

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **235833**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **415545**

(51) Int.Cl.  
**B82B 3/00 (2006.01)**  
**C01G 5/00 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **28.12.2015**

---

(54) **Sposób wytwarzania stabilnych suspensji nanocząstek srebra  
o dodatnim ładunku powierzchniowym**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**03.07.2017 BUP 14/17**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**02.11.2020 WUP 17/20**

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT KATALIZY I FIZYKOCHEMII  
POWIERZCHNI IM. JERZEGO HABERA POLSKIEJ  
AKADEMII NAUK, Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**MAGDALENA OĆWIEJA, Biadoliny Radłowskie, PL  
ZBIGNIEW ADAMCZYK, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Andrzej Stachowski**

---

**PL 235833 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania na drodze redukcji chemicznej stabilnych suspensji nanocząstek srebra o dodatnim ładunku powierzchniowym do zastosowań w katalizie oraz jako substancji biobójczych.

Dzięki unikatowym właściwościom fizykochemicznym nanocząstki srebra znajdują szereg zastosowań w wielu dziedzinach nauki i przemysłu, wśród których wyróżnić należy m.in. biologię, medycynę, elektronikę, optykę, spektroskopię oraz katalizę. Szeroki wachlarz zastosowań nanocząstek srebra wynika jednak przede wszystkim z ich aktywności przeciwdrobnoustrojowej, którą wykazują w stosunku do wielu patogennych bakterii, grzybów chorobotwórczych oraz wirusów. Jak wynika z literatury fachowej i patentowej, aktywność biologiczną nanocząstek srebra można dodatkowo modelować nie tylko przez kontrolę ich rozmiaru oraz kształtu, ale także przez zastosowanie specyficznych stabilizatorów organicznych bądź nieorganicznych, które zaadsorbowane na powierzchni nanocząstek zapewniają im trwałość, a dodatkowo są także pośrednio lub bezpośrednio zaangażowane w procesy dezaktywacji drobnoustrojów chorobotwórczych.

Wśród licznych metod syntezy suspensji wodnych nanocząstek srebra (hydrozoli) główną rolę odgrywa metoda redukcji chemicznej, w której przez zastosowanie odpowiedniego układu stabilizator/mieszanina oksydacyjno-redukcyjna można kontrolować rozmiar, kształt oraz właściwości powierzchniowe nanocząstek srebra.

Syntezę stabilnych suspensji nanocząstek srebra ujawniono przykładowo w opisach i zgłoszeniach patentowych PL 176202(B1), PL 210388(B1), PL 211422(B1), PL 390437(A1), PL 401528(A1), US 20100189901 (A1), CN 1583332(A), a także w wielu opracowaniach literatury fachowej.

W większości znanych przypadków wytwarzania suspensji nanocząstek srebra metodą redukcji chemicznej, źródłem jonów srebra są dobrze rozpuszczalne w wodzie sole srebra, zaś substancjami stabilizującymi utlenione formy reduktora, bądź inne dodatkowe związki chemiczne, które na skutek selektywnej adsorpcji na granicy faz ciało stałe/ciecz nadają nanocząstkom ujemny ładunek powierzchniowy – *Alexander Kamyshny, Slomo Magdassi*, „Aqueous Dispersion of Metallic Nanoparticles – Preparation, Stabilization and Application”, *Nanoscience, Colloidal and Interfacial Aspects Edited by Victor M. Starov*, CRC Press, New York, 1<sup>st</sup> edn., 2009, vol. 147, ch. 25, pp. 747–778.

W opisie patentowym PL 211422(B1) przedstawiono sposób wytwarzania stężonych hydrozoli nanocząstek srebra, charakteryzujący się tym, że w polu promieniowania mikrofalowego srebro kationowe, korzystnie dostarczone w postaci azotanu(V) srebra, redukuje się do nanocząstek srebra za pomocą co najmniej jednego reduktora takiego jak aminoalkohole (etanotriamina, etanolodiamina), glukoza lub kwas askorbinowy, w obecności kwasu di- lub polikarboksyłowego wykazującego właściwości chelatujące. Dostarczone jony srebra są kompleksowane kwasem di- lub polikarboksyłowym przed redukcją do nanocząstek srebra, jednakże tak wytworzone nanocząstki nie charakteryzują się dodatnim ładunkiem powierzchniowym.

