

Срібловмісні полімерні наноккомпозити

О.В. Гресь, Є.В. Лебедев, В.Ф. Матюшов

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України
48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна

Огляд присвячено аналізу методів отримання наносрібла різних форм, композиційних матеріалів на його основі та їх застосування для каталізу, в наномасштабній електроніці, фотоніці, а також використання срібла у вигляді нановолокна для зниження порогу перколяції в електропровідних системах. Значна увага приділяється методам синтезу наночастинок срібла з контрольованими формою та розміром; можливості стабілізації дисперсії нанорозмірних частинок. Наведені методи створення срібловмісних композитів з одночасним формуванням наночастинок і полімерної матриці, що дає змогу отримувати матеріали з новими властивостями для ефективного технологічного використання.

Металічне срібло в нанодисперсній формі, завдяки стабільності, високій електропровідності і каталітичній активності, можливості його отримання в м'яких умовах різними методами з великої кількості прекурсорів, знаходить все більш широке застосування в нанотехнологіях.

Найбільш поширеним методом отримання дисперсій срібла залишається його відновлення зі сполук у конденсованій фазі [1]. Великий експериментальний матеріал, накопичений у цьому напрямі, пов'язаний із фотографічними процесами [2], виготовленням дзеркал [3], використанням унікальної електропровідності срібла в клеях і герметиках.

Розширення сфери практичного використання нанодисперсного срібла, в першу чергу, пов'язане із вдосконаленням методів отримання частинок необхідної форми і розмірів, стабілізацією дисперсій, а також створенням нових полімерних композитів на його основі.

Один із актуальних напрямів розвитку нанотехнологій із застосуванням срібла – розробка методів синтезу одновимірних наноструктур срібла, що знаходять своє застосування як активні компоненти в наномасштабній електроніці, фотоніці і сенсориці; а також використання срібла у вигляді нановолокна для зниження порога перколяції в електропровідних системах [4, 5].

Утворенню волокон при проявленні галогенідів срібла в фотографічних процесах присвячено ряд досліджень, що відображені в монографії [2]. В звичайних проявниках середньої або високої активності утворюються волокна діаметром $d \approx 15\text{--}25$ нм і в декілька разів більшої довжини. Дуже малі кристали AgHal можна проявити таким чином, щоб отримати лише одне волокно на кожен мікрочастинка. Великий мікрочастинка, в основному, утворює багато волокон, що нагадують шматок сталльної вати.

Описано декілька механізмів утворення волокон. Згідно з [2] волокна витісняються тиском атомів Ag, що накопичуються на поверхні Ag/AgHal у твердому тілі. Вважається також [6], що атоми Ag утворюються в невеликому просторі в порівнянні з діаметром волокна на початкових стадіях проявлення. Під дією поверхневого натягу атоми ущільнюються і набувають вигляду сфери. Починаючи з певного розміру, час дифузії атомів Ag збільшується настільки, що далі зберегти форму неможливо і сфера починає витягуватись.

Запропоновано й інший механізм [7], згідно з яким утворене приховане зображення (ділянка фотохімічно відновленого срібла) каталізує розчинення та концентрування експонованого мікрочастинка AgHal проявником. Струм розчиненої і комплексної речовини, що направлений в розчин, утворює волокна. Волокна, утворені при повному відновленні мікрочастинка AgBr без фіксування, перекристалізуються за кілька днів, якщо емульсія зберігається за відносної вологості $\sim 100\%$ і кімнатної температури, і ще швидше – за більш високої температури. Введення речовин, що сильно адсорбуються на поверхні волокон, призводить до їх стабілізації.

В синтезах одновимірних структур срібла прекурсором, в основному, виступає аргентум нітрат. Реакцію проводять у розведених розчинах з використанням таких розчинників як вода [8], етиленгліколь [9], диметилформамід [10] (два останні виступають як відновники). Реакцію проводять за температури кипіння розчинника. В водних розчинах використовують відновники, такі як: натрій боргидрид [8], аскорбінову кислоту [11], солі винної кислоти [12]. Реакція проходить за температури $100\text{ }^\circ\text{C}$.

