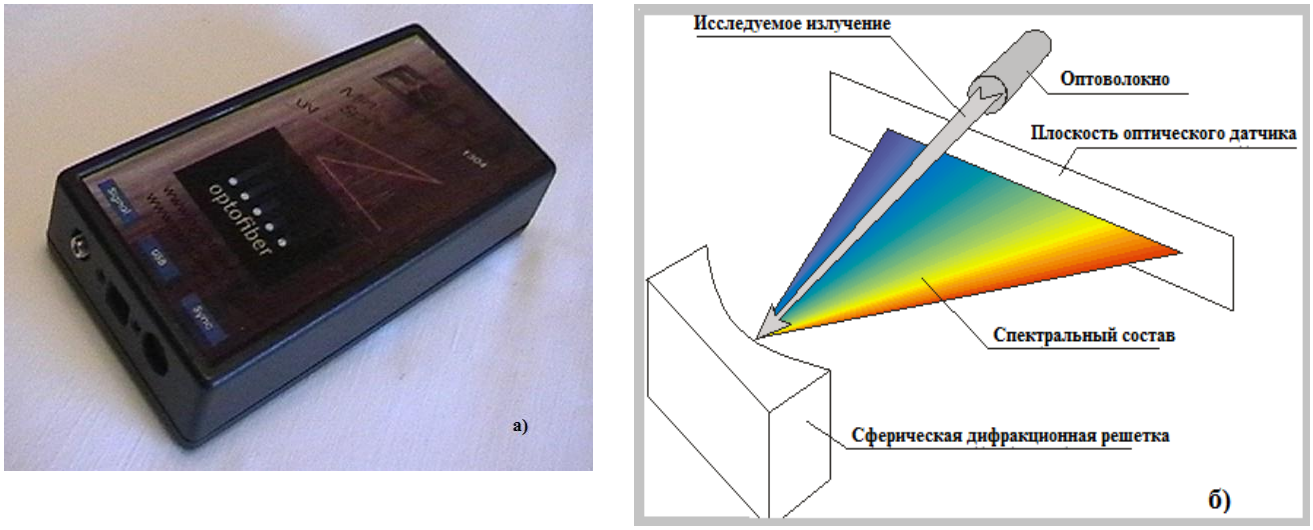


Рис. 4. а) - внешний вид миниспектрометра FSD-8, б) - Оптическая схема миниспектрометра

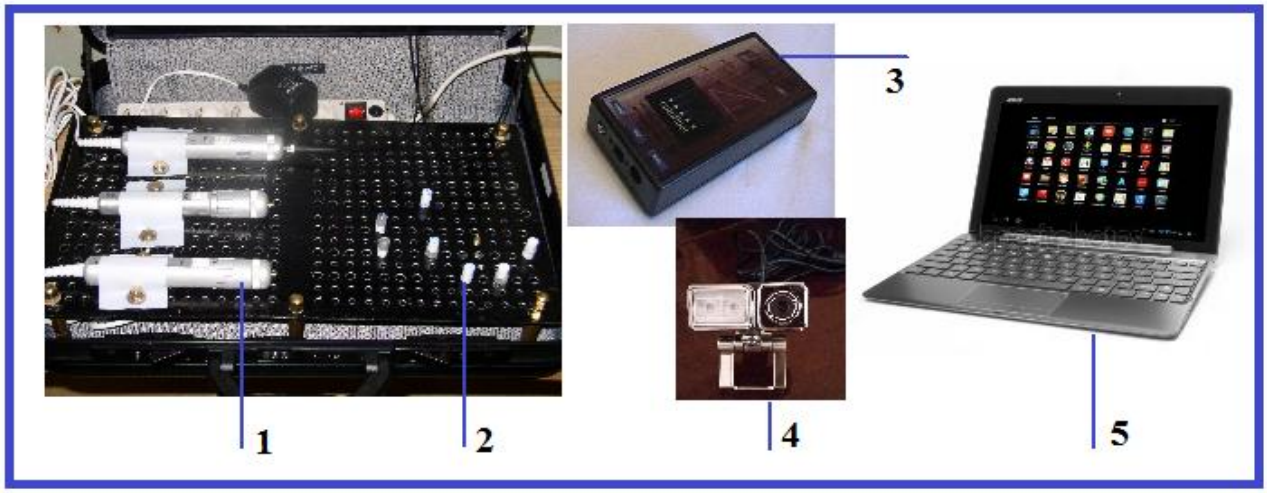


Рис. 5. Лазерный диод (1), резонаторная кювета (2), миниспектрометр (3) или веб-камера (4) и ноутбук (5).