W zgłoszeniu patentowym US 20100189901(A1) ujawniono sposób otrzymywania nanocząstek srebra w procesie polegającym na przeprowadzeniu dostarczonego srebra jonowego w formę skompleksowaną przy użyciu karbaminianów oraz następczym zredukowaniu tak utworzonych związków za pomocą reduktorów, bądź też poddaniu karbaminianów srebra pirolizie, prowadzącej do powstania nanocząstek srebra. Wskazano na możliwość zastosowania azotanu(V) srebra jako źródła jonów srebra i borowodorku potasu jako reduktora kompleksów oraz 2-aminoetanolu (aminoalkoholu) jako stabilizatora. W zgłoszeniu US 20100189901(A1) nie wykazano, że opisane rozwiązanie prowadzi do otrzymania stabilnych suspensji nanocząstek srebra charakteryzujących się dodatnim ładunkiem powierzchniowym. Aminoalkohol jest zaadsorbowany na powierzchni nanocząstek wytworzonych według tego sposobu fizycznie, a nie kowalencyjnie. Wiadomym jest także, że stabilizowanie nanocząstek srebra przez aminoalkohole, zaadsorbowane na ich powierzchni fizycznie znacząco obniża ich zdolność tworzenia stabilnych hydrozoli. Z tego też powodu w zgłoszeniu US 20100189901(A1) wszystkie opisane przykłady ukazują możliwość otrzymywania nanocząstek srebra jedynie w formie nanoproszków, a nie suspensji nanocząstek w formie hydrozoli.

W zgłoszeniu CN 1583332(A) przedstawiono rozwiązanie prowadzące do otrzymania w warunkach przepływowych suspensji nanocząstek srebra, w którym srebro jonowe, wprowadzone do układu w postaci azotanu(V) srebra, redukuje się w obecności koloidu ochronnego za pomocą reduktora, wybranego spośród borowodorku sodu, hydratu hydrazyny, kwasu askorbinowego, kwasu cytrynowego oraz jego soli, kwasu taninowego, glukozy, kwasu szczawiowego lub fosfinianu(I) sodu. Rolę koloidów

ochronnych utworzonych nanocząstek srebra pełnią wodne roztwory wysokocząsteczkowych związków organicznych wśród których wskazano poliwinylpiperolidon i jego pochodne, poliamidy i ich pochodne, celulozę i jej pochodne, kwas poliakrylowy i jego pochodne, kleje, ziemię okrzemkową, chitynę, kolagen lub pektyny. W procesie wytwarzania suspensji nanocząstek srebra nie zastosowano procedury chelataowania (kompleksowania) dostarczonych jonów srebra przed ich redukcją, ani też nie wskazano na możliwość zastosowania jakiegokolwiek niskocząsteczkowego związku, jako stabilizatora nanocząstek. Stabilność suspensji nanocząstek srebra osiąga się według tego rozwiązania przy użyciu koloidów ochronnych, których rolę pełnią wysokocząsteczkowe związki organiczne. Zastosowanie w tym rozwiązaniu koloidu ochronnego ma na celu zwiększenie trwałości już wytworzonego koloidu liofobowego nanocząstek srebra przez efekty steryczne. Ponadto nie wykazano w opisie, aby opisane rozwiązanie prowadziło do otrzymania stabilnych suspensji nanocząstek srebra charakteryzujących się dodatnim ładunkiem powierzchniowym.

