

УДК 535.2

КОНТРОЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСТВОРА НА РАЗВИТОЙ МЕТАПОВЕРХНОСТИ МЕТОДАМИ ЭПИ-ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ МИКРОСКОПИИ

© 2021 г. Е. П. Кожина^{1, 2, *}, А. И. Аржанов^{1, 3}, К. Р. Каримуллин^{1, 2, 3},
С. А. Бедин^{1, 4}, С. Н. Андреев^{1, 5}, А. В. Наумов^{1, 2, 3}

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Московский педагогический государственный университет”,
Лаборатория физики перспективных материалов и наноструктур, Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук, Троицкое обособленное подразделение,
включающее “Троицкий Технопарк ФИАН”, Москва, Троицк, Россия

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт спектроскопии Российской академии наук, Москва, Россия

⁴Федеральное государственное учреждение
“Федеральный научно-исследовательский центр “Кристаллография и фотоника” Российской академии наук,
Москва, Россия

⁵Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Московский политехнический университет”, Москва, Россия

*E-mail: liza.kozhina.99@mail.ru

Поступила в редакцию 05.07.2021 г.

После доработки 26.07.2021 г.

Принята к публикации 27.08.2021 г.

Предложен способ анализа пространственного распределения раствора исследуемого вещества на подложке с развитой наноструктурированной поверхностью (металлизированной метаповерхности) на основе техники эпи-люминесцентной микроскопии. Данный способ может быть использован для расчета коэффициента усиления SERS-сигнала на сложной развитой поверхности, где неприменимы стандартные методики оценки количества вещества. Для коллоидного раствора полупроводниковых квантовых точек CdSe/CdS/ZnS на поверхности трековой мембраны с серебряными дендритными наноструктурами было обнаружено изменение смачиваемости поверхности в зависимости от количества и размеров дендритов на ней.

DOI: 10.31857/S0367676521120164

ВВЕДЕНИЕ

Наноструктуры, изготовленные из благородных металлов, обладают свойством локально усиливать электрические поля при их облучении в оптическом диапазоне длин волн. Это явление играет ключевую роль в усилении слабого по своей природе сигнала комбинационного рассеяния света (КРС, рамановское рассеяние в англоязычной литературе), а в некоторых случаях и люминесценции молекул, адсорбированных на поверхности специальных подложек — метаповерхностей [1]. Благодаря высоким значениям напряженности локального электрического поля становится возможным получение больших коэффициентов усиления сигналов, наблюдаемых экспериментально в SERS-спектроскопии (SERS (англ.) — усиленное поверхностью рамановское рассеяние), где сигнал ком-

бинационного рассеяния в первом приближении пропорционален четвертой степени нормированной амплитуды электрического поля [2]. Области концентрации высокоинтенсивных локальных электрических полей вблизи наноструктурированных поверхностей, так называемые “горячие точки”, возникают на шероховатых металлических поверхностях, а также в зазорах между соседними наноструктурами (НС) [3, 4]. Современные методы синтеза, такие как электронно-лучевая литография и шаблонный синтез, позволяют получать самые разнообразные формы НС [5, 6]. Одним из видов НС являются дендриты, которые имеют сложную геометрию и сильно ветвятся, что открывает возможность наблюдения плазмонных мод высокого порядка. В процессе роста дендритов возможно образование объемных аг-

ломератов, в результате чего возникает проблема экранировки при регистрации SERS-сигнала для исследуемого вещества с низкой концентрацией из-за его проникновения внутрь ветвей дендритов [7, 8].

Проблема образования объемных агломератов может быть решена путем пространственного разделения дендритных НС с использованием специальных пористых поверхностей, таких как трековые мембраны (ТМ) и пористый оксид алюминия. В качестве примера можно рассмотреть метаповерхности на основе трековых мембран (ТМ) с дендритными наноструктурами, сформированными на вершинах серебряных нанопроволок (НП) методом шаблонного синтеза [9–12]. Благодаря использованию ТМ ветви дендритных НС образуются равномерно по поверхности шаблона и не перекрывают друг друга, сохраняя уникальный рисунок распределения “горячих точек” на поверхности. На трековых мембранах с дендритными НС горячие точки возникают не только на остриях, но также и в зазорах между соседними иглами на опорном стержне. Использование таких структур может способствовать решению задачи усиления сигнала при регистрации спектров комбинационного рассеяния и люминесценции вещества, исследуемого в сверхнизкой концентрации, вплоть до одиночных квантовых излучателей.