В качестве образцов были выбраны микро- и наноструктуры (порошки) ряда неорганических веществ (алмаз) и фармацевтических препаратов (анальгин). Заготовки для получения микроалмазов изготовлены из графита методом статического сжатия при высокой температуре (1000–3000 °C) и сверхвысоком давлении (5–10 ГПа) [10]. Для записи спектров ФЛ и КРС нанопорошков алмаза были приготовлены по следующей методике. Порошок со средним размером 4 нм тщательно перемешивался с измельченным бромидом калия (KBr), а затем смесь уплотнялась на специальном прессе. В результате воздействия на смесь порошков с усилием около 2 кН получалась таблетка диаметром 10 и толщиной 3 мм, которая и использовалась для исследований. Массовое содержание алмазного порошка в таблетке составляло около 1 %. Матрица из KBr играет здесь роль иммерсионной среды, что в значительной степени уменьшает отражение и рассеяние света на границах частиц [5,6]. Образец анальгина была в форме порошке со средним размером частиц 60 мкм. Анализируемые микропорошки алмаза и анальгина массой около 10 мг помещалось в резонаторную кювету. Спектры ФЛ и КРС образцов регистрировалась при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение. На рис. 6 представлены спектры ФЛ алмазных микро- и нанопорошков различных размеров при их возбуждении второй оптической гармоникой лазера на парах меди ($\lambda_{возб}$=255,3 нм). Как видно из рисунка, что спектр ФЛ микропорошка алмаза (кривые 2-5) находится в диапазоне 300-530 нм и представляет широкую полосу с двумя максимумами в области 420 и 460 нм. В спектре ФЛ микропорошка алмаза наблюдается слабая полоса в коротковолновой области спектра (λ=360 нм). Кроме того, в порошке со средним размером 50 мкм данный пик полосы проявляется явным образом (кривая 5). Спектр ФЛ нанопорошка (кривая 1) представляет собой широкую полосу с одним максимумом в области 422 нм. Результаты показали, что в наших исследованиях в алмазе ФЛ осуществляется при участии дефектов в порошке [11, 12]. Известно из работы [13], что полосы в области 410–460 нм в спектре ФЛ микропорошка обусловлены электронными переходами между дважды вырожденным возбужденным состоянием (E_1) и основным невырожденным состоянием (A_1) дефекта N3 в спектре ФЛ природных алмазов. Наблюдаемый пик (422 нм) в спектре ФЛ нанопорошка ($d_{ср}$=4 нм) также относится к этому типу дефекта. Данный спектр отличается от спектра ФЛ микропорошка алмаза по форме и интенсивностью. По данным [11] частица детонационного наноалмаза (ДНА) размером около 4 нм состоит примерно из $1{,}2\cdot10^4$ атомов углерода, из них около $3\cdot10^3$ находятся на поверхности кристалла. На каждые 100 поверхностных атомов углерода приходится 20…140 атомов водорода, 16…128 атомов кислорода и 8…16 атомов азота, образующих различные химически активные группы. Концентрация атомов азота в ДНА аномально высока по отношению к другим типам алмазов и доходит до $3{,}1\cdot10^{21}$ ат/см^3 [11]. Слабый максимум при λ=380 нм в спектрах ФЛ микропорошка можно связать с дефектом ”N2”. Близкие расположение и подобие формы спектральной линии, полученный в нашей работе, по сравнению с известной линией, соответствующей дефекту “N2” крупном алмазе, позволяет сделать вывод о том, что наблюдаемая линия относится к этому типу дефекта. N3-центр всегда сопровождается центром N2 [14].

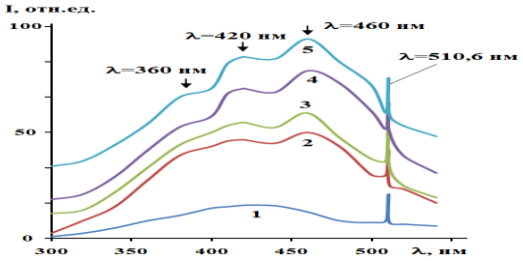


Рис.6. Спектры ФЛ алмазных микро- и нанопорошков различных размеров при их возбуждении второй оптической гармоникой лазера на парах меди ($\lambda_{возб}$=255,3 нм): (1) - $d_{ср}$=4 нм; (2) - $d_{ср}$=0,5 мкм; (3) - $d_{ср}$=1 мкм; (4) - $d_{ср}$=10 мкм; (5) - $d_{ср}$=50 мкм ($I_{возб}$ ~ 10^7 Вт/см^2).

