

Łukasz SKOWROŃSKI, Olaf STRAUSS

## ŚWIETLNE WŁAŚCIWOŚCI SZKIEŁ Z KOLOROWYMI INTERFERENCYJNYMI POWŁOKAMI TYPU $\text{TiO}_2/\text{Ti}$ OTRZYMANYMI METODĄ MAGNETRONOWĄ

**Streszczenie:** Powłoki funkcjonalne nakładane na szkło modyfikują jego cechy lub nadają mu zupełnie nowe właściwości, zmieniając jednocześnie właściwości optyczne całego układu (warstwa/warstwy-podłoże). Interferencyjne kolorowe powłoki dekoracyjne typu  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{szkło}$  otrzymano z zastosowaniem magnetronu przemysłowego. Światłne właściwości otrzymanych układów określono zgodnie z normą PN-EN 410. Wykazano, że zarówno grubości warstw  $\text{TiO}_2$ , jak i  $\text{Ti}$  znacząco wpływają na parametry zdefiniowane w wyżej wymienionej normie.

**Słowa kluczowe:** powłoki dekoracyjne, przepuszczalność światła, odbicie światła, dwutlenek tytanu, tytan

### 1. WPROWADZENIE

Szkło jest jednym z podstawowych materiałów używanych w nowoczesnym budownictwie. Stosowane jest w pakietach przeszkleń w różnych konstrukcjach okiennych, dzielących/oddzielających fragmenty pomieszczeń oraz jako szkło fasadowe. W ostatnich latach, wraz z rozwojem nanotechnologii, szkło staje się nośnikiem, a nanoszone warstwy nadają mu różne dodatkowe funkcje. W domach pasywnych powszechnie stosowane jest tzw. szkło niskoemisyjne, które dzięki zastosowaniu nanowarstwy srebra odbija promieniowanie długofalowe (cieplne), ograniczając straty energii [4]. W różnego typu wyświetlaczach oraz niektórych typach ogniw słonecznych stosowane są transparentne powłoki przewodzące, do których zaliczyć można ITO (tlenek indowo-cynowy; ang. *indium thin oxide*), AZO (tlenek cynku domieszkowany aluminium; ang. *aluminum doped zinc oxide*) oraz FTO (tlenek cynku domieszkowany fluorem; ang. *fluoride doped zinc oxide*) [6]. Duże nadzieje wiąże się z powłokami elektrochromowymi, które zapewniają regulację ilości przepuszczanego światła w dość dużym zakresie [2], czyli mogą zastąpić żaluzje.

Powyżej wymieniono tylko nieliczne, wybrane powłoki funkcjonalne. Nakładane są one różnymi metodami na szkło. Jedną z najpopularniejszych technik jest metoda magnetronowa, stosowana bardzo często w hutach szkła do nanoszenia warstw funkcjonalnych bezpośrednio na gorące podłoże. Technika ta jest również stosowana do otrzymywania różnych typów powłok w późniejszym okresie [10–15, 17].

---

<sup>1</sup> dr inż. Łukasz SKOWROŃSKI, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Instytut Matematyki i Fizyki, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz, e-mail: lukasz.skowronski@utp.edu.pl

<sup>2</sup> mgr inż. Olaf STRAUSS, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Instytut Matematyki i Fizyki, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz

Praca dotyczy właściwości świetlnych [8] szkieł z powłokami dekoracyjnymi na bazie dwutlenku tytanu i tytanu [11–14, 17] nałożonych na szkło metodą magnetronową z impulsowym wstrzykiwaniem gazu do komory roboczej [15, 16]. Dzięki ciągłemu wzbudzaniu i wygaszaniu plazmy cząsteczki fazy gazowej nie tracą swojej energii (lub tracą ją tylko w niewielkim stopniu) przed kondensacją na powierzchni podłoża [15, 16]. Proces ten zapewnia odpowiednią adhezję warstw do podłoża pomimo niestosowania jego dodatkowej aktywacji termicznej.

