
PRACE

**Instytutu Szkła, Ceramiki
Materiałów Ogniotrwałych
i Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Glass, Ceramics
Refractory and Construction Materials

Nr 3

ISSN 1899-3230

Rok II

Warszawa–Opole 2009

LIDIA CIOŁEK*
JOANNA KARAS**
ANDRZEJ OLSZYNA***

Badania właściwości fizykochemicznych bioszkieł domieszkowanych srebrem wytworzonych metodą zol-żel****

W artykule przedstawiono wyniki badań fizykochemicznych otrzymanych w układzie $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ bioszkieł dotowanych srebrem. Omówiono także zastosowaną metodę zol-żel otrzymywania tych bioszkieł wraz z przedstawieniem korzystnych warunków syntezy. Przeprowadzone badania morfologii otrzymanych proszków pod mikroskopem skaningowym wyposażonym w mikroanalizator EDS wykazały, że proszki te zawierają sferyczne ziarna o średnicy od 100 nm do 600 nm lub tworzą aglomeraty drobnych, nieregularnych ziaren. Ponadto określono jakościowy skład chemiczny metodą spektrofotometryczną, wykonano rentgenograficzną analizę fazową oraz laserowo określono rozkład ziarnowy proszków. Wyniki badań rentgenograficznych wykazały, że uzyskane proszki są amorficzne, a w ich jakościowym składzie chemicznym występują pierwiastki wprowadzone do mieszaniny reakcyjnej.

1. Wprowadzenie

Właściwości przeciwbakteryjne srebra doceniano już w starożytności, a w dzisiejszych czasach zostały one wszechstronnie udokumentowane. W literaturze można znaleźć wiele wyników badań dowodzących, że srebro niszczy ponad 650 rodzajów bakterii, grzybów i pleśni [1, 2, 3]. Jego jony są bowiem efektywną bronią w walce z takimi szczepami bakterii, jak: pałeczki duru brzuszego, gronkowca złocistego, gonokoki, czyli dwoinki Neissera, dwoinki zapalenia płuc czy paciorkowce. Równocześnie w przeciwieństwie do antybiotyków srebro nie niszczy dobroczynnej flory bakteryjnej. Mechanizm leczniczego działania jonów srebra polega na tym, że oddziałują one na błonę komórkową

* Mgr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie.

** Mgr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie.

*** Prof. dr hab. inż., Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej.

**** Praca naukowa finansowana ze środków na naukę Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego jako projekt badawczy rozwojowy Nr R08 010 02.

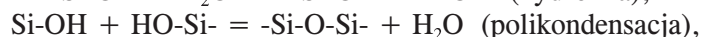
mikrobów i blokują enzymy, które są pomocne w rozmnażaniu drobnoustrojów. Interferują z transferem elektronów bakterii i uszkadzają replikację komórek przez wiązanie z bakteryjnym DNA. Natomiast beztlenowe bakterie i wirusy są niszczone przez utlenianie [1, 4]. Organizmy chorobotwórcze nie są zdolne do uodpornienia się na jony srebra, dzięki czemu może ono wykazywać niezmienną skuteczność przez wiele lat. Nawet jeśli dokładny mechanizm niszczenia bakterii przez srebro nie jest właściwie udokumentowany, to badania empiryczne udowodniły w sposób wystarczający przydatność stosowania tej metody do niszczenia drobnoustrojów. Srebro stymuluje procesy gojenia się skóry i innych tkanek miękkich i wykazuje skuteczność w leczeniu najbardziej uciążliwych ich stanów zapalnych, a nawet pobudza kościotworzenie tkanek twardych [4, 5, 6].

W stomatologii problemem są choroby przyzębia, prowadzące w okresie późniejszym do tworzenia kieszonek, recesji dziąsła i utraty kości. Podstawowym czynnikiem etiologicznym większości tych chorób są bakterie pochodzące z płytki nazębnej. W zależności od zaawansowania choroby postępuje się w różnoraki sposób. W periodontologii zasadniczym celem terapeutycznym jest opanowanie infekcji bakteryjnej przez dążenie do obniżenia poziomu mikroorganizmów za pomocą mechanicznego zmniejszenia mikroflory nazębnej, zwłaszcza zaś poddziąsłowej. W agresywnej postaci choroby przyzębia stosuje się postępowanie dodatkowe stosując antybiotykoterapię ogólną lub miejscową. Natomiast w najbardziej zaawansowanej chorobie przyzębia, oprócz zlikwidowania przyczyny bakteryjnej, zachodzi konieczność regeneracji tkanek kostnych wokół zęba, głównie przy zastosowaniu metod chirurgicznych. Gdyż, jak już wspomniano, w wyniku długotrwałego procesu zapalnego przyzębia powstają ubytki kostne.

