

УДК 538.958

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОРАЗМЕРНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КЛАСТЕРЫ, В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

© 2022 г. В. П. Дресвянский^{1, 2, *}, А. С. Ищенко³, Е. Ф. Мартынович^{1, 2},
С. В. Мурзин^{1, 3}, А. А. Черных², В. Л. Паперный²

¹Иркутский филиал федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Иркутский государственный университет”, Иркутск, Россия

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Иркутский государственный университет путей сообщения”, Иркутск, Россия

*E-mail: nadvp@list.ru

Поступила в редакцию 01.06.2022 г.

После доработки 15.06.2022 г.

Принята к публикации 22.06.2022 г.

Представлены результаты исследований спектрально-люминесцентных свойств поверхностных слоев, содержащих наноразмерные металлические кластеры Ag и Cu, внедренных в кристаллическую матрицу диэлектрика методом ионной имплантации с флюенсом в диапазоне $2 \cdot 10^{13} - 10^{18}$ ионов/см². Определены временные параметры центров свечения, ответственных за фотолюминесценцию.

DOI: 10.31857/S0367676522100040

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря своим уникальным свойствам наноразмерные металлические частицы, интегрированные в различные матрицы, представляют значительный научный интерес и имеют существенный потенциал технологического применения. С практической точки зрения, в настоящее время наиболее привлекательными являются металлические наночастицы Ag, Au, Cu, имеющие полосы поверхностного плазмонного резонанса в видимой области оптического спектра [1, 2]. Композитные металл-диэлектрические материалы, содержащие наночастицы металлов, являются перспективными для различных приложений, в частности, в преобразовании солнечной энергии, биосенсорике, оптических спектральных трансформаторах [3–5]. Локальное усиление поля электромагнитной волны на частоте поверхностного плазмонного резонанса металлических наночастиц приводит к увеличению интенсивности люминесценции редкоземельных ионов [6] и биологических молекул [7, 8].

В свою очередь, кристаллы щелочных галоидов и щелочноземельных фторидов, обладающие большой шириной запрещенной зоны, являются уникальным оптическим материалом, обеспечи-

вающим светопропускание в широком спектральном диапазоне от вакуумного ультрафиолета до средней инфракрасной области. Создание на основе данных кристаллов металл-диэлектрических композитных материалов является перспективным с точки зрения расширения области их возможного применения. В первую очередь, это материалы с уникальными нелинейно-оптическими и спектрально-люминесцентными свойствами [9–11]. Диэлектрические материалы на основе галоидного серебра и наночастиц меди широко применяются в качестве оптических запиоминающих сред [12–14]. Щелочно-галоидные кристаллы фторида лития, активированные медью, нашли широкое применение в твердотельной дозиметрии [15]. Кроме того, оптические свойства таких нанокompозитных материалов могут быть применены в различных областях нанофотоники, интегральной оптики [16–18], а также в качестве люминесцентных меток, устройствах записи оптической информации [19, 20], оптических коммутаторов [21] и волоконных лазеров [22].

Метод ионной имплантации является одним из наиболее перспективных методов синтеза композитных слоев металл-диэлектрик в диэлектрических кристаллах. Он позволяет производить

материалы с различной структурой наночастиц, с практически любым типом металлов и их сплавов [23]. Функциональные возможности таких композитных металл-диэлектрических материалов во многом определяются их спектрально-люминесцентными характеристиками.

Методы синтеза наноразмерных металлических кластеров в матрице щелочно-галогенидных кристаллов и редкоземельных фторидов путем высокоэнергичной ионной имплантации были рассмотрены нами в предыдущих работах [24, 25]. С помощью метода люминесцентного Z-сканирования было показано, что при имплантации ионов Ag в кристаллическую матрицу LiF, в поверхностном слое кристалла формируется люминесцирующий слой толщиной порядка 1 мкм, состоящий из центров окраски и внедренных металлических наночастиц [24]. Расчетными методами было показано, что максимум концентрации имплантированных ионов металла находится на расстоянии 150–200 нм от кристаллической поверхности [24]. В настоящей работе мы впервые представляем краткий анализ спектрально-кинетических характеристик люминесценции поверхностных слоев, содержащих наноразмерные металлические кластеры Ag и Cu, внедренных в кристаллическую матрицу диэлектрика методом ионной имплантации.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Образцы исследуемых кристаллов облучались потоком ионов металла, создаваемым компактным импульсным имплантером MEVVA.RU. Ионный пучок длительностью 200 мкс и плотностью одиночного импульса $2 \cdot 10^{13}$ ионов/см² извлекался трехсеточной ускорительной системой из плазменного факела вакуумной дуги и ускорялся напряжением 50 кВ. Поскольку средний заряд, например, ионов серебра в этих импульсных разрядах находится между +2 и +3, мы предполагаем, что энергия ускоренных ионов лежит в диапазоне 100–150 кэВ [24].

