

Mikroskopia cryo-SEM jako skuteczna metoda obiektywnej oceny struktury silikonowo-hydrożelowych soczewek kontaktowych



Foto: archiwum Autorki

Mgr MAGDALENA ZAWORSKA
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Optometrystka (N017208)

Streszczenie

Metoda cryo-SEM jest obiecującą metodą w materiałowych badaniach soczewek kontaktowych. Mimo aplikacyjnej atrakcyjności tej techniki pomiarowej, dotychczas przeprowadzono tylko nieliczne badania wykorzystujące tę metodę do badania soczewek kontaktowych. Ponadto wyniki zawarte w tych publikacjach wydają się bardzo powierzchowne. Do tej pory nie istnieje sprawdzona metodologia przygotowania soczewki kontaktowej do pomiaru cryo-SEM. Celem poniższej pracy było przetestowanie różnych parametrów przygotowania próbki i samego obrazowania, szczególnie w kontekście jakości otrzymywanych obrazów. Docelowo ma to prowadzić do opracowania procedury przygotowania soczewek kontaktowych do pomiarów cryo-SEM, co pozwoli na efektywne ich obrazowanie. Metoda cryo-SEM może być komplementarną metodą wykorzystaną w badaniach soczewek kontaktowych, mających na celu zrozumienie zmian zachodzących podczas ich użytkowania.

Wstęp

Soczewki kontaktowe są pomocą wzrokową wykorzystywaną przez ponad 100 mln użytkowników na całym świecie [1]. Pomimo licznych badań, także materiałowych, wiedza na temat ich mikrostruktury oraz zmian zachodzących w strukturze pod wpływem ich użytkowania wciąż jest niewielka [2]. Ponadto, mimo rosnącej popularności soczewek kontaktowych jako metody korekcji, ciągle rejestruje się wysoki odsetek osób rezygnujących z ich użytkowania. Oznacza to, że materiały, z których wytwarzane są soczewki kontaktowe, wymagają znacznie szerszej charakterystyki, szczególnie w kontekście eliminacji możliwych źródeł dyskomfortu bądź skutków ubocznych związanych z oddziaływaniem soczewek kontaktowych na powierzchnię oka [1]. Ciągłe więc trwają poszukiwania najbardziej efektywnych metod pomiarowych, pozwalających badać pod tym względem właściwości i parametry soczewek kontaktowych.

Abstract

Cryo-SEM is a propitious method in contact lens material research. Even though this measurement technique appears to be attractive, few studies using this method for testing contact lenses were conducted. Previous research using this method seem to be cursory. There is no proven methodology for preparing contact lens to cryo-SEM examination. The main purpose of this thesis was to test the influence of different parameters of sample preparation and visualisation on quality of obtained photographs. The eventual goal is to develop a methodology of preparing contact lenses for cryo-SEM examinations, thereby enabling their effective visualisation. Cryo-SEM can be a complementary method in contact lens research that aims to understand changes occurring in the lenses during usage.

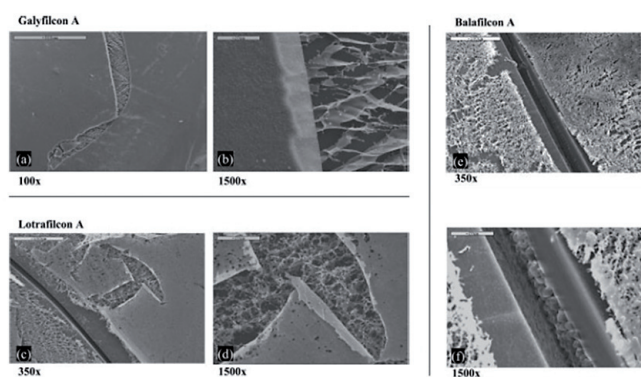
Szczególnie brakuje dobrego narzędzia pomiarowego pozwalającego na efektywne obrazowanie struktury powierzchni i struktury wewnętrznej soczewek kontaktowych oraz umożliwiającego pełniejszą charakterystykę materiałów, z których wykonywane są soczewki kontaktowe [3].