Одним из ключевых вопросов при использовании специализированных метаповерхностей для различных оптических приложений является контроль распределения вещества по поверхности для получения количественных характеристик при измерении спектров КРС. При таких измерениях важно знать площадь поверхности, на которой распределяется исследуемое вещество.

В случае метаповерхности с развитой пористой структурой особый интерес вызывает характер распределения вещества как на самой поверхности, так и во внутренних слоях. Необходимо отметить, что проблема изучения механизма самоорганизации микро- и наночастиц исследуемого вещества в подобных открытых системах является фундаментальной, и ее решение направлено на поиск окончательной морфологии адсорбированной капли. Отметим, что при расчетах коэффициента усиления SERS-сигнала, количество исследуемого вещества в пятне лазерной засветки является необходимым параметром [13].

На развитой поверхности оценка количества вещества в заданной области неосуществима стандартными методиками. Однако, при использовании растворов люминесцирующих веществ (красителей), подобная оценка становится возможной благодаря использованию методики ла-

зерной флуоресцентной микроскопии [14, 15]. Важно отметить, что современная лазерная техника позволяет осуществлять тонкую подстройку длины волны возбуждения в широком диапазоне (сотни нанометров), при этом ширина линии может быть чрезвычайно узкой (до нескольких МГц) [16].

Различные характеристики сложного процесса адсорбции, такие как смачиваемость, скорость высыхания, изменение геометрии капель и окончательный сформированный рисунок после высыхания, зависят от ряда параметров, в частности, от состава изучаемой жидкости, условий окружающей среды во время высыхания, материала и структуры подложки, на которую наносится раствор [17]. Важными параметрами также являются максимальный радиус и площадь растекания капли на метаповерхности [18].

В настоящей работе мы использовали в качестве фотолюминесцирующего материала коллоидный раствор полупроводниковых квантовых точек (КТ). Целью работы являлось исследование возможности использования методов флуоресцентной микроскопии для оценки характеристик растекания микрообъема раствора квантовых точек на развитой метаповерхности с дендритными наноструктурами.

ОБРАЗЦЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Метаповерхности с дендритными наноструктурами, наращенными на вершинах серебряных нанопроволок, были изготовлены методом шаблонного синтеза на основе трековых мембран (ТМ) из полиэтилентрифталата (ПЭТФ) толщиной 10 мкм, диаметром пор 100 нм и поверхностной плотностью пор 10^8 см^{-2} (производство ЛЯР ОИЯИ, г. Дубна) [19]. Поры в ТМ электрохимически заполняли серебром [20]. В качестве электролита использовали йодистый электролит серебрения следующего состава: серебро в пересчете на металл – 15–20 г/л, йодистый калий – 260–300 г/л [21, 22]. Необходимо отметить, что дендриты разветвляются по мере увеличения силы тока, и это позволяет синтезировать разнообразные по своей структуре метаповерхности для различных применений. Используя реверсивное осаждение при малом значении тока (3 мА) добились равномерного заполнения серебром пор ТМ, затем подавали постоянный ток 30 мА в течение 10–30 с, в результате чего на вершинах НП образовывались разветвленные дендритные наноструктуры разного размера, что влияет на степень перекрытия их ветвей. Осаждение проводилось при комнатной температуре. Изображения дендритов, полученные методом электронной