Для регулювання співвідношення довжини з діаметром частинок у реакційній системі попередньо синтезують затравки. Наприклад, при синтезі нановолокон

срібла в киплячому етиленгліколі попередньо отримують наночастинки Pt відновленням $PtCl_2$ [9, 13, 14]. Для того, щоб запобігти агрегації частинок у початковий період їх виникнення та в процесі росту в систему вводять полівінілпіролідон, який здатен адсорбуватись на поверхні срібла. В роботі [15] показано, що між полі-вінілпіролідонем і йонами срібла утворюються координаційні зв'язки. На початковій стадії реакції спостерігається велика кількість зародків срібла, які стабілізуються утвореними координаційними зв'язками. В роботі [16] доведено, що на поверхні срібних нановолокон формується моношар полі-вінілпіролідону.

Для утворення волокнистих частинок срібла з чистою поверхнею, придатних для виготовлення високочутливих сенсорів, розроблений процес швидкого мікрохвильового нагріву реакційної маси, що стимулює відновлення солей срібла за допомогою натрій цитрату до металу [14, 17]. Проводять синтез загравок золота відновленням $HAuCl_4$ цитратом. Показано, що важливими факторами для приготування стержнів з великим співвідношенням довжини з діаметром є висока швидкість нагріву і правильно підібраний час реакції.

Мікрохвильове опромінення використовується для швидкого синтезу наночастинок срібла у водному розчині аргентум нітрату та натрій цитрату за наявності формальдегіду як відновника [18]. Утворення аргентум цитрату на початковій стадії дає змогу отримувати частинки малих розмірів.

Актуальним напрямом залишається фотохімічний метод синтезу наночастинок срібла. З використанням ультрафіолетового опромінення отримано наноконкомпозити срібло – поліакриламід та срібло – поліметилметакрилат з гомогенно диспергованими наночастинами срібла за кімнатної температури [19]. Розроблена нова фотохімічна методика вирощування наночастинок срібла з контрольованими формою та розміром. Їх ріст у водних розчинах під дією світла починається з малих (10 нм) сферичних частинок. Отримують частинки тригранної та гексагональної форм з розмірами 50–200 нм з порівняно вузьким розподілом за розмірами. Дія світла пов'язана з двома процесами: світлоіндукованим окисненням прекурсорів та індукованим плазмовим резонансом росту частинок металу.

Виготовлені розсіяні наноформи срібла (нанострічки, нанотрикутники і нанодропи) методом фотовідновлення твердого $AgNO_3$ в дистильованій воді під дією УФ-опромінення за наявності органічного захисного реагента – піридину, нікотинової кислоти, 2,2'-дипіридиланіліну або 2,2'-дипіридину. Розмірами і формами наночастинок можна керувати, змінюючи захисний реагент [20].

Методами дифракції рентгенівських променів та скануючої електронної мікроскопії показано

утворення срібних волокон (діаметр 10–40 нм, довжина до декількох мікрометрів) і дендритних супрамолекулярних наноструктур при УФ-опроміненні (253,7 нм) розчинів $AgNO_3$ (1 моль/л) і гідроксіетилцелюлози (1 %). Концентрації аргентум нітрату і полімеру відіграють істотну роль в утворенні нановолокон і дендритів [21].

Спектроскопічними методами досліджений процес утворення трикутних частинок срібла з колоїдних розчинів малих сферичних частинок [22]. Світло викликає фотохімічну модифікацію реагентів і ступінчасту агрегацію прекурсорних наночастинок. У водних розчинах кополімерів акрилової кислоти та акриламідну йони срібла можуть зв'язуватись з функціональними групами полімеру і піддаватись фотовідновленню [23]. Доведена можливість формування несферичних наночастинок срібла різних за формою та розміром, іммобілізованих на даній полімерній матриці.

Солі срібла легко відновлюються у водному розчині аніліну при м'якому фотолізі світлом з довжинами хвиль 365 або 254 нм. Утворені наночастинки срібла каталізують окиснення аніліну до поліаніліну. Отриманий наноконкомпозит має більш високу температуру розкладу в порівнянні з чистим поліаніліном.

Фотохімічне осадження наночастинок срібла на поверхні глобул полістирену здійснюється під дією монохроматичного (254 нм) і нефільтрованого світла [24]. Встановлена залежність процесу фотоосадження від концентрації йонів срібла і розміру глобул полістирену. Методом електронної мікроскопії показано, що процес фотовідновлення проходить, в основному, на поверхні глобул полістирену, а розмір утворених наночастинок не перевищує 60 нм. При цьому срібні наноструктури характеризуються вузьким розподілом за розмірами.

