

Bartłomiej JEŻ, Marcin NABIAŁEK*

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Instytut Fizyki

*e-mail: nmarcell@wp.pl

Porównanie jakości soczewek z powłokami antyrefleksyjnymi na podstawie odporności na ścieranie oraz transmisji światła w zakresie światła widzialnego

Streszczenie: W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań dotyczących jakości organicznych soczewek okularowych z powłokami antyrefleksyjnymi dostępnymi na rynku oftalmicznym. Za kryteria jakościowe uznano dwie bardzo istotne cechy soczewek: transmisję światła oraz odporność soczewek na ścieranie. Badania transmisji światła wykonano za pomocą spektrofotometru natomiast badania odporności na ścieranie przeprowadzono oscylacyjnym testerem ścieralności. Uzyskane wyniki transmisji światła odniesiono do nieuszlachetnionej soczewki natomiast wyniki pomiaru odporności na ścieranie odniesiono do soczewki mineralnej. Uzyskane rezultaty pokazują znaczną różnicę w poziomie jakości soczewek posiadających podobne powłoki, nie stwierdzono szczególnego wpływu powłok hydro i oleofobowych na odporność na ścieranie oraz transmisję światła.

Słowa kluczowe: soczewki, powłoki antyrefleksyjne, transmisja światła, odporność soczewek na ścieranie

COMPARISON OF THE QUALITY OF LENS WITH ANTI-REFLEX COATING ON BASED OF ABRASION RESISTANCE AND LIGHT TRANSMISSION IN THE VISIBLE

Abstract: This paper presents the results of research the quality of organic spectacle lenses with anti-reflex coatings available on ophthalmic commercially. For qualitative criteria were considered two very important characteristics of the lenses: light transmission and resistance to abrasion lenses. Research of light transmission was performed using a spectrophotometer while research of abrasion resistance was carried out oscillating abrasion tester. The results was related to the light transmission of the lens not ennobled and the results of measurement of abrasion resistance was related to lens mineral. The results show a significant difference in the level of quality lenses having similar coatings, there was no particular impact hydro and oleophobic coating for abrasion resistance and light transmission

Keywords: lenses, anti-reflective coating, light transmission, resistance to abrasion lenses

1. WPROWADZENIE

Na rynku oftalmicznym dostępnych jest wiele soczewek mineralnych jak i organicznych. Producenci soczewek oferują swoje towary w różnych przedziałach jakościowych, a co za tym idzie również cenowych. Jakość oferowanych soczewek różni się w zależności od materiału, z jakiej zostały wykonane oraz od rodzaju i jakości powłok uszlachetniających, jakie zostały na nie naniesione. Dodatkowe powłoki niosą za sobą wzrost kosztów

produkcji oraz wzrost ceny danej soczewki. Uszlachetnianie soczewek ma na celu podniesienie ich jakości poprzez osiągnięcie jak najwyższej transmisji światła w zakresie widzialnym oraz uzyskanie wysokiej odporności na ścieranie. Jednym z wyzwania dla przemysłu oftalmicznego jest takie dobranie powłok antyrefleksyjnych aby uzyskać dobre parametry soczewki przy jak najniższych kosztach.

W przypadku transmisji światła przez soczewki okularowe istotne jest odpowiednie dobranie grubości powłoki antyrefleksyjnej w taki

sposób by maksymalna transmisja przypadła w zakresie długości fali, dla której ludzkie oko charakteryzuje się maksymalną czułością względną. W technologii okularowej istotna jest charakterystyka czułości względnej oka dla widzenia fotopowego (dziennego) oraz skotopowego (nocnego). Badania wykazały, że dla widzenia skotopowego ludzkie oko jest najbardziej czułe na fale o długości $\lambda=507$ nm natomiast dla widzenia fotopowego $\lambda=555$ nm. Z tego powodu istotne jest takie skonstruowanie soczewki okularowej aby transmisja światła w tych długościach fal była jak największa [1,2].