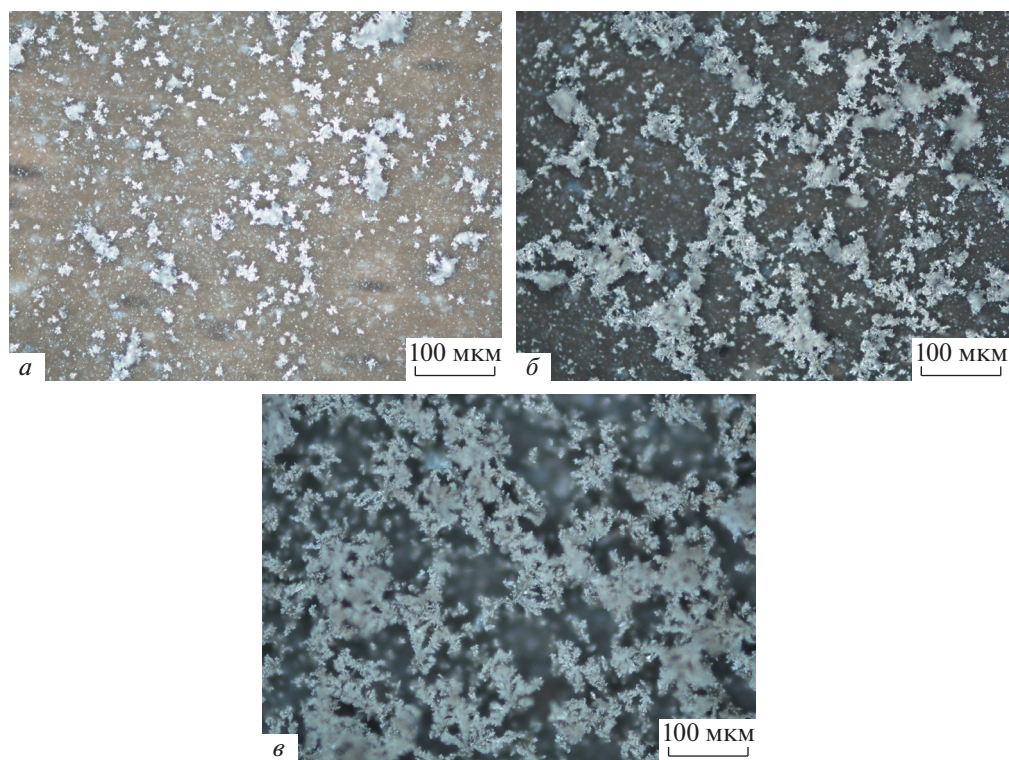


Рис. 1. Изображение метаповерхности с дендритными наноструктурами, полученное на оптическом микроскопе в режиме темного поля. Время роста дендритов: 10 (а), 20 (б) и 30 с (в).

микроскопии, показаны на рис. 1. Для исследования растекания капли раствора квантовых точек по метаповерхности с дендритными наноструктурами, использовали подложки, изготовленные при плотности тока 30 мА/см^2 в течение 10, 15 и 30 с (рис. 1а–1в). При большем времени осаждения на метаповерхности росли дендриты большего размера и с большим числом боковых ответвлений. Таким образом, структура поверхности получалась более развитой. В свою очередь, сложная шероховатая поверхность дендритов хорошо смачивается, что увеличивает площадь растекания капли. В то же время дендриты с хорошо развитой структурой уже не являются плоскими, поэтому растекание капли в этом случае носит существенно объемный характер.

В качестве люминофора использовали раствор полупроводниковых коллоидных двухоболочечных квантовых точек CdSe/CdS/ZnS (пр-во QD Light, Россия) в толуоле с концентрацией 48 мг/мкл [23].

Для оценки смачиваемости дендритов люминофором была создана экспериментальная установка на основе схемы эпи-люминесцентного микроскопа с широким полем засветки. В качестве источника лазерного излучения использовали полупровод-

никовый лазерный модуль (длина волны 525 нм, выходная мощность 200 мВт). Излучение лазера фокусировалось на оптическое волокно, на выходе которого дефокусировалось с помощью эпилинзы в широкое и однородное пятно лазерной засветки (около 2 см в диаметре) для однородного облучения всей площади образцов. С помощью делительной пластины, системы линз и объектива излучение от образца фокусировали на матрицу CCD камере PCO Sencicam SVGA для получения изображения как в белом свете, так и в эпи-люминесцентном режиме. При регистрации сигналов люминесценции использовали широкополосный светофильтр и высокое время экспозиции (1–3 с) на камере.

Образцы размещали на плоской платформе, где с помощью прецизионного дозатора на подложку наносили 1 мкл объема раствора КТ в толуоле. После высыхания раствора образцы подвергали лазерному облучению (широким пятном с размером, сравнимым с размерами образца) и регистрировали их люминесцентные изображения (рис. 2).