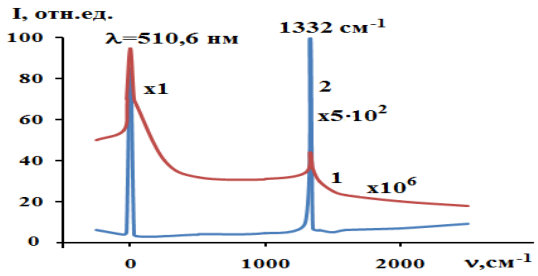


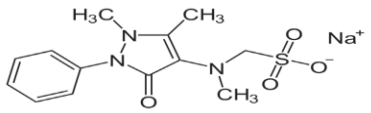
Рис.7. Спектры КРС МП алмаза ($d_{ср}$=10 мкм) в цилиндрической кювете (1) и в резонаторной кювете (2) ($I_{возб}$ ~ 10^5 Вт/см^2).

На рис. 7 приведены спектры КРС микропорошков алмаза, полученные в кюветах различных конструкций, при одинаковых режимах регистрации. Кривая 1 соответствует цилиндрической кювете со сравнительным большим объемом (диаметр кюветы-18 мм), а кривая 2 – так называемой резонаторной кювете, в которой диаметр капилляра составлял 3 мм. Как видно из этого рисунка, сигнал КРС в резонаторной кювете почти в 1000 раз больше, чем в цилиндрической кювете с большим диаметром. Увеличение фона в спектре ФЛ микропорошка при 510,6 нм обусловлено сильной ФЛ дефектов вакансий азота, так как при использовании лазерного возбуждения в видимой области (510,6 нм) приводит к возникновению достаточно интенсивной двухфотонно-возбуждаемой люминесценции (ДВЛ) в алмазах при плотностях мощности возбуждающего излучения ~10^6-10^8 Вт/см^2. В связи с этим в последние годы для подавления сигнала люминесценции стали применяться лазеры с малой интенсивностью (1 мВт) [15] и лазеры, генерирующие в ближнем ИК-диапазоне ($\lambda_{возб}$=785 нм) [16]. Поэтому, для уменьшения фона ДВЛ и увеличении сигнала КРС мы использовали интенсивность возбуждающего излучения $I_{возб}$~10^5 Вт/см^2. В ходе эксперимента практически на всех образцах была обнаружена линия на ν=1332 см$^{-1}$, соответствующая фундаментальному колебанию решетки алмаза. Регистрация узкой линии на данной частоте подтверждает наличие кристаллической фазы алмаза в исследуемых образцах.

Химические и структурные формулы анальгина приведены в таблице 1. Как видно из таблицы 1 в молекулярной структуре таких соединений присутствует одно или несколько бензольных колец, а также ряд элементов (S, N, O), соединяющихся с бензольным кольцом.

Таблица 1.

Химические и структурные формулы фармацевтического препарата анальгина

Название вещества	**Химическая формула**	**Структурная формула**
Анальгин	$C_{13}H_{16}N_3NaO_4S$	

На рис. 8. представлены спектры ФЛ микропорошков анальгина при возбуждении ультрафиолетовым излучением ($\lambda_{возб}$=255,3 нм) и спектр ДВЛ анальгина при возбуждении излучением зеленой линией лазера ($\lambda_{возб}$=510,6 нм). Спектр ФЛ микропорошков анальгина представляет полосу в диапазоне 430-800 нм с двумя максимумами 461 и 660 нм. В отличие от спектра резонансной ФЛ второй максимум спектра ДВЛ ($\lambda_{мак}$=648 нм) существенно сдвинут в коротковолновую область на 12 нм. Эти спектры отличаются друг от друга интенсивностью. Спектральная интенсивность спектра ДВЛ ($\lambda_{мак}$=648 нм) меньше соответствующей интенсивности спектра ФЛ ($\lambda_{мак}$=660 нм) примерно в 12 раз. Полученные спектры отличаются от спектра ФЛ водного раствора анальгина, полученной в работах [17, 18]: в спектре обнаруживается ФЛ с двумя максимумами 650 и 457 нм. Важно отметить, что двухфотонные и однофотонные спектры несут разную информацию. Так, например, в дипольном приближении двухфотонные переходы разрешены между состояниями одинаковой четности, тогда как однофотонные – между состояниями разной четности (см. рис.9).

