



Własności optyczne materiałów fotowoltaicznych

M. Szindler^a, L.A. Dobrzański^a, M. Drygała^a

^a Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie

email: marek.szindler@polsl.pl; leszek.dobrzanski@polsl.pl; aleksandra.drygala@polsl.pl

Streszczenie: W artykule opisano możliwości wykorzystania spektrofotometrii w badaniach materiałów fotowoltaicznych, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów optycznych. Przedstawiono również przykładowe wyniki badań wykonanych w Pracowni Fotowoltaiki i Badania Własności Elektrycznych Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych.

Abstract: The article describes the possible use of spectrophotometry in the study of photovoltaic materials, especially optical materials. It also presents examples of the results studies carried out in the Laboratory of Photovoltaics and Electrical Properties Research in Institute of Engineering Materials and Biomaterials.

Słowa kluczowe: materiały optyczne, warstwy antyrefleksyjne, spektrofotometria

1. WSTĘP

Cienkie warstwy wykonane z materiałów optycznych stosuje się w celu nadania bądź poprawy określonych własności na powierzchni układów optycznych, optoelektronicznych, fotowoltaicznych oraz przedmiotów codziennego użytku. Wymaga się od nich niskich kosztów produkcji, trwałości, łatwości stosowania oraz braku toksyczności dla środowiska [1-4]. Warstwy optyczne, z uwagi na ilość i zakres absorbowanego, odbijanego lub przepuszczanego światła dzielą się na [2,5,6]:

- aktywne warstwy optyczne,
- pasywne warstwy optyczne.

Materiały optyczne cechują się bardzo wieloma własnościami, są one uzależnione od technologii wytwarzania jak i rodzaju materiału. Najbardziej pożądane są własności optyczne takie jak wysoka wartość współczynnika załamania światła oraz wysoka przezroczystość, lecz pozostałe własności są także przydatne czyniąc te materiały bardzo funkcjonalnymi. Wśród tych własności możemy wymienić: odporność na zarysowania, uszkodzenia mechaniczne, długoczasowa stabilność, czy też odporność termiczna i chemiczna [1-4,7]. Niezwykle istotną wielkością z punktu widzenia fotowoltaiki jest współczynnik załamania światła w warstwie, który zapewnia odpowiednie zmniejszenie odbicia światła na granicach powietrze-warstwa i warstwa-podłoże. W celu odpowiedniego zmniejszenia odbicia światła jego współczynnik załamania powinien zawierać się pomiędzy współczynnikiem załamania otoczenia,

a podłożem. Współczynnik załamania światła jest ściśle związany z odbiciem światła od powierzchni materiału. Ze względu na to, iż cienkie warstwy optyczne mają zazwyczaj grubości poniżej 100 nm duże znaczenie w metodologii badań mają metody spektroskopowe, w szczególności spektrofotometria UV/VIS.

2. SPEKTROFOTOMETRIA UV/VIS W BADANIACH CIENKICH WARSTW OPTYCZNYCH

Spektroskopia, będąca zagadnieniem z pogranicza pomiędzy fizyką a chemią, zajmuje się oddziaływaniem między promieniowaniem elektromagnetycznym a materią. Obserwacja widm powstających w wyniku absorpcji, emisji, rozpraszania i odbicia promieniowania elektromagnetycznego pozwala na badanie budowy i własności atomów cząsteczek oraz jąder atomowych [8,9]. Badania cienkich warstw optycznych wykonywane w Pracowni Fotowoltaiki i Badania Własności Elektrycznych w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych realizowane są na spektrofotometrze Evolution 220 firmy Thermo Scientific (rysunek 1).



