

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СРЕД, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ

В.К. Гончаров, К.В. Козадаев, Д.В. Щегрикович

НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко Белгосуниверситета,  
ул. Курчатова 7, 220108 Минск, Беларусь, kozadaeff@mail.ru

**Abstract.** Methods have been developed for the formation and characterization of an ultra-dispersed metal phase in polymeric matrices, specifically in polyvinyl alcohol films. A method for laser erosion of metals in air is proposed for production of nanoparticles. Polyvinyl alcohol films with metal nanoparticles can be obtained by implanting the particles in aqueous solutions of the film-forming material.

Нанотехнологии настолько глубоко вошли в нашу жизнь, что в настоящий момент уже трудно представить производство электроники, оптическую и химическую промышленности без применения наноразмерных объектов. Многочисленные преимущества наноструктурированных материалов обусловлены специфическими свойствами, которые приобретают различные вещества при достижении ими размеров (хотя бы по одному измерению) порядка десятков нанометров /1/.

Модификация наночастицами существующих и разработка новых композиционных материалов на основе наночастиц являются перспективными направлениями развития современной промышленности /2/. Так большой практический интерес представляет применение технологичных решений с использованием наночастиц при решении ряда инженерно-конструкторских задач оптического приборостроения, в частности при производстве оптических фильтров для различных спектральных диапазонов. Целью данной работы является разработка новых полимерных оптических сред, имеющих ярко выраженные пики поглощения в видимой области спектра за счет эффекта резонансного поверхностного плазмонного резонанса у коллоидов наночастиц благородных металлов /3/.

Известно /4/, что при воздействии высокоинтенсивных лазерных импульсов (плотность мощности:  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup>, длительность импульса ~ 100 нс) на металлы образуется двухфазный плазменный поток (эрозионный лазерный факел), состоящий из продуктов разрушения мишени. С течением времени /5/, пары материала мишени конденсируются в жидко-капельную фазу с характерными размерами, принадлежащими нанометровому диапазону размеров. Сформированные в лазерном

эрозионном факеле металлические частицы можно осадить в жидкую среду, формируя тем самым коллоидный раствор обрабатываемого металла. Как правило, при однократном воздействии лазерного импульса с обсуждаемыми параметрами формируется достаточно малое количество частиц (общая масса частиц выносимой конденсированной фазы при одноимпульсном воздействии составляет единицы-десятки микрограммов, в зависимости от типа металла и условий воздействия). Поэтому, для получения достаточно концентрированных коллоидных растворов металлов целесообразно применять последовательности воздействующих лазерных импульсов, что достаточно просто достигается при использовании в частотном режиме современной лазерной техники. При этом в процессе синтеза необходимо лишь обеспечить постоянную смену локализации пятна фокусировки на поверхности мишени /6/.

В данной работе для формирования водных коллоидных растворов наночастиц металлов применялся Nd:YAG ( $\lambda=1064$  нм) лазер с длительностью импульса 20 нс и средней энергией импульса 200 мДж, что при фокусировке в пятно с  $d=1$  мм позволяло получать плотности мощности  $\sim 1$  ГВт/см<sup>2</sup>. В качестве мишени выступали массивные мишени серебра и золота 999,9 пробы. Частота следования импульсов составляла 5 Гц. Характерное время экспозиции для получения оптически плотных образцов золотосодержащих коллоидных растворов было выбрано равным 10 мин для одного образца с объемом 120 мл. Процесс синтеза происходил в воздушной среде с последующим осаждением сформированных металлических наночастиц в воду либо водные растворы пленкообразующих веществ.