W obecnej chwili do regeneracji wypełnień ubytków kostnych w chirurgii szczękowo-twarzowej stosuje się m.in. granule Biogran, otrzymywane z bioaktywnego szkła opracowanego przez Hencha. To bioszkło wywołuje proliferację kości, a proces ten określany jest jako osteogenny. Jednakże to bioszkło nie oddziałuje antibakteryjnie.

Z tych względów celowe było więc opracowanie metody wytwarzania szkieł do zastosowań medycznych, posiadających właściwości bakteriobójcze. Poszukując nowych biomateriałów, zwrócono uwagę na technologię zol-żel, która w ciągu ostatnich dwudziestu lat dynamicznie się rozwinęła. Dzięki niej uzyskuje się nowe materiały, wykorzystujące jako podstawowy składnik krzem w temperaturach zbliżonych do pokojowej [7, 8]. W metodzie zol-żel silany z wiązaniem Si-R ulegają hydrolizie, tworząc wiązania Si-OH, a następnie kondensacji. Zatem podstawowymi reakcjami w syntezie zol-żel jest hydroliza alkoholanów i/lub estrów oraz polikondensacja. W przypadku zastosowania jako materiału

wyściowego ortokrzemianu tetraetylu (TEOS) o wzorze $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, będącego głównym substratem w syntezie szkielek krzemianowych, przebieg procesów chemicznych można opisać schematycznymi równaniami:



w których R jest grupą organiczną.

Reakcja polikondensacji polega na łączeniu cząsteczek związków chemicznych zawierających reaktywne grupy funkcyjne w większą cząsteczkę, przy czym wydzielają się małowczątkowe produkty uboczne, jak np. woda. Zależnie od natury grupy organicznej R silanu, jak również temperatury i pH środowiska reakcji, rodzaju zastosowanego rozpuszczalnika, ilości wprowadzanej podczas syntezy wody, ilości i typu katalizatora, metody prowadzenia alkoholizacji i wielu innych czynników otrzymuje się mezoporowate sieci, przejrzyste nanofilmy lub proszki.

Do wytworzenia nanoproszków o właściwościach przeciwbakteryjnych wybrano zatem metodę syntezy zol-żel z uwagi na fakt, że materiały pochodzenia żelowego wykazują większą rozpuszczalność w wodzie niż odpowiednie szkła uzyskane metodą wysokotemperaturową. Dzięki zastosowaniu tej metody otrzymane nanoproszki powinny spełniać wymagania stawiane nowej generacji materiałów implantacyjnych w zakresie zachodzących procesów na ich powierzchni, prowadzących do wytworzenia hydroksyapatytu węglanowego. Jony Ag^+ powinny uwalniać się w długim czasie, a ich stężenie winno znajdować się na poziomie zapewniającym przeciwbakteryjną aktywność [9, 10]. Ponadto założono, że na szybkość procesu uwalniania jonów Ag^+ z bioszkieł mogą oddziaływać takie czynniki, jak skład chemiczny i morfologia ziaren, ta ostatnia wpływająca na ich powierzchnię właściwą.

Do syntezy przeciwbakteryjnych bioszkieł metodą zol-żel zastosowano podstawowe składniki w postaci organicznych związków odpowiednich pierwiastków, zaś niektóre w postaci rozpuszczalnych w wodzie soli nieorganicznych. Prekursor krzemionki stanowił ortokrzemian tetraetylu (TEOS). Syntezę tych bioszkieł przeprowadzono przy różnym udziale wody redestylowanej i wody amoniakalnej 25%, a także zmieniając sposób dozowania wody amoniakalnej. Wytrącone osady oddzielano od fazy ciekłej przy użyciu wirówki szybkoobrotowej, przemywano alkoholem, suszono i wygrzewano. Uzyskane białe proszki pochodzenia żelowego badano następnie metodami fizykochemicznymi.

2. Cel i zakres badań

Celem przedstawionych badań było otrzymanie metodą zol-żel bioszkieł w postaci nanoproszków, zawierających w składzie chemicznym srebro oraz zbada-

nie ich właściwości fizykochemicznych. Przeprowadzone badania obejmowały obserwację rozmiaru i morfologii ziaren nanoproszków z zastosowaniem mikroskopii skaningowej, półilościową mikroanalizę powierzchni, a także oznaczenie składu pierwiastkowego badanych bioszkieł z wykorzystaniem mikroanalityzatora EDS oraz rentgenograficzne potwierdzenie amorficzności.

3. Warunki syntezy bioszkieł

Opracowano osiem składów bioszkieł glinokrzemianowych zawierających różne udziały substratu wprowadzającego srebro. W składach chemicznych przedstawionych w tabeli 1 podano zawartości składników w mieszaninie reakcyjnej, przeliczonych na tlenki, wprowadzanych przez poszczególne prekursorsy.