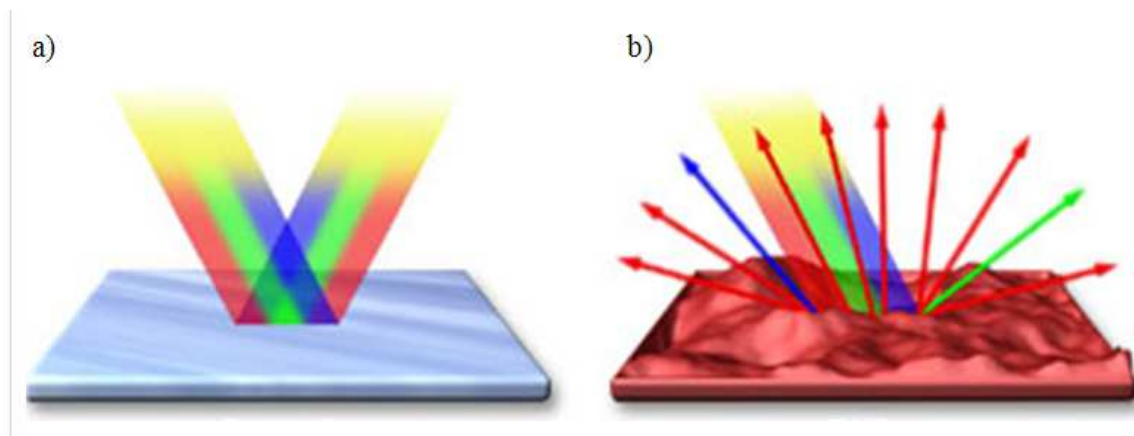
Rysunek 1. Spektrofotometr Evolution 220
Figure 1. Spectrophotometer Evolution 220

Spektrofotometr Evolution 220 umożliwia pomiar odbicia, absorpcji i transmisji dla długości fali w zakresie 190 - 1100 nm. Wyposażony jest w sferę całkową ISA-220 (rysunek 2), która umożliwia pomiar odbicia zwierciadlanego, dyfuzyjnego oraz całkowitego.



Rysunek 2. Sfera całkową ISA-220 zintegrowana ze spektrofotometrem Evolution 220
Figure 2. Integrating Sphere ISA-220 integrated with the Evolution 220 spectrophotometer

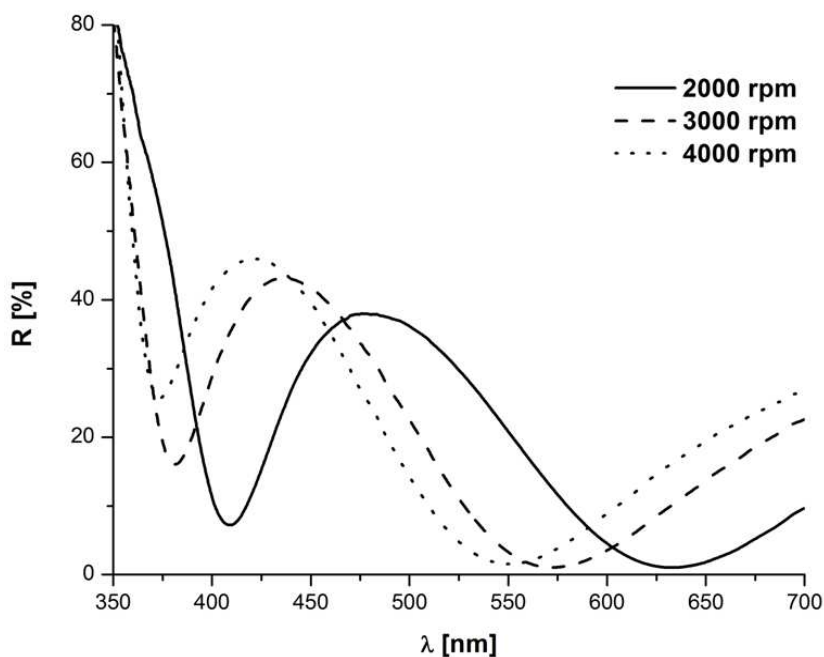
Odbicie zwierciadlane zachodzi na gładkiej, wypolerowanej powierzchni - kąt padania jest równy kątowi odbicia (rysunek 3a). Mierząc odbicie dyfuzyjne uwzględnia się nierówności oraz zanieczyszczenia występujące na powierzchni (rysunek 3b). W przypadku pomiaru odbicia lub absorpcji wykorzystuje się wzorec bieli wykonany z PTFE.