Elektronowy mikroskop skaningowy jest ważnym przyrządem w badaniach topografii powierzchni, szeroko stosowanym nie tylko w badaniach materiałowych, ale także w badaniach medycznych i biologicznych. Uważa się, że jest jednym z najbardziej wszechstronnych instrumentów do charakterystyki mikrostruktury ciał stałych [4]. Mimo aplikacyjnej atrakcyjności przyrządu, przede wszystkim ze względu na możliwość uzyskania dużych powiększeń i rozdzielczości rzędu nanometrów, standardowy pomiar skaningowym mikroskopem elektronowym wiąże się z licznymi ograniczeniami [5]. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć m.in. narażenie próbki na kurczenie się oraz

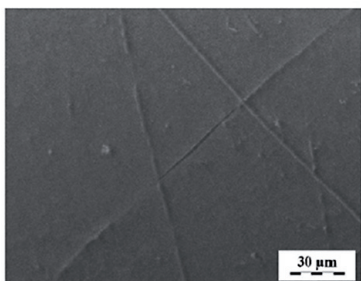
powstawanie zniekształceń związanych z intensywnym wysychaniem materiału, będącym skutkiem stałego utrzymywania próżni w komorze mikroskopu. Z tych powodów, pomimo wielu oczywistych zalet i możliwości, mikroskopia SEM nie pozwala na badanie materiałów wysoko uwodnionych (a takimi są soczewki kontaktowe) bez wykonania dodatkowych, często bardzo skomplikowanych, procedur przygotowania próbek do pomiaru. Obiecującym rozwiązaniem wydaje się być metoda cryo-SEM, w której pomiar mikroskopowy odbywa się w temperaturach kriogenicznych. Próbka zostaje zamrożona w sposób gwałtowny, dzięki czemu cząsteczki wody zawarte w niej pozostają w stanie amorficznym. Pozwala to na zachowanie najbardziej naturalnych właściwości próbki (jest najmniej zdeformowana przez proces pomiaru i procedurę przygotowania). Przyjęto założenie, że metoda cryo-SEM ze względu na charakterystykę i właściwości będzie odpowiednia również do badania soczewek kontaktowych silikonowo-hydrożelowych.

Metoda cryo-SEM nie jest rozpowszechnioną metodą w badaniach soczewek kontaktowych. Przegląd dotychczasowej literatury dotyczącej tego zagadnienia wskazuje, że tylko dwie grupy badaczy wykorzystały tę metodę do badań materiałów soczewek kontaktowych. Niestety, w żadnej z tych prac autorzy nie opisali dokładnych procedur oraz istotnych parametrów procesu przygotowania próbki, a jest to kluczowe dla powodzenia pomiaru.

Pionierskie badania wykorzystujące metodę cryo-SEM do zobrazowania struktury soczewek kontaktowych przeprowadził zespół badaczy z Hiszpanii i Portugalii w 2006 roku [2]. Pomiar przeprowadzono na trzech typach nieużywanych soczewek kontaktowych, wykonanych z materiałów silikonowo-hydrożelowych. W pracy zaprezentowano fotografie zarówno przy powiększeniach małych (100x, 350x, rys. 1), jak i dochodzących do 35 000x. Przygotowanie próbki opisano jedynie w formie wymienienia poszczególnych, standardowych kroków: mrożenie w ciekłym azocie, sublimowanie w temperaturze -90°C , napylenie złotem i włożenie do mikroskopu. Pomiar wykonywano przy napięciu przyspieszającym równym 15 kV.



Rys. 1. Obrazy uzyskane metodą cryo-SEM pokazujące miejsca, gdzie zewnętrzna warstwa załamała się, odkrywając leżące pod spodem polimerowe wnętrza [2]



Rys. 2. Fotografia cryo-SEM soczewki Wichterle & Vacik w powiększeniu $\times 1000$ [5]

Podobna metoda została wykorzystana także w pracy zespołu z Czech, którego badania z 2007 roku skupiły się na określeniu morfologii powierzchni przy wykorzystaniu trzech technik mikroskopowych: AFM, SEM oraz mikroskopu konfokalnego [5]. W publikacji przedstawiono jedynie wizualizację powierzchni soczewki Wichterle & Vacik wykonanej z materiału filcon 1A, w powiększeniu 1000x. Badania zrealizowano w nieco inny sposób niż badania wykonane w ramach tej pracy. Pomiar wykonano przy użyciu mikroskopu AquaSEM, którego ciśnienie w komorze mikroskopowej wynosi 400 Pa. Badacze podali jedynie, że soczewki przed gwałtownym zamrożeniem zostały pocięte na kawałki za pomocą żyłki, a napięcie przyspieszające użyte w badaniu wynosiło 15,1 kV. W pracy zaprezentowano tylko jedną fotografię soczewki uzyskaną tą metodą (rys. 2).

