

Наноструктуры на торце оптического волокна для фотоакустических преобразователей

Е.П. Микитчук¹ К.В. Козадаев¹, Л.А. Гаврик¹, Е.И. Гиршова²,
В.К. Гончаров³, Д.В. Жигулин⁴, И.А. Кашко⁵, М.В. Пузырев³

¹ Белорусский государственный университет, Минск

² Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет РАН, Санкт-Петербург, Россия,

³ Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко Белорусского государственного университета, Минск,

⁴ Филиал НТЦ "Белмикросистемы" ОАО ИНТЕГРАЛ", Минск, Беларусь,

⁵ Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск

E-mail: m.helenay@yandex.by

Исследования с помощью ультразвука широко используются в технической диагностике. На современном этапе развития научно-технической базы ультразвуковых диагностических систем в отдельный класс выделяются устройства на параметрическом отклике наноструктур на торце оптического волокна, позволяющие обеспечить как прием, так и передачу ультразвуковых сигналов [1, 2]. Особое внимание уделяется созданию миниатюрных широкополосных волоконно-оптических фотоакустических преобразователей, позволяющих преобразовывать модулированное по интенсивности оптическое излучение в широкополосные ультразвуковые сигналы [2]. Ранее авторами проведен большой объем теоретических исследований по расчету параметров наночастиц (НЧ), обеспечивающих наиболее эффективное фотоакустическое преобразование [3], а также эксперименты по синтезу наноструктур на торце оптического волокна [4]. В работе приведены результаты исследования НЧ в составе образцов наноструктур для фотоакустических преобразователей, ранее синтезированных на торце оптического волокна [4].

Нанесение НЧ на торец оптического волокна осуществлялось методом атмосферного лазерного осаждения в вакуумной камере с давлением $5 \cdot 10^{-3}$ Па [4]. Исследование поверхности образцов волоконно-оптических фотоакустических преобразователей проводилось на растровом электронном микроскопе высокого разрешения Hitachi S-4800 (разрешение ~ 1 нм $\pm 5\%$). Рисунок 1 показывает микрофотографии поверхности образца волоконно-оптического фотоакустического преобразователя с НЧ Ag для случаев, когда образец исследовался под углом 78° (рисунок 1б, в) и под прямым углом (рисунок 1г) для оценки размеров НЧ и плотности заполнения подложки НЧ. Размеры НЧ в плоскости поверхности торца оптического волокна находятся в диапазоне 10 – 280 нм,

высота НЧ – в диапазоне от 10 до 200 нм от уровня подложки, то есть форма НЧ близка к сферической. Для полученных образцов плотность заполнения подложки составляет порядка 3.7 %.