Doniesienia literaturowe wskazują, że nanocząstki srebra charakteryzujące się dodatnim ładunkiem powierzchniowym – są materiałem bardziej pożądanym w zastosowaniach praktycznych, m.in. znacznie podnoszą wydajność analizy w powierzchniowo wzmocnionej spektroskopii ramanowskiej (SERS) – Sarah M. Ngola, Jingwu Zhang, Breeana L. Mitchell, Narayan Sundararajan, Strategy for improved analysis of peptides by surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) involving positively charged nanoparticles, *J. Raman Spectrosc.* 2008, 39, 611–619, a także są bardziej efektywne w zwalczaniu bakterii i wirusów bowiem na skutek przyciągających oddziaływań elektrostatycznych z ujemnie naładowanymi błonami komórkowymi mogą w łatwy sposób wchodzić w interakcje z drobnoustrojami – Alexander Kamyshny, Slomo Magdassi, „Aqueous Dispersion of Metallic Nanoparticles – Preparation, Stabilization and Application”, *Nanoscience, Colloidal and Interfacial Aspects Edited by Victor M. Starov*, CRC Press, New York, 1<sup>st</sup> edn., 2009, vol. 147, ch. 25, pp. 747–778.

Pomimo znaczenia praktycznego nanocząstek srebra o dodatnim ładunku powierzchniowym, nie są obecnie znane efektywne metody wytwarzania ich stabilnych suspensji. Jest to spowodowane faktem, że większość prostych kationów nieorganicznych, mogących potencjalnie pełnić rolę stabilizatorów takich nanocząstek, występuje w roztworach wodnych w postaci akwakompleksów niemających zdolności stabilizacji zredukowanych atomów w formie klasterów srebra. Z tego też powodu, w znanych rozwiązaniach dotyczących syntezy dodatnio naładowanych nanocząstek srebra stosuje się wysokocząsteczkowe związki organiczne jak surfaktanty (np. bromek cetylotrimetyloamoniowy CTAB), polielektrolity (poli(chlorowodorek diallilodimetyloamoniowy) (PDDA), poli(chlorowodorek alliloaminy) (PAH), polietylenoimina (PEI), spermina), poliaminokwasy (polilizyna (PLL)) czy białka (albumina ludzka (HSA)), które w głównej mierze zapewniają stabilizację steryczną.

Prostota tego typu rozwiązań, wynikająca z zastosowania stabilizacji sterycznej w syntezach dodatnio naładowanych nanocząstek srebra niesie jednak za sobą również znaczne ograniczenia. Przede wszystkim obecność wysokocząsteczkowych związków organicznych w suspensjach wodnych (hydrozolah) powoduje, że właściwości biobójcze nanocząstek są osłabiane, bądź maskowane. Obecność organicznej otoczki na powierzchni nanocząstek srebra utrudnia uwalnianie srebra jonowego, które odgrywa istotną rolę w mechanizmach aktywności przeciwdrobnoustrojowej nanocząstek. Ponadto równowagi między stężeniem stabilizatora zaadsorbowanego na powierzchni nanocząstek oraz stężeniem niezwiązanych molekuł obecnych w suspensjach, uniemożliwiają efektywne wytwarzanie monowarstw nanocząstek srebra o wysokim stężeniu powierzchniowym w procesach samoorganizacji monowarstw. Z tego też powodu tak stabilizowane suspensje nanocząstek srebra są również mało efektywne jako katalizatory.

Jak ujawniono w literaturze fachowej, w syntezach stabilnych hydrozoli nanocząstek złota charakteryzujących się dodatnim ładunkiem powierzchniowym sprawdziły się jako stabilizatory krótkołańcuchowe merkaptaminy, a w szczególności 2-aminotioetanol (cysteamina) wprowadzany do układu reakcyjnego w postaci chlorowodoru – Takuro Niidome, Kanako Nakashima, Hironobu Takahashi, Yasuro Niidome, „Preparation of primaryamine-modified gold nanoparticles and their transfection ability into cultivated cells” *Chem. Commun.* 2004, 1978–1979 oraz Yun Jv, Baoxin Li, Rui Cao, „Positively-charged gold nanoparticles as peroxidase mimic and their application in hydrogen peroxide and glucose detection” *Chem. Commun.* 2010, 46, 8017–8019.