Исследования спектрально-кинетических характеристик фотолюминесценции кристаллических образцов, имплантированных ионами металла, проводились на высокочувствительном сканирующем конфокальном флуоресцентном микроскопе MicroTime 200 (фирмы PicoQuant, Германия) с пикосекундным временным разрешением. Спектры фотолюминесценции, измеренные при возбуждении пикосекундными лазерными импульсами с длиной волны 375 и 405 нм, регистрировались спектрометром Ocean Optics 65000, сопряженным с микроскопом MicroTime 200. Для подавления рассеянного возбуждающего лазерного излучения использовались оптические фильтры с коротковолновой границей отсечки 400 и 430 нм, соответственно.

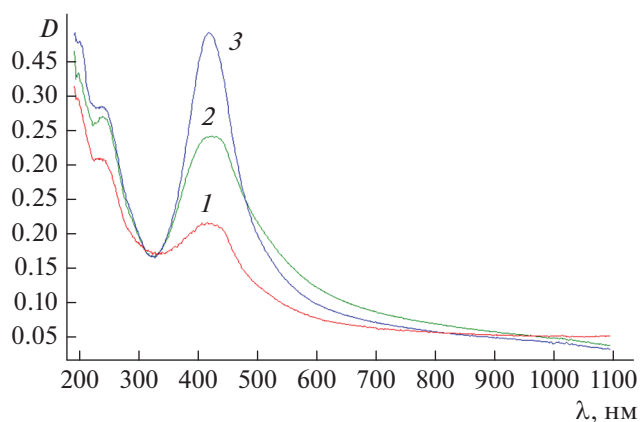


Рис. 1. Спектры поглощения кристаллов LiF, имплантированных ионами Ag с флюенсом $1.5 \cdot 10^{17}$ (кривая 1); $3 \cdot 10^{17}$ (кривая 2); $5 \cdot 10^{17}$ (кривая 3) ионов/см².

Спектры поглощения измерялись на спектрофотометре СФ-56.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Спектры поглощения кристаллов фторида лития, имплантированных ионами серебра с флюенсом от $1.5 \cdot 10^{17}$ до $5 \cdot 10^{17}$ ионов/см² представлены на рис. 1. Известно, что при воздействии на щелочно-галогенидные кристаллы высокоэнергетического ионизирующего излучения формируются стабильные продукты взаимодействия излучения и вещества – агрегатные центры окраски. Спектры поглощения кристаллов фторида лития, имплантированных ионами Ag, показывают две ярко выраженные полосы поглощения с максимумами $\lambda = 250$ нм и $\lambda = 441$ нм (рис. 1). Первая полоса отвечает за поглощение F центров окраски. Вторая – комплементарная M-полоса связана с поглощением F₂ и F₃⁺ агрегатных центров окраски. По мере увеличения флюенса от $1.5 \cdot 10^{17}$ до $5 \cdot 10^{17}$ ионов/см² оптическая плотность в F и M-полосах поглощения также возрастает. Наблюдается рост концентрации радиационных дефектов. Проведенные нами оценки показывают, что концентрация агрегатных центров окраски в кристалле LiF, облученном с флюенсом $5 \cdot 10^{17}$ ионов/см² достигает значений не менее 10^{17} см⁻³.