Ріст плівок Ag товщиною 80 нм досліджено всередині електронного скануючого мікроскопа. Отримані плівки складаються із зерен срібла розміром 40–50 нм. Енергія активації росту зерен срібла оцінена в 0,53 eV, ця величина близька до енергії поверхневої дифузії. Даний результат підтверджує модель росту зерен у нанокристалічній плівці за допомогою переносу маси поверхневою дифузиею [25].

Лазерне опромінення чи опромінення пучком електронів полімерних композиційних матеріалів, що містять наночастинки солей срібла та барвник, здатний до фотовідновлення, приводить до росту наночастинок з утворенням неперервних металічних структур [26].

Описані вище методи дають змогу отримувати нанорозмірні частинки срібла. Проте, як відомо, висока хімічна активність наночастинок ϵ , з одного боку, позитивним фактором, але вона ж створює порівняно складну проблему їх стабілізації при транспортуванні

та зберіганні. Для багатьох сфер застосування, в першу чергу для каталізу, сильна пасивація активності може виявитися небажаною. Тому необхідна пасивація зі збереженням високої активності наночастинок. За відсутності стабілізаторів наночастинок являються ліофобними колоїдами з низькою агрегаційною стійкістю. Пошук ефективних способів керування хімічною пасивацією наночастинок – один із актуальних напрямів досліджень у даній сфері. Вирішення цієї проблеми, в деякій мірі, можливе завдяки високій адсорбційній здатності наночастинок срібла щодо поверхнево активних речовин і багатьох високомолекулярних сполук.

Останнім часом набули широкого розвитку методи хімічного відновлення сполук металів у полімерній матриці. Такі методи отримання наноккомпозиційних матеріалів майже не відрізняються від поширених традиційних підходів до синтезу наночастинок срібла без полімерів. Відновниками виступають тетрагідроборати, цитрати, танін [27] і натрій боргідрид [28, 29]. На основі результатів аналізу серії експериментів, наведених у [27], виявлено, що використання таніну як відновника Ag^+ у водному розчині полімерів: желатини, метилгідроксіетилцелюлози за наявності натрій карбонату дає змогу отримати стійкі протягом декількох тижнів дисперсії та змінювати в деяких межах середній розмір частинок срібла. Властивості цих дисперсій істотно залежать від полімерного середовища. Ефективною виявилась желатина, використання якої дало змогу отримувати ізольовані частинки круглої форми з найбільш вузьким розподілом за розмірами. Через 10 тижнів розподіл частинок за розмірами змінювався: відбувалось формування як дуже дрібних частинок, так і великих, причому різноманітної форми (трикутних, квадратних, сферичних). Використання метилгідроксіетилцелюлози дає можливість отримувати наночастинок срібла округлої форми (діаметр ~ 2 нм), проте спостерігається значно більша кількість крупних частинок (від 5 до 20 нм). Через 10 тижнів після проведеного синтезу спостерігалось концентрування наночастинок.

У розчинах поліакрилату з використанням натрій боргідриду як відновника йонів срібла отримують кластери срібла складу Ag_4^{2+} і продукти їх димеризації [28, 29]. У водних розчинах поліакрилату формуються тривимірні металополімерні структури за рахунок взаємодії позитивно заряджених кластерів срібла з декількома полімерними ланцюгами, а також віддаленими карбоксилатними групами на одному і тому ж ланцюзі поліаніюна. В даному випадку кластери срібла утворюють мостики-зшивки між макромолекулами. Введення до цієї системи йонів Cl^- в концентрації до $2,6 \cdot 10^{-3}$ М [29] призводить до появи в спектрі смуги поглинання в області 400 нм (характерної для сферичних частинок розміром 5–25 нм та їх агрегатів різноманітної структури) за рахунок

зв'язування аніонів Cl^- з позитивно зарядженими Ag^+ ; ця взаємодія веде до послаблення зв'язків кластерів срібла з поліакрилатом, повільної агрегації і утворення наночастинок. Цей процес можна прискорити збільшенням концентрації полімерних лігандів, що зв'язуються з катіонами і кластерами срібла сильніше, ніж карбоксилатні групи поліакрилату.

До хімічних методів відновлення металів у полімерних середовищах також належить термічний розклад металовмісних сполук. Наприклад, аміачний комплекс аргентум нітрату, сорбований поліакрилатною матрицею, [30] за температури 140–150 °С повністю розкладається з утворенням в об'ємі полімеру наночастинок із середнім розміром 5 нм і заряджених кластерів срібла. Наночастинок срібла, що мають розмір менше 5 нм – рентгеноаморфні. Стабілізація отриманих частинок проходить за рахунок адсорбції на їхній поверхні акрилового кополімеру метилметакрилату з калій метакрилатом. Отриманий полімерний композит після термообробки зберігає свою механічну стійкість і форму та містить до 12 % мас. срібла.