Для регистрации спектров люминесценции КТ на подложках с дендритами использовали конфокальный люминесцентный спектрометр на базе микроскопа Nikon Diaphot. Источником лазерного

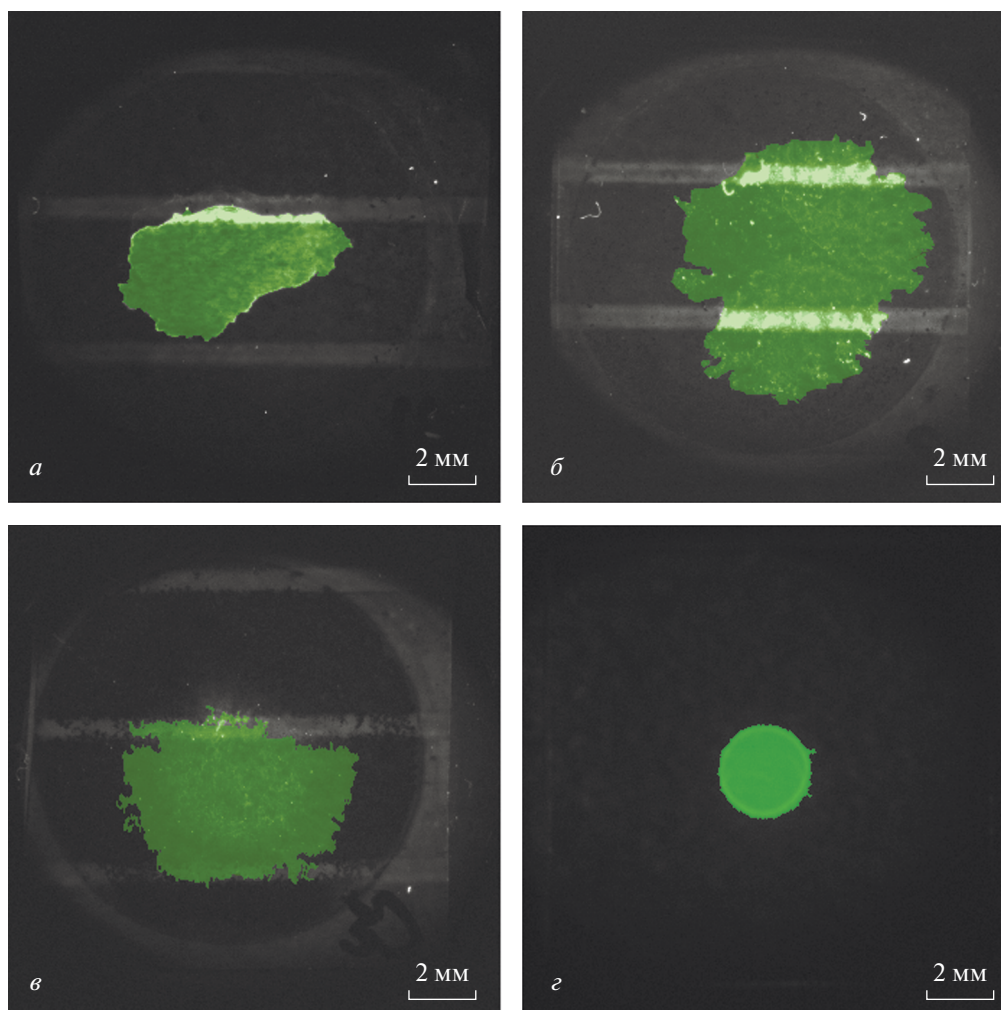


Рис. 2. Результат обработки люминесцентных изображений образцов, где цветом выделена люминесцирующая капля раствора КТ, нанесенная на подложку с дендритными наноструктурами, полученными при времени роста 10 (а), 20 (б) и 30 с (в); растекающаяся по поверхности стеклянной пластинки (з).

излучения служил линейный лазер на красителе Coherent CR-599 с накачкой полупроводниковым лазером). Длина волны излучения лазера на красителе составляла 580 нм, что соответствовало длине волны экситонного поглощения квантовых точек CdSe/CdS/ZnS. Излучение лазера фокусировали на образце с помощью микрообъектива Olimpus MPlan (20x, $NA = 0.55$). Используя делительную пластинку, широкополосный фильтр и линзу, сигнал люминесценции фокусировали на вход волоконного спектрометра SE1040 (OtO Photonics). Время накопления при регистрации спектров составляло 500 мс.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обработанные при помощи специализированного программного обеспечения люминесцент-

ные изображения каплей раствора КТ на подложках с дендритными наноструктурами, полученными при времени роста 10, 20 и 30 с показаны на рис. 2а–2в. Для сравнения на рис. 2г показано люминесцентное изображение капли раствора КТ на стеклянной подложке. По полученным изображениям были вычислены площади капли после высыхания. Для подложек с дендритными наноструктурами, полученными при времени роста 10, 20 и 30 с, площади растекания составили 0.2963, 0.7847 и 0.4995 мм², соответственно. Для раствора КТ на стеклянной подложке площадь составила 0.1150 мм².