В процессе температурного отжига (рис. 2), по мере роста температуры в интервале от 373 до 673 К, происходит разрушение центров окраски, оптическая плотность в F и M-полосах поглощения снижается. В результате отжига кристалла при температуре 673 К агрегатные центры полностью разрушаются. В спектре поглощения наблю-

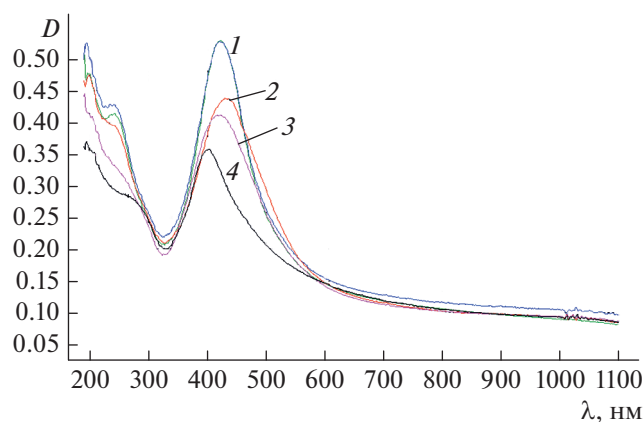


Рис. 2. Спектры поглощения кристалла LiF, имплантированного ионами Ag с флюенсом $5 \cdot 10^{17}$ ион/см², измеренные при разных температурах: 373 (кривая 1); 473 (кривая 2); 573 (кривая 3); 673 К (кривая 4).

дается термостабильная полоса (рис. 2 кривая 4) поверхностного плазмонного резонанса с максимумом $\lambda = 400$ нм, возникающая вследствие образования наночастиц серебра из внедренных ионов.

Спектры фотолюминесценции кристаллов LiF, KCl и CaF₂, имплантированных ионами серебра представлены на рис. 3. При увеличении флюенса от $2 \cdot 10^{13}$ до $2 \cdot 10^{16}$ ионов/см² в спектрах фотолюминесценции кристаллов фторида лития (рис. 3а) наблюдается рост интенсивности. Это свидетельствует о росте концентрации центров свечения. Анализ спектров показывает, что наряду с максимумами полос люминесценции F₃⁺ ($\lambda = 530$ нм), F₂ ($\lambda = 680$ нм) и F₂⁺ ($\lambda = 860$ нм) центров окраски, наблюдается полоса свечения с максимумом $\lambda = 460$ нм. Данная полоса не может быть ассоциирована с какими-либо известными центрами окраски, характерными для радиационно окрашенных кристаллов фторида лития [25, 26]. Наличие полосы свечения с максимумом $\lambda = 460$ нм мы связываем с люминесценцией нанокластеров серебра. Данная полоса присутствует и в имплантированном кристалле CaF₂. Это видно из сопоставления спектров фотолюминесценции кристаллов LiF (кривая 1 на рис. 3б) и CaF₂ (кривая 2 на рис. 3б), имплантированных ионами серебра с флюенсом $2 \cdot 10^{14}$ ион/см².

Характер спектра фотолюминесценции имплантированных ионами Ag кристаллов CaF₂ существенным образом зависит от плотности потока ионов. При увеличении флюенса до $2 \cdot 10^{16}$ ион/см² наблюдается существенное расширение спектра фотолюминесценции и резкое увеличение интенсивности свечения. Спектр состоит из нескольких полос ($\lambda = 460$ и 760 нм), а главный максимум сме-

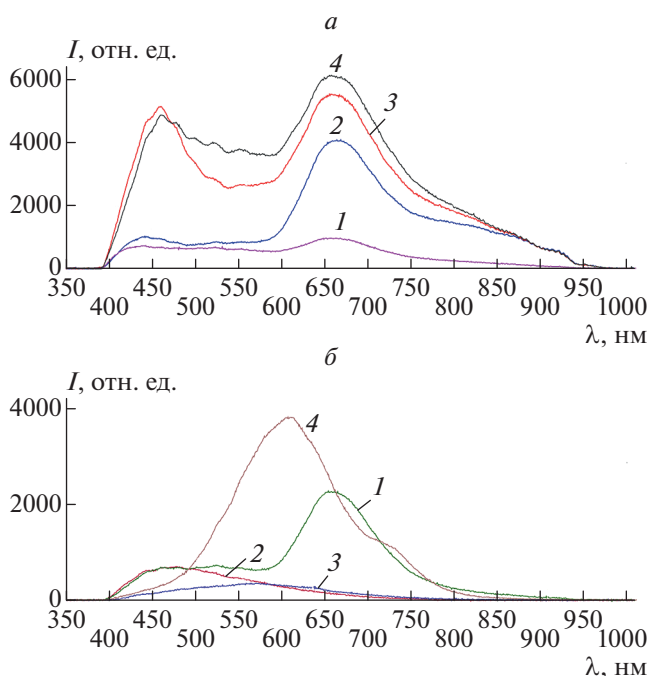


Рис. 3. Спектры люминесценции кристаллов, имплантированных ионами Ag: LiF с флюенсами: $2 \cdot 10^{13}$ (кривая 1); $2 \cdot 10^{14}$ (кривая 2); $2 \cdot 10^{15}$ (кривая 3); $2 \cdot 10^{16}$ (кривая 4) ионов/см² (а); LiF и CaF₂ (кривая 2) – с флюенсом $2 \cdot 10^{14}$ ионов/см²; KCl (кривая 3) и CaF₂ (кривая 4) – с флюенсом $2 \cdot 10^{16}$ ионов/см² (б).