Z kolei w badaniach prowadzonych we Włoszech [6] porównano strukturę, morfologię powierzchni oraz wpływ załadowania hialuronianem nowych i używanych soczewek kontaktowych. Jako metodę przygotowawczą próbki wykorzystano technikę *freeze-drying*, a następnie wykonano pomiar przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego z napięciem przyspieszającym 20 kV. Soczewki suszone były w temperaturze -55°C i ciśnieniu 0,63 mBar przez 24 godziny.

Skaningowy mikroskop elektronowy został wykorzystany także w badaniach polegających na określeniu lokalizacji pigmentu w soczewkach jednodniowych, mających podkreślać kolor tęczy [7]. W tym celu użyto mikroskopu zmiennego ciśnienia, w którym pomiar odbywał się z napięciem przyspieszającym 10 kV i ciśnieniem 30–50 mPa. Wkładano kawałki soczewki bezpośrednio wyjętej z opakowania i umieszczonej na stolczku pomiarowym. Powiększenia uzyskane w badaniu to 500x i 2000x.

Celem badań wykonanych w ramach tej pracy było sprawdzenie jakości odwzorowania powierzchni i struktury wewnętrznej soczewek kontaktowych metodą cryo-SEM przy zastosowaniu różnych procedur i parametrów przygotowania próbki. Najważniejszym postawionym zadaniem było wypracowanie odpowiedniej metodologii pomiaru dla soczewek kontaktowych, która przy pomiarach cryo-SEM dawałaby możliwie najlepsze (by uzyskać jak największą ilość informacji z próbki) i przede wszystkim powtarzalne wyniki – dla metody cryo-SEM nie istnieje sprawdzona procedura dokładnie określająca reguły postępowania dla takich próbek jak silikonowo-hydrożelowe soczewki kontaktowe.

Materiał i metody

Wykorzystano dwa rodzaje soczewek kontaktowych: soczewki AirOptix Aqua i AirOptix for Astigmatism (materiał lotrafilcon B) oraz soczewki Biofinity (materiał comfilcon A).

Soczewki AirOptix Aqua i AirOptix for Astigmatism firmy Alcon są soczewkami komplementarnymi dla korekcji sferycznej i korekcji astygmatyzmu i zbudowane są z tego samego materiału lotrafilcon B, należącego do pierwszej generacji materiałów silikonowo-hydrożelowych [8]. W strukturze materiału są dwa systemy kanalików pozwalających na przepuszczanie cząsteczek tlenu [9]. Materiał lotrafilcon B został poddany obróbce w plazmie, podczas której jego powierzchnia została zmodyfikowana na grubości 25 nm, co zapewnia ukrycie hydrofobowych łańcuchów silikonowych pod gęstą, jednorodną pod względem

chemicznym powłoką o wysokim współczynniku załamania światła i tym samym znacząco podwyższa zwilżalność powierzchni soczewek [8]. Ich uwodnienie wynosi 33%, a tlenoprzepuszczalność (parametr Dk) wynosi 110 [9].

Soczewka Biofinity to najbardziej popularna z silikonowo-hydrożelowych soczewek firmy CooperVision. Dzięki wprowadzeniu nowatorskiej formuły polimerowej, materiał comfilcon A nie wymaga modyfikacji powierzchni ani dodania środka nawilżającego, ponieważ naturalnie charakteryzuje się właściwą zwilżalnością. Ten należący do trzeciej generacji silikonowo-hydrożelowych soczewek kontaktowych materiałów opiera się na strukturze niezawierającej monomerów TRIS ani ich pochodnych, dzięki czemu zachowana jest zgodność pomiędzy grupami silikonowymi i hydrofobowymi domenami [10]. Materiał zawiera makromery o dwóch różnych rozmiarach, których usieciowanie powoduje bardzo dużą tlenoprzepuszczalność (Dk równe 128) przy wysokiej zawartości wody w soczewce – uwodnienie wynosi 48% [10,11].

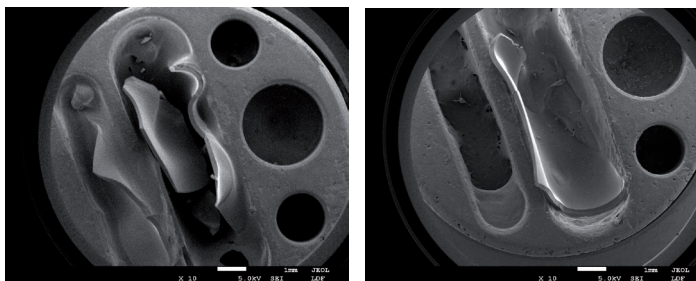
Pomiary SEM wykonywano z wykorzystaniem mikroskopu JEOL JSM-7001F, wyposażonego w detektor promieniowania rentgenowskiego Oxford Instruments X-Max 80 mm². Napięcie przyspieszające może być regulowane w zakresie od 0,2 do 30 kV, a zdolność rozdzielcza przy napięciu przyspieszającym 30 kV wynosi 1,2 nm. Źródłem elektronów w mikroskopie jest ZrO i wolfram. Mikroskop wyposażony jest w przystawkę PP3000T do pomiaru w temperaturach azotowych (cryo) firmy Quorum Technologies.