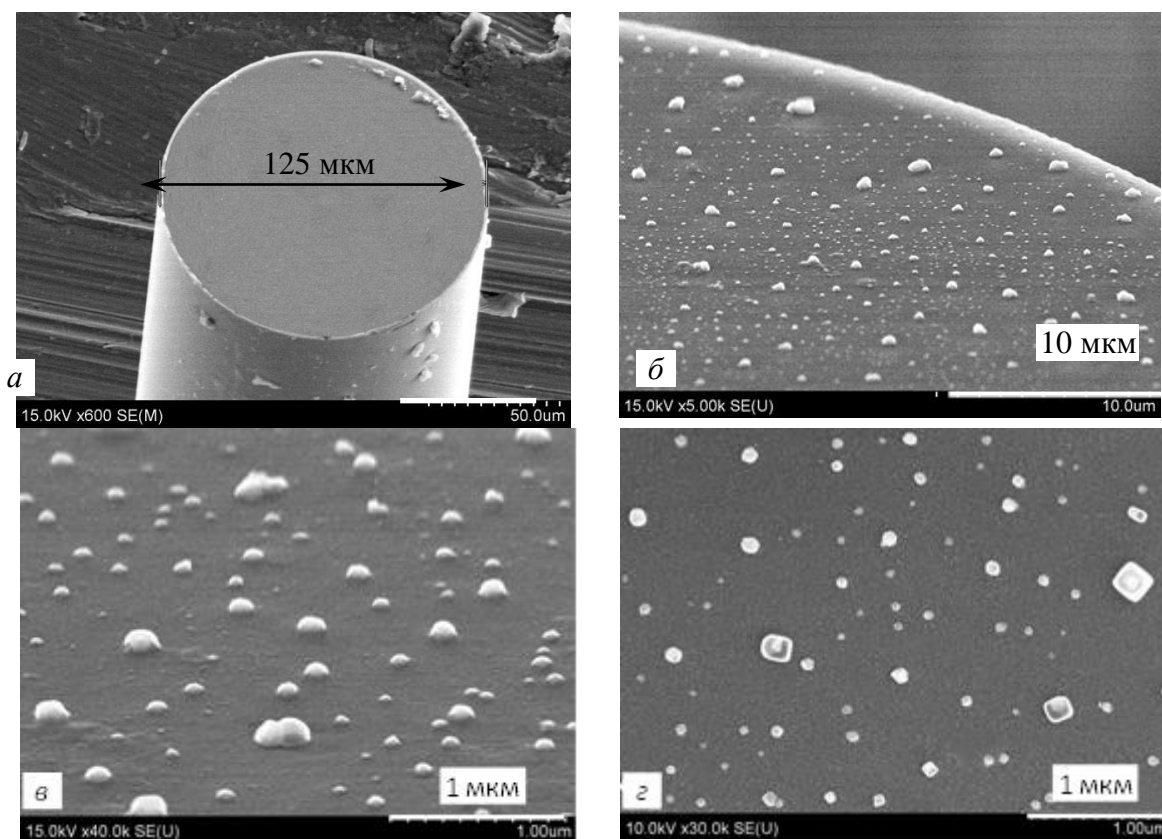


Рис. 1. Микрофотографии поверхности тестового образца волоконно-оптического фотоакустического преобразователя с наночастицами Ag: торец оптического волокна с НЧ (а), вид под углами 78° (б, в) и 90° и (г)

Элементный состав наноструктуры волоконно-оптического фотоакустического преобразователя исследовался на энергодисперсном спектрометре Quantex 200 с SDD-детектором Bruker XFlash 5030 (чувствительность 0.1 атомных процента). Рисунок 2, а, б показывает одну из исследуемых областей наноструктуры с НЧ Ag на торце оптического волокна, а также фотографию, сделанную в рентгеновском спектре, где светлым цветом подсвечивается Ag соответственно. Рисунок 2, в показывает, что спектральная характеристика наноструктуры имеет следующие включения: наряду с O, Al, Si, входящих в состав оптического волокна и Ag, из которого состоят НЧ, присутствует C, N, что связано с поверхностными загрязнениями. Рисунок 2, г показывает распределение НЧ Ag по размерам, полученное путем анализа бинаризованных микрофотографий (общее количество НЧ $>10^4$), а также гамма-распределение с размерным параметром 8.5069 и масштабным параметром 4.1143 (подобраны нелинейным методом наименьших квадратов), соот-

ветствующими среднему радиусу НЧ 35 нм, среднеквадратичному разбросу по размерам 12 нм. В распределении НЧ по размерам и на микрофотографиях присутствуют НЧ с радиусом более 135 нм (рисунок 1, в), которые составляют не более 2 % от доли всех НЧ (такие НЧ не участвуют в формировании спектра поглощения наноструктуры).