Необходимо отметить, что область подложки, на которую адсорбируется раствор КТ, не видна в белом свете, что усложняет задачу фокусировки при регистрации спектров люминесценции (рис. 3).

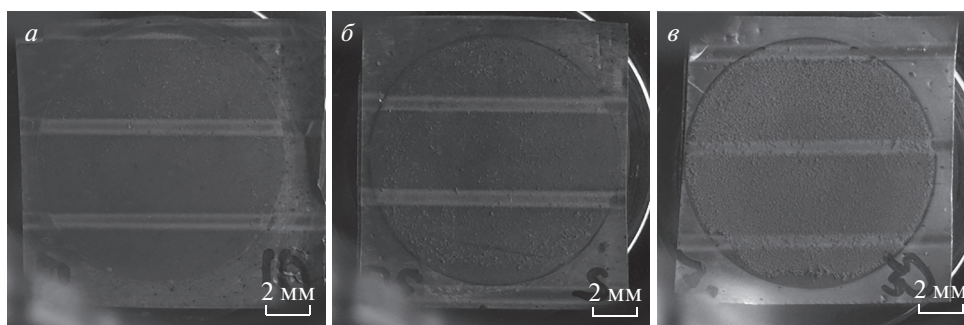


Рис. 3. Изображения в белом свете образцов с дендритными наноструктурами, полученными при времени роста 10 (а), 20 (б) и 30 с (в).

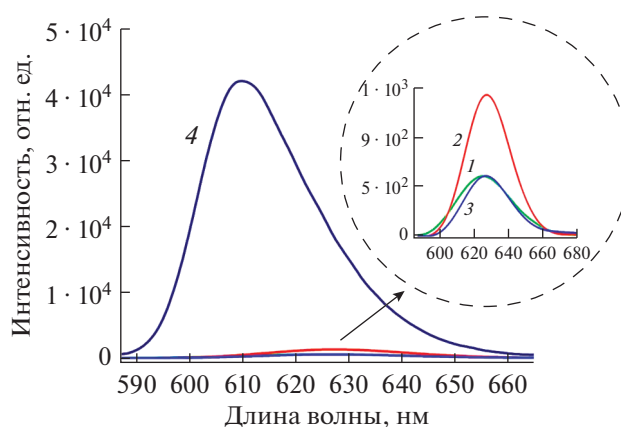


Рис. 4. Спектры люминесценции раствора квантовых точек, нанесенного на подложки с дендритными наноструктурами, полученными при времени роста 10 (1), 20 (2) и 30 с (3), а также спектр КТ на стекле (4).

Серебряные дендритные наноструктуры представляют собой гидрофильную поверхность и хорошо смачиваются растворителями. При этом основной материал трековой мембраны – полимер ПЭТФ – смачивается плохо. В случае дендритов малого размера, выращенных в течение 10 с, ветви соседних дендритов не перекрываются, и между соседними наноструктурами на метаповерхности есть области чистого полимера. В этом случае капля смачивает только дендриты и плохо распространяется по поверхности между ними (рис. 2а). Максимальный радиус растекания капли был получен на дендритных наноструктурах среднего размера, выращенных в течение 20 с (рис. 2б), ветви которых достаточно велики, чтобы обеспечить достаточно большую площадь покрытия подложки, при этом оставаясь квази-двумерными. В случае подложки с дендритными наноструктурами, которые росли в течение 30 с (рис. 2в), по-видимому, за счет сильно развитой поверхности и дендритов большого размера, КТ адсорбировались

внутри ветвей и произошло их частичное экранирование. Таким образом, более развитая поверхность может приводить не только к растеканию вещества на большую площадь, но также может и экранировать его.

На рис. 4 показаны спектры люминесценции раствора квантовых точек с концентрацией 48 мкг/мл, нанесенного на подложки с дендритными наноструктурами, полученными при времени роста 10, 20 и 30 с (1–3), а также на спектр раствора КТ, нанесенного на поверхность стеклянной подложки (4). Максимальная интенсивность спектра люминесценции от раствора КТ на подложках с дендритными наноструктурами получена для подложки с дендритами среднего размера (время роста 20 с), обеспечивающими максимальную площадь растекания капли раствора.