Powłoki antyrefleksyjne nakładane na soczewki mają za zadanie eliminację niepożądanych refleksów świetlnych (pojawiających się na soczewkach) rozpraszających uwagę oraz męczących dla oka. Stosowanie powłok antyrefleksyjnych poprawia przejrzystość soczewki oraz kontrast widzenia. Uszlachetnienie soczewki organicznej skutkuje wzrostem współczynnika przepuszczalności światła o około 8% [3]. Soczewki nowej generacji posiadają po kilka powłok. Skutkuje to uzyskaniem niezwykle gładkiej powierzchni, zapobiega zabrudzeniom oraz przyleganiu tłuszczu i wody. Jednocześnie ważną cechą nanoszonych powłok jest ich twardość. Soczewki wy-

konane z materiałów organicznych są miękkie w porównaniu do materiałów mineralnych. Naniesienie powłok podnosi twardość soczewki, a co za tym idzie odporność na ścieranie. Nanoszenie tych warstw zawsze wykonuje się w warunkach wysokiej próżni, co zapewnia odpowiednie nałożenie warstwy [4,5].

2. MATERIAŁ, APARATURA I METODYKA BADAŃ

Do badań jakości nieorganicznych soczewek okularowych wybrano 12 soczewek pochodzących od różnych producentów oraz mieszczących się w różnych przedziałach jakościowych. W tabeli 1 zamieszczono informacje przyjętych oznaczeń soczewek, ich pochodzenia oraz przynależności do grupy jakościowej. Soczewki z linii ekonomicznej oznaczono literą „E”, soczewki z powłoką hydrofobową literą „H”, soczewki z dodatkową powłoką oleofobową oznaczono literą „O” natomiast soczewki posiadające dodatkowe utwardzenie oznaczono literą „U”. Przedziały jakościowe pokrywają się z przedziałami cenowymi soczewek (grupa „E” poniżej 100 zł, grupa „H” około 100 zł, grupa „O” powyżej 100 zł oraz grupa „U” około 200 zł).

Tab. 1. Materiał badawczy – wybrane soczewki

Tab. 1. The research material – selected lenses

| grupa jakościowa | przyjęte oznaczenie soczewki | producent soczewki |
|---|------------------------------|--------------------|
| linia ekonomiczna (soczewka 2 nie posiada powłoki antyrefleksyjnej) | E1 | Wielka Brytania |
| | E2 | Wielka Brytania |
| | E3 | Polska 1 |
| utwardzenie z powłoką hydrofobową | H1 | Wielka Brytania |
| | H2 | Polska 1 |
| | H3 | Polska 2 |
| utwardzenie oraz powłoki hydro i oleofobowa | O1 | Japonia |
| | O2 | Wielka Brytania |
| | O3 | Polska 2 |
| dodatkowe utwardzenie | U1 | Japonia |
| | U2 | Polska 1 |
| | U3 | Polska 2 |

Wszystkie soczewki zostały wykonane z materiału CR – 39 (węglan allidwuglikolowy) charakteryzującego się współczynnikiem załamania światła 1,498 oraz liczbą Abbego 58 [6]. Wybrane soczewki charakteryzowały się budową meniskową, średnicą 65 mm oraz mocą optyczną +3,00 D (jedynie soczewka wykorzystana jako soczewka odniesienia przy teście Bayera nie posiadała mocy optycznej). Przed rozpoczęciem badań sprawdzono czy soczewki nie posiadają wad masy i powierzchni, nie stwierdzono występowania smug oraz nierównego nałożenia powłok. Do pomiaru transmisji światła wykorzystano spektrofotometr Cary 300 (produkcji VARIAN). Badanie wykonano dla zakresu 200 nm – 900 nm w temperaturze pokojowej. Pomiaru wykonywane były w centrum geometrycznym soczewki. Wynikiem przeprowadzonych pomiarów była transmisja świetlna pomniejszona o straty odbiciowe Fresnela opisane zależnością [7].

$$R_{min} = \left(\frac{n_1^2 - n_0 n_s}{n_1^2 + n_0 n_s} \right)^2 \quad (1)$$

gdzie: R_{min} – współczynnik odbicia promieniowania słonecznego n_0, n_1, n_s – współczynnik załamania światła kolejno: ośrodka (powietrze), warstwy antyrefleksyjnej, podłoża (soczewki)