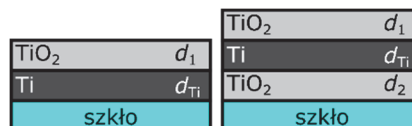
W zakresie widzialnym promieniowania elektromagnetycznego dwutlenek tytanu jest materiałem nieabsorbującym, a efekt barwny układów  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{szkło}$  związany jest głównie z interferencją światła w zewnętrznej warstwie  $\text{TiO}_2$  [1, 10–15, 17]. Dla różnych grubości zewnętrznej warstwy dwutlenku tytanu można otrzymać różne kolory powłok (od żółtego, przez pomarańczowy, czerwony i fioletowy do niebieskiego) [11–14]. Wymienione kolory dotyczą grubości warstw  $\text{TiO}_2$  w zakresie od około 18 nm do 60 nm [11–14]. Dla większych grubości warstwy dielektrycznej możliwe jest również uzyskanie koloru zielonego i różowego [1]. W półprzezroczystych układach  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{szkło}$  istotną rolę gra powłoka metaliczna. Im jest grubsza (do 100 nm; dla większych grubości zmiana efektu jest pomijalnie mała), tym kolor powłoki jest bardziej nasycony, lecz jednocześnie maleje ilość przepuszczanego przez nią światła [12].

Zastosowanie warstw na powierzchni szkła lub innego typu modyfikacja jego powierzchni wpływa na zmianę właściwości optycznych całego układu (warstwa/warstwy-podłoże). W pracy stwierdzono, że grubości nanowarstw  $\text{TiO}_2$  i Ti znacząco wpływają na przepuszczalność i odbicie światła. Przedstawiono również tendencję tych zmian. Wyżej wymienione współczynniki wyznaczono zgodnie z normą PN-EN 410 [8].

## 2. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK ORAZ ZASTOSOWANE METODY POMIAROWE

### 1.1. Przygotowanie próbek

Układy  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{szkło}$  były przygotowane poprzez naprzemienne nakładanie warstw  $\text{TiO}_2$  oraz Ti, przy czym część próbek otrzymano, pomijając warstwę dwutlenku tytanu pomiędzy tytanem a szkłem. Strukturę wytworzonych próbek przedstawiono na rysunki 1. Zarówno warstwy metaliczne, jak i dielektryczne były otrzymane zmodyfikowaną metodą magnetronową, charakteryzującą się impulsowym wstrzykiwaniem gazu do komory urządzenia (ang. GIMS – *gas impulse injection magnetron sputtering*) [15, 16] wykorzystując komercyjną linię magnetronową w firmie BOHAMET S.A. [3].



Rys. 1. Schemat wytworzonych układów interferencyjnych  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{szkło}$   
 Fig. 1. The diagram of produced interference  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{glass}$  coatings

Podłoże (szkło mikroskopowe o grubości 1 mm) przed nanoszeniem warstw było odłuszczone w acetonie, alkoholu etylowym i izopropylowym z wykorzystaniem płuczki ultradźwiękowej. Ponadto, bezpośrednio przed nakładaniem warstw, zastosowano czyszczenie plazmowe.

W celu otrzymania warstw  $\text{TiO}_2$  i Ti zastosowano dwie tytanowe tarcze magnetonowe o wymiarach  $2500 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ . Każda z nich była zasilana zasilaczem typu DPS 20 kW/1000 V (ang. *Dora Power System*) [9], w którym częstotliwość zmian napięcia wynosiła 100 kHz z modulacją 2 kHz [8]. Odległość pomiędzy podłożem a tarczą wynosiła 140 mm.

Warstwy tytanowe nakładano w plazmie argonowej przy średnim ciśnieniu 0,07 Pa, natomiast powłoki  $\text{TiO}_2$  w plazmie tlenowo-argonowej (0,21 Pa). Stosunek ciśnień parcyjnych tlenu do argonu wynosił 4 do 1. Czystości zastosowanych gazów wynosiły 5 N. Początkowe ciśnienie w komorze (przed nanoszeniem warstw) było niższe niż 0,01 Pa. Różne grubości warstw  $\text{TiO}_2$  i Ti otrzymano, zmieniając czas ich wzrostu w zakresie od 10 s do 90 s dla warstw metalicznych oraz od 270 s do 1500 s dla zewnętrznej warstwy tlenkowej. Warstwę  $\text{TiO}_2$  pomiędzy Ti a szkłem nakładano przez 1100 s.