щается в область $\lambda = 600$ нм (кривая 1 на рис. 3б). Это свидетельствует о том, что при высокой плотности потока ионов в кристалле CaF₂ происходит образование нескольких типов люминесцирующих частиц.

Аналогичную ситуацию мы наблюдали и для кристаллов KCl. При небольшом флюенсе $2 \cdot 10^{13}$ ионов/см² в данном кристалле присутствует очень слабое (на пределе регистрации) свечение в полосе с максимумом $\lambda = 460$ нм. При увеличении флюенса до $2 \cdot 10^{16}$ ионов/см² происходит рост интенсивности свечения, существенное расширение спектра и смещение максимума полосы фотолюминесценции в длинноволновую область (кривая рис. 3б).

Результаты измерения кинетических характеристик люминесценции кристаллов LiF, KCl и CaF₂, имплантированных ионами серебра с флюенсом $2 \cdot 10^{16}$ ионов/см² представлены на рис. 4. Кривая затухания фотолюминесценции LiF содержит три временных компонента 14,8, 6 и 1,4 нс (рис. 4а). Первые два соответствуют характерным временам затухания люминесценции F₂ (~16 нс) и F₃⁺ (~8 нс) центров окраски в кристаллах LiF [25]. Быстрый компонент со временем затухания 1,4 нс

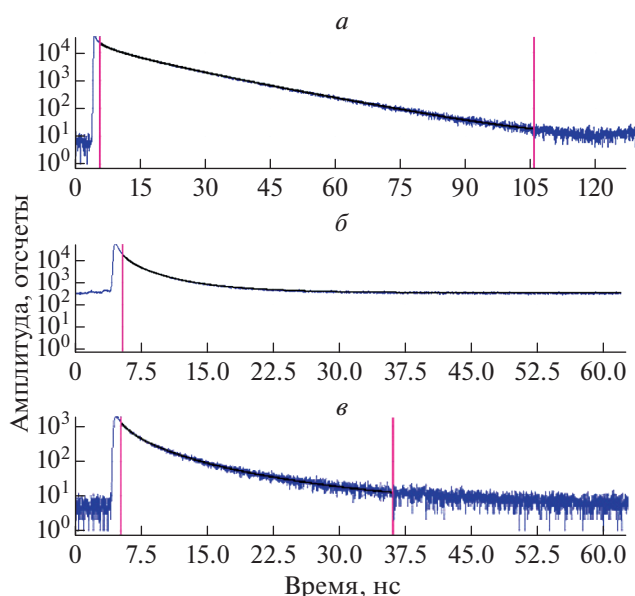


Рис. 4. Кривые затухания люминесценции кристаллов LiF (а), KCl (б) и CaF₂ (в), имплантированных ионами Ag с флюенсом $2 \cdot 10^{16}$ ионов/см².

вероятнее всего связан с фотолюминесценцией наночастиц серебра. В кривой затухания фотолюминесценции KCl наблюдаются компоненты с временами 6.9, 2.2 и 0.6 нс. Кривая затухания фотолюминесценции кристалла CaF₂ включает компоненты с временами 9.2, 3 и 0.9 нс. Обобщенные данные измерений спектрально-кинетических характеристик кристаллов LiF, KCl и CaF₂, имплантированных ионами серебра, представлены в табл. 1. Там же, для сравнения, приведены результаты исследований спектров и кинетики фотолюминесценции нанокластеров Ag в матрице из оксифторидного стекла [30].