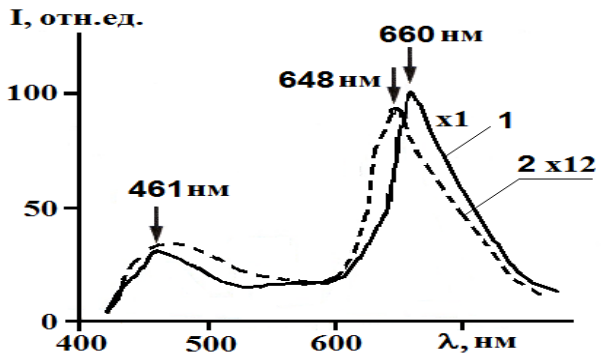


Рис. 8. 1) - спектр ФЛ микропорошков анальгина при возбуждении ультрафиолетовым излучением ($\lambda_{возб}$=255,3 нм); 2) – спектр ДВЛ микропорошков анальгина, при возбуждении двумя зелеными квантами (E=2ħω₀=4,8 эВ) лазера на парах меди.

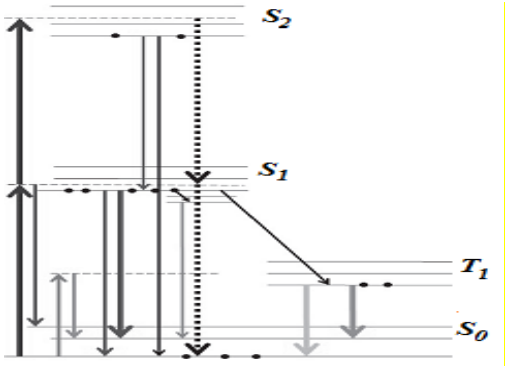


Рис. 9. Энергетические уровни, типичные для красителей [19].

Наблюдаемые спектры фотолюминесценции в анальгине можно объяснить как результат переходов с первого возбужденного электронного состояния S_1 ароматической молекулы на колебательные подуровни основного состояния S_0 (см. рис.9). При этом коротковолновый край наблюдаемых спектров соответствует π^*- π электронному переходу бензольного кольца молекулы этих структур. Длинноволновой континуум можно объяснить проявлением переходов, связанных с колебательной структурой рассматриваемых молекул и энергетической зоной экситонных состояний.

Наблюдаемые эффекты перераспределения интенсивности в этих спектрах исследуемых соединений можно объяснить переходом от режима спонтанной фотолюминесценции к режиму суперлюминесценции. Особенностью наблюдаемого эффекта является проявление суперлюминесценции в ультрафиолетовой области спектра (рис.8), соответствующей положению первого возбуждённого электронного синглетного терма в анальгине. Это обусловлено эффективным заселением возбуждённого синглетного терма ароматической молекулы под действием интенсивного импульсного лазерного излучения (см.рис.9). Природа усиления в этом случае аналогична известному механизму в лазерах на красителях [20-24].

Заключение. Таким образом, в данной работе на примере микро- и нанопорошков алмаза и микропорошков анальгина показано, что для количественного неразрушающего контроля, может быть эффективно использован способ регистрации слабых оптических сигналов с помощью резонаторных кювет и импульсно-периодических лазерных источников. Разработанная методика обеспечивает получение информации от небольшого количества анализируемой пробы с высоким пространственным разрешением по поверхности образца за достаточно короткое время. Разработанный способ регистрации слабых оптических сигналов открывает широкие возможности для регистрации слабых сигналов вторичного излучения важных неорганических и органических веществ.

Литературы

1. Парфенов П.С. Разработка оптических методов исследования объектов с дифракционным и субдифракционным пространственным разрешением. Автореф. дисс. к-та техн. наук, Санкт-Петербург: ФГУП «НПК «Государственный оптический институт им. СИ. Вавилова»», 2008. – 24 с.
2. Gorelik V.S., Rakhmatullaev I.A. Photoluminescence of diamond films and ultrafine diamond under UV laser excitation // Inorganic Materials, 2004. – Vol.40, Issue 7. – P.686–689.
3. Нещименко В.В. Структура, свойства и радиационная стойкость оксидных микро- и нанопорошков и отражющих покрытий, изготовленных на их основе. Дисс. д-ра физ.-мат. наук, Томск: ТУСУР, 2016. – 273 с.
4. Рахматуллаев И.А., Чернега Н.В., Давронов М.Х., Турсункулов О.М. Оригинальный метод диагностики слабых сигналов вторичного излучения в микро- и наноструктурах оксида

