

Właściwości odbiciowe struktur z warstwami wytwarzanymi metodą zol-żel i techniką dip-coating

ALEKSANDRA GAJDA 

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków, Polska

EWA GONDEK 

Katedra Fizyki, Politechnika Krakowska, ul. Podchorążych 1, 30-084 Kraków, Polska

PAWEŁ KARASIŃSKI 

Katedra Optoelektroniki, Politechnika Śląska, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, Polska

Streszczenie

Artykuł prezentuje wyniki badań właściwości odbiciowych struktur z cienkimi warstwami krzemionkowymi, z warstwami ditlenku tytanu TiO_2 oraz z warstwami kompozytowymi $\text{SiO}_2:\text{TiO}_2$, które wytworzone zostały za pomocą metody zol-żel i techniki dip-coating na dwóch różnych rodzajach podłoża. W badaniach zastosowano podłoża ze szkła sodowo-wapniowego (podłożowe płytki mikroskopowe) oraz wafle krzemowe. Na szkło sodowo-wapniowym wytworzone były warstwy kompaktowej krzemionki, dla której współczynnik załamania wynosił $\sim 1,45$ oraz warstwy porowatej krzemionki o współczynniku załamania $\sim 1,2$ i porowatości wynoszącej w przybliżeniu 50%, a także warstwy dwuskładnikowe $\text{SiO}_2:\text{TiO}_2$ o homogeniczności na poziomie cząsteczkowym. Na podłożach krzemowych wytworzone zostały struktury antyrefleksyjne jedno- oraz dwuwarstwowa. Wykorzystując spektrofotometr światłowodowy wyznaczono charakterystyki odbiciowe badanych struktur w zakresie widmowym 200-1000 nm. Na podstawie wykonanych pomiarów określono wpływ rodzaju podłoża i ilości naniesionych warstw na charakterystyki odbiciowe. Porównując charakterystyki odbiciowe badanych struktur warstwowych z charakterystykami odbiciowymi podłoża określono jednorodność optyczną warstw.

Słowa kluczowe: metoda zol-żel, charakterystyki odbiciowe, spektrofotometria, warstwy krzemionkowe

1. Wstęp

W obecnych czasach dąży się do tego, by produkowane urządzenia były jak najmniejsze, jak najtańsze w produkcji oraz posiadały jak najlepsze właściwości. Często modyfikując powierzchnię materiału, można diametralnie zmienić jego właściwości chemiczne (odporność na działanie substancji chemicznych), fizyczne (odporność na zarysowanie, ścieranie), czy właściwości estetycznych [1]. Prężnie rozwijającą się dziedziną techniki, gdzie cienkie warstwy mają ogromne znaczenie jest fotowoltaika, która jest źródłem czystej energii o znikomym śladzie węglowym. Ciągły rozwój przemysłu powoduje zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną a jednocześnie dbałość o środowisko naturalne sprawiają, że poszukuje się nowych metod jej wytwarzania. Dąży się do zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska, powodowanego spalaniem paliw kopalnych [2]. Jednym ze sposobów realizacji tych celów jest rozwój fotowoltaiki. Konstruując ogniwa słoneczne dąży się przede wszystkim do zwiększenia ich efektywności, by jak najwięcej światła słonecznego uległo konwersji na energię elektryczną [3]. Krzem posiada wysoki współczynnik załamania, co powoduje, że aż około 34% fotonów z zakresu jego absorpcji ulega odbiciu od jego powierzchni [4]. Stosowane kon-

strukcje fotoogniw powinny więc zawierać warstwy aktywne cechujące się możliwie największą absorpcją światła. Ponadto struktury te powinny być wyposażone w pokrycia antyrefleksyjne, które nakładane są na struktury fotowoltaiczne, jak i na szyby zabezpieczające. Pokrycia zewnętrzne paneli fotowoltaicznych powinny być odporne na zabrudzenia, kurz, cząstki organiczne, aby zanieczyszczenia nie przywierały do ich podłoża (superhydrofobowość) [3]. Cienkie warstwy stanowią podstawę rozwoju optyki zintegrowanej. Rozwija się ona obecnie w dwóch kierunkach: zastosowań sensorowych oraz telekomunikacyjnych. Do tych pierwszych pożądane są warstwy falowodowe, które posiadałyby wysoki kontrast współczynnika załamania oraz wykazywałyby niewielkie straty optyczne [5].