W celu wypracowania efektywnej procedury przygotowania próbki do obrazowania soczewek kontaktowych metodą cryo-SEM, wielokrotnie przebadano grupę nowych (nieużywanych) soczewek silikonowo-hydrożelowych z materiału lotrafilcon B oraz materiału comfilcon A.

Preparatyka

W pomiarach metodą cryo-SEM, przed włożeniem próbki do komory pomiarowej mikroskopu, wymagane jest jej odpowiednie przygotowanie. Ogólny schemat przygotowania próbki zdefiniowany jest wymaganiami metody cryo-SEM i można go podzielić na pięć etapów: mocowanie preparatu na stolniczku pomiarowym, gwałtowne zamrażanie próbki w ciekłym azocie, sublimacja próbki, cięcie próbki oraz napylenie próbki. Po wykonaniu tych kroków próbka jest gotowa do obrazowania metodą cryo-SEM. Proces przygotowania zarówno po etapie mrożenia próbki, jak i samo obrazowanie odbywa się w warunkach niskotemperaturowych (około -192°C).

Jako stoliczek pomiarowy wybrano okrągły wkład z dwoma podłużnymi rynienkami, który stwarza możliwość stabilnego zamocowania soczewki, jednocześnie pozwalając na ekspozycję nie tylko powierzchni, ale też przekroju próbki. Fragment soczewki uzyskiwano poprzez cięcie soczewki wzdłuż dowolnej cięciwy skalpelem lub nożyczkami. Jako lepsze narzędzie wybrano nożyczki, ze względu na rozciąganie się materiału przy cięciu skalpelem, a tym samym jego przewidywane zniekształcenie. Przetestowano dwie metody mocowania fragmentu soczewki na stolniczku pomiarowym: zginając fragment materiału na pół i umieszczając w rynienkach stoliczka pomiarowego krawędziami ku górze i krawędziami ku dołowi.

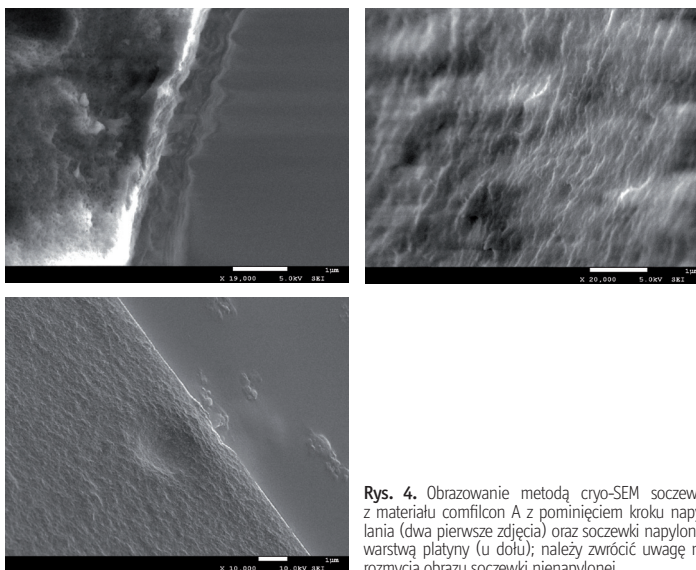


Rys. 3. Soczewki przygotowane metodą cryo-SEM, widok ogólny próbki w komorze mikroskopu po cięciu nożycem w komorze sublimacyjnej

Aby możliwa była obserwacja struktury wewnętrznej badanej próbki, łamie się ją przy wykorzystaniu wbudowanego do komory sublimacyjnej nożyka. Próbki pękają, odkrywając naturalne struktury materiału na przekroju. Ze względu na możliwości manipulacji nożycem podczas cięcia, druga metoda umieszczenia soczewki okazała się lepsza, ponieważ pozwala na lepszą ekspozycję powierzchni soczewki (rys. 3).