Jednakże przeniesienie tego typu stabilizatora do układu suspensji nanocząstek srebra okazało się mało efektywne z punktu widzenia zakresu praktycznych zastosowań tak stabilizowanych nanocząstek.

W doniesieniach literaturowych pokazano, że molekuly 2-aminotioetanolu mogą stabilizować jedynie powierzchnie srebra osadzonego na tlenku tytanu – Asli Baysal, Asli Deniz Saatci, Mehmet Kahraman, Suleyman Akman, "FAAS slurry analysis of lead and copper ions preconcentrated on titanium dioxide nanoparticles coated with a silver Shell and modified with cysteamine" *Microchim Acta* 2011, 173, 495–502, bądź nanocząstki srebra unieruchomione na powierzchniach stałych – Xiaohong Jiang, Min Yang, Yanjing Meng, Wei Jiang, Jinhua Zhang, "Cyteamine-modified silver nanoparticle aggregates for quantitative SERS sensing of pentachlorophenol with a portable Raman spectrometer" *Applied Materials and Interfaces* 2013, 5, 6902–6908.

Z powyższego przeglądu stanu techniki wynika, że nie ujawniono ani w literaturze fachowej, ani patentowej metody wytwarzania za pomocą redukcji chemicznej stabilnych suspensji nanocząstek srebra o dodatnim ładunku powierzchniowym, stabilizowanych 2-aminotioetanołem (aminotioeolem, cysteamina).

Zagadnieniem technicznym postawionym przed wynalazkiem jest opracowanie wydajnej metody wytwarzania stabilnych suspensji nanocząstek srebra o dodatnim ładunku powierzchniowym, pozbawionych wysokocząsteczkowych związków polimerowych, polielektrolitów bądź surfaktantów jako stabilizatorów, a bazujących w tym zakresie na niskocząsteczkowych związkach organicznych.

Rozwiązanie tak postawionego zagadnienia wymaga znalezienia takiego związku chemicznego, który po wprowadzeniu do układu reduktor/stabilizator, zapewni redukcję jonów srebra i formowanie nanocząstek w obecności niskocząsteczkowych stabilizatorów organicznych takich jak merkaptaminy, a zwłaszcza 2-aminotioetanol, gdyż wiadomo jest, że merkaptaminy oraz ich pochodne karboksylowe nie wykazują właściwości redukujących w stosunku do jonów srebra w postaci akwakompleksów – Mohammad Mansoob Khan, Shafeer Kalathil, Jintae Lee, Moo Hwan Cho, "Synthesis of cysteine capped silver nanoparticles by electrochemically active biofilm and their antibacterial activities" *Bull. Korean Chem.* 2012, 33, 2592–2596.

Rozwiązanie tak postawionego zagadnienia wymaga jednocześnie znalezienie dla układu reduktor/stabilizator takiego reduktora, który nie wchodziłby w reakcję z jonogennymi grupami obecnymi w molekułach stabilizatora, które na skutek protonacji mają nadawać nanocząstkom dodatni ładunek powierzchniowy, a ponadto oprócz obu tych podstawowych wymogów koniecznych dla znalezienia efektywnego układu reduktor/stabilizator, dodatkowo należy rozwiązać problem zakresu stężeń poszczególnych reagentów w mieszaninie reakcyjnej oraz warunków prowadzenia procesu (w tym głównie temperatury, wartości pH oraz stężenia tlenu rozpuszczonego w suspensji, ze względu na możliwe reakcje z molekułami stabilizatora).