Tabela 1

Składy tlenkowe bioszkieł

Symbol szkła	Skład tlenkowy [w % masowych]		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ag ₂ O
Z-01	99,2	0,8	–
Z-2	98,2	0,8	1,0
Z-3	97,2	0,8	2,0
Z-4	96,2	0,8	3,0
Z-5	95,7	0,8	3,5
Z-6	95,0	3,0	2,0
Z-7	92,0	5,0	3,0
Z-8	89,0	7,5	3,5

Jak wynika z tabeli 1 obliczony udział SiO₂ w bioszkiełach mieścił się w przedziale 89,0–98,2%, tlenku glinu 0,8–7,5%, zaś tlenku srebra 1,0–3,5%. Materiał odniesienia stanowiło bioszkieło o składzie 99,2% SiO₂ i 0,8% Al₂O₃, oznaczone symbolem Z-01.

Do syntezy bioszkieł metodą zol-żel stosowano ortokrzemian tetraetylu (TEOS) jako prekursor krzemionki oraz izopropyle glinu, azotan srebra, a także bezwodny alkohol etylowy i 25% wodę amoniakalną. Syntezy prowadzono w różnych temperaturach, mieszczących się w przedziale od 20°C do 26°C, w szczelnych butlach polipropylenowych, stosując ciągle mieszanie.

Na początku syntezy sporządzono roztwór wyjściowy złożony z TEOS-u i alkoholu etylowego, po czym bardzo powoli dodawano wodę redestylowaną. Podczas tej operacji zachodziła częściowa hydroliza TEOS-u. Następnie dodawano izopropylan glinu, zapewniając cały czas intensywne mieszanie, aby stworzyć warunki do przebiegu reakcji polikondensacji z wytworzeniem wiązań Si-O-Al. Do tak przygotowanych roztworów dodawano w odpowiednich ilościach rozpu-

szczony w wodzie azotan srebra i wodę amoniakalną, ciągle intensywnie mieszając.

Ponieważ azotan srebra w pewnych warunkach może tworzyć czarny osad Ag_2O dobrze rozpuszczający się w nadmiarze amoniaku, co może prowadzić do powstania wodorotlenku diaminosrebra $[\text{Ag}(\text{NO}_3)_2]\text{OH}$, z którego po pewnym czasie mogłyby wydzielić się czarny osad Ag_3N wytrącone osady dokładnie przemywano. Chociaż w trakcie prowadzonych syntez nie można wykluczyć zajścia reakcji:



obserwacje wizualne raczej nie wskazywały na jej przebieg, bowiem w żadnej próbie nie stwierdzono czarnego osadu.

Optymalne warunki syntezy bioszkieł tworzących nanoproszki podano w tabeli 2.

Tabela 2

Optymalne warunki syntezy bioszkieł metodą zol-żel w postaci nanoproszków

Rodzaje substratów	składniki podstawowe	ortokrzemian tetraetylu izopropylan glinu azotan srebra
	rozpuszczalnik	alkohol etylowy bezwodny 99,8%
	katalizator reakcji	woda amoniakalna 25%
Parametry syntezy	stosunek objętościowy wody redestylowanej / wody amoniakalnej / ortokrzemianu tetraetylu	1 : 8,5 : 1,375
	czas hydrolizy czas polikondensacji temperatura procesu	min. 3 h min. 20 h (23–25)°C
	szybkość dodawania wody amoniakalnej	niezbędna do utrzymania pH środowiska reakcji w zakresie ok. 11,5–12,5
Parametry wirowania	prędkość obrotowa czas	ok. 4000 obrotów/min ok. 15 min
Parametry obróbki termicznej	temperatura i czas suszenia temperatura i czas wygrzewania	60°C/20 h 1000°C/2 h

Wytrącone osady oddzielano od fazy ciekłej za pomocą wirówki szybkoobrotowej Multifuge 1L-R, przemywano alkoholem i suszono w temperaturze 60°C przez 20 h. W ostatnim etapie otrzymane białe proszki wygrzewano w elektrycznym piecu komorowym przez 2 h w 1000°C. Po wygrzaniu dokonywano obserwacji mikroskopowej morfologii powstałych proszków.

4. Zastosowane metody badawcze

Do badań mikrostruktury oraz obserwacji rozmiaru i morfologii ziaren nanoproszków zastosowano metodę mikroskopii skaningowej. Badania wykonywano w wysokiej próżni, za pomocą wysokorozdzielczego skaningowego mikroskopu elektronowego firmy FEI model Nova NanoSEM 200, wyposażonego w mikroanalizator rentgenowski (EDS) GENESIS XM4. Wykorzystując EDS wykonano mikroanalizę ilościową powierzchni i sprawdzono skład pierwiastkowy badanych bioszkieł. Analizą objęto cały obszar skanowania.

Do sprawdzenia amorficzności bioszkieł wykorzystano metodę dyfrakcji rentgenowskiej, stosując aparat D5000 produkcji Siemens, z interpretacją komputerową wyników.

Do jakościowej analizy składu chemicznego zastosowano spektrofotometr fluorescencyjno-rentgenowski Mini Pal firmy Philips i spektrofotometr absorpcji atomowej Spekt AA-200 firmy Varian.