Na przykładzie soczewki Biofinity (comfilcon A) przetestowano różne czasy sublimacji próbki: 0 min., 10 min., 20 min., 30 min., 40 min. i 120 min. Po 30 min. sublimacji zostały uwydatnione łańcuchy polimerowe.

Doniesienia literaturowe sugerują, jakoby metoda cryo-SEM, w przeciwieństwie do badania klasycznym trybem SEM, nie wymagała uprzedniego napylenia próbki materiałem przewodzącym [5]. Wskazuje się to jako zaletę, gdyż cząsteczki napylnego metalu mogłyby zamaskować drobne elementy struktury próbki. W pracy wykonano także pomiary bez napylenia. Niestety, w trakcie obserwacji widoczne były liczne rozmycia obrazu, powodowane obecnością chmury elektronowej ponad próbką (rys. 4). W konsekwencji niemożliwe było uzyskanie większych powiększeń.

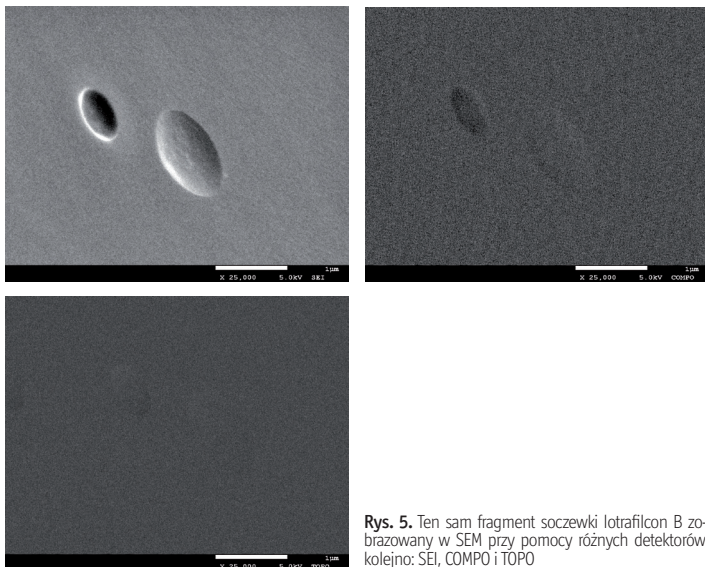


Rys. 4. Obrazowanie metodą cryo-SEM soczewki z materiału comfilcon A z pominięciem kroku napylenia (dwa pierwsze zdjęcia) oraz soczewki napylną warstwą platyny (u dołu); należy zwrócić uwagę na rozmycia obrazu soczewki nienapylną

Obrazowanie

Obrazowanie techniką SEM może się odbywać z wykorzystaniem detektora elektronów wtórnych (SEI, *secondary electron image*) lub detektora elektronów wstecznie rozproszonych, w trybie TOPO (*topography*), służącym do uwydatniania topografii powierzchni, lub w trybie COMPO (*composition*), służącym do uzyskania obrazu uwzględniającego skład pierwiastkowy badanej powierzchni. Wykonane pomiary porównawcze (rys. 5) z użyciem trzech typów detekcji pokazały, że najbardziej efek-

tywna do badań struktury powierzchni i wnętrza soczewek kontaktowych jest metoda detekcji SEI. Ze względu na izotropowość materiału soczewek kontaktowych, detektor elektronów wstecznie rozproszonych COMPO nie pełni funkcji informacyjnej. Również detektor elektronów wstecznie rozproszonych w trybie TOPO nie zobrazował istotnych elementów struktury badanej próbki.



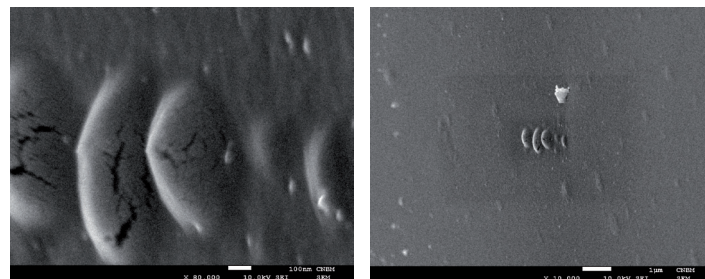
Rys. 5. Ten sam fragment soczewki lotrafilcon B zobrazony w SEM przy pomocy różnych detektorów, kolejno: SEI, COMPO i TOPO