Известно, что кристаллы KCl, подвергшиеся облучению ионизирующим излучением, по истечению всех пострадиационных процессов при

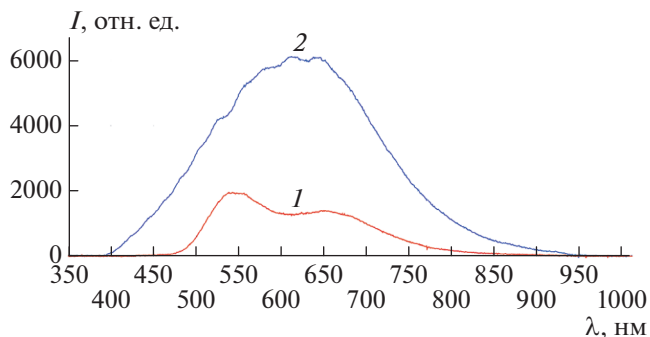


Рис. 5. Спектры люминесценции кристаллов LiF, имплантированных ионами Cu с флюенсом $2 \cdot 10^{16}$ ионов/см² при возбуждении фотолюминесценции пикосекундным лазерным излучением $\lambda = 375$ нм (кривая 1) и $\lambda = 405$ нм (кривая 2).

температуре выше 293 К, не содержат радиационных дефектов, люминесцирующих в видимой области оптического спектра [27]. Также хорошо известно, что беспримесные кристаллы CaF₂ являются радиационно-стойкими и плохо подвержены окрашиванию [28, 29]. Поэтому мы полагаем, что наблюдаемые в кривых затухания фотолюминесценции кристаллов KCl и CaF₂ временные компоненты, связаны со свечением нанокластеров серебра (табл. 1). Наблюдаемые в табл. 1 различия в спектрально-кинетических характеристиках наночастиц серебра, интегрированных в матрицу оксифторидного стекла [30] и имплантированных в диэлектрические кристаллы, связаны с особенностями локального окружения люминесцирующих частиц.

Результаты измерений спектров фотолюминесценции кристаллов LiF, имплантированных ионами Cu с флюенсом $2 \cdot 10^{16}$ ионов/см² представлены на рис. 5. Спектр, зарегистрированный при возбуждении фотолюминесценции лазерным излучением с длиной волны 405 нм (кривая 1 на рис. 5), содержит две ярко выраженные полосы с

Таблица 1. Спектрально-кинетические характеристики кристаллов, имплантированных ионами серебра

Материал	Источник возбуждения фотолюминесценции	Время затухания фотолюминесценции, нс (максимум полосы свечения)		
Оксифторидное стекло [30]	Пикосекундный лазер $\lambda = 406$ нм	2.4 (450 нм)	0.8 (600 нм)	6.5 (700 нм)
Кристалл KCl	Пикосекундный лазер $\lambda = 375$ нм	2.2	0.6 (575 нм)	6.9
Кристалл CaF ₂	Пикосекундный лазер $\lambda = 375$ нм	3.0 (460 нм)	0.9 (600 нм)	9.2 (760 нм)
Кристалл LiF	Пикосекундный лазер $\lambda = 375$ нм	1.4 (460 нм)	6 (530 нм)	14.8 (680 нм)

Таблица 2. Спектрально-кинетические характеристики кристаллов, имплантированных ионами меди

Источник возбуждения фотолюминесценции	Время затухания фотолюминесценции, нс (тип центра свечения)			
	Пикосекундный лазер $\lambda = 405$ нм	13.7 (F_2)	5.2 (F_3^+)	1.2 (нанокластеры Cu)
Пикосекундный лазер $\lambda = 375$ нм	21.3 (комплекс $F_2 + Cu_n$)	7.4 (F_3^+)	2.3 (нанокластеры Cu)	0.9 (нанокластеры Cu)

максимумами около $\lambda = 530$ и $\lambda = 650$ нм. Данные полосы связаны со свечением F_2 и F_3^+ центров окраски в кристаллах LiF.

При возбуждении фотолюминесценции пикосекундным лазерным излучением $\lambda = 375$ нм в исследуемом кристалле наблюдается широкая неэлементарная полоса свечения в интервале $\lambda = 450-800$ нм (кривая 2 на рис. 5). Известно, что коллоидные растворы, содержащие наночастицы меди, при возбуждении люминесценции излучением $\lambda = 350$ нм имеют широкую спектральную полосу флуоресценции в интервале длин волн $\lambda = 400-800$ нм с максимумом около $\lambda = 530$ нм [31]. Кроме этого, считается, что люминесцентными свойствами обладают молекулярные нанокластеры меди, состоящие не более чем из 10 атомов [32]. Мы полагаем, что широкая интенсивная неэлементарная полоса при возбуждении люминесценции лазерным излучением с длиной волны 375 нм обусловлена суммарным свечением центров окраски и кластеров Cu субнанометрового размера.