## 1.2. Zastosowane metody pomiarowe

Widma odbiciowe i transmisyjne układów  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{szkło}$  zarejestrowano w zakresie od 200 nm do 2500 nm z zastosowaniem spektrofotometru Cary 5000 (Agilent) wyposażonego w sferę całkowitą.

Grubości warstw  $\text{TiO}_2$  i Ti oraz ich stałe optyczne wyznaczono metodą elipsometryczną [5] z zastosowaniem urządzenia V-VASE (J.A. Woollam Co., Inc.). Azymuty elipsometryczne zmierzono w zakresie energii padających fotonów od 0,6 eV (2100 nm) do 6,5 eV (190 nm) dla trzech kątów padania promieniowania elektromagnetycznego ( $65^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $75^\circ$ ). Sposób wyznaczenia stałych optycznych oraz grubości warstw został przedstawiony w pracy [12].

## 1.3. Przepuszczalność oraz odbicie światła

Współczynniki odbicia  $R(\lambda)$  oraz transmisji  $T(\lambda)$  są wielkościami zależnymi od długości fali. W zastosowaniach inżynierskich częściej jednak stosuje się pewne uśrednione współczynniki, które są zdefiniowane w normie PN-EN 410 zatytułowanej „Szkło w budownictwie – określanie świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia”. Współczynniki te oblicza się, bazując na zmierzonych widmach  $R(\lambda)$  oraz  $T(\lambda)$ . Przepuszczalność ( $\tau_v$ ) oraz odbicie ( $\rho_v$ ) światła dana są wzorami:

$$\tau_v = \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_\lambda T(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (1)$$

oraz

$$\rho_v = \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_\lambda R(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (2)$$

gdzie:

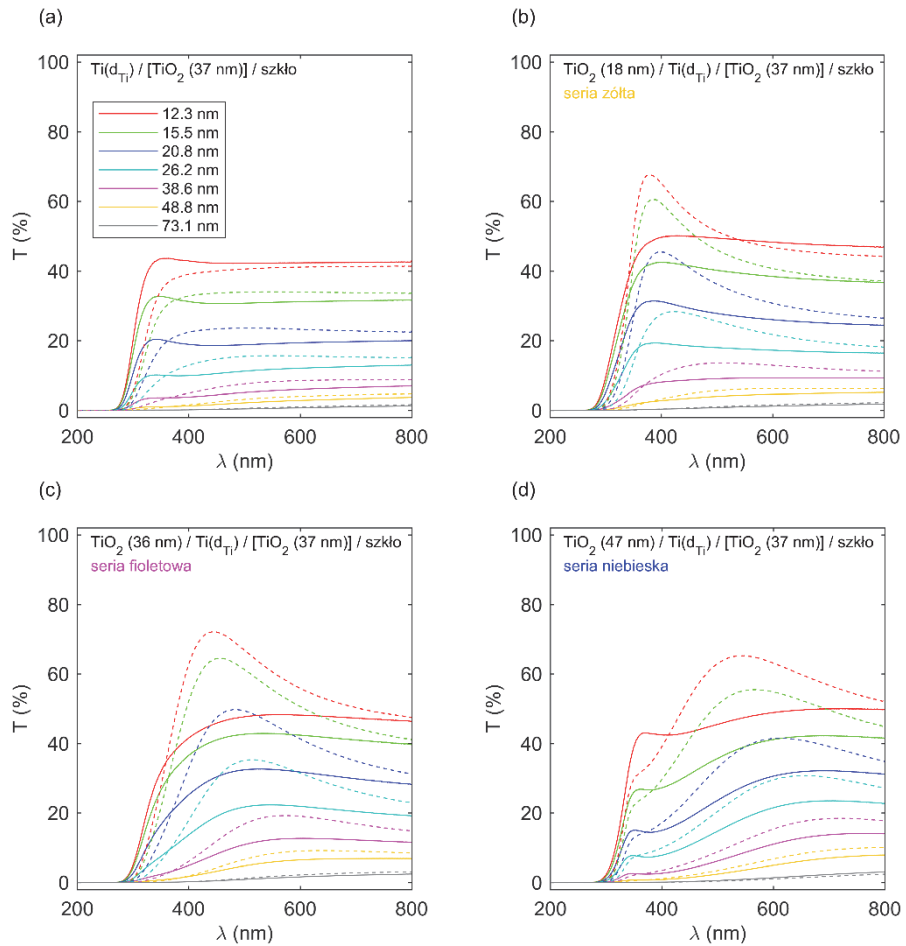
- $D_\lambda$  – względny widmowy rozkład źródła światła D65,
- $V(\lambda)$  – widmowa skuteczność świetlna w warunkach widzenia fotopowego,
- $T(\lambda)$  – współczynnik transmisji,
- $R(\lambda)$  – współczynnik odbicia,
- $\Delta\lambda$  – przedział długości fal.