цинка с помощью фотонных ловушек // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – 2022, Специальный выпуск, № 41, С.329-341.
5. Рахматуллаев И.А. Вторичное излучение в конденсированных средах при импульсно-периодическом лазерном возбуждении. Дисс. д-ра физ.-мат. наук, Ташкент, 2008. – 260 с.
6. Курбонов А.К. Вторичное излучение в микро- и нанопорошках при импульсно-периодическом лазерном возбуждении. Дисс. PhD. физ.-мат. наук, Ташкент, 2020. – 156 с.
7. Аверин И.А., Пронин И.А., Якушова Н.Д. и др. Анализ структурной эволюции порошков оксида цинка, полученных методом механического высокоэнергетического размола // Журнал технической физики, 2019. – Т.89, вып. 9. – С.1406-1411.
8. Бураков В.С., Тарасенко Н.В., Невар Е.А., Неделько М.И. Морфология и оптические свойства наноструктур оксида цинка, синтезированных методами термического и электроразрядного распыления // Журнал технической физики, 2011. – Т.81, №2.– С.89-97.
9. Горелик В.С., Рахматуллаев И.А. Устройство для возбуждения вторичного излучения в молекулярных средах // Патент Российской Федерации № 2289221. Официальный бюллетень. 2006. - № 34.
10. Рахматуллаев И.А., Горелик В.С., Муминов Р.А., Турсункулов О.М., Тукфатуллин О.Ф., Рахматуллаев М.Р., Курбонов А.К. Спектры фотолюминесценции и комбинационного рассеяния света микропорошков алмаза, помещенных в фотонные ловушки // Scientific-technical journal (FerPI). – 2021. – V.4, No.1. – P.46-53.
11. Верещагин А.Л. Свойства детонационных наноалмазов. Из-во Алт. гос. техн. ун-та, 2005. – 134 с.
12. Рахматуллаев И.А., Горелик В.С., Курбонов А.К. Спектры фотолюминесценции нанопорошков алмаза и оксида цинка при лазерном возбуждении // «Современные проблемы физики и технологий»: Сб.тезисов V Межд. молодеж. науч. школы-конф. 18-23 апреля 2016. – Москва, 2016. – С. 331-333.
13. Миков С.Н., Иго Н.В., Горелик В.С. Спектры двухфотонно-возбуждаемой люминесценции в нанокристаллах алмаза // Физика твёрдого тела. – 1999. – Т. 41, № 6. – С.1110-1112.
14. Хомич А.А. Особенности проявления размерных эффектов и радиационного разупорядочивания в оптических свойствах алмаза Дисс. к-та физ.-мат. наук. — Москва: ИОФ РАН, 2015. – 184 с.
15. Горяйнов С.В., Лихачева А.Ю., Овсюк Н.Н. Комбинационное рассеяние света в лонсдейлите // ЖЭТФ. – 2018. – Т.154, №1. – С.26-30.
16. Тареева М.В., Антонов В.А., Попов В.П., Пальянов Ю.Н., Царик К.А., Литвинова А.О. Комбинационное рассеяние света в субмикронной алмазной мембране, полученный методом переноса водородом // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2017. – №7. – С.40-47.
17. Умаров М.Ф., Горелик В.С. Оптическая спектроскопия биактивных препаратов. –Вологда: ВоГУ, 2014. – 147 с.
18. Мкртчян М.А. Фотометрическое исследование водных растворов анальгина // Ученые записки Ереванского гос.университета.– 2010. – №2. – С.24-27.
19. Бойко В.В., Горелик В.С., Довбешко Г.И., Пятышев А.Ю. Фотолюминесценция ароматических соединений при возбуждении ультрафиолетовым светодиодом // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – Вып. 8, С.1-7.
20. Войнов Ю. П., Горелик В.С., Умаров М.Ф., Морозова С.В. Разностная флуоресцентная спектроскопия структуры и состава биоактивных препаратов // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2011. – № 11. – С.13–19.
21. Горелик В.С., Козлова Г.В., Куркин Ю.П., Показеев К.В. Лазерная спектроскопия пищевой продукции. – М.: МГУПБ, 2004. – 157 с.
22. Козлова Г.В. Лазерная спектроскопия модифицированных молекулярных объектов. Дисс. канд. физ.-мат. наук, Ульяновск: УлГУ, 2005. – 151 с.
23. Барановский С.Ф., Чернышев Д.Н. Спектрофотометрическое исследование гетероциклических молекул в ассоциированном состоянии. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 108 с.
24. Купцов А.Х., Жижин Г.Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. – М.: Техносфера, 2013. – 696 с.