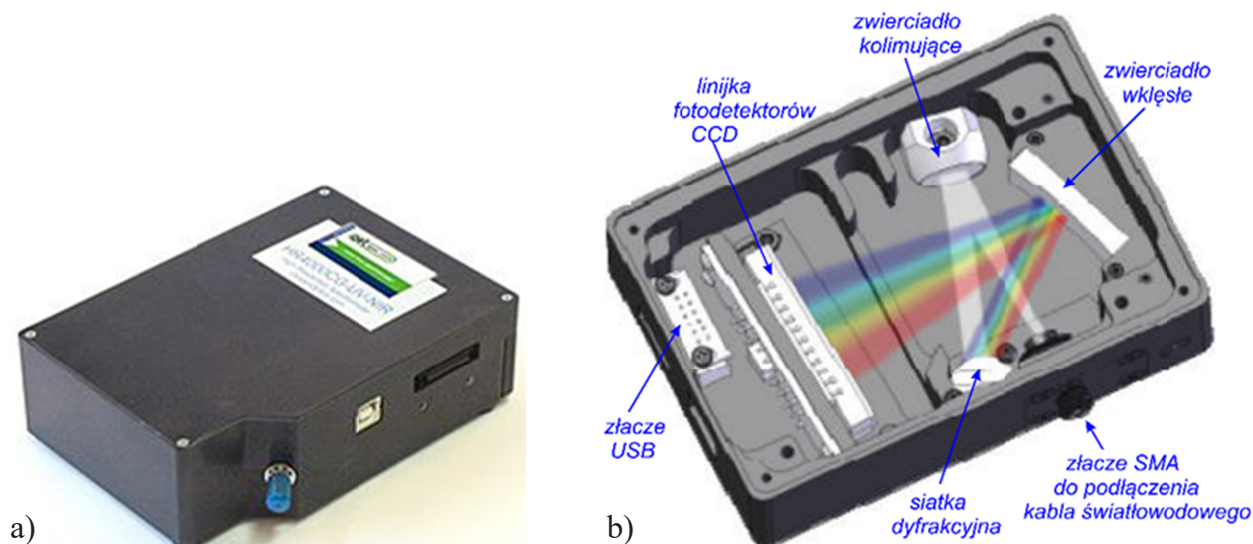
Cienkie warstwy, które są przedstawiane w tym artykule zostały wytworzone metodą zol-żel i techniką dip-coating. Metoda zol-żel jest chemicznym sposobem wytwarzania materiałów z fazy ciekłej. Posiada bardzo wiele zalet. Przede wszystkim nie generuje wysokich kosztów [3], pozwala na kontrolowanie struktury wytwarzanego materiału (porowatość, jednorodność) [6], umożliwia powlekanie dużych powierzchni, charakteryzuje się wysoką wydajnością i co w wielu zastosowaniach jest niezmiernie istotne, nie wymaga drogiego sprzętu [7,8]. Kontrolowanie porowatości wiąże się z kontrolą współczynnika załamania [4]. Za pomocą metody zol-żel wytwarzane są struktury antyrefleksyjne, struktury zwierciadeł dielektrycznych, warstwy sensorowe, warstwy falowodowe oraz wspomniane struktury fotowoltaiczne. Cienkie warstwy ZnO oraz TiO₂ posiadają właściwości sensoryczne oraz fotokatalityczne. Warstwy tlenkowe są odporne chemicznie i mogą być stosowane także jako powłoki antykorozyjne. Powłoki z tlenków metali przejściowych znajdują zastosowania w przemyśle tekstylnym, do pokrywania wyrobów ceramicznych, w filtrach optycznych, do pokrywania instrumentów biomedycznych, do pokrywania szyb samochodowych w celu nadania im właściwości hydrofilowych [3,6].

Metoda zol-żel polega na przygotowaniu roztworu zolu z prekursorów tlenków metali bądź niemetalu, którymi najczęściej są alkoholany. Warstwy wytwarzane są poprzez nakładanie zolu jedną z technik powlekania. Może to być metoda zanurzeniowa, czyli metoda dip-coating lub natrysk, albo metoda rozwirowania (spin-coating). Warstwy będące przedmiotem artykułu wytworzone zostały metodą dip-coating. Po naniesieniu warstw zolu na podłoża struktury są wygrzewane, w wyniku czego następuje ostateczne ukształtowanie ich właściwości. Jako prekursor krzemionki (SiO₂) zwykle stosowany jest tetraetylokrzemian (TEOS) o wzorze chemicznym Si(OC₂H₅)₄. Jest to związek, który nie miesza się z wodą, dlatego też nieodzowne jest zastosowanie czynnika, w którym rozpuszczają się zarówno TEOS, jak i woda. Tę rolę pełni zazwyczaj etanol. Hydroliza katalizowana jest kwasem lub zasadą, najczęściej kwasem solnym lub zasadą amonową [9,10]. W zależności o tego czy użytym katalizatorem jest kwas czy zasada, materiał może mieć różne właściwości. Przy syntezie z użyciem kwasu otrzymywany jest materiał o rozbudowanej strukturze liniowej lub losowo rozgałęzionej. Struktura taka charakteryzuje się dużą wytrzymałością mechaniczną, dobrą przyczepnością oraz stabilnością. Użycie kwasu pozwala na kontrolę objętości i wielkości porów. Przy użyciu zasady powstają silnie usieciowane klastry polimerowe, co wiąże się z otrzymaniem porowatej struktury o gorszych właściwościach mechanicznych oraz słabszej stabilności zolu [11].

Celem pracy jest prezentacja właściwości odbiciowych wybranych warstw tlenkowych wytworzonych metodą zol-żel i techniką dip-coating.

2. Metodyka badawcza

Do przeprowadzenia badań właściwości odbiciowych wykorzystano metodę spektrofotometryczną. Spektrofotometria jest to technika pozwalająca na rejestrację sygnałów optycznych, które przeszły przez dany ośrodek lub zostały od niego odbite. Bardzo popularne są spektrofotometry światłowodowe. Sygnał optyczny doprowadzany jest do spektrofotometru za pomocą włókna światłowodowego zakończonego najczęściej półzłączem światłowodowym SMA 905. Światło wprowadzone do spektrofotometru kierowane jest na zwierciadło kolimujące, a następnie na siatkę dyfrakcyjną, gdzie ulega rozszczepieniu i następuje analiza widma. Kolejno wiązka pada na zwierciadło wklęsłe i linijkę fotodetektorów CCD, skąd sygnał elektryczny przekazywany jest do komputera. Badania polegały na rejestracji widm optycznych oraz współczynników odbicia cienkich warstw w zakresie długości fali od 200 do 1000 nm. Na rysunku 1. przedstawiono schemat spektrofotometru użytego w badaniach.