При этом необходимо отметить, что интенсивность спектров люминесценции от раствора КТ, адсорбированных на подложки с дендритными наноструктурами, на порядок меньше, чем от КТ,

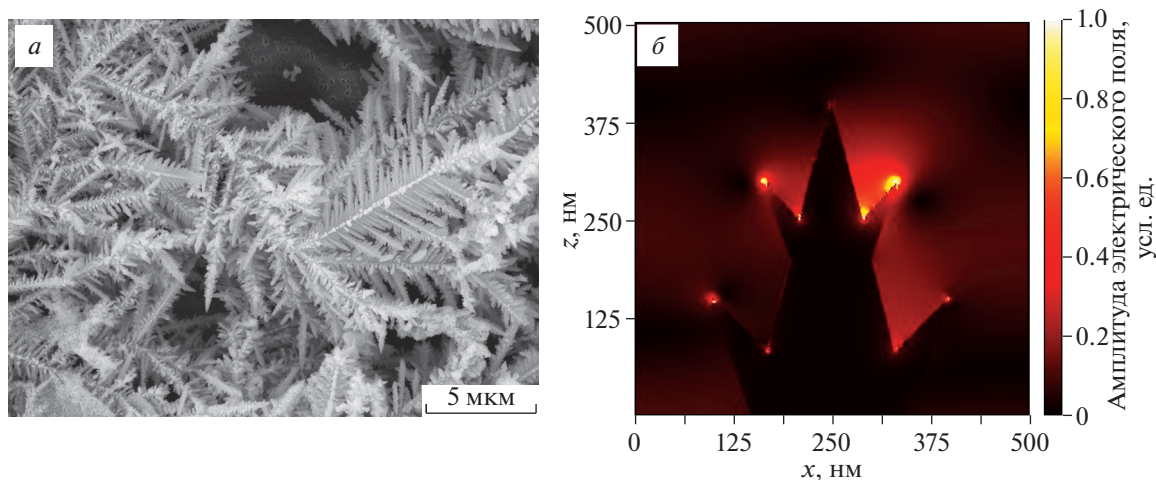


Рис. 5. Изображение метаповерхности с дендритными наноструктурами, полученное методом электронной микроскопии (а). Модельное распределение напряженности локального электрического поля (в условных единицах) вблизи ветви дендрита (б).

адсорбированных на стекло. Такое поведение спектров люминесценции, по-видимому, объясняется тем, что близость КТ к плазмонным наноструктурам приводит к тушению люминесценции [24]. Усиление локального поля на дендритных наноструктурах может приводить к увеличению скорости возбуждения, в то время как безызлучательный перенос энергии приводит к уменьшению квантового выхода (тушению люминесценции). Отметим, что механизмы, приводящие к возникновению вышеуказанных эффектов на микроскопическом уровне, требуют отдельного изучения, в т. ч. с использованием спектроскопических методов сверхвысокого пространственного разрешения [25].

Для того, чтобы оценить величину коэффициента усиления локального поля на синтезированных дендритных наноструктурах нами было проведено моделирование при помощи электромагнитного кода KARAT в планарной геометрии (X, Z) [26]. Дендритная наноструктура моделировалась равнобедренным треугольником, на сторонах которого симметрично располагались два ряда ответвлений в виде треугольников меньшего размера, направленных под углом 60° к оси Z, что отвечает концу ветви дендрита с двумя боковыми ответвлениями (рис. 5а). Была промоделирована ситуация, когда лазерное излучение плоской поляризации (Ex, Vy) с длиной волны 580 нм распространялось вдоль оси Z и воздействовало на дендритную наноструктуру по нормали. Для описания электромагнитных свойств наноструктуры использовалась модель Друде с параметрами для серебра: плазменная частота – 8.78 эВ, константа затухания – 0.02 эВ [27].