Do scharakteryzowania odporności soczewek na ścieranie wybrano test Bayera. Przygotowanie do pomiaru odporności na ścieranie polegało na pomiarze ilości rozpraszanego absorbowanego światła przez materiał soczewki za pomocą urządzenia Hazemeter HM150. Do testu oprócz wybranych 12 soczewek organicznych przeznaczono dodatkową soczewkę z materiału C – 39 bez powłok będącą soczewką odniesienia podczas wyliczania współczynnika Bayera oraz soczewkę mineralną (z powodu częstego porównywania poziomu zarysowań do szkła). Po dokonaniu pomiaru przystąpiono do badania soczewek w oscylacyjnym testerze ścieralności. Za materiał ścierny posłużył elektrokorund zwykły. Jego twardość w skali Mohsa wynosi powyżej 9. Po odmierzeniu odpowiedniej ilości materiału ściernego i umieszczeniu soczewek w karetku oscylatora przystąpiono do próby niszczącej soczewki. Urządzenie wykonało 800 ruchów posuwisto – zwrotnych.

Następnie uszkodzone w ten sposób soczewki oczyszczono acetonem i poddano ponownemu badaniu strat w transmisji światła. Na podstawie uzyskanych danych wykorzystując wzór (2) obliczono współczynnik Bayera B_r .

$$B_r = \frac{H_{f0} - H_{i0}}{H_f - H_i} \quad (2)$$

gdzie: B_r – współczynnik Bayera, H_f – straty w transmisji światła soczewki po zmatowieniu, H_i – straty w transmisji światła soczewki przed zmatowieniem, H_{f0} – straty w transmisji światła soczewki odniesienia po zmatowieniu, H_{i0} – straty w transmisji światła soczewki odniesienia przed zmatowieniem

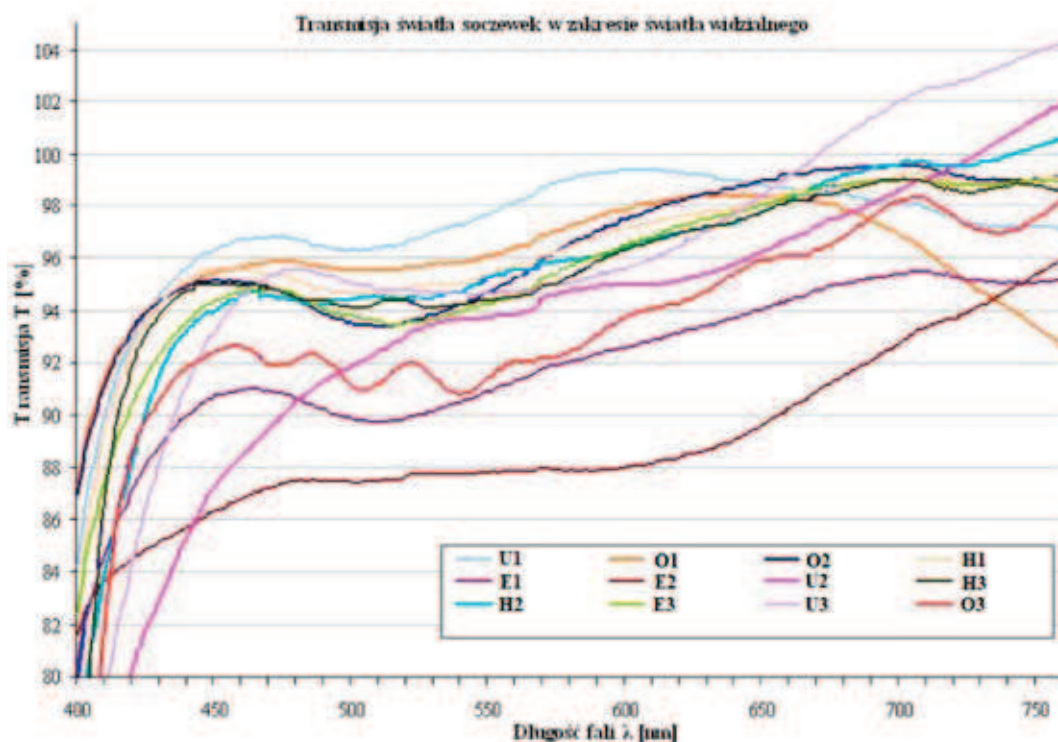
3. WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

Na rysunku 1 zamieszczono uzyskane wyniki dla pomiaru energetycznego współczynnika przepuszczalności światła dla badanych soczewek. Na podstawie uzyskanych krzywych określono wartości przepuszczalności światła przez badane soczewki w interesujących długościach fal, mianowicie dla maksimum wrażliwości oka ludzkiego dla widzenia fotopowego ($\lambda=555$ nm) oraz dla widzenia skotopowego ($\lambda=507$ nm).