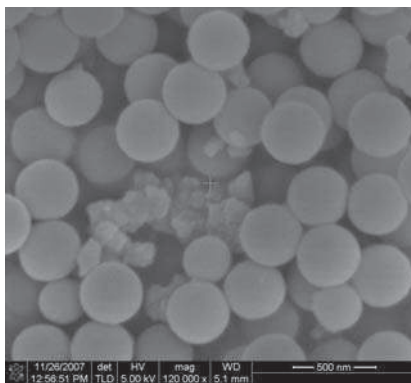
Skład ziarnowy proszków pochodzenia żelowego badano przy zastosowaniu laserowego analizatora uziarnienia. Natomiast analiza wyników była opracowywana za pomocą programu Mastersizer 2000.

5. Omówienie wyników badań

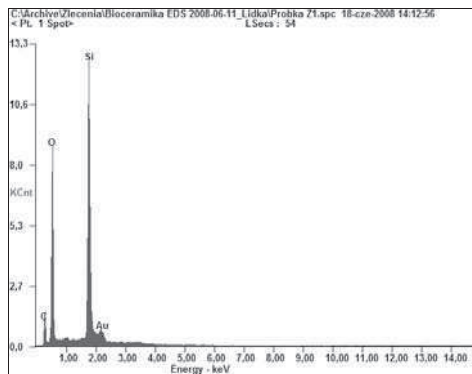
Morfologię ziaren otrzymywanych metodą zol-żel nanoproszki badano pod mikroskopem skaningowym. Próbkę do badań w formie proszków przyklejano na specjalnym uchwycie klejem przewodzącym, napyłano w napyłarce próżniowej przewodzącą warstwą stopu złoto-platyna, a następnie umieszczano w komorze mikroskopu. Stosowano detektor elektronów wtórnych SE Everhardta-Thornleya oraz wewnątrzsoczewkowy detektor elektronów wtórnych SE.

Na podstawie otrzymanych obrazów mikroskopowych, przedstawionych na rycinach 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 i 15 oceniono morfologię uzyskanych materiałów. Stwierdzono, że uzyskane bioszkieła oznaczone symbolami Z-01, Z-2, Z-3, Z-4 i Z-5 zawierają sferyczne ziarna o średnicach mieszczących się w zakresie od 200 nm do 600 nm. Te bioszkieła otrzymano w wyniku syntez prowadzonych w temperaturach z zakresu 23–26°C, w których stosunek objętościowy TEOS-u do 25% wody amoniakalnej i do wody redestylowanej wynosił (1,375 : 8,5 : 1,0). Natomiast bioszkieła o symbolach Z-6, Z-7 i Z-8 składają się z drobnych aglomeratów, nieregularnych cząstek, chociaż synteza tych bioszkieł przebiegała przy takim samym udziale uprzednio wymienionych substratów i w takich samych warunkach temperaturowych.

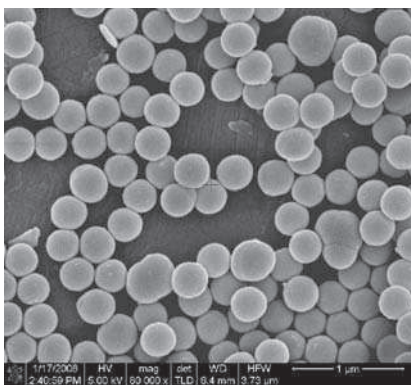
Wyniki badań morfologii uzyskanych nanoproszków pozwoliły precyzyjnie ustalić optymalne warunki syntezy, w tym także wpływ składu chemicznego na kształt otrzymywanych ziaren. W wyniku syntezy bioszkieł zawierających od