В работе [28] нами было показано, что максимальное усиление электромагнитного поля \vec{E} происходит на наноостриях, направленных вдоль вектора электрического поля лазерного излучения (в нашем случае, в направлении оси X), в то время как на острие, направленном перпендикулярно вектору \vec{E} (вдоль оси Z), усиление локального поля не происходит. Такое же поведение электрического поля имеет место и для рассматриваемой дендритной наноструктуры. На рис. 5б показано распределение величины электрического поля \vec{E} (в условных единицах) вблизи дендритной наноструктуры при ее облучении лазерным излучением. Из рисунка видно, что области локализации поверхностных плазмонов, характеризующиеся многократным усилением электрического поля, находятся вблизи вершин боковых ответвлений дендрита. Максимальный коэффициент усиления электрического поля в рассматриваемом случае составил $EF = 40$.

Из рис. 5б также видно, что на развитой дендритной метаповерхности локальные электрические поля концентрируются не только на вершинах ответвлений дендрита, но и в точках контакта дендритных ответвлений друг с другом. Такие особенности дендритных наноструктур представляют особый интерес для их применения в спектроскопии, основанной на плазмонном резонансе. Метаповерхности с дендритными наноструктурами могут стать базой для создания сверхчувствительных платформ для анализа и детектирования не только веществ в ультрамалых концентрациях, но также и сложных органических соединений, в том числе и клеточных структур.

Развитие этого направления играет одну из ключевых ролей в развитии многих приложений современной фотоники [29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продемонстрирована высокая смачиваемость метаповерхностей с дендритными наноструктурами путем изучения растекания капли раствора квантовых точек методами флуоресцентной микроскопии. Показано, что при больших пересекающихся дендритных наноструктурах формируется объемная пористая структура, на которой исследуемое вещество растекается на большей площади поверхности, при этом оно может проникать глубоко внутрь ветвей, что приводит к частичному экранированию исследуемого вещества. Исследована метаповерхность с оптимальными параметрами дендритных наноструктур, обеспечивающими максимальную площадь растекания капли раствора квантовых точек, а также максимальную интенсивность сигнала люминесценции от анализируемого раствора КТ. Показано, что интенсивность спектров люминесценции от раствора КТ, адсорбированных на подложки с дендритными наноструктурами, на порядок меньше, чем от КТ, адсорбированных на стекло. Такое поведение спектров может быть связано с эффектом тушения люминесценции КТ вблизи дендритных наноструктур. Подробное экспериментальное и теоретическое исследование этого важного для приложений эффекта планируется провести в дальнейшем.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания МПГУ “Физика наноструктурированных материалов: фундаментальные исследования и приложения в материаловедении, нанотехнологиях и фотонике” при поддержке Министерства Просвещения РФ (номер государственной регистрации: АААА-А20-120061890084-9) совместно с Центром коллективного пользования “Структурная диагностика материалов” Федерального исследовательского центра “Кристаллография и фотоника РАН”. Экспериментальная техника люминесцентной микроскопии развивается в рамках темы государственного задания Института спектроскопии РАН. Техника SERS-спектроскопии развивается в рамках темы государственного задания Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Purcell E.M., Torrey H.C., Pound R.V. // Phys. Rev. 1946. V. 69. Nos. 1–2. P. 37.
2. Langer J., Jimenez de Aberasturi D., Aizpurua J. et al. // ACS Nano. 2020. V. 14. No. 1. P. 28.
3. Etchegoin P.G., Le Ru E.C. // Phys. Chem. Chem. Phys. 2008. V. 10. No. 40. P. 6079.
4. Kumar C.S.S.R. Raman spectroscopy for nanomaterials characterization. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. 645 p.
5. Melchior P., Bayer D., Schneider C. et al. // Phys. Rev. B. 2011. V. 83. No. 23. Art. No. 235407.