Tab. 2. Wartości energetycznego współczynnika transmisji światła T dla maksimum wrażliwości oka ludzkiego dla widzenia fotopowego i skotopowego

Tab. 2. The value of the energy factor light transmission T for the maximum sensitivity of the human eye for photopic and scotopic vision

| długość fali [nm] | 507 | 555 |
|-------------------|-----|-----|
| nazwa soczewki | | |
| U1 | 98 | 96 |
| O1 | 96 | 96 |
| H1 | 96 | 95 |
| H2 | 95 | 95 |
| U3 | 95 | 95 |
| O2 | 95 | 93 |
| E3 | 94 | 94 |
| H3 | 94 | 94 |
| U2 | 94 | 92 |
| O3 | 92 | 91 |
| E1 | 91 | 90 |
| E2 | 88 | 87 |



Rys. 1. Energetyczny współczynnik przepuszczalności światła dla badanych soczewek
 Fig. 1. Energy light transmittance factor for the analyzed lenses

W tabeli 2 zamieszczono wartości przepuszczalności światła T dla badanych soczewek dla długości fal odpowiadających widzeniu fotopowemu (555 nm) i skotopowemu (507 nm).

Z uzyskanych danych wynika, że najniższe wartości uzyskano dla nieuszlachetnionej soczewki bez powłoki antyrefleksyjnej E2. Według literatury [3] uszlachetnienie soczewki

Tab. 3. Wartości strat transmisji przed i po przeprowadzeniu testu twardości

Tab. 3. The values of transmission loss before and after the hardness test

| Badana grupa | Producent | Powłoka | Straty w transmisji światła H_i [%] | Straty w transmisji światła H_f [%] | Współczynnik Bayera B_f |
|----------------------|-----------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 1 | Polska 1 | E3 | 0,19 | 6,6 | 3,2 |
| | Wielka Brytania | E1 | 0,21 | 14,1 | 1,5 |
| | Wielka Brytania | E2 | 0,29 | 14,7 | 1,4 |
| 2 | Polska 1 | H2 | 0,15 | 10,2 | 2,0 |
| | Wielka Brytania | H1 | 0,20 | 11,5 | 1,8 |
| | Polska 2 | H3 | 0,2 | 16,9 | 1,2 |
| 3 | Japonia | O1 | 0,14 | 3,2 | 6,7 |
| | Wielka Brytania | O2 | 0,18 | 10,6 | 2,0 |
| | Polska 2 | O3 | 0,17 | 14,6 | 1,4 |
| 4 | Polska 2 | U1 | 0,11 | 1,8 | 12,1 |
| | Polska 1 | U2 | 0,13 | 3,6 | 5,9 |
| | Polska 2 | U3 | 0,16 | 4,7 | 4,5 |
| soczewka odniesienia | Japonia | soczewka organiczna | 0,30 | 20,7 | 1,0 |
| soczewka mineralna | Wielka Brytania | - | 0,39 | 2,5 | 9,2 |

powłokami powinno skutkować wzrostem transmisji T o ponad 8%. Z zamieszczonych danych wynika, że zależność tę spełniły soczewki produkcji japońskiej U1 i O1 oraz soczewka H1 (Wielka Brytania). Żadna z badanych soczewek nie osiągnęła wyniku 99%, wartości takie są podawane w katalogach producentów. Na uwagę zasługuje soczewka H1, która osiąga zadowalające rezultaty w porównaniu do pozostałych soczewek z badanej grupy, nie posiada ona powłoki oleofobowej ani dodatkowego utwardzenia (znajduje się w 2 grupie soczewek). Zaskakująco słabo prezentuje się soczewka U2 (Polska 1) wyposażona we wszystkie udoskonalenia. Należy zwrócić uwagę na fakt, że wyniki te mogą być nieco zaniżone, ponieważ badania wykonano dla soczewek o mocy optycznej +3,00 D.