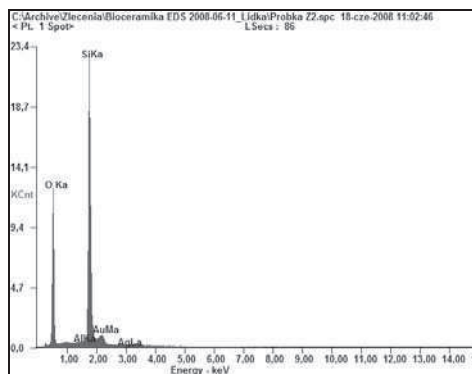
Ryc. 1. Obraz SEM bioszkle Z-01



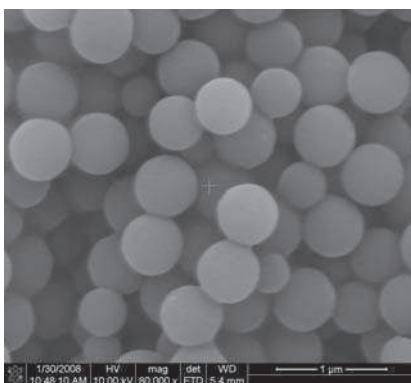
Ryc. 2. Wynik analizy EDS bioszkle Z-01



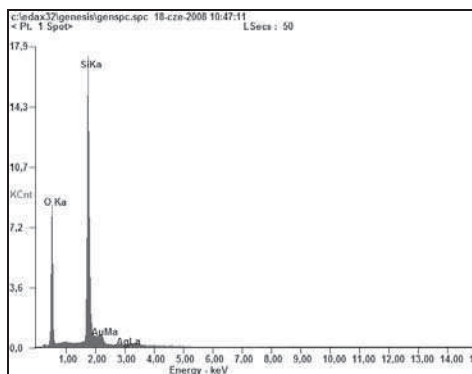
Ryc. 3. Obraz SEM bioszkle Z-2



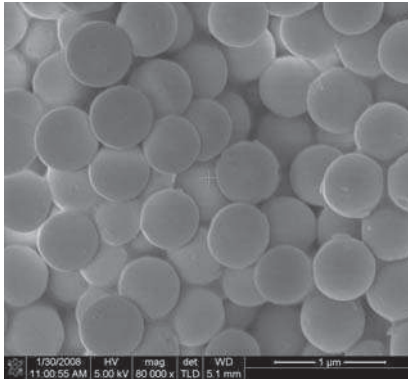
Ryc. 4. Wynik analizy EDS bioszkle Z-2



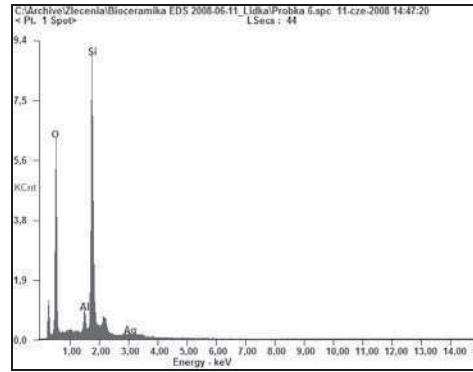
Ryc. 5. Obraz SEM bioszkle Z-3



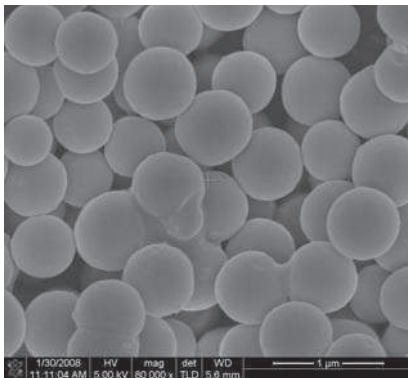
Ryc. 6. Wynik analizy EDS bioszkle Z-3



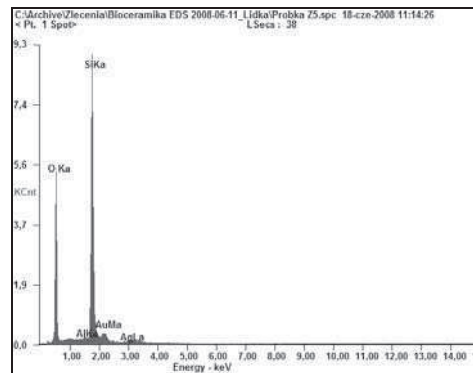
Ryc. 7. Obraz SEM bioszklą Z-4



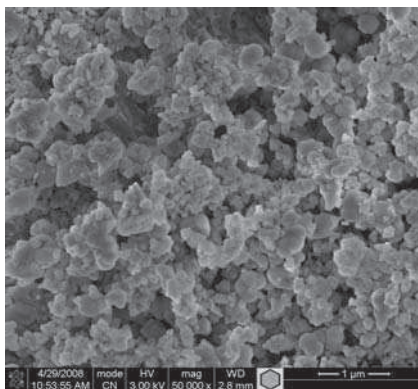
Ryc. 8. Wynik analizy EDS bioszklą Z-4



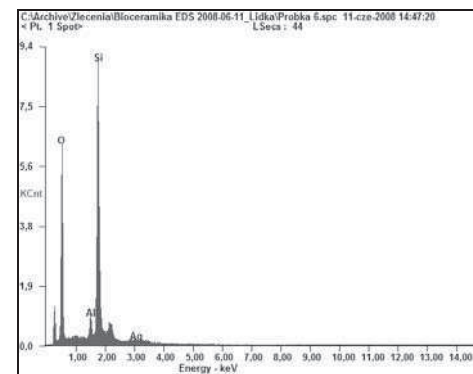
Ryc. 9. Obraz SEM bioszklą Z-5



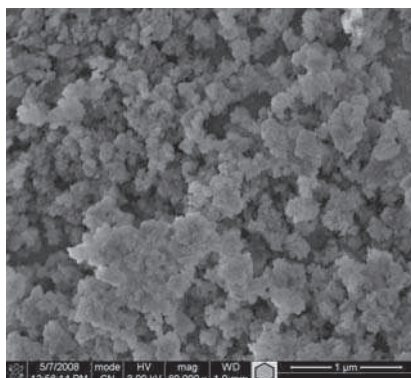
Ryc. 10. Wynik analizy EDS bioszklą Z-5



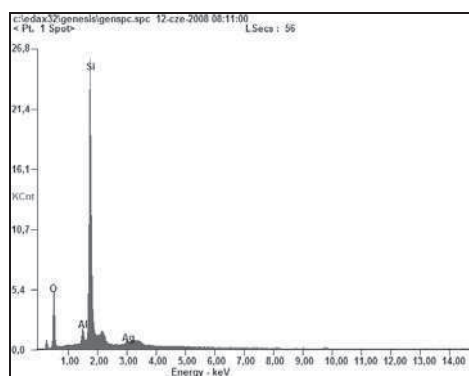
Ryc. 11. Obraz SEM bioszklą Z-6