6. Jägeler-Hoheisel T., Cordeiro J., Lecarme O. et al. // J. Phys. Chem. C. 2013. V. 117. No. 44. Art. No. 23126.
7. Ye W., Shen C., Tian J. et al. // Sol. St. Sci. 2009. V. 11. No. 6. P. 1088.
8. Senthil Kumaran C.K., Agilan S., Dhayalan V. et al. // Adv. Mater. Res. 2013. V. 678. P. 27.
9. Alam M.M., Ji W., Luitel H.N. et al. // RSC Adv. 2014. V. 4. No. 95. Art. No. 52686.
10. Cai W.-F., Pu K.-B., Ma Q., Wang Y.-H. // J. Exp. Nanosci. 2017. V. 12. No. 1. P. 319.
11. Cheng Z.Q., Li Z.W., Yao R. et al. // Nanoscale Res. Lett. 2020. V. 15. No. 1. P. 117.
12. Hay C.E., Lee J., Silvester D.S. // Nanomaterials. 2019. V. 9. No. 8. P. 1170.
13. Kozhina E.P., Bedin S.A., Nechaeva N.L. et al. // Appl. Sci. 2021. V. 11. No. 4. P. 1375.
14. Виленский А.И., Апель П.Ю., Мchedlishvili B.V. // Изв. РАН. Сер. физ. 2006. Т. 70. № 6. С. 909; Vilen-sky A.I., Apel P.Y., Mchedlishvili B.V. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2006. V. 70. No. 6. P. 1039.
15. Кулик С.И., Еремчев И.Ю., Апель П.Ю. и др. // ЖПС. 2018. Т. 85. № 5. С. 814; Kulik S.I., Eremchev I.Y., Apel P.Y. et al. // J. Appl. Spectrosc. 2018. V. 85. No. 5. P. 916.
16. Кожина Е.П. // Фотоника. 2019. Т. 13. № 1. С. 40.
17. Tarafdar S., Tarasevich Y.Y., Dutta Choudhury M. et al. // Adv. Cond. Matter Phys. 2018. V. 2018. Art. No. 5214924.
18. Rioboo R., Tropea C., Marengo M. // Atomization. Sprays. 2001. V. 11. No. 2. P. 12.
19. Apel P. // Radiat. Meas. 2001. V. 34. Nos. 1–6. P. 559.
20. Bedin S.A., Rybalko O.G., Polyakov N.B. et al. // Inorg. Mater. Appl. Res. 2010. V. 1. No. 4. P. 359.
21. Буркам Г.К. Электроосаждение драгоценных металлов. СПб: Политехника, 2009. 188 с.
22. Fourcade F., Tzedakis T. // J. Electroanal. Chem. 2000. V. 493. Nos. 1–2. P. 20.
23. Karimullin K.R., Arzhanov A.I., Eremchev I.Y. et al. // Laser Phys. 2019. V. 29. No. 12. Art. No. 124009.
24. Anger P., Bharadwaj P., Novotny L. // Phys. Rev. Lett. 2006. V. 96. No. 11. Art. No. 113002.
25. Еремчев И.Ю., Еремчев М.Ю., Наумов А.В. // УФН. 2019. Т. 189. № 3. С. 312; Eremchev I.Yu., Eremchev M.Yu., Naumov A.V. // Phys. Usp. 2019. V. 62. No. 3. P. 294.
26. Tarakanov V.P. // EPJ Web Conf. 2017. V. 149. Art. No. 04024.
27. Johnson P.B., Christy R.W. // Phys. Rev. B. 1972. V. 6. No. 12. P. 4370.
28. Кожина Е.П., Андреев С.Н., Тараканов В.П. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2020. Т. 84. № 12. С. 1725; Kozhina E.P., Andreev S.N., Tarakanov V.P. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2020. V. 84. No. 12. P. 1465.
29. Майорова А.М. // Фотоника. 2018. № 1(69). С. 134.

Application of epi-luminescence microscopy technique for visualization and control of luminophore distribution on a developed surface

**E. P. Kozhina^{a, b, *}, A. I. Arzhanov^{a, c}, K. R. Karimullin^{a, b, c}, S. A. Bedin^{a, d},
S. N. Andreev^{a, e}, A. V. Naumov^{a, b, c}**

^a *Moscow Pedagogical State University, Moscow, 119435 Russia*

^b *Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Branch in Troitsk, Moscow, Troitsk, 108840 Russia*

^c *Institute for Spectroscopy of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Troitsk, 108840 Russia*

^d *Center of Crystallography and Photonics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119333 Russia*

^e *Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023 Russia*

**e-mail: liza.kozhina.99@mail.ru*

A method based on the epi-luminescence microscopy is proposed for the test substance spreading area estimation, as well as the uniformity of its distribution on a substrate with a developed nanostructured surface. This method can be used to calculate the test substance SERS-signal enhancement adsorbed on a complex developed surface where standard methods for the amount of a substance estimation are inapplicable. For a colloidal solution of semiconductor quantum dots adsorbed on the surface of a track-etched membrane with silver dendritic nanostructures, a change in the surface wettability was found depending on the number and size of dendrites on it.