Ważnym parametrem obrazowania mikroskopowego jest napięcie przyspieszające. Bezpośrednio wpływa na wydajność emisji elektronów z próbki – im napięcie przyspieszające jest większe, tym więcej elektronów jest wybijanych z powierzchni badanego materiału. Ze względu na duże skupienie energii w badanym obszarze, niektóre materiały przy wysokich napięciach przyspieszających mogą mieć skłonność do destrukcji. W tym przypadku istotny jest także czas ekspozycji. Im dłużej obserwuje się dany fragment próbki, tym większe jest ryzyko jego zniszczenia wskutek skupienia energii. Sprawdzone wpływ napięcia przyspieszającego na możliwe do uzyskania powiększenie w badaniu soczewek kontaktowych. Przetestowano napięcia przyspieszające: 2 kV, 5 kV, 10 kV i 15 kV. Zgodnie z przewidywaniami, im wyższe napięcie przyspieszające, tym szybciej i liczniej pojawiają się procesy degradacji próbki, szczególnie zapadanie, wyrzuszanie lub puchnięcie materiału próbki. Problem ten znacząco ogranicza możliwość uzyskania dużych powiększeń, mimo technicznych możliwości przyrządu. Zestawienie możliwych do osiągnięcia powiększeń przy poszczególnych napięciach przyspieszających prezentuje tabela 1. Efekty związane z niszczeniem struktury podczas pomiaru prezentują rysunki 6–9. Zdecydowano, że najlepszym wyborem jest napięcie przyspieszające 5 kV, przy którym relacja pomiędzy jakością obrazu a możliwymi do uzyskania powiększeniami jest optymalna.

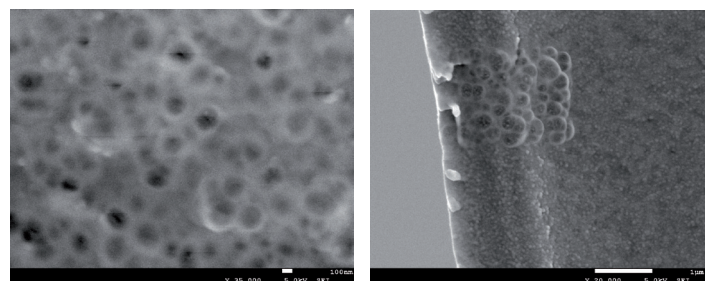
Napięcie przyspieszające	Powiększenie
2 kV	x 150 000: materiał puchnie momentalnie po osiągnięciu powiększenia x 100 000: wykonanie zdjęcia możliwe, chwilę potem materiał puchnie
5 kV	x 100 000: zdjęcie możliwe do wykonania, jednak zaraz potem materiał puchnie
10 kV	x 80 000: materiał puchnie chwilę po osiągnięciu powiększenia x 75 000: dostosowanie ustawień zdjęcia niemożliwe
15 kV	x 80 000: materiał puchnie momentalnie x 20 000: po dłuższej chwili obserwacji danego miejsca pojawiają się wyrzuszania

Tab. 1. Napięcie przyspieszające podczas obrazowania metodą cryo-SEM, a maksymalne możliwe do uzyskania powiększenia

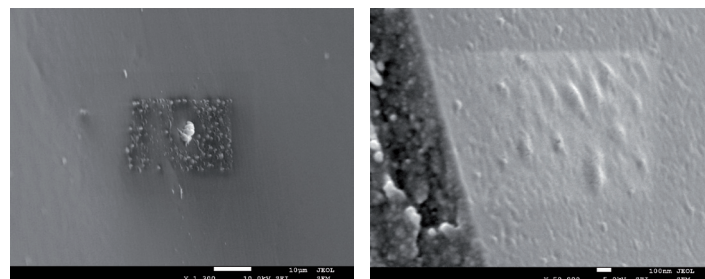
Rysunek 7 pokazuje puchnięcie materiału po zastosowaniu napięcia przyspieszającego 5 kV i długiego czasu ekspozycji. Materiał został nieodwracalnie zdegradowany.



Rys. 6. Dwa ujęcia fragmentu powierzchni soczewki z materiału comfilcon A obrazowanej metodą cryo-SEM, przy napięciu przyspieszającym równym 10 kV; pokazano wyrzuszania powstałe na skutek próby obrazowania przy powiększeniu równym x 80 000



Rys. 7. Soczewka z materiału lotrafilcon B obrazowana metodą cryo-SEM; przedstawiono puchnięcie materiału związane z dużym powiększeniem oraz oddalenie się z miejsca przybliżenia



Rys. 8. Soczewka z materiału comfilcon A; przedstawiono zmianę wyglądu materiału
Rys. 9. Soczewka z materiału comfilcon A; przedstawiono wyrzuszanie materiału