Rysunek 3. Odbicie światła od powierzchni materiału: a) zwierciadlane, b) dyfuzyjne
Figure 3. Reflected light from the surface of the material: a) specular, b) diffusion

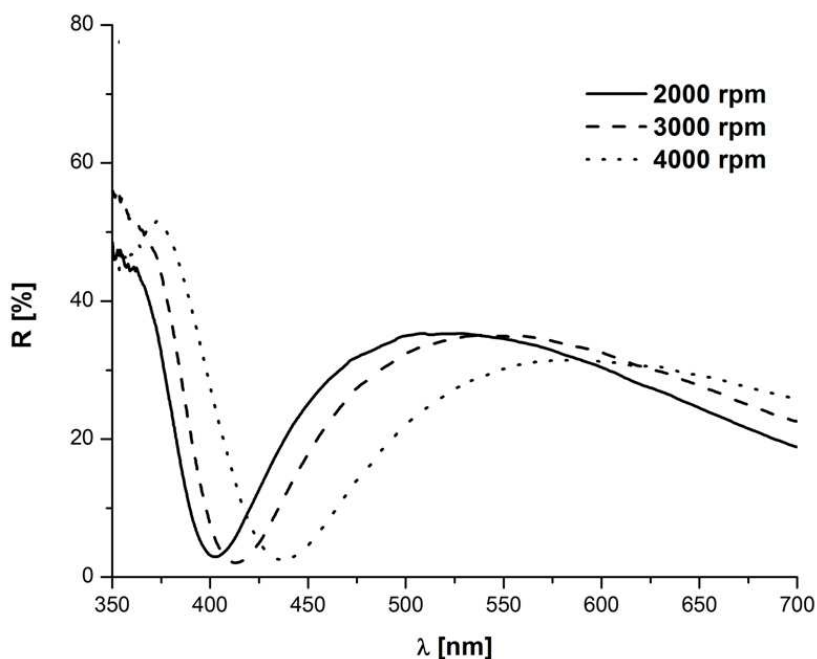
Na rysunkach 4 i 5 zmierzony współczynnik odbicia światła od powierzchni polerowanego krzemu z naniesioną warstwą TiO_2 w funkcji długości fali. Warstwy antyrefleksyjne dwutlenku tytanu przygotowano metodą zol-żel oraz naniesiono techniką wirową ze zmienną prędkością wirowania. W badaniach wykorzystano tetraizopropanol $\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_5)_4$, który po zmieszaniu w odpowiednich proporcjach z bezwodnym etanolem oraz kwasem solnym umożliwia uzyskanie roztworu TiO_2 . Roztwór osadzono metodą wirową (przy prędkościach 1000, 2000 oraz 3000 obr/min). W zakresie długości fali 500-700 nm naniesienie warstwy TiO_2 na powierzchnię krzemu wpływa na zmniejszenie odbicia światła poniżej 7%. Wykonanie dodatkowej obróbki cieplnej w temperaturze 600 °C spowodowało pogorszenie własności optycznych cienkich warstw.

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono odpowiednio współczynnik odbicia oraz transmisji światła w funkcji długości fali dla warstwy Al_2O_3 naniesionej metodą atomowego osadzania warstw. W zakresie długości fali 500-700 nm naniesienie warstwy Al_2O_3 na powierzchnię krzemu wpływa na zmniejszenie odbicia światła poniżej 5%, a jej transmisja w całym mierzonym zakresie wynosi powyżej 92%.