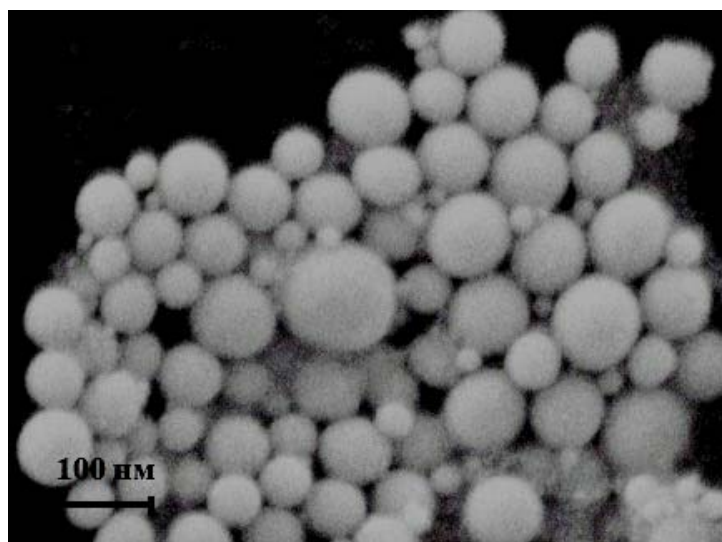
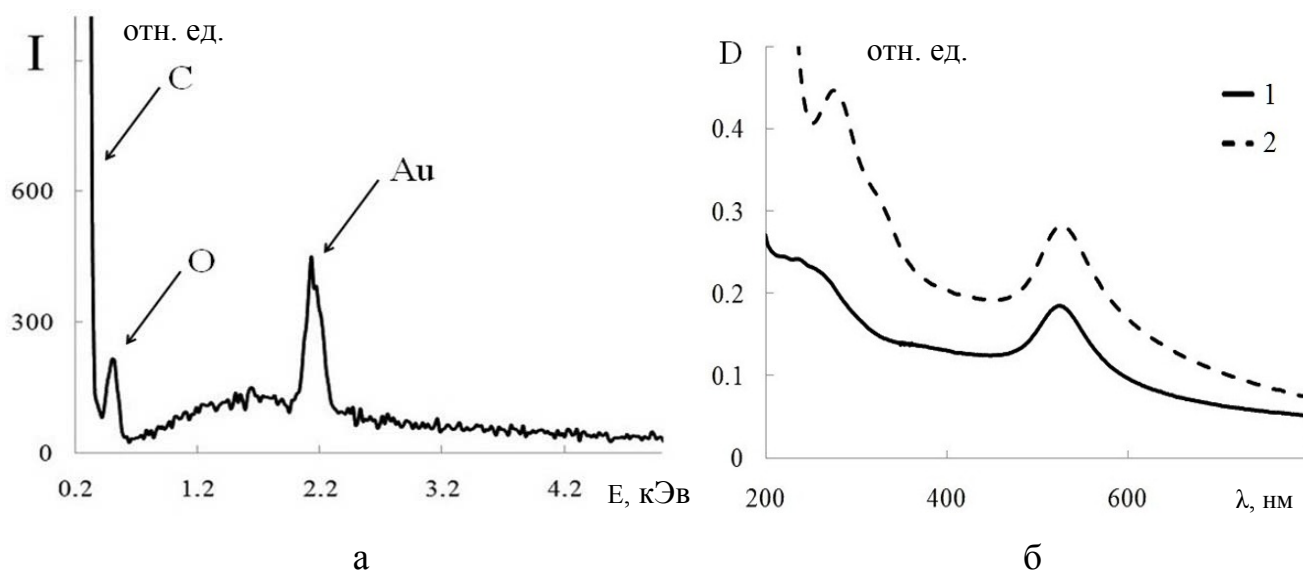


Рисунок 1 – РЭМ-изображение частиц золота, осажденных из коллоидного раствора

Для исследования характеристик наночастиц в водном коллоидном растворе после соответствующей подготовки образцов были применены растровая электронная микроскопия (РЭМ), регистрация спектра характеристического излучения и абсорбционная спектроскопия.

Результаты исследования образцов с помощью РЭМ показали (смотри рисунок 1) присутствие наноразмерных частиц со средними размерами ~50 нм и дисперсией распределения частиц по размерам ~20%, что характерно для конденсационных процессов каплеобразования.



а) Спектр характеристического излучения при возбуждении частиц электронным пучком, б) с помощью абсорбционной спектроскопии (1 – водный раствор, 2 – ПВС-содержащий раствор)

Рисунок 2 – Результаты исследования частиц коллоидного раствора

Исследование полученных образцов полимерных пленок, модифицированных наночастицами золота и серебра, показало однородное распределение синтезированных металлических наноструктур по объему полимерной матрицы. При этом полоса поверхностного плазмонного резонанса использованных металлов подверглась «красному сдвигу» по сравнению с их водными коллоидными растворами. Однако принадлежность этих полос к видимому спектральному диапазону и значительная их контрастность делает разработанные модифицированные полимерные пленки перспективными для производства недорогих пассивных ограничителей световой мощности с видимой области спектра.

Спектр характеристического излучения частиц, находящихся на углеродной подложке (смотри рисунок 2 а), говорит о том, что их материал соответствует материалу мишени, т.е. в данном случае золоту. Спектроскопия коллоидного раствора (смотри рисунок 2 б, кривая 1)

показывает наличие характерного пика поверхностного плазмонного резонанса (ППР) в спектре поглощения образца. Его максимум приходится на 520 нм, что говорит о присутствии в коллоидном растворе наночастиц золота со средними размерами порядка 50 нм. Присутствие пиков С и О обусловлено типом применявшейся подложки. Оптическая плотность образца говорит об оценке концентрации наночастиц в растворе  $10^{11}$ - $10^{12}$  см<sup>-3</sup>.

### Литература

1. **Аваделькарим О.О.** Нанонаука и нанотехнологии. Энциклопедия систем жизнеобеспечения. М.: EOLSS Publishers, ИД МАГИСТР-ПРЕСС, 2011.
2. **Ершов Б.Г.** Наночастицы металлов в водных растворах: электронные, оптические и каталитические свойства, Рос. Хим. Ж. **3** (2001) 20–30.
3. **Витязь П.А.** Наноструктурные материалы. М : Беларусь – Россия, 2004.
4. **Kozadaev K.V.** The investigation of two-phase plasma fluxes of silver, Publ. Astron. Obs. Belgrade. **89** (2010) 139–141.
5. **Гончаров В.К.** Начало конденсации в эрозионных факелах металлов при высокоинтенсивном субмикросекундном лазерном воздействии ИФЖ. **4** (2011) 723–728.
6. **Козадаев К.В.** Лазерный синтез наночастиц металлов в воздушной атмосфере. Научные стремления 2010: сборник материалов I Республиканской молодежной научно-практической конференции с международным участием, Минск, 2010 422-425.