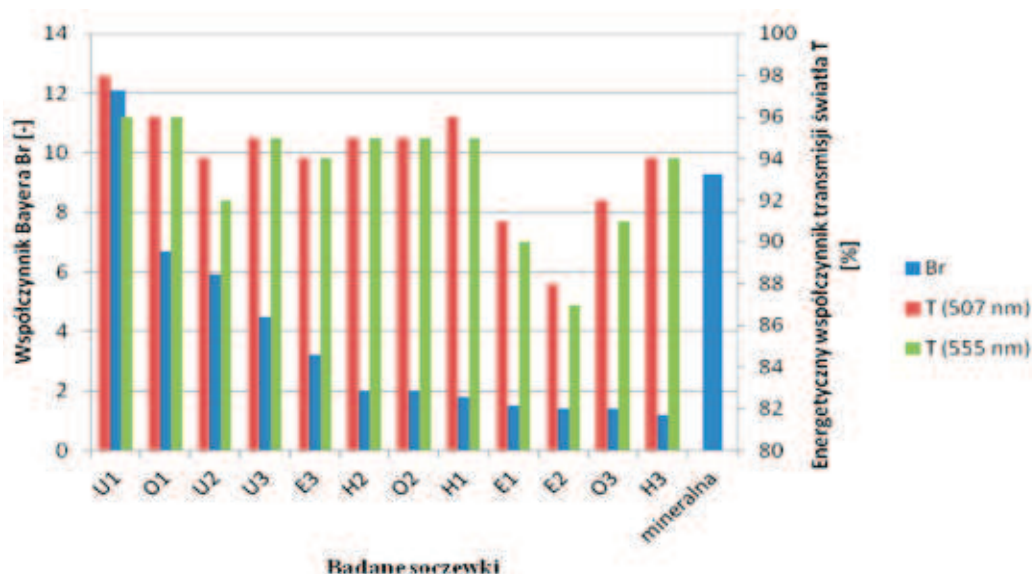
W tabeli 3 zamieszczono wyniki pomiarów strat transmisji przed i po przeprowadzeniu testu twardości soczewek. W ostatniej kolumnie zamieszczono obliczony współczynnik Bayera. Jako soczewkę odniesienia wykorzystano nieuszlachetnioną soczewkę wykonaną z materiału CR – 39.

Dane w tabeli podzielono według założonych na wstępie grup soczewek. Niski wynik osiągnięty przez powłokę H3 (Polska 2) mógł być spowodowany uszkodzeniem powłok

uszlachetniających (zaobserwowano prążki Newtona). Najlepszy rezultat z grupy soczewek z linii ekonomicznej uzyskała E3 (Polska 1). Należy zwrócić uwagę, że ta soczewka uzyskała lepszy wynik niż soczewki z powłoką hydrofobową, co więcej okazała się bardziej odporna na ścieranie od dwóch soczewek z grupy wyposażonej w powłokę oleofobową. Stosownie tej powłoki nie ma wpływu na twardość soczewki. Zdecydowanie najlepsze rezultaty osiągnęły soczewki z dodatkowym utwardzeniem, w szczególności soczewka U1 (Japonia), która jako jedyna osiągnęła wyższy współczynnik Bayera niż soczewka mineralna.

Na rysunku 2 zamieszczono wykres przedstawiający zbiorcze dane na temat odporności na ścieranie oraz transmisji światła badanych soczewek.

Zestawiając ze sobą wyniki badań transmisji światła oraz odporności soczewek na ścieranie uzyskano dane pozwalające wyciągnąć wnioski dotyczące jakości badanych soczewek. Zdecydowanie najlepszą soczewką jaka została przebadana jest U1 posiadająca wszystkie uszlachetniające powłoki (Japonia). Charakteryzuje się ona zarówno najlepszym współczynnikiem transmisji światła oraz najwyższą odpornością na ścieranie. Spełnia kryteria dotyczące wzrostu transmisji w porównaniu



Rys. 2. Współczynnik Bayera B_r oraz wartości przepuszczalności światła T dla badanych soczewek
Fig. 2. Bayer factor B_r and the light transmission T for the analyzed lenses

do soczewki nieuszlachetnionej oraz przewyższa twardością soczewkę mineralną. Na uwagę zasługuje również soczewka O1 (również produkcji japońskiej). W badaniach osiągnięto zadowalający poziom odporności na ścieranie oraz najwyższą po U1 transmisję światła dla $\lambda=507$ nm oraz 555 nm. Soczewka ta okazała się zdecydowanie lepsza od pozostałych soczewek posiadających powłoki oleofobowe, a także od soczewek dodatkowo utwardzonych.