Wyzwania

Największym wyzwaniem podczas obrazowania struktury powierzchni soczewki silikonowo-hydrożelowej okazała się zalegająca na powierzchni soczewki warstwa soli fizjologicznej, roztworu z blistra albo płynu czyszczącego, z którego wyciągana jest soczewka do pomiaru. Dla uproszczenia wszystkie te ciecze nazwano w skrócie wodą. Obecność wody może istotnie zaburzać interpretację obrazów struktury powierzchni soczewki. W pracy przetestowano różne metody, które mogłyby prowadzić do pozbycia się warstwy wody oraz umożliwić bardziej efektywną obserwację struktury powierzchni. Uzyskane wyniki zostały szczegółowo opisane w odrębnym artykule naukowym oczekującym na publikację.

Dyskusja wyników

W opisanych badaniach przeprowadzono szereg pomiarów przy użyciu metody cryo-SEM, będącej dotąd rzadko używaną techniką do pomiarów soczewek kontaktowych, szczególnie silikonowo-hydrożelowych.

Aby wypracować najbardziej korzystną procedurę przygotowania próbek do badań, szczegółowo przetestowano kolejne etapy przygotowania próbki oraz obrazowanie przy różnych parametrach, takich jak dobór

czasu sublimacji i napięcia przyspieszającego, czy też zakres możliwych do osiągnięcia powiększeń.

Przetestowano także różne metody mocowania próbki, aby podczas pomiaru osiągnąć jak najlepszą ekspozycję powierzchni oraz przekroju soczewki. Najkorzystniejszą pozycją próbki jest umieszczenie jej krawędziami ku dołowi na stolniczku z podłużną rynienką.

Za optymalny czas sublimacji wybrano czas 30–40 minut. Należy pamiętać, że konieczny czas sublimacji może być zmienny zależnie od tego, jak dużo wody miała próbka poddana procedurze przygotowania i od tego, jak bardzo związana jest woda uwięziona w porach soczewki. Ponadto na wystąpienie różnic obrazów w różnych próbach może mieć wpływ grubość i wielkość wybranego obszaru obserwacji.

Wybrano napięcie przyspieszające 5 kV, jako najbardziej korzystne do przeprowadzenia pomiarów soczewek kontaktowych. Ze względu na wygrzewanie się próbki, powiększenia możliwe do uzyskania w obrazowaniu cryo-SEM są znacząco ograniczone, pomimo technicznych możliwości przyrządu do osiągania rozdzielczości rzędu kilku nanometrów. W przypadku pomiarów cryo-SEM soczewek kontaktowych największa rozdzielczość, jaką udało się uzyskać, była rzędu kilkudziesięciu nanometrów. We wcześniejszych badaniach cryo-SEM pomiary wykonywano przy napięciu przyspieszającym równym 15 kV [2,5], nie stwierdzono jednak, aby przy tym napięciu przyspieszającym jakość obrazów była wyższa, natomiast możliwe do uzyskania powiększenia były istotnie niższe.

Dużą trudnością jest dostosowywanie parametrów obrazowania i samo obrazowanie dla powiększeń większych niż 100 000x, ponieważ przy czasie ekspozycji koniecznym do ustawienia parametrów, materiał puchnie, zapada się lub wyrzusza.

Wnioski

Wykonano pomiary mikroskopowe dwóch rodzajów soczewek: AirOptix (lotrafalcon B) oraz Biofinity (comfilcon A). Wykorzystano dotychczas rzadko stosowaną w badaniach soczewek kontaktowych metodę cryo-SEM.

Szereg pomiarów pozwolił na ustalenie najkorzystniejszego sposobu mocowania próbki oraz dobór najlepszego czasu sublimacji próbki do możliwie najlepszego uwydatnienia łańcuchów polimerowych. Otrzymane wyniki zaprzeczają hipotezie, że do pomiaru cryo-SEM próbka

nie wymaga napylenia. Przetestowano różne napięcia przyspieszające w kontekście możliwych do uzyskania powiększeń. Ustalono, że pomiar przy napięciu przyspieszającym równym 5 kV jest najbardziej optymalny.

Stwierdzono, że metoda cryo-SEM może być bardzo przydatną metodą, którą należałoby włączyć do materiałowych pomiarów soczewek kontaktowych, zwłaszcza silikonowo-hydrożelowych. Duże możliwości tej metody mogą być szczególnie przydatne przy jej równoległym stosowaniu z metodami AFM oraz fluorescencyjnej mikroskopii konfokalnej.