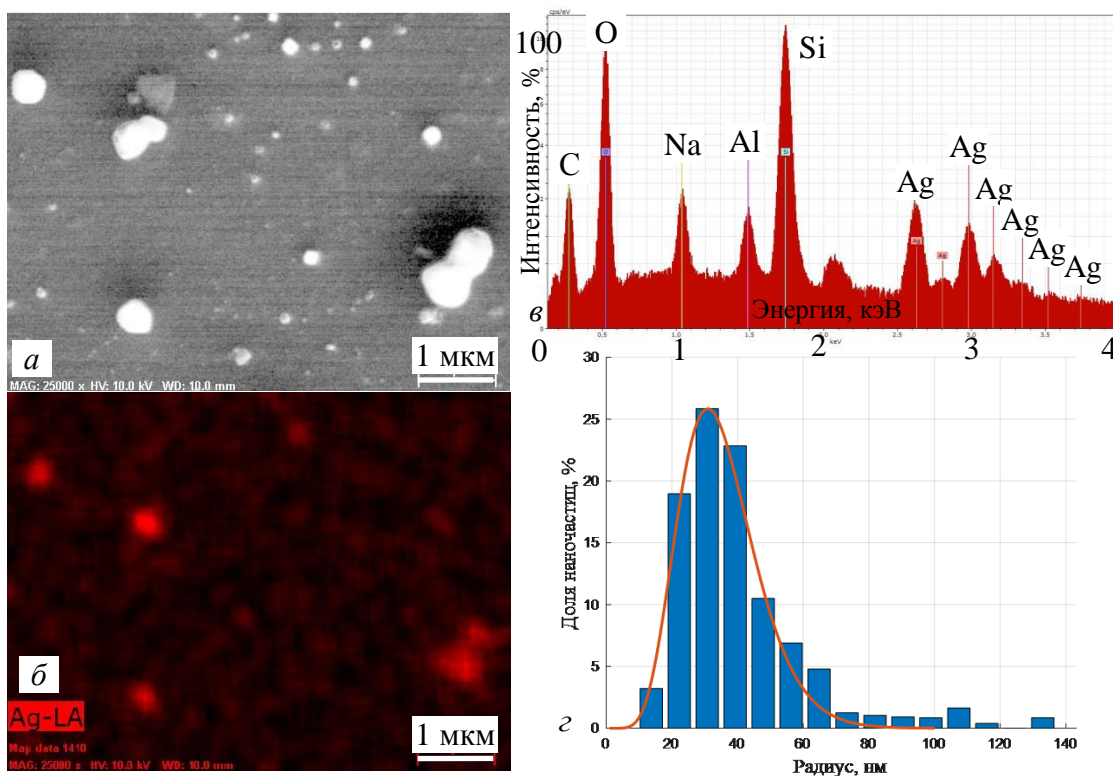


Рис. 2. Исследуемая область наноструктуры с НЧ на торце оптического волокна (а), микрофотография того же образца в рентгеновском спектре, где светлым цветом подсвечивается Ag (б), элементный состав исследуемой области наноструктуры (в), распределение НЧ Ag по размерам; гамма-распределение с параметрами, соответствующими среднему радиусу НЧ 35 нм и среднеквадратичному разбросу 12 нм (г)

В работе установлено, что при нанесении наночастиц Ag на торец оптического волокна методом атмосферного лазерного осаждения в вакуумной камере с давлением $5 \cdot 10^{-3}$ Па формируется двумерная поверхностная наноструктура с наночастицами со средним радиусом 35 нм и среднеквадратичным разбросом 12 нм, гамма-распределением по размерам, причем микроскопические параметры полученных образцов соответствуют теоретически рассчитанным значениям, обеспечивающим наиболее эффективное фотоакустическое преобразование.

Работа поддержана грантом “БРФФИ-РФФИ М-2019” №Ф19РМ-006.

1. *Wissmeyer G., Pleitez M.A., Rosenthal A. et al. // Light: Sci.&Appl. 2018. Vol. 7. art.n.53*
2. *Zou X., Wu N., Tian Y., et al. // Opt. express. 2014. Vol. 22, No. 15. P. 18119 – 18127.*
3. *Микитчук Е.П., Козадаев К.В. // Квант. электрон. 2018. Т. 48, № 7. С. 630 – 636*
4. *Goncharov V.K., Kozadaev K.V., Mikitchuk A.P. et al. // Semiconductors. 2019. in press*