Okazało się nieoczekiwanie, że postawione wyżej zagadnienia techniczne spełnia układ reduktor/stabilizator, w którym do syntezy nanocząstek srebra używa się jako czynnika redukującego borowodoru sodu, w mieszaninie z jonami srebra skompleksowanymi uprzednio (tj. przed reakcją redukcji) przez cząsteczki 2-aminotioetanolu, a wprowadzonymi do wodnego środowiska reakcji w postaci azotanu(V) bądź octanu srebra.

Zgodnie z wynalazkiem, sposób wytwarzania stabilnych suspensji nanocząstek srebra o dodatnim ładunku powierzchniowym na drodze redukcji chemicznej, z użyciem nieorganicznego czynnika redukującego, kompleksów srebra jonowego utworzonych przez zmieszanie rozpuszczalnych w wodzie soli srebra jako źródła jonów srebra, a zwłaszcza azotanu(V) srebra lub octanu srebra oraz 2-aminotioetanolu, charakteryzuje się tym, że do wodnego roztworu zawierającego jony srebra w postaci azotanu(V) srebra w stężeniu molowym wynoszącym w mieszaninie reakcyjnej od 1 mM do 12,5 mM lub octanu srebra w stężeniu molowym wynoszącym w mieszaninie reakcyjnej od 0,8 mM do 9,4 mM, wprowadza się 2-aminotioetanol w postaci chlorowodoru, tak aby stosunek liczby moli jonów srebra do liczby moli chlorowodoru 2-aminotioetanolu był w mieszaninie reakcyjnej nie wyższy niż 60, całość miesza się, po czym do roztworu kompleksów jonów srebra z 2-aminotioetanołem wprowadza się roztwór borowodoru sodu w stężeniu molowym w mieszaninie reakcyjnej wynoszącym od 0,12 mM do 6,7 mM, a najlepiej od 0,5 do 2,5 mM.

Podczas procesu zachowuje się pH mieszaniny reakcyjnej w przedziale od 2 do 4.

Regulację wartości pH środowiska reakcji przeprowadzi się przy użyciu kwasu nieorganicznego, takiego jak kwas siarkowy(VI) lub organicznego takiego jak kwas octowy, bądź też przez wprowadzenie nadmiaru 2-aminotioetanolu.

Korzystnie, zakres temperatur dla prowadzenia reakcji, w anaerobowych bądź aerobowych warunkach, wynosi od 25°C do 40°C.

Wytworzone tym sposobem suspensje nanocząstek srebra po odmyciu nadmiaru reagentów, np. za pomocą metody ultrafiltracji membranowej, są stabilne w temperaturze otoczenia dla stężenia wagowego nanocząstek nie przekraczającego 230 mg/l (dla pH od 3 do 10 oraz dla umiarkowanych wartości siły jonowej), do sześciu miesięcy. Dodatkowo wykazują one właściwości biobójcze przeciw wybranym szczepom bakterii gram dodatnich oraz gram ujemnych, a także grzybom chorobotwórczym.

W odróżnieniu od dodatnio naładowanych nanocząstek srebra stabilizowanych przez wysokocząsteczkowe związki organiczne, nanocząstki wytworzone sposobem według wynalazku wykazują doskonałe właściwości adsorpcyjne na ujemnie naładowanych powierzchniach stałych, a ponadto dzięki możliwości regulowania ich ładunku powierzchniowego przez zmiany pH możliwe jest wytwarzanie monowarstw i multiwarstw nanocząstek o kontrolowanym stężeniu powierzchniowym, co ma szczególnie istotne znaczenie w zastosowaniach praktycznych.

Zasadniczą zaletą wynalazku jest to, że stanowiąca jego istotę efektywna metoda syntezy suspensji nanocząstek srebra za pomocą redukcji chemicznej, pozwala wytwarzać kuliste nanocząstki o kontrolowanych rozmiarach (w zakresie od 5 nm do 55 nm), a także o ładunku powierzchniowym, który można zmieniać zarówno stosunkiem molowym reduktor/stabilizator, jak również takimi parametrami jak pH czy siła jonowa suspensji.