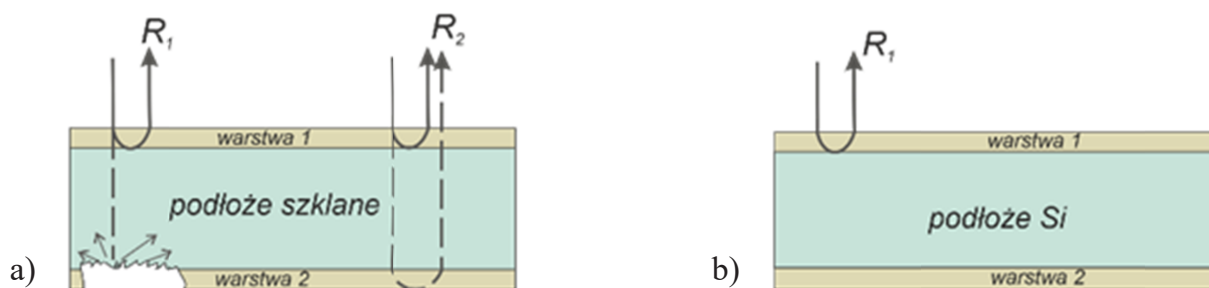


Rys. 1. Widok spektrofotometru światłowodowego (a) i jego budowa (b).

Źródło: <https://oceanoptics.com>

3. Badane struktury

Badaniom poddano struktury wytworzone w Katedrze Optoelektroniki Politechnice Śląskiej. Były to struktury wytworzone z użyciem szkła sodowo-wapniowego i wafla krzemowych jako podłoża. Schematy badanych struktur przedstawiono na rysunku 2. Na podłożach ze szkła sodowo-wapniowego osadzono warstwy kompaktowej krzemionki (współczynnik załamania światła ok. 1,45), warstwy porowatej krzemionki o porowatości ok. 50% (współczynnik załamania światła 1,2) oraz warstwy dwuskładnikowej $\text{SiO}_2:\text{TiO}_2$ o homogeniczności na poziomie cząsteczkowym. Użytymi podłożami szklanymi były podłożowe płytki mikroskopowe firmy Menzel-Glaser. Na podłożach krzemowych naniesiono struktury antyrefleksyjne jedno- oraz dwuwarstwowe. W pierwszym przypadku były to warstwy ditlenku tytanu TiO_2 a w drugim przypadku warstwy ditlenków krzemu SiO_2 i tytanu TiO_2 . Warstwy naniesione zostały na podłoża za pomocą techniki dip-coating, przez co po obu stronach podłoża znajdowały się takie same warstwy.



Rys. 2. Schematy badanych struktur, (a) na podłożu szklanym, (b) na podłożu krzemowym

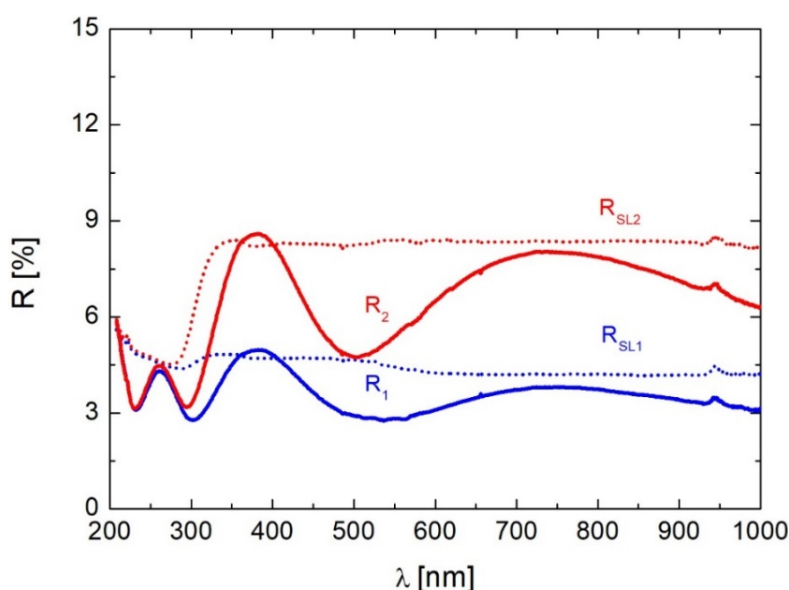
W przypadku struktur wytworzonych z użyciem podłoża szklanych wyznaczano po dwie charakterystyki odbiciowe, R_1 i R_2 . W pierwszym przypadku rejestrowano charakterystyki odbiciowe R_1 od czoła struktury, to jest od układu warstwa 1/podłoże (Rys. 2a). Wcześniej w miejscu pomiaru warstwa 2 została usunięta poprzez jej zeszlifowanie. W miejscu tym wyeliminowano odbicie zwierciadlane i w ten sposób nadano strukturze właściwości takie same, jak gdyby warstwa 1 była osadzona na podłożu o nieskończonej grubości. W innym miejscu tej samej struktury rejestrowana była charakterystyka odbiciowa R_2 , będąca efektem odbicia światła od obu warstw. Krzem w widzialnym zakresie promieniowania elektromagnetycznego jest nieprzeźroczysty. Stąd w przypadku struktur wytworzonych na podłożach krzemowych rejestrowano jedynie charakterystyki R_1 (Rys. 2b), gdyż światło które wniknęło do niego zostało w całości zaabsorbowane. Zestawienie badanych materiałów zaprezentowano w tabeli 1.