Trzecią soczewką zasługującą na uwagę jest H1 produkcji brytyjskiej. Pomimo, że posiada ona jedynie powłokę hydrofobową bez powłoki oleofobowej i dodatkowego utwardzania osiągnęła zadowalający poziom transmisji światła, niestety przy dość niskiej odporności na ścieranie.

4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły na ocenę poziomu jakości wybranych soczewek posiadających uszlachetnienia w postaci powłok antyrefleksyjnych, hydro i oleofobowych a także dodatkowo utwardzonych. Biorąc pod uwagę odporność na ścieranie okazuje się, że dodatkowo utwardzane soczewki charakteryzują się wyższą odpornością na ścieranie, lecz jedynie soczewka U1 ($B_r=12,1$) osiąga naprawdę zadowalające rezultaty (współczynnik Bayera wyższy od soczewki mineralnej). Z pozostałych soczewek bez dodatkowego utwardzania zadowalającą odpornością wykazała się O1 ($B_r=6,7$). Obydwie soczewki są produkcji japońskiej.

W przypadku poziomu transmisji światła w zakresie widzialnym najlepszy rezultat osiągnęła soczewka U1 (98% oraz 96% dla $\lambda=507$ nm i $\lambda=555$ nm), zadowalające są wyniki soczewki O1 (96% oraz 96% dla $\lambda=507$ nm i $\lambda=555$ nm) oraz H1 (96% oraz 95% dla $\lambda=507$ nm i $\lambda=555$ nm). Pozostałe przebadane soczewki nie uzyskały oczekiwanego wzrostu transmisji światła w porównaniu do soczewki nieuszlachetnionej.

Podsumowując, zastosowanie powłok antyrefleksyjnych znacznie poprawia transmisję światła widzialnego, choć nie w takim stop-

niu jak podają dane literaturowe. Zastosowanie dodatkowej warstwy utwardzającej istotnie wpływa na odporność na ścieranie w porównaniu do nieuszlachetnionej soczewki. Warstwy hydro i oleofobowa nie mają istotnego wpływu na twardość soczewek. Podczas przeprowadzanych badań najlepsze rezultaty osiągnięto dla soczewek produkcji japońskiej, otrzymano najlepsze wyniki w obydwu testach. W przypadku tych soczewek wpływ na dobre wyniki może mieć fakt, że jest to jedyny producent pakujący soczewki w hermetycznych torebkach uniemożliwiających tym samym utlenienie warstw uszlachetniających. Ponadto teoretyczny przedział jakościowy producentów (i co za tym cena) nie zawsze odpowiada rzeczywistej jakości soczewek, przy ich wyborze warto zastanowić się nad tańszymi produktami.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy niniejszego opracowania składają serdeczne podziękowania mgr inż. Katarzynie Naciskała oraz mgr inż. Andrzejowi Naciskała za udostępnienie wyników badań.

LITERATURA

1. Norma PN-T06589:2002. *Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy.*
2. Norma DIN 5050-1: Document – *Solariums and domestic sun lamps – Part 1: Measuring and marking.*
3. Bach H., Krause D., *Thin Films on Glass*, Springer-Verlag, Berlin 1997.
4. Samson F., *Ophthalmic lens coatings*, Surface Coating Technology 81 (1996) s. 79–86.
5. Subasri R., Malathi R., Jyothirmayi A., Hebalkar N. Y., *Synthesis and characterization of CuO – hybrid silica nanocomposite coatings on SS 304*, Ceramics International 38 (2012).
6. Legun Z., *Technologia elementów optycznych*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1982.
7. Wesołowska C., *Ćwiczenia Laboratoryjne z Fizyki Cienkich Warstw*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1975.

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 10-03-2017

Data akceptacji publikacji do druku: 29-03-2017