Результаты измерений кинетики фотолюминесценции кристаллов LiF, имплантированных ионами меди при плотности потока $2 \cdot 10^{16}$ ион/см², представлены в табл. 2. При возбуждении фотолюминесценции пикосекундным лазерным излучением с длиной волны 405 нм было зарегистрировано три временных компонента (табл. 2). Времена затухания 13.7 и 5.2 нс, связаны с фотолюминесценцией F_2 и F_3^+ центров окраски. Быстрый временной компонент 1.2 нс мы связываем с фотолюминесценцией нанокластеров меди. Временной состав кинетики фотолюминесценции, возбуждаемой пикосекундным лазерным излучением с длиной волны 375 нм, более сложен. Было зарегистрировано четыре временных компонента с временами 21.3, 7.4, 2.3 и 0.9 нс. Первые два компонента можно связать с временами затухания люминесценции F_2 (~16 нс) и F_3^+ (~8 нс) центров окраски в кристаллах LiF, подверженных радиационному окрашиванию [26]. Однако временной компонент 21.3 нс существенно отличается от характерного времени жизни F_2 центров окраски и, по всей видимости, связан с люминесценцией ком-

плексов, состоящих из центров окраски и внедренных в кристаллическую матрицу ионов металла. Быстрые временные компоненты 2.3 и 0.9 нс мы связываем со свечением нанокластеров меди.

В качестве базовых механизмов возникновения люминесценции металлических нанокластеров, как правило, рассматриваются межзонные $sp-d$ или внутризонные $sp-sp$ электронные переходы [33], в том числе и вследствие наличия дискретных уровней энергии, образующихся в зоне проводимости в процессе укрупнения наночастиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлен обзор результатов исследований спектрально-люминесцентных свойств поверхностных слоев, содержащих наноразмерные металлические кластеры Ag и Cu, внедренных кристаллическую матрицу диэлектрика методом ионной имплантации с флюенсом в диапазоне $2 \cdot 10^{13}-10^{18}$ ионов/см². Исследования показали, что спектрально-кинетические характеристики фотолюминесценции кристаллов LiF, KCl и CaF₂, имплантированных ионами металлов существенно зависят от плотности потока ионов. При флюенсе около 10^{17} ионов/см² в поверхностном слое кристаллической матрицы формируется несколько типов центров люминесценции, связанных как с радиационными центрами окраски, так и с нанокластерами имплантируемых металлов. Определены временные параметры центров свечения, ответственных за фотолюминесценцию. Одно из практических применений диэлектрических кристаллов, содержащих поверхностные слои наноразмерных металлических кластеров, синтезированных методом ионной имплантации, показано нами в работе [25].

Авторы работы выражают глубокую признательность Ракевичу Александру Леонидовичу за помощь, оказанную при проведении исследований на лазерном люминесцентном конфокальном сканирующем микроскопе.

Работа выполнена в рамках Плана фундаментальных исследований РАН на период до 2025 г. (проект № 0243-2021-0004) и при финансовой

поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-02-00322).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang J.Z. Optical properties and spectroscopy of nanomaterials. London: World Scientific Publishing, 2009. 384 p.
2. Eichelbaum M., Rademann K. // Adv. Func. Mater. 2009. V. 19. No. 13. P. 2045.
3. Shalaev V.M. Optical properties of nanostructured random media. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002. 454 p.
4. Flytzanis C., Hache F., Klein M.C. et al. // in: Progress in optics. V. 29. Amsterdam: Elsevier, 1991. P. 321.
5. Kreibig U., Vollmer M. Optical properties of metal clusters. Berlin, Heidelberg: Springer, 1995. 535 p.
6. Hayakawa T., Selvan S.T., Nogami M. // Appl. Phys. Lett. 1999. V. 74. No. 11. P. 1513.
7. Shang L., Dong S., Nienhaus G.U. // Nano Today. 2011. V. 6. No. 4. P. 401.
8. Xiao Y., Wu Z., Yao Q., Xie J. // Aggregate. 2021. V. 2. No. 1. P. 114.
9. Stepanov A.L. // Rev. Adv. Mater. Sci. 2011. V. 27. No. 2. P. 115.
10. Chakraborty P. // J. Mater. Sci. 1998. V. 33. No. 9. P. 2235.
11. Veronis G., Yu Z., Kocabas S.E. et al. // Chin. Opt. Lett. 2009. V. 7. No. 4. P. 302.
12. Shirif M.A., Medhat M., El-Zaiat S.Y. et al. // Silicon. 2018. V. 10. No. 2. P. 219.
13. Klyukin D.A., Dubrovin V.D., Pshenova A.S. et al. // Opt. Engin. 2016. V. 55. No. 6. Art. No. 067101.
14. Подсви́ров О.А., Сидоров А.И., Цехомский В.А., Востоков А.В. // ФТТ. 2010. Т. 52. № 9. С. 1776; Podsvirov O.A., Sidorov A.I., Tsekhomskii V.A., Vostokov A.V. // Phys. Solid State. 2010. V. 52. No. 9. P. 1906.
15. Bilski P., Obryk B., Gieszczyk W., Baran P. // Radiat. Meas. 2020. V. 139. Art. No. 106486.
16. Stepanov A.L. // in: Metal-polymer nanocomposites. London: JohnWiley & Sons, 2004. P. 241.
17. Holmgaard T., Gosciniak J., Bozhevolnyi S.I. // Opt. Express. 2010. V. 18. No. 22. Art. No. 23009.
18. Martin L.L., León-Luis S.F., Pérez-Rodríguez C. et al. // J. Opt. Soc. Amer. B. 2013. V. 30. No. 12. P. 3254.
19. Zheng J., Dickson R.M. // J. Amer. Chem. Soc. 2002. V. 124. No. 47. Art. No. 13982.
20. Martynovich E.F., Chernova E.O., Dresvyansky V.P. et al. // Opt. Laser Technol. 2020. V. 131. Art. No. 106430.
21. Adhikari B., Banerjee A. // Chem. Mater. 2010. V. 22. No. 15. P. 4364.
22. Lumeau J., Glebov L.B. // Appl. Opt. 2014. V. 53. No. 31. P. 7362.
23. Townsend P.T., Chandler P.J., Zhang L. Optical effects of ion implantation. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1994. 294 p.
24. Shipilova O.I., Gorbunov S.P., Paperny V.L. et al. // Surf. Coat. Technol. 2020. V. 393. Art. No. 125742.
25. Dresvyanskiy V.P., Paperny V.L., Chernykh A.A. et al. // AIP Conf. Proc. 2021. V. 2392. Art. No. 040007.
26. Nahum J., Wiegand D.A. // Phys. Rev. 1967. V. 154. No. 3. P. 817.
27. Baldacchini G., Montekali R.M., Tsuboi T. // Eur. Phys. J. D. 2001. V. 17. No. 2. P. 261.
28. Кочубей В.И. Формирование и свойства центров люминесценции в щелочно-галоидных кристаллах. М.: Физматлит, 2006. 188 с.
29. Cooke D.W., Bennett B.L. // J. Nucl. Mater. 2003. V. 321. No. 2–3. P. 158.
30. Chen W., Joly A.G., Roark J. // Phys. Rev. B. 2002. V. 65. No. 24. Art. No. 245404.
31. Velázquez J.J., Tikhomirov V.K., Chibotaru L.F. et al. // Opt. Express. 2012. V. 20. No. 12. P. 13582.
32. Das R., Nath S.S., Bhattacharjee R. // J. Luminescence. 2011. V. 131. P. 2703.
33. Vázquez-Vázquez C., Bañobre-López M., Mitra A. et al. // Langmuir. 2009. V. 25. No. 14. P. 8208.

Spectral and luminescent properties of surface layers containing nanosized metal clusters in dielectric crystals

V. P. Dresvyanskiy^{a, b, *}, A. S. Ischenko^c, E. F. Martynovich^{a, b}, S. V. Murzin^{a, c},
A. A. Chernykh^b, V. L. Paperny^b

^a Irkutsk branch of the Institute of Laser Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033 Russia

^b Irkutsk State University, Irkutsk, 664003 Russia

^c Irkutsk State Transport University, Irkutsk, 664078 Russia

*e-mail: nadvp@list.ru

The results of studies of the spectral-luminescent properties of surface layers containing nanosized metal clusters of Ag and Cu embedded in a crystalline matrix of a dielectric by ion implantation with a fluence in the range of $2 \cdot 10^{13}$ – 10^{18} ions/cm² are presented. The time parameters of the luminescence centers responsible for photoluminescence are determined.