Innymi zaletami przedmiotowej metody otrzymywania suspensji nanocząstek srebra jest wykorzystanie dobrze rozpuszczalnych, relatywnie tanich soli jako źródła jonów srebra, zastosowanie handlowo dostępnych niskocząsteczkowych związków organicznych i nieorganicznych, a także możliwość łatwego regulowania parametrów syntezy (temperatura, pH środowiska reakcji) w przystępny sposób.

Korzystnym też, w odniesieniu do innych, znanych metod syntezy nanocząstek srebra, takich jak m.in. metody elektrochemiczne, sonochemiczne czy biologiczne, jest to, że proces otrzymywania suspensji nanocząstek srebra metodą redukcji chemicznej, charakteryzuje się prostotą i łatwością przeprowadzania reakcji w niskich temperaturach oraz wyeliminowaniem wysoce toksycznych rozpuszczalników organicznych. Ponadto, oczyszczanie wytworzonych według wynalazku suspensji nanocząstek srebra z nadmiaru nieprzereagowanych reagentów, które mogą obniżać stabilność hydrozoli, korzystnie przeprowadza się za pomocą ultrafiltracji membranowej, z wykorzystaniem komór filtracyjnych zaopatrzonych w membrany polieterosulfonowe o kontrolowanej wielkości porów. Kontrolę postępu oczyszczania można prowadzić przy pomocy pomiaru konduktometrycznego przewodnictwa elektrycznego roztworu lub przy pomocy pomiaru absorbancji widma w zakresie UV-vis.

Podstawowymi zaletami suspensji otrzymanych zgodnie z wynalazkiem jest to, że względu na ich właściwości fizykochemiczne, a w szczególności dodatnią wartość ładunku powierzchniowego, istnieje znaczna liczba możliwości zastosowania ich do modyfikowania powierzchni stałych (głównie ujemnie naładowanych), np. włókien tekstylnych w celu nadania im właściwości biobójczych, podobnie można modyfikować powierzchnie wybranych nośników, np. węglowych lub tlenkowych w celu ich wykorzystania jako potencjalnych katalizatorów o kontrolowanych właściwościach, szczególnie pożądanym w wielu reakcjach organicznych m.in. selektywnego uwodorniania. Ponadto, te suspensje mogą zostać użyte do modyfikacji powierzchni z zastosowaniem innych technik, jak np. spin coating czy dip coating. Dodatkowo mogą one stanowić dodatek lub modyfikator substancji płynnych, jak np. farb o właściwościach biobójczych, bioszkieł czy substancji kontrastowych. Ze względu na swoje unikatowe właściwości suspensje te mogą być stosowane w powierzchniowo wzmocnionej spektroskopii ramanowskiej (SERS), gdzie zaobserwowano podobną wartość wzmocnienia sygnału markerowych pasm rodaminy R6G jak dla powszechnie syntezowanych hydrozoli z użyciem borowodorku sodu czy cytrynianu trisodu.

Wynalazek w kilku praktycznych przykładach jego realizacji, został szczegółowo objaśniony poniżej.

#### Przykład 1

Trójzcyjną kolbę okrągłodenną o pojemności 100 ml, zaopatrzoną w chłodnicę zwrotną oraz mieszadło mechaniczne łopatkowe, umieszczoną na łaźni wodnej o temperaturze 25°C, napełniono 40 ml roztworu azotanu(V) srebra o stężeniu 2,5 mM. Warunki anaerobowe zapewniono przez 30 minutowe przepuszczanie przez układ reakcyjny argonu. Następnie do roztworu azotanu(V) srebra wkroplono 0,4 ml 213 mM roztworu chlorowodorku 2-aminioetanolu (również sporządzonego w warunkach anaerobowych). Tak sporządzony roztwór o pH 3,4 mieszano ze stałą prędkością 170 obr/min. przez 10 minut. Następnie do mieszaniny reakcyjnej wprowadzono 0,5 ml 10 mM borowodorku sodu. Mieszanie ze wskazaną prędkością kontynuowano przez 40 minut. Otrzymaną suspensję poddano ultrafiltracji

membranowej z wykorzystaniem kolumny filtracyjnej zaopatrzonej w membranę polieterosulfonową (MNW 100 000). Roztwór filtrowano do osiągnięcia przewodnictwa odcieku 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### Przykład 2

Sposób wytwarzania nanocząstek według przykładu 1 zmieniono tak, że pH mieszaniny reakcyjnej obniżono do wartości 2,1 za pomocą kwasu octowego.