Tab. 1. Wykaz badanych materiałów

Naniesiona warstwa	Podłoże	Symbol próbki
kompaktowa SiO ₂	szkło sodowo-wapniowe	1
porowata SiO ₂	szkło sodowo-wapniowe	2
porowata SiO ₂	szkło sodowo-wapniowe	3
dwie warstwy porowate SiO ₂	szkło sodowo-wapniowe	4
porowata SiO ₂	krzemowe	5
kompaktowa TiO ₂	krzemowe	6
pierwsza warstwa: kompaktowa TiO ₂ , druga warstwa: kompaktowa SiO ₂	krzemowe	7
kompaktowa homogeniczna SiO ₂ :TiO ₂	szkło sodowo-wapniowe	8
porowata homogeniczna SiO ₂ :TiO ₂	szkło sodowo-wapniowe	9

4. Wyniki badań

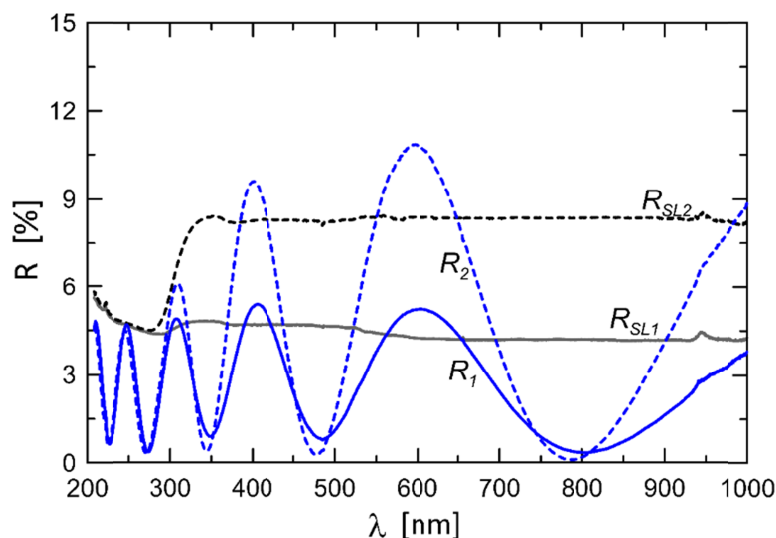
Na rysunku 3 zaprezentowano charakterystyki odbiciowe struktury kompaktowej krzemionki na podłożu sodowo-wapniowym. R_1 oraz R_2 są charakterystykami odbiciowymi warstwy kompaktowej krzemionki, natomiast R_{SL1} i R_{SL2} są charakterystykami podłoża. W każdym przypadku, jeśli w indeksie dolnym występuje „1”, to oznacza, że charakterystyka odbiciowa zarejestrowana została dla odbicia z jednej strony struktury, tj. gdy struktura na przeciwległej stronie została zmatowiona. Natomiast cyfra „2” w indeksie dolnym oznacza, że odbicie zachodzi od struktury z warstwami po obu stronach podłoża szklanego.

Rys. 3. Charakterystyki odbiciowe próbki 1, kompaktowej krzemionki SiO₂ i podłoża sodowo-wapniowego

Na rysunku 3 przedstawiono charakterystyki odbiciowe R_1 , R_2 struktur z warstwami krzemionkowymi na podłożu sodowo-wapniowym. Dla porównania wykreślono również charakterystyki odbiciowe podłoża R_{SL1} , R_{SL2} . Znaczenie indeksów „1” i „2” zdefiniowano na rysunku 2. Charakterystyki R_1 i R_2 leżą poniżej odpowiadających im charakterystyk odbiciowych podłoża R_{SL1} , R_{SL2} , gdyż współczynnik załamania krzemionki jest niższy od współczynnika załamania szkła sodowo-wapniowego. Zrozumiałym jest, że charakterystyki z indeksem „2” leżą powyżej charakterystyk z indeksem „1”, gdyż w tym pierwszym przypadku odbicie zachodzi nie tylko od warstwy 1 (warstwa 1 / podłoże), ale również i od warstwy „2” (warstwa 2 / podłoże). Dla długości fal poniżej 280 nm, wraz ze zmniejszaniem długości fali charakterystyka odbiciowa podłożowa R_{SL2} opada do charakterystyki R_{SL1} , co jest efektem obecności krawędzi absorpcji szkła podłożowego w tym zakresie spektralnym. Światło, które wniknęło do podłoża w całości uległo w nim absorpcji. Z tego samego powodu, tj. obecności krawędzi absorpcji podłoża sodowo-wapniowego, charakterystyka odbiciowa R_2 wraz ze zmniejszaniem długości fali opada do charakterystyki R_1 . Zarówno