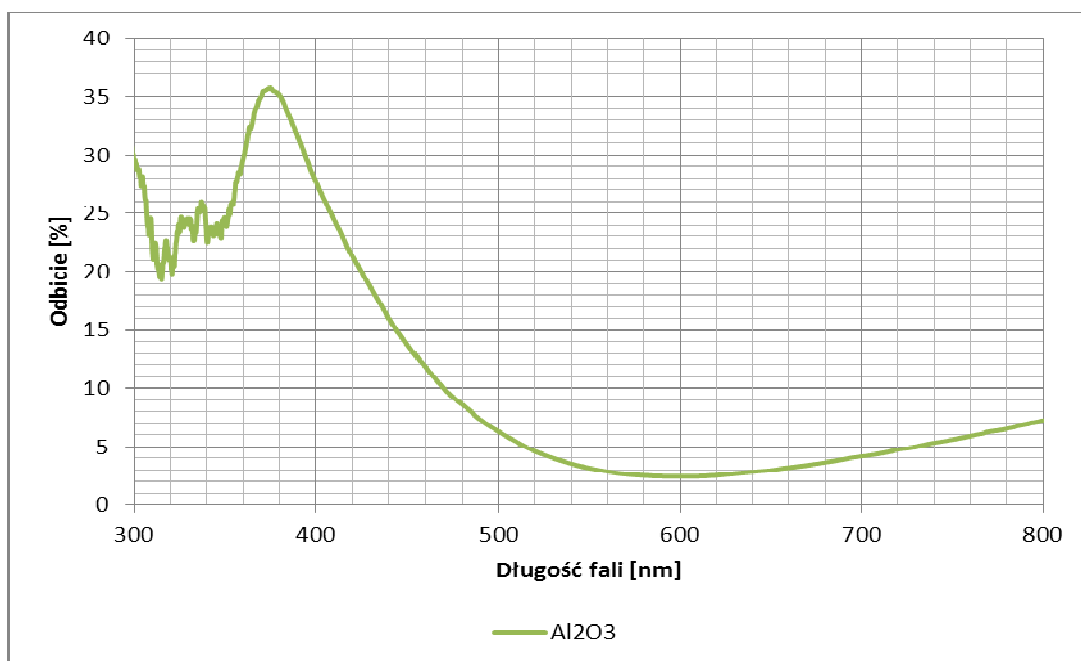
Rysunek 4. Współczynnik odbicia światła w funkcji długości fali warstwy TiO_2 rozwirowanej z prędkością 1000, 2000 oraz 3000 obr/min (bez obróbki cieplnej)

Figure 4. The spectrum of reflection for the TiO_2 thin films obtained with spin speed 1000, 2000 and 3000 rpm (without heat treatment)