#### Przykład 3

Sposób wytwarzania nanocząstek według przykładu 1 zmieniono tak, że prowadzono proces w warunkach aerobowych, przy czym pH mieszaniny reakcyjnej obniżono do wartości 2,1 za pomocą kwasu siarkowego(VI).

#### Przykład 4

Sposób wytwarzania nanocząstek według przykładów 1 zmieniono tak, że jako prekursor jonów srebra zastosowano roztwór octanu srebra o stężeniu 1,42 mM w ilości 40 ml.

#### Przykład 5

Sposób wytwarzania nanocząstek srebra według przykładu 1 zmieniono tak, że temperaturę mieszaniny reakcyjnej podwyższono do 40°C.

W tabeli poniżej zestawiono wybrane właściwości fizykochemiczne nanocząstek srebra otrzymanych według przykładów nr 1 do 5 ilustrujących istotę wynalazku.

Lp Przykład	Kształt nanocząstek	Wielkość średnia [nm]	Współczynnik polidispersji	Wartość potencjału zeta [mV] dla pH 5,5, I=0,1 mM	Położenie maksimum pasma absorpcyjnego $\lambda$ [nm]
1	kuliste	10 $\pm$ 4	0,245	65 $\pm$ 3	393
2	kuliste	13 $\pm$ 5	0,345	60 $\pm$ 2	395
3	kuliste	28 $\pm$ 2	0,345	59 $\pm$ 3	405
4	kuliste	25 $\pm$ 3	0,245	63 $\pm$ 3	400
5	kuliste	4 $\pm$ 4	0,567	59 $\pm$ 5	385

### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania stabilnych suspensji nanocząstek srebra o dodatnim ładunku powierzchniowym na drodze redukcji chemicznej, z użyciem nieorganicznego czynnika redukującego, kompleksów srebra jonowego utworzonych przez zmieszanie rozpuszczalnych w wodzie soli srebra jako źródła jonów srebra, a zwłaszcza azotanu(V) srebra lub octanu srebra oraz 2-aminotioetanolu, **znamienny tym**, że zachowując podczas procesu pH mieszaniny reakcyjnej w przedziale od 2 do 4 oraz jej temperaturę w zakresie od 25°C do 40°C, do wodnego roztworu zawierającego jony srebra w postaci azotanu(V) srebra w stężeniu molowym wynoszącym w mieszaninie reakcyjnej od 1 mM do 12,5 mM lub octanu srebra w stężeniu molowym wynoszącym w mieszaninie reakcyjnej od 0,8 mM do 9,4 mM, wprowadza się 2-aminotioetanol w postaci chlorowodoru, tak aby stosunek liczby moli jonów srebra do liczby moli chlorowodoru 2-aminotioetanolu był w mieszaninie reakcyjnej nie wyższy niż 60, całość miesza się, po czym do roztworu kompleksów jonów srebra z 2-aminotioetanołem wprowadza się roztwór borowodoru sodu w stężeniu molowym w mieszaninie reakcyjnej wynoszącym od 0,12 mM do 6,7 mM, a najlepiej od 0,5 do 2,5 mM.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pH środowiska reakcji reguluje się za pomocą 2-aminotioetanolu.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pH środowiska reakcji reguluje się za pomocą kwasu siarkowego(VI).
4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pH środowiska reakcji reguluje się za pomocą kwasu octowego.