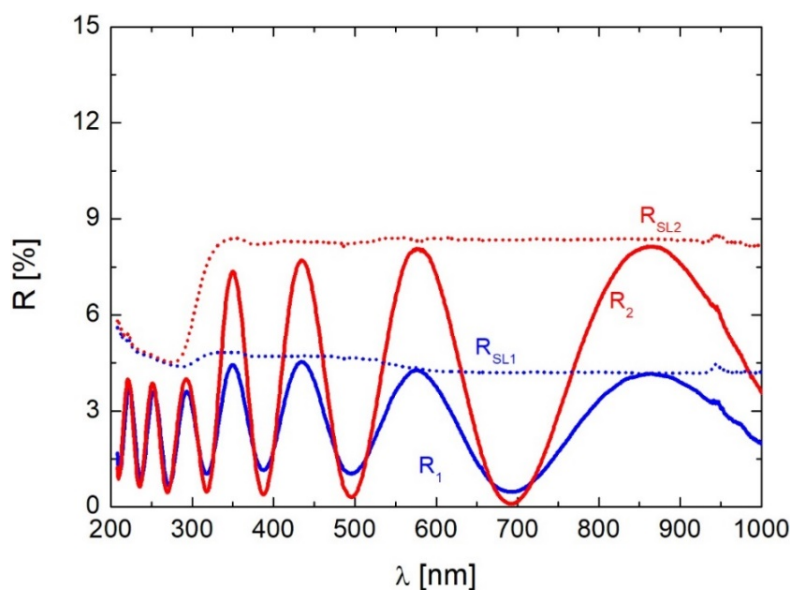
charakterystyki odbiciowe podłoża, jak i charakterystyki odbiciowe struktur z warstwami krzemionkowymi zbiegają się przy tej samej długości fali. Jednocześnie na obu charakterystykach R_{SL1} , R_{SL2} w tym zakresie spektralnym widoczna jest interferencja. Oznacza to, że w tym zakresie spektralnym nie występuje absorpcja w warstwie krzemionkowej. W pracy [4] pokazano, że jeśli minima bądź maksima interferencyjne (zależnie od współczynnika załamania) charakterystyki odbiciowej struktury z warstwą leżą na charakterystyce odbiciowej podłoża, to jednoznacznie oznacza, że warstwa jest jednorodna optycznie. W przypadku przedstawionym na rysunku 3 maksima charakterystyk odbiciowych R_1 , R_2 układają się nieco poniżej odpowiednich charakterystyk odbiciowych podłoża R_{SL1} , R_{SL2} . Świadczy to o nieznacznej niejednorodności optycznej warstwy krzemionkowej.

Na rysunku 4 przedstawiono charakterystyki odbiciowe porowatej krzemionki R_1 , R_2 na podłożu sodowo-wapniowym oraz charakterystyki odbiciowe podłoża R_{SL1} , R_{SL2} . Jak widać maksima charakterystyk R_1 oraz R_2 znajdują się wyraźnie ponad charakterystykami odbiciowymi podłoża, co jednoznacznie oznacza, że warstwa krzemionkowa jest niejednorodna optycznie.



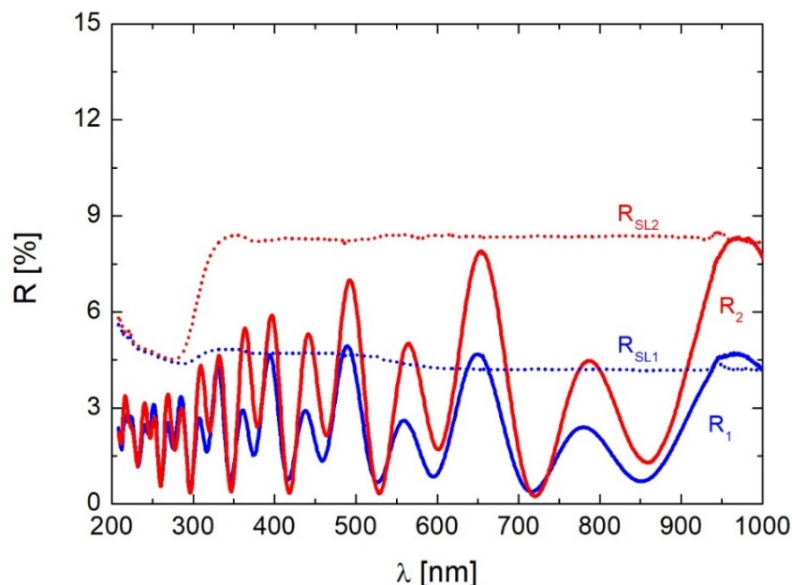
Rys. 4. Charakterystyki odbiciowe próbki 2, porowatej krzemionki SiO_2 i podłoża sodowo-wapniowego

Na rysunku 5 przedstawione są charakterystyki odbiciowe R_1 , R_2 dla struktury z porowatą krzemionką. Maksima R_1 znajdują się na charakterystyce podłoża R_{SL1} dla długości fali powyżej 500 nm, stąd można wywnioskować, że warstwa jest optycznie jednorodna. Maksima R_2 leżą poniżej charakterystyki podłożowej R_{SL2} .