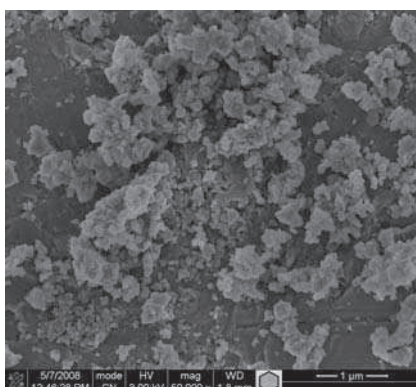
Ryc. 12. Wynik analizy EDS bioszklą Z-6



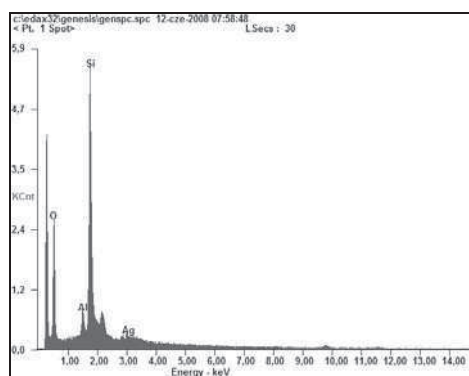
Ryc. 13. Obraz SEM bioszkle Z-7



Ryc. 14. Wynik analizy EDS bioszkle Z-7



Ryc. 15. Obraz SEM bioszkle Z-8

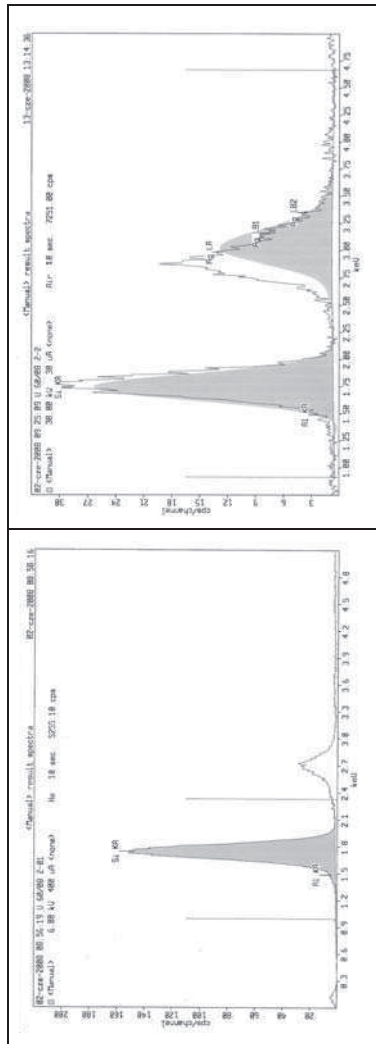


Ryc. 16. Wynik analizy EDS bioszkle Z-8

0,0% do 0,8% Al_2O_3 powstawały sferyczne ziarna, podczas gdy bioszkle, które w składzie chemicznym zawierały od 3,0 do 7,5% Al_2O_3 uzyskano w formie ziaren o nieregularnym kształcie.

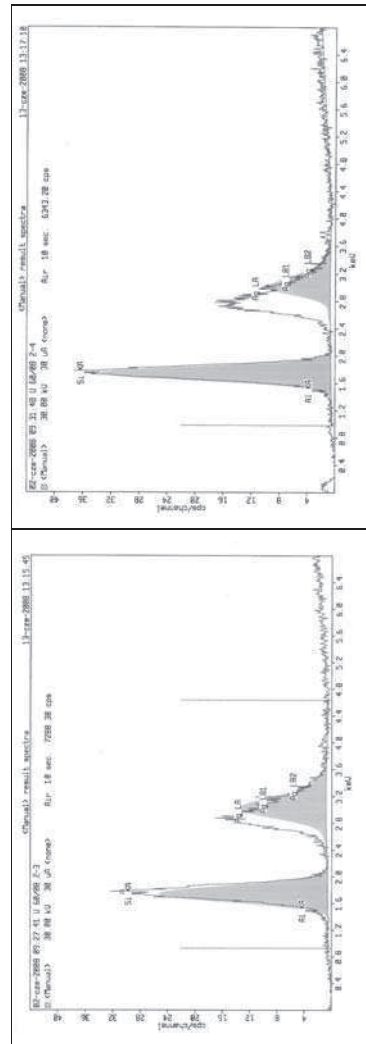
Na podstawie wyników badań rentgenowskich w żadnym z bioszkieł nie zidentyfikowano występowania faz krystalicznych, chociaż zachodziła możliwość powstawania $\text{Ag}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ lub $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ lub $\text{Ag}_{10}\text{Si}_4\text{O}_{13}$.