Один із варіантів хімічного методу отримання метал-полімерних наноккомпозитів – створення нового класу гібридних полімерних систем на основі рідкокристалічних йономерів [31, 32]. Відновлення йонів металу з утворенням металічних наночастинок срібла (3–30 нм) проводять в мезоморфній полімерній матриці на основі рідкокристалічних кополімерів ціанофенілу з акриловою кислотою. Досліджено залежність величини електропровідності отриманих систем від вмісту наночастинок срібла.

Наведені методи отримання метал-полімерних наноккомпозитів базувались на формуванні нанорозмірних частинок у спеціально приготуваній полімерній матриці. Проте, особливий інтерес представляють варіанти створення таких матеріалів з одночасним формуванням наночастинок і полімерної матриці. Приклад такого процесу – одночасний розклад металоорганічного компонента і полімеризація відповідного мономеру. Таким методом отримано [3] золі срібла в поліметилметакрилаті на стадії полімеризації метилметакрилату. Процес включає такі стадії: розчинення металічної солі (аргентум нітрату) та ініціатора (бензоїл пероксиду) в метилметакрилаті з наступним нагріванням отриманої суміші до 70 °С протягом 30–60 хв. Формування наночастинок відбувається при постнагріванні виділених продуктів до 140–160 °С. γ -опроміненням водних розчинів AgNO_3 з акриламідом за кімнатної температури (0,05 моль AgNO_3 та 3,25 моль акриламиду, доза опромінення – $2,7 \cdot 10^4$ Gy) йони Ag^+ відновлюються під дією гідратованих електронів з утворенням наночастинок із середнім розміром 10,8 нм.

Запропоновано метод одночасної плазмової полімеризації гексаметилдисилоксану [33],

вінілтриметил-сілану, тетраетоксисілану і нанесення парів металу. Для полімеру полівінілтриметилсілану утворюються кластери срібла з діаметром 1,3–4,5 нм; для політераексисілану – кластери срібла з діаметром 4,8–6,2 нм [34]. Аналогічним чином проводять осадження парів металу і *n*-ксиленового мономеру [35, 36] за температури 80 К з наступною твердофазною полімеризацією конденсату. Електричні характеристики, отриманих таким чином Ag-вмісних плівок, показали, що вони мають острівкову електропровідність.

Оригінальний метод отримання металонаповнених систем шляхом електричного осадження металу в об'ємі нанопористої крейзованої полімерної матриці різної природи [37]. Введений низькомолекулярний компонент (срібло) диспергується в порах до нанометрового рівня, що дає можливість (при розкладі) створити нанокпозиційні матеріали з високим рівнем взаємної дисперсності компонентів. Встановлена кореляція між структурою вихідної крейзованої матриці і розмірами частинок сформованої фази диспергованого металу. Ні природа полімеру, ні сам механізм крейзингу істотно не впливають на процес осадження кристалічного срібла в мікропорах крейзованих пористих матриць. Загальний вміст введеного компонента, в основному, визначається об'ємною пористістю полімерного зразка і залежить від ступеня витяжки полімеру в адсорбційно-активному середовищі. Розмір кристалів введеного металу та рівень дисперсності наноккомпозитів на основі крейзованих

полімерів визначається лише параметрами вихідної структури пористої полімерної матриці: при збільшенні розмірів пор у крейзах росте розмір кристалів срібла.

Шляхом електроосадження [38] можливе формування наночастинок срібла у вигляді нанодротів діаметром і довжиною до 2 нм, вирощування яких проводиться всередині плівки полівінілового спирту.

Диспергуванням частинок срібла [39] у гелеподібні мікропористі плівки з полівінілового спирту методом протиструменевої дифузії можна отримати монодисперсні частинки, що мають смугу поглинання в області 420 нм. Застосовується золь-гель метод для отримання наноккомпозитів срібла, введеного в модифіковану етиленгліколем матрицю оксиду кремнію [40, 41]. Розміри наночастинок сягають 5–12 нм і, практично, рівномірно розподілені в об'ємі матриці.