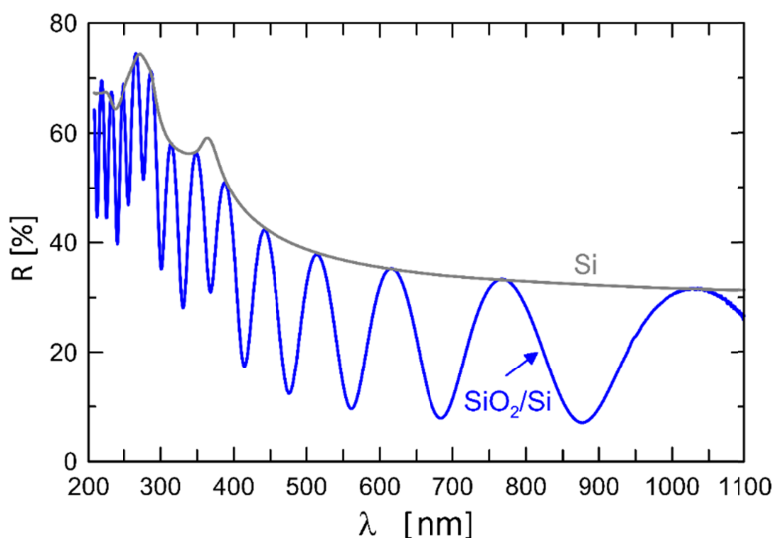
Rys. 5. Charakterystyki odbiciowe próbki 3, drugiej próbki porowatej krzemionki SiO_2 i podłoża sodowo-wapniowego

Rysunek 6 prezentuje charakterystyki odbiciowe dla materiału składającego się z dwóch warstw porowatej krzemionki o różnych stopniach porowatości oraz różnych współczynnikach załamania. Po odpowiednim przygotowaniu pierwszej warstwy, nałożono drugą warstwę. W efekcie charakterystyki odbiciowe utraciły swoją okresowość w porównaniu z poprzednimi wykresami. Jest to efektem niejednorodności jednej z warstw bądź obu warstw.



Rys. 6. Charakterystyki odbiciowe próbki 4, struktury złożonej z dwóch warstw porowatej krzemionki SiO_2 o różnym stopniu porowatości i podłoża sodowo-wapniowego

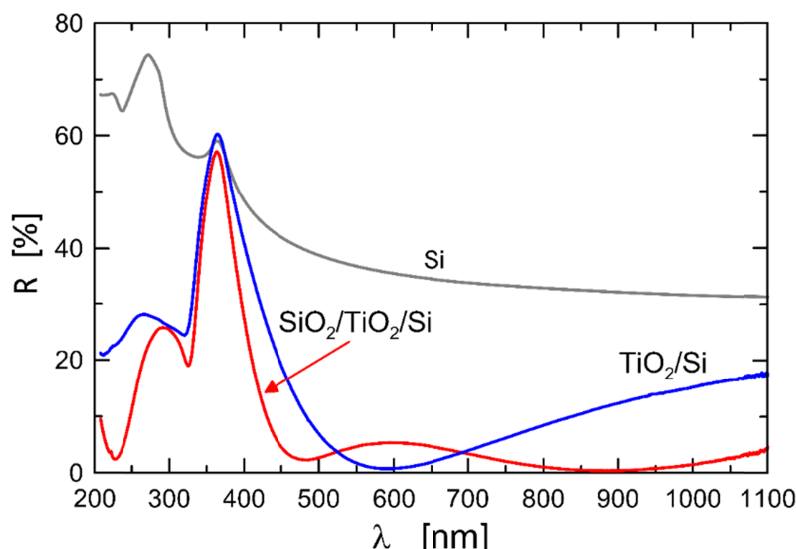
Wyniki badań wykonane dla krzemu i krzemu z warstwą krzemionki zaprezentowano na rysunku 7. Maksima interferencyjne w tym przypadku znajdują się na charakterystyce odbiciowej krzemu, co świadczyło o optycznej jednorodności warstwy krzemionkowej.



Rys. 7. Charakterystyki odbiciowe próbki 5, czystego podłoża krzemowego i podłoża krzemowego z warstwą krzemionkową

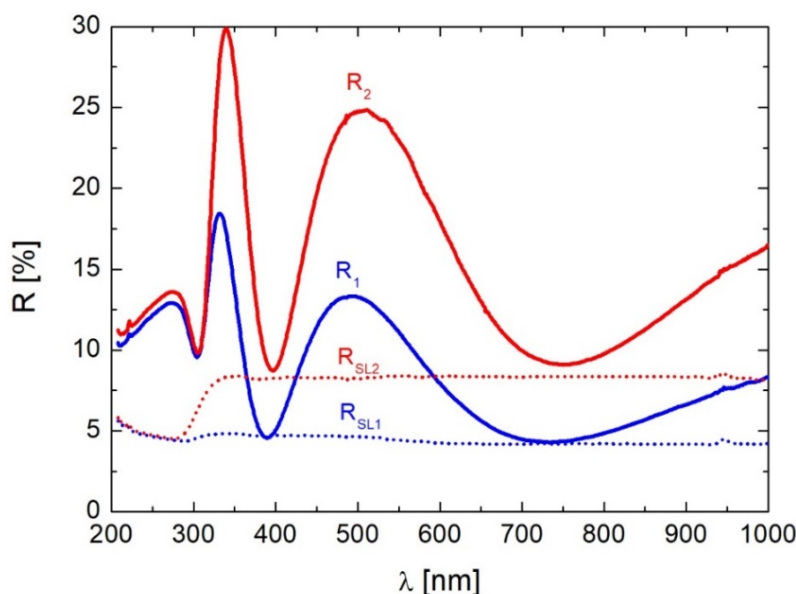
Rysunek 8 prezentuje widma odbiciowe krzemu oraz krzemu ze strukturami antyrefleksyjnymi. Jedną ze struktur antyrefleksyjnych składała się z pojedynczej warstwy TiO_2 . Drugą strukturę stanowiły dwie warstwy $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$. W badaniach zaobserwowano duży spadek współczynnika odbicia już przy jednej warstwie TiO_2 . Dla struktury dwuwarstwowej spadek ten był jeszcze bardziej intensywny. Dla warstwy TiO_2 minimum odbicia sięgające niemalże 0% występowało dla długości fali około 600 nm. Dla fal dłuższych,