Podziękowania

Artykuł powstał na podstawie przeprowadzonych badań oraz wyników zawartych w pracy magisterskiej „Ocena przydatności metody cryo-SEM do obiektywnej oceny struktury wybranych silikonowo-hydrożelowych soczewek kontaktowych” wykonanej w roku 2017 na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu pod kierunkiem prof. Ryszarda Naskręckiego (Wydział Fizyki UAM) i pod opieką dr Barbary Peplińskiej (Centrum NanoBioMedyczne UAM). Panu prof. Ryszardowi Naskręckiemu i Pani dr Barbarze Peplińskiej dziękuję za okazaną pomoc podczas wykonywania badań do pracy magisterskiej oraz podczas przygotowywania tego artykułu.

Piśmiennictwo

1. J. Gonzalez-Mejome, J. Gonzalez-Perez, P.R.B. Fernandes, D.P. Lopes-Ferreira, S. Molla, V. Compan. *Silicone Hydrogel Materials for contact lens applications*. Concise Encyclopedia for High Performance Silicones, Scrivener Publishing, 293–308, 2014
2. J. Gonzalez-Mejome, A. Lopez-Alemay, J. Almeida, M. Parafita, M. Refojo. Microscopic Observations of Superficial Ultrastructure of Unworn Siloxane-Hydrogel Contact Lenses by Cryo Scanning Electron Microscopy. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* 76(2): 419–423, 2006
3. M. Lira, L. Santos, J. Azaredo, E. Yebra-Pimentel, C.D. Elisabete, M. Real Oliviera. Comparative study of silicone-hydrogel contact lens surfaces before and after wear using atomic force microscopy. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* 85(2): 361–367, 2008
4. J. Goldstein, D. Newbury, D. Joy, C. Lyman, P. Echlin, E. Lifshin, L. Sawyer, J. Michael. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Plenum Press, Nowy Jork, 1992
5. V. Guryca, R. Hobzova, M. Pradny, J. Sirc, J. Michalek. Surface morphology of contact lenses probed with microscopy techniques. *Contact Lens & Anterior Eye* nr 30, 215–222, 2007
6. S. Tavazzi, M. Tonveronachi, M. Fagnola, F. Cozza, L. Ferraro, A. Borghesi, M. Ascagni, S. Farris. Wear effects on microscopic morphology and hyaluronan uptake in siloxane-hydrogel contact lenses. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* vol. 103B, issue 5, 2015
7. K. Lorenz, J. Kakkassery, D. Boree, D. Pinto. Atomic Force microscopy and scanning electron microscopy analysis of daily disposable limbal ring contact lenses. *Clinical and Experimental Optometry* 2014; 97: 411–417, 2014
8. L. Szczotka-Flynn. Lens Distinctions. *Contact Lens Spectrum* Issue: June 2007, 2007
9. Alcon, katalog produktów
10. L. Szczotka-Flynn. Looking at silicone hydrogels across generations. *Optometric Management* Issue: May 2008, 2008
11. CooperVision, katalog produktów

Foto: Autorka

Dział „Optyka – nauka”: zapraszamy do współpracy!

Redakcja „Optyki”, realizując postulaty środowisk akademickich oraz organizacji reprezentujących środowiska optyków i optometrystów (KRIO, PTOO, ŚKA00i0), prowadzi dział „Optyka – nauka”. Przedsięwzięcie to ma na celu umożliwienie publikacji oryginalnych wyników badań naukowych przede wszystkim studentom, doktorantom oraz młodym pracownikom nauki. „Optyka” znalazła się na liście punktowanych czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. **Za publikację w naszym czasopiśmie przyznawane są 2 punkty naukowe!** Nad merytorycznym poziomem nadsyłanych do druku prac czuwa Rada Naukowa dodatku „Optyka – nauka” w składzie:

Prof. dr hab. **RYSZARD NASKRĘCKI** (Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu)

Dr hab. inż. **D. ROBERT ISKANDER** (Politechnika Wrocławska)

Prof. dr hab. **HENRYK KASPRZAK** (Politechnika Wrocławska)

Prof. dr hab. **ANDRZEJ KOWALCZYK** (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu)

Dr hab. **MAREK KOWALCZYK-HERNÁNDEZ** (Uniwersytet Warszawski)

Prof. dr hab. **BOGDAN MIŚKOWIAK** (Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu)

Rada korzysta także z pomocy zewnętrznych recenzentów.

Wszelkie informacje na temat wymogów przygotowywania manuskryptów znajdują się na naszej stronie internetowej: www.gazeta-optyka.pl.