

МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА В РОЗЧИНАХ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

Смірнова О. Л.¹⁾, Ніконов А. Ю.²⁾, Замай А. О.¹⁾, Смірнова С. Д.¹⁾

¹⁾ *Національний технічний інститут "ХПІ",
кафедра технічної електрохімії, вул. Кирпичова, 2, м. Харків,
Україна, 61000, e-mail: tgg_ggt@ukr.net*

²⁾ *Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
медичний факультет майдан Свободи, 6, м. Харків,
Україна, 61022, e-mail: med@karazin.ua*

Наноматеріали складаються з наночастинок розміром від 1 до 100 нм із поверхневими ефектами, квантовими розмірними ефектами та макроскопічними квантовими тунельними ефектами. Наноматеріали мають чудові властивості в оптичних, термічних, електричних, магнітних, механічних та хімічних областях. В останні роки дослідження нано-срібла досягли надзвичайно багатих результатів у галузі підготовки, властивостей та застосувань. Нано-срібні матеріали широко використовуються в кераміці, електронній промисловості та екологічно чистих матеріалах і мають широкі перспективи застосування в галузі антибактеріальних матеріалів, каталізаторів та електродних матеріалів. Існують різні способи отримання нано-срібла, багато методів класифікації, таких як класифікація за умовами реакції, попередниками реакції та механізмом отримання. За механізмом реакції їх можна розділити на дві основні категорії: фізичні методи та хімічні методи.

Срібло (нано-срібло) застосовується в медицині для лікування ран, виразок, для стерилізації та збільшення термінів зберігання лікарських препаратів, у стоматології, а також у біології. Препарати, що містять срібло, активні проти багатьох збудників ранових інфекцій (*Staphylococcus spp.*, *E. Coli*, *P. Aeruginosa*, *Proteus spp.*, *Klebsiella spp.*). Порівняно з традиційними антибактеріальними агентами на основі срібла нано-срібло, що отримане за допомогою нанотехнологій, не тільки має більш значний антибактеріальний ефект, але також має більш високу безпеку і володіє більш тривалим ефектом. Як антибактеріальний агент нано-срібло має велику питому поверхню, малий розмір часток, легко контактує з патогенними мікроорганізмами та може виявляти максимальну біологічну активність. Більшість нано-композитів, що використовуються в антибактеріальній упаковці харчових продуктів, ґрунтуються на наночастинках срібла, у зв'язку з чим срібло має потужнішу антибактеріальну активність.

Метод хімічного відновлення в даний час є одним із методів, що найбільш широко використовується в лабораторії та промисловості. Принцип полягає в тому, що сіль срібла, така як нітрат срібла і сульфат срібла, і відповідний відновник, такий як гідрат гідразину, цитрат натрію, формальдегід, багатоатомний спирт та перекис водню, реагують у рідкій фазі для відновлення Ag^+ до Ag^0 і перетворюються на колоїдне срібло.

Принцип осадження наночастинок металу з розчину достатньо простий. Метал відновлюється відповідним відновником із розчиненої солі металу або

металоорганічної сполуки у присутності ліганду-стабілізатору. Органічний ліганд, який взаємодіє з поверхнею металу, блокує подальше зростання наночастинки. При відсутності стабілізатору метал осідатиметься як монолітний мікрокристалічний матеріал. У процесі синтезу наночастинки важлива кінетика трьох процесів – швидкості утворення зародків, швидкості зростання кристалів і швидкості встановлення рівноваги адсорбції – десорбції ліганду.

Цитратний метод отримання наночастинок золота можна застосувати і для отримання наночастинок срібла. Але, оскільки срібло більш активний метал, ніж золото ($E_0\text{Ag}^+/\text{Ag}^0 = 0,8 \text{ В}$, $E_0\text{Au}^{3+}/\text{Au}^0 = 1,5 \text{ В}$), синтез наночастинок срібла відбувається більш складно через здатність срібла до швидкого окиснення і агрегації. Для посилення стійкості колоїдних розчинів наночастинки срібла необхідно стабілізувати. У цитратному методі отримання наночастинок срібла і відновником, і стабілізатором служить цитрат-аніон, що отримується при розчиненні у воді натрієвої тризаміщеної солі лимонної кислоти. При нагріванні розчину та окисненні цитрат-аніону утворюється ацетондикарбонова та ітаконова кислоти. Ці кислоти адсорбуються на поверхні частинок та контролюють їх зростання.

У даний час існують два механізми, що пояснюють утворення та зростання наночастинок срібла. І по першому, і по другому механізму спочатку утворюються кластери срібла, які потім взаємодіють зі стабілізатором – цитратом і конденсуються, утворюючи більш великі частинки. Після досягнення розміру $\sim 1 \text{ нм}$ конденсація кластерів більше не відбувається і утворення наночастинок по першому та другому шляху починає різнитися.

У першому випадку концентрація стабілізатора виявляється достатньою і подальше зростання частинок відбувається за рахунок відновлення іонів срібла на поверхні наночастинок. При цьому збільшення розмірів частинок відбувається повільніше, що призводить до утворення стійких колоїдних розчинів наночастинок, переважно сферичної форми. У другому випадку концентрація стабілізатора (цитрату) виявляється недостатньою, щоб запобігти агрегації кластерів. Це призводить до утворення наночастинок великого діаметру. Великий вплив на розміри наночастинок надає співвідношення концентрацій іонів срібла і цитрат-аніону, і навіть час кип'ятіння розчину. Взаємодія ліганду – стабілізатора з металом може бути й порівняно слабким. Прикладами такої стабілізації є стабілізація наночастинок срібла цитрат-іонами та стабілізація полімерними молекулами, що адсорбуються.

Список літератури:

1. H. Zhong, W. Ye, X. Wang и R. Sun Research Progress of Nanosilver // Hans Journal of Nanotechnology. 2012.V. 28 (5). 2012. p. 53.
2. L. Ren, F. Tang. Enhancement effect of Ag-Au nanopartiles on glucose biosensor sensitivity // Acta Chimica Sinica. 2002. 60(3). pp. 393-397.
3. Silver S. Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds // FEMS Microbiology Rev. 2003. V. 27(2-3). pp. 341-353.