wraz ze wzrostem długości fali widoczny jest monotoniczny wzrost współczynnika odbicia do j wartości około 18% dla 1100 nm. Dla dwóch warstw $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ krzywa charakterystyki odbiciowej była bardziej wypłaszczona w zakresie od około 450 do 1100 nm i nie przekraczała 5%. Tym strukturom odbiciowym poświęcona była praca [12].



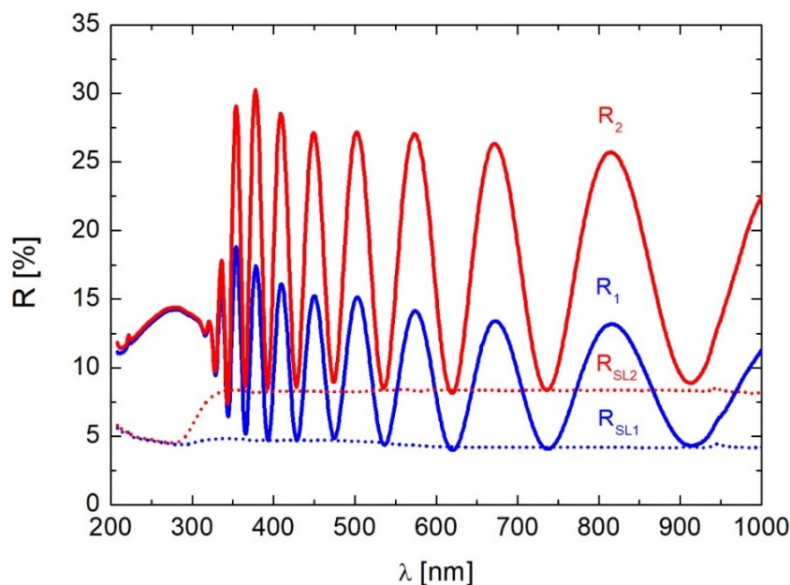
Rys. 8. Charakterystyki odbiciowe próbek 6 i 7, czystego podłoża krzemowego i podłoża krzemowego z naniesionymi strukturami antyrefleksyjnymi

Na rysunku 9 zaprezentowano charakterystyki odbiciowe otrzymane dla podłoża sodowo-wapniowego oraz dla kompozytowej warstwy $\text{SiO}_2:\text{TiO}_2$ na podłożu sodowo-wapniowym. Minimum charakterystyki R_1 warstwy uzyskano na charakterystyce podłoża R_{SL1} . Minima R_2 nie znajdowały się na charakterystyce R_{SL2} . Nie stanowi to jednak powodu, aby wnioskować o braku jednorodności warstwy, ponieważ w tym przypadku charakterystyka R_2 w zakresie pasma absorpcyjnego leży powyżej charakterystyki R_1 .



Rys. 9. Charakterystyki odbiciowe próbki 8, podłoża sodowo-wapniowego oraz kompozytowej warstwy $\text{SiO}_2:\text{TiO}_2$ na podłożu sodowo-wapniowym

Wyniki przedstawione na rysunku 10 prezentują przypadek podłoża sodowo-wapniowego oraz warstwy $\text{SiO}_2:\text{TiO}_2$ na podłożu sodowo-wapniowym. Wyniki badań jednoznacznie świadczą o jednorodności warstw po obu stronach struktury tego podłoża.



Rys. 10. Charakterystyki odbiciowe próbki 9, podłoża sodowo-wapniowego oraz porowatej warstwy $\text{SiO}_2\text{:TiO}_2$ na podłożu sodowo-wapniowym

5. Wnioski

Celem pracy dyplomowej, której wyniki zostały zaprezentowane w tej pracy było przedstawienie właściwości odbiciowych warstw krzemionkowych wytwarzanych metodą zol-żel oraz prezentacja możliwości tej metody w zakresie wytwarzania warstw tlenkowych. Do badań wykorzystano metodę spektrofotometryczną, która umożliwiła określenie zmian współczynnika odbicia w zależności od ilu stron struktury nastąpiło odbicie. Określono również wpływ ilości, a także grubości naniesionych warstw na współczynnik odbicia. Badania miały na celu zapoznanie się ze strukturami wytwarzanymi metodą zol-żel, oraz porównanie właściwości różnych warstw na różnych typach podłoży.

Warstwy kompaktowej krzemionki znajdują zastosowanie jako warstwy o niskich współczynnikach załamania w zwierciadłach dielektrycznych oraz powłokach antyrefleksyjnych, a także jako maski dielektryczne w wymianie jonowej. Warstwy porowatej krzemionki mogą pełnić rolę matrycy wiążącej indykator warstwach sensorowych, a także jako warstwy antyrefleksyjne. Warstwy TiO_2 posiadające wysoki współczynnik załamania światła używane są jako elementy pokryć antyrefleksyjnych oraz zwierciadeł dielektrycznych [5]. Na podstawie wyników dla struktur antyrefleksyjnych przedstawionych na rysunku 6 stwierdzono wyraźny spadek refleksyjności dla pojedynczej kompaktowej warstwy TiO_2 w zakresie widzialnym, a dla dwóch warstw $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ osiągnięto jeszcze korzystniejszy efekt. Posiadają one dobre właściwości do zastosowania w krzemowych ogniwach fotowoltaicznych.