Współczynniki dane wzorami (1)–(2) obliczono, implementując odpowiednie wyrażenia w programie Matlab.

### 3. WYNIKI

Na rysunku 2a. przedstawiono widma transmisyjne warstw tytanowych naniesionych na szkło oraz szkło pokryte warstwą dwutlenku tytanu o grubości 37 nm. W przypadku warstw metalicznych współczynnik transmisji w zakresie widzialnym promieniowania elektromagnetycznego zawiera się w przedziale od około 40% do kilku procent odpowiednio dla próbek z najcieńszą i najgrubszą warstwą tytanu, przy czym (generalnie) dla próbek z dodatkową warstwą dwutlenku tytanu pomiędzy szkłem i Ti wartości  $T$  są nieco większe. Podobną zależność można zaobserwować dla kolorowych powłok (rys. 2b–2d), lecz różnice w wartościach  $T$  dla poszczególnych długości fal w pobliżu maksimum widma są znacznie większe. Zauważyć można również przesunięcie maksimum w widmie transmisyjnym w stronę większych długości fal wraz ze wzrostem grubości zewnętrznej warstwy tlenkowej. Ten efekt jest typowy dla warstw interferencyjnych [12, 15]. Gwałtowny spadek wartości  $T$  dla długości fal mniejszych niż 300 nm związany jest z absorpcją promieniowania elektromagnetycznego przez szkło.

Bazując na zarejestrowanych widmach transmisyjnych dla wszystkich wytworzonych próbek, obliczono przepuszczalność światła według zależności (1). Wyniki zebrano w tabeli 1. Zauważyć można, że wartość  $\tau_v$  maleje wraz ze wzrostem grubości warstwy metalicznej od 64% (próbka ciemnoniebieska) do 1–2%. Dla próbek z najcieńszą warstwą metaliczną przepuszczalność światła rośnie wraz ze wzrostem grubości warstwy tlenkowej. Dla pozostałych próbek maksimum przepuszczalności światła (biorąc pod uwagę poszczególne serie próbek dla stałej wartości  $d_{Ti}$ ) występuje dla mniejszych grubości warstwy dielektrycznej. Ciekawy efekt można zaobserwować, porównując próbki z i bez dodatkowej warstwy  $TiO_2$  pomiędzy podłożem a warstwą Ti, zwłaszcza dla próbek z grubszymi warstwami tlenkowymi. Dla układów z dodatkową warstwą tlenkową pomiędzy tytanem a szkłem przepuszczalność światła jest większa (nawet o 16%) niż dla próbek bez niej. Zjawisko to można wytłumaczyć dodatkowymi odbiciami światła na granicy szkło  $TiO_2$  i  $TiO_2$ /szkło.



Rys. 2. Widma transmisyjne układów interferencyjnych  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{szkło}$  dla wybranych grubości warstw  $\text{TiO}_2$ . Linie ciągłe dotyczą powłok bez warstwy  $\text{TiO}_2$  pomiędzy szkłem i Ti, natomiast linie przerywane z jej uwzględnieniem. Widma transmisyjne układów  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{szkło}$  zostały zaczerpnięte z pracy [12]

Fig. 2. Transmittance spectra of the produced  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{glass}$  samples for chosen thicknesses of  $\text{TiO}_2$  layer. Solid and dashed line are related to systems without and with the  $\text{TiO}_2$  between glass and Ti. The data recorded for  $\text{TiO}_2/\text{Ti}/