Otrzymane dyfraktogramy wskazywały na amorficzność wszystkich wytworzonych bioszkieł, a jakościowa analiza składu pierwiastkowego wykonana metodą EDS, jak i fluorescencji rentgenowskiej wykazała obecność srebra w bioszkiełach o symbolach od Z-2 do Z-8. Na rycinie 2 przedstawiono analizę EDS bioszkle odniesienia o symbolu Z-01 uzyskanego bez udziału substratu zawierającego srebro, a na rycinach 4, 6, 8, 10, 12, 14 i 16 analizy bioszkieł zawierających srebro. Natomiast ryciny 17–24 przedstawiają analizy rentgenofluorescencyjne wszystkich wytworzonych bioszkieł.



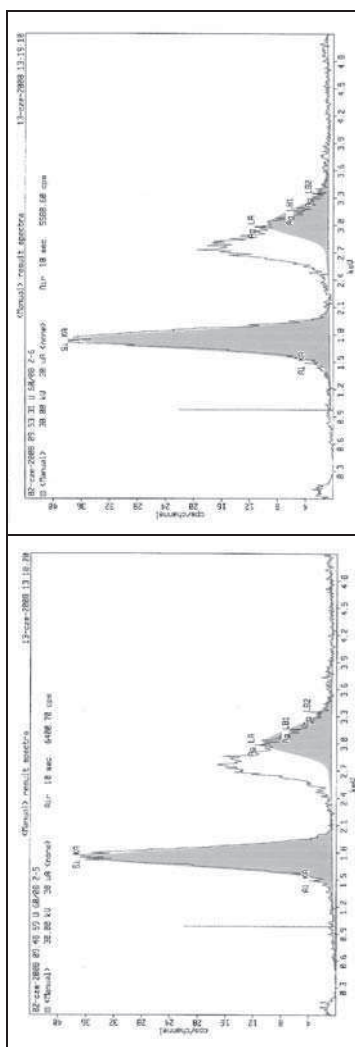
Ryc. 17. Analiza rentgenofluorescencyjna bioszklę Z-01

Ryc. 18. Analiza rentgenofluorescencyjna bioszklę Z-2



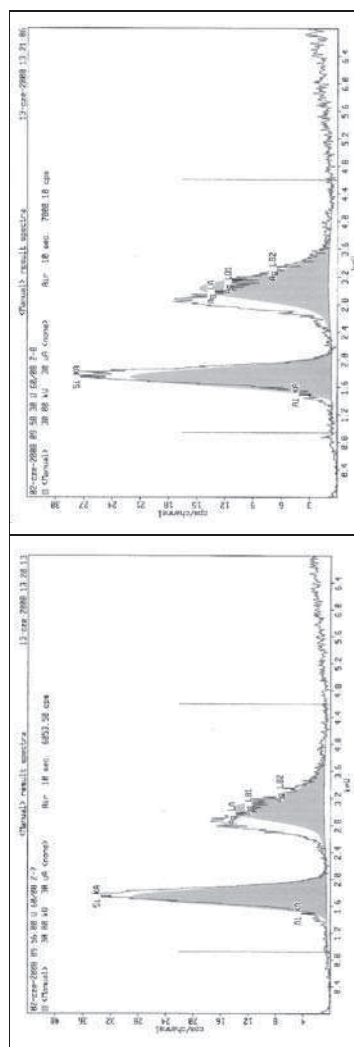
Ryc. 19. Analiza rentgenofluorescencyjna bioszklę Z-3

Ryc. 20. Analiza rentgenofluorescencyjna bioszklę Z-4



Ryc. 21. Analiza rentgenofluorescencyjna bioszklę Z-5

Ryc. 22. Analiza rentgenofluorescencyjna bioszklę Z-6



Ryc. 23. Analiza rentgenofluorescencyjna bioszklę Z-7

Ryc. 24. Analiza rentgenofluorescencyjna bioszklę Z-8

Badania rozkładu ziarnowego prowadzono w wodzie z dodatkiem pirofosforanu sodu. Aby uzyskać optymalną dyspersję proszku, zastosowano mieszadło obrotowe i przeprowadzono rozbijanie aglomeratów przy pomocy sondy ultradźwiękowej.