Falowodowe warstwy dwuskładnikowe $\text{SiO}_2\text{:TiO}_2$ stanowią podstawę rozwoju układów optyki zintegrowanej dla długości fal z zakresu światła widzialnego i bliskiej podczerwieni. Poprzez zmianę proporcji składników mieszaniny można kształtować współczynnik załamania warstw [5]. Dla próbek 8 i 9 przebadanych w niniejszej pracy nie osiągnięto zadowalającego rezultatu. Próbka 9 demonstrowa możliwość wytwarzania grubszych warstw poprzez kolejne nakładanie cieńszych warstw. Grubsze warstwy falowodowe są wymagane w zakresie bliskiej podczerwieni.

Literatura

- [1] Agustín-Saenz C., Machado M., Nohava J., Yurrita N., Sanz A., Brizuela M., Zubillaga O., Tercjak A., 2020: *Mechanical properties and field performance of hydrophobic antireflective sol-gel coatings on the cover glass of photovoltaic modules*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 216 (2020) 110694.
- [2] Środa K., Kijo-Kleczkowska A., 2016: *Analysis of Combustion Process of Sewage Sludge in Reference to Coals and Biomass*. Archives of Mining Sciences, No 2. DOI: <https://doi.org/10.1515/amsc-2016-0031>
- [3] Adak D., Bhattacharyya R., Saha H., Sankar Maiti P., 2020: *Sol-gel processed silica based highly transparent self-cleaning coatings for solar glass covers*. Materials Today: Proceedings, 33 (2020) 2429-2433.

- [4] Skolik M., Karasiński P., 2017: *Jedno- i dwuwarstwowe struktury antyrefleksyjne wytwarzane metodą zol-żel do zastosowań w fotoogniwach krzemowych*. Przegląd Elektrotechniczny, R. 93, Nr 8, 73-76.
- [5] Karasiński P., 2019: *Warstwy dielektryczne wytwarzane metodą zol-żel i techniką dip-coating do zastosowań w optoelektronice*. Przegląd Elektrotechniczny, R. 95 Nr 9, 161-164.
- [6] Karasiński P., Domanowska A., Gondek E., Sikora A., Tyszkiewicz C., Skolik M., 2020: *Homogeneity of sol-gel derived silica-titania waveguide films – Spectroscopic and AFM studies*. Optics and Laser Technology, 121 (2020) 105840.
- [7] Karasiński P., Gondek E., Drewniak S., Kityk I. V., 2012: *Nano-sized blue spectral shift in sol-gel derived mesoporous titania films*. J. Sol-Gel Sci. Technol. (2012) 61, 355-361.
- [8] Gondek E., Karasiński P., Drewniak S., 2014: *Nano-quantum size effect in sol-gel derived mesoporous titania layers deposited on soda-lime glass substrate*. Physica E, 62, 128-135.
- [9] Porębska K., 2013: *Powłoki hydrofobowe na bazie SiO₂ wytwarzane metodą zol-żel*. Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka, Budownictwo i Architektura, 12 (4), 257-267.
- [10] Orkisz J., 2009: *Określenie wpływu MgO na właściwości dielektryczne cienkich warstw układu (1-y)Ba_{0,6}Sr_{0,4}TiO_{3-y}MgO*. Praca Doktorska, Uniwersytet Śląski, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach, Katedra Materiałoznawstwa
- [11] Agustín-Sáenz C., Machado M., Tercjak A., 2019: *Antireflective mesoporous silica coatings by optimization of water content in acid-catalyzed sol-gel method for application in glass covers of concentrated photovoltaic modules*. Journal of Colloid and Interface Science, 534, 370-380.
- [12] Skolik M., Domanowska A., Karasiński P., Gondek E., Michalewicz A., 2019: *Double layer sol-gel derived antireflective coatings on silicon – design, optical and Auger Electron Spectroscopy characterization*. Mater. Lett. 25, 210-213

Reflectance properties of structures with layers produced by sol-gel and dip-coating techniques

Abstract

The article presents the results of investigations of reflectance properties of structures with silica, titanium dioxide TiO₂ and SiO₂:TiO₂ composite thin films, which were fabricated by sol-gel and dip-coating techniques on two different types of substrates. Soda-lime glass substrates (substrate microscope plates) and silicon wafers were used in this study. Compact silica layers were produced on soda-lime glass for which the refractive index was about 1.45 and porous silica layers with a refractive index of about 1.2 and a porosity of approximately 50%, as well as SiO₂:TiO₂ binary layers with homogeneity at the molecular level. Single- and double-layer antireflective structures were fabricated on silicon substrates. Using a fiber optic spectrophotometer, the reflectance characteristics of the structures studied were determined in the spectral range 200-1000 nm. The influence of the substrate type and the number of applied layers on the reflectance characteristics was determined on the basis of the performed measurements. By comparing the reflectance characteristics of the investigated layered structures with the reflectance characteristics of the substrates, the optical homogeneity of the layers was determined.

Keywords: sol-gel method, reflectance characteristics, spectrophotometry, silica layers