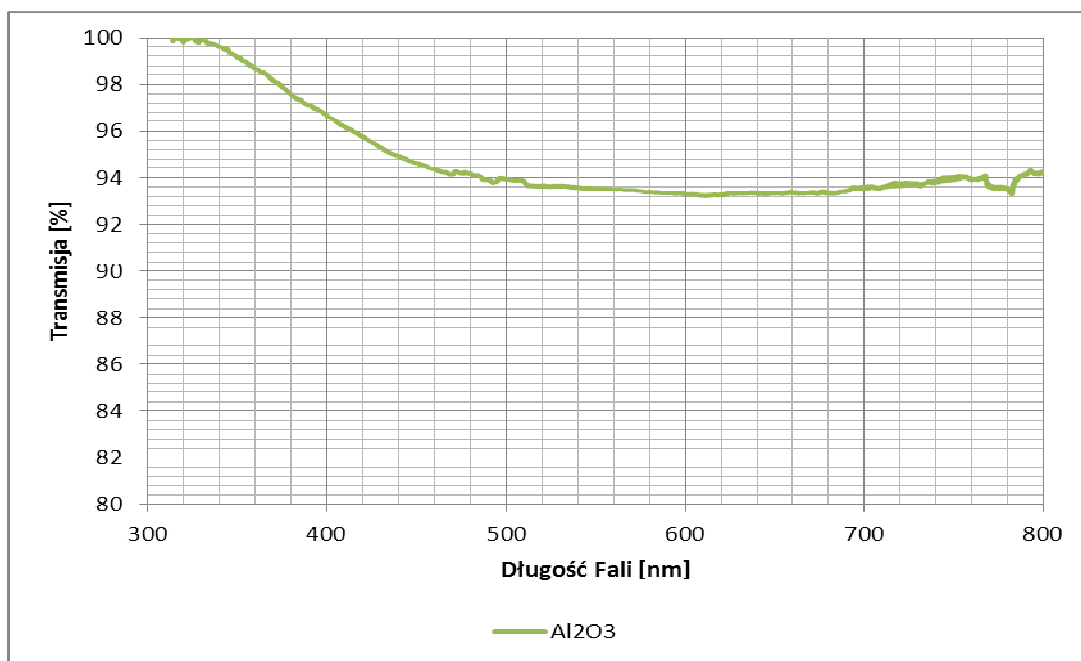
Rysunek 5. Współczynnik odbicia światła w funkcji długości fali warstwy TiO_2 rozwirowanej z prędkością 1000, 2000 oraz 3000 obr/min (z obróbką cieplną)

Figure 5. The spectrum of reflection for the TiO_2 thin films obtained with spin speed 1000, 2000 and 3000 rpm (with heat treatment)



Rysunek 6. Odbicie światła w funkcji długości fali warstwy Al_2O_3 osadzonej metodą atomowego osadzania warstw na podłożu krzemowe

Figure 6. The spectrum of reflection for the Al_2O_3 thin film deposited on silicon substrate by atomic layer deposition method



Rysunek 7. Transmisja w funkcji długości fali warstwy Al_2O_3 osadzonej metodą atomowego osadzania warstw na podłożu szklane

Figure 7. The spectrum of transmission for the Al_2O_3 thin film deposited on glass substrate by atomic layer deposition method

3. PODSUMOWANIE

Z punktu widzenia fotowoltaiki odbicie i transmisja w krzemowym ogniwie fotowoltaicznym to zjawisko niepożądane, gdyż fotony niezaabsorbowane nie mają szansy wziąć udziału w efekcie fotowoltaicznym. Dążąc do zmniejszenia strat związanych z odbiciem światła od powierzchni ogniwa słonecznego wykonuje się teksturowanie i nanosi się warstwę antyrefleksyjną. W związku z powyższym w Instytucie Badań Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach w pracowni Fotowoltaiki i Badania Własności Elektrycznych wykonywane są badania cienkich warstw optycznych z wykorzystaniem spektrofotometru Evolution 220.

LITERATURA

1. L.A. Dobrzański, Nietalowe materiały inżynierskie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, wyd.2., Gliwice, 2008.
2. J. Domaradzki, Powłoki optyczne na bazie TiO_2 , Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2010.
3. T. Hryniewicz, Technologia powierzchni i powłok, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2004.
4. A. Szwedowski, Materiałoznawstwo optyczne i optoelektroniczne: ogólne właściwości materiałów, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1996.
5. M.H. Asghar, M. Shoaib, F. Placido, S. Naseem, Modeling and preparation of practical optical filters, *Current Applied Physics*, 9, 2009, 1046-1053.
6. H. Bach, D. Krause, Thin films on glass, Springer, Berlin, 1997.
7. A. Szwedowski, R. Romaniuk, Szkło optyczne i foniczne: właściwości techniczne, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2009.
8. A. Cygański, Metody spektroskopowe w chemii analitycznej, WNT, Warszawa, 2002.
9. Z. Kęcki, Podstawy spektroskopii molekularnej, PWN, Warszawa, 1992.