W uzyskanych rozkładach ziarnowych otrzymano jednak stosunkowo wysokie wartości parametrów $d(v, 0,1)$, $d(v, 0,5)$ i $d(v, 0,9)$ określających wartość wymiaru cząstki, poniżej której występuje odpowiednio 10%, 50% i 90% objętości populacji badanej próbki, zatem takie wyniki świadczą o występowaniu w badanych próbkach aglomeratów, które powstały podczas procesu wygrzewania.

6. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań opracowano chemiczną metodą syntezy zol-żel bioszkła z układu $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ dotowane srebrem, przy czym występowały one w formie białych proszków. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- skład chemiczny substratów oraz warunki prowadzenia syntezy mają istotny wpływ na morfologię bioszkieł otrzymanych metodą zol-żel w postaci nanoproszków;
- wytworzone bioszkła składają się ze sferycznych ziaren o różnych średnicach mieszczących się w zakresie od 200 nm do 600 nm lub tworzą aglomeraty drobnych, nieregularnych ziaren;
- jakościowe analizy rentgenofluorescencyjne potwierdziły obecność srebra w składzie pierwiastkowym nanoproszków powstałych w wyniku syntez z udziałem substratu zawierającego srebro.

Badania wytworzonych bioszkieł w postaci nanoproszków będą kontynuowane w celu określenia kinetyki uwalniania jonów Ag^+ . Zostaną także wykonane badania dotyczące ich działania bakteriobójczego na wybrane szczepy bakterii. Przewiduje się również przeprowadzenie badań cytotoksyczności bioszkieł o optymalnej kinetyce uwalniania jonów Ag^+ .

Wytworzone nanoproszki pochodzenia żelowego z udziałem srebra powinny znaleźć zastosowanie w leczeniu chorób przyzębia w periodontologii i regeneracji kości w chirurgii szczękowej. Otrzymywane zgodnie z opracowanymi założeniami technologii biomateriały w postaci nanoproszków powinny być szczególnie użytecznymi i konkurencyjnymi wyrobami medycznymi w stosunku do stosowanych obecnie bioszkieł z uwagi na działanie przeciwbakteryjne.

Literatura

- [1] [http://www.dermapol.pl/o_srebrze.html] (25.06.2008).

- [2] Di Nunzio S. et al., *Antibacterial behaviour of a silver-doped glass for bone surgery*, „European Cells and Materials” 2005, Vol. 10, No. 1, s. 22.
- [3] Kim T.N. et al., *Antimicrobial effects of metal ions (Ag^+ , Zn^{2+} i Cu^{2+})*, „Journal of Materials Science: Materials in Medicine” 1998, Vol. 9, No. 3, s. 129–134.
- [4] Blaker J.J. et al., *Development and characterisation of silver-doped bioactive glass-coated surfaces for tissue engineering and wound healing applications*, „Biomaterials” 2004, Vol. 25, No. 7/8, s. 1319–1329.
- [5] Salvini H., *Ionic silver – the powerful defense against viruses and other microbes*, „Health Freedom News” 2006, Vol. 24, No. 3, s. 1–7.
- [6] Clupper D.C. et al., *Bioactive response of Ag-doped tape cast Bioglass® 45S5 following heat treatment*, „Journal of Materials Science: Materials in Medicine” 2001, Vol. 12, No. 10/12, s. 917–921.
- [7] Kawashita M. et al., *Antibacterial silver-containing silica glass prepared by sol-gel method*, „Biomaterials” 2000, Vol. 21, No. 4, s. 393–398.
- [8] Caturro M. et al., *Antibacterial and bioactive silver-containing $Na_2O \cdot CaO \cdot 2SiO_2$ glass prepared by sol-gel method*, „Journal of Materials Science: Materials in Medicine” 2004, Vol. 15, No. 7, s. 831–837.
- [9] Jones J.R. et al., *Controlling ion release from bioactive glass foam scaffolds with antibacterial properties*, „Journal of Materials Science: Materials in Medicine” 2006, Vol. 17, No. 11, s. 989–996.
- [10] Verne E. et al., *Surface characterization of silver-doped bioactive glass*, „Biomaterials”, 2005, Vol. 26, No. 25, s. 5111–5119.

LIDIA CIOLEK
JOANNA KARAS
ANDRZEJ OLSZYNA

THE STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES
OF SILVER-DOPPED BIOACTIVE GLASSES PREPARED
BY A SOL-GEL METHOD

In this article physicochemical properties of aluminosilicate silver containing bioglasses were described. The sol-gel method applied and optimal parameters of the syntheses were also presented. The morphology of the nanopowder samples were determined using a high-resolution scanning electron microscope with the EDS system. It was determined that some of prepared bioglass samples were made up of spherical grains with diameters falling within the range of 100 nm to 600 nm and others contained small-size agglomerates and irregularly shaped particles. Qualitative chemical analysis based on EDS and XRF methods, phase analysis (XRD method) and grain size measurement (laser method) were also performed. The XRD test show amorphous character of bioglass samples and the XRF chemical composition of glass powders comply with the oxide composition elaborated for glass synthesis.