Таким чином, як показано у вище поданому матеріалі, Ag-вмісні полімерні системи досить інтенсивно вивчаються. Однак, їх створення потребує вирішення таких наукових проблем: можливість контролю розмірів і форм наночастинок у широкому діапазоні; стабілізації отриманої дисперсії нанорозмірних частинок срібла; розробки раціональних методів створення полімерних наноккомпозитів, зокрема методів формування срібловмісних полімерних наноккомпозитів з мономерів і відповідних прекурсорів, що дасть змогу отримувати матеріали з новими властивостями для ефективного технологічного використання.

Література

1. *Gmelin L.* Handbook der Anorganischen Chemie. – V5. – Berlin.: Springer-Verlag, 1970. – 939 p.
2. *Джеймс Т.* Теория фотографического процесса. / Под. ред. А.Л. Картужанского. – Л.: Химия, 1980. – 672 с.
3. *Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е.* Наночастицы металлов в полимерах. – М.: Химия, 2000. – 672с.
4. *Wu H.P., Liu J.F., Wu X.J.* // Internat. J. of Adhesion and Adhesives. – 2006. – 26. – P. 617–621.
5. *Shik A.* // Phys. status. solidi. B. – 2005. – **242**, № 6. – P. 1183–1186.
6. *Shiozawa T.* // Bull. Soc. Phot. Sci. Technol. – 1971. – **1**, № 21. – P. 287–290.
7. *Gurney R.W., Mott N.F.* // Proc. Roy. Soc. Ser. A. – 1938. – **16**, № 151. – P. 1193–1198.
8. *Sun Yugang, Grates Byron, Mayers Brian, Xia Younan* // Nano Lett. – 2002. – **2**, № 2. – P. 165–168.
9. *Yuang Sun, Byron Gates, Brian Mayers* // Nano Lett. – 2002. – **2**, № 2. – P. 165–168.
10. *Liz-Marzan, Luis M.* // Nano Lett. – 2002. – **8**, № 8. – P. 903–905.
11. *Fu Ken Liu, Pei-Wen Huang, Yu-Cheng Chang, Chu-Jung Ko* // J. of Crystal Growth. – 2005. – 273. – P. 439–445.
12. *Xin Gu, Chageng Nie, Yuekun Lai* // Materials Chemistry and Physics. – 2006. – 96. – P. 217–222.
13. *Murphy C.J., Jana N.R.* // Adv. Mater. – 2002. – **14**, № 1. – P. 80–82.
14. *Jana Nikhil R.* // Chem. Commun. – 2001. – № 7. – P. 617–618.
15. *Zhang Zong-Tao Zhang, Zhao Bin, Hu Li-Ming, Shi Qing-Hong, Yuang Liu-Suo* // Acta chim. sin. – 1996. – **54**, № 4. – P. 379–384.
16. *Gao Y., Jiang P., Yuan H.J.* // J. Phys. Chem. B. – 2004. – **108**, № 34. – P. 12877–12881.
17. *Liu Fu Ken, Chang Yu-Cheng, Huang Pei-Wen, Ko Fu-Hsiang* // Chem. Lett. – 2004. – **33**, № 8. – P. 1050–1051.
18. *Yin Hengbon, Sung Ik Yang* // Mater. Chem. And Phys. – 2004. – **83**, № 1. – P. 66–70.
19. *Zhou Yong, Yu Shuhong, Wang Cuiying, Zhu Yurui, Chen Zuyao* // Chem. Lett. – 1999. – **4**, № 7. – P. 677–678.
20. *Callegari A., Tonti D., Al Salman A., Bonacina L., Chaussard F., Mourik F., Chrgui M.* // Chimia. – 2003. – № 7–8. – P. 449.
21. *Wu Shuiang-Ding, Yin Jie, Zhu Zikang* // J. Chem. Res. Synop. – 2002. – № 7. – P. 342–343.
22. *Callegari Andrea, Tonti Dino, Cornuz Maurin, Cannizzo Andrea, Chergui Majed* // Chimia. – 2005. –

- 59, № 9. – P. 668.
23. Буикликий В.Д., Андреева А.А., Костырина Т.В., Кузнецова С.Л., Сирота А.А. // Тез. докл. 9 Междунар. конф. “Проблемы сольватации и комплексообразования в растворах”. – Плес. – 2004. – С. 195–196.
24. Khanna P.K., Narendra Singh, Shobhit Charan, Viswanath Kasi A. // Mater. Chem. And Phys. – 2005. – **92**, № 1. – P. 214–219.
25. Dannenberg Nand // Thin Solid Films. – 2000. – **379**, № 1–2. – P. 133–138.
26. Bauer Christina // Adv. Mater. – 2002. – **14**, № 3. – P. 194–198.
27. Серебрякова Н.В., Урюпина О.Я., Ролдугин В.И. // Коллоид. журн. – 2005. – **67**, № 1. – С. 87–93.
28. Сергеев Б.М., Лопатина Л.И., Сергеев Г.Б. // Тез. докл. и сообщ. XI-й Всерос. конф. “Структура и динамика молекулярных систем”. – Яльчик. – 2004. – С. 237.
29. Сергеев Б.М., Лопатина Л.И., Прусов А.Н. // Коллоид. журн. – 2005. – **67**, № 1. – С. 79–86.
30. Изаак Т.И., Бабкина О.В., Боронин А.И., Дребущак Т.Н., Стадниченко А.И., Мокроусов Г.М. // Коллоид. журн. – 2003. – **65**, № 6. – С. 788–794.
31. Барматов Е.Б., Пибалк Д.А., Барматова М.В., Никонорова Н.А. // Тез. докл. и сообщ. XI-й Всерос. конф. “Структура и динамика молекулярных систем”. – Яльчик. – 2004. – С. 27.
32. Барматов Е.Б., Пибалк Д.А., Барматова М.В., Никонорова Н.А., Grande S., Kremer F. // Тез. докл. 3 Всерос. Каргинской конф. “Полимеры - 2004”. – Москва. – 2004. – С. 94.
33. Salz Dirk // Phys. Chem. – 2002. – **4**, № 11. – P. 2438–2442.
34. Salz Dirk // Phys. Chem. Chem. Phys. – 1999. – **1**, № 18. – P. 4447–4451.
35. Николаева Е.В., Озерин С.А., Григорьев А.Е., Завьялов С.А., Чвалун С.Н., Трахтенберг Л.И., Герасимов Г.Н. // Тез. докл. IV-го Российского симпозиума “Жидкокристаллические полимеры”. – Москва. – 1999. – С. 114.
36. Озерин С.А., Завьялов С.А., Чвалун С.Н. // Тез. докл. II-го Всерос. Каргинского симпозиума “Химия и физика полимеров в начале XXI века”. – Черногловка. – 2000. – С. С3/58.
37. Аржакова О.В., Долгова А.А., Ярышева Л.М. // Тез. докл. 3 Всерос. Каргинской конф. “Полимеры – 2004”. – Москва. – 2004. – С. 203.
38. Bhattacharrya S. // Appl. Phys. Lett. – 2000. – **76**, № 26. – P. 3896–3898.
39. Kurokawa Youichi, Imai Yoshika // Kobunshi ronbunshu. – 1993. – **50**, № 5. – P. 451–454.
40. Guha P., Ganguli D., Chaudhuri S., Chakrabarti K. // Mater. Lett. – 2004. – **58**, № 24. – P. 2963–2968.
41. Giesfeldt K.S., Connatser R.M., Lavrik N.V. // Appl. Spectrosc. – 2003. – **57**, № 11. – P. 1346–1352.

Надійшла до редакції 26 березня 2008 р.

Серебросодержащие полимерные нанокompозиты

Е.В.Гресь, Е.В. Лебедев, В.Ф. Матюшов

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины
48, Харьковское шоссе, Киев, 02160, Украина

Обзор посвящен анализу методов получения наносеребра различных форм, композиционных материалов на его основе и их применения для катализа, в наномасштабной электронике, фотонике, а также использования серебра в виде нановолокна для понижения порога перколяции в электропроводящих системах. Особое внимание уделяется методам синтеза наночастиц серебра с контролируемой формой и размером; возможности стабилизации дисперсии наноразмерных частиц. Представлены методы создания серебросодержащих композитов с одновременным формированием наночастиц и полимерной матрицы, что позволяет получать материалы с новыми свойствами для эффективного технологического применения.

Silver-containing polymer nanocomposites

O.V. Gres, E.V. Lebedev, V.F. Matyushov

Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine
48, Kharkivske shausse, Kyiv, 02160, Ukraine

In this work the analysis of diversiform nano-sized silver and related composite materials as well as their application for catalysis, nanoelectronics, photonics and nanofiber-induced percolation threshold reducing for conducting systems have been surveyed. The main attention was focused on the controllable synthesis of silver nanoparticles having well-defined shapes and dimensions, and their stabilization to disperse state. Simultaneous formation of silver nanoparticles and polymer matrix in situ for preparing high performance silver-containing composites with enhanced processing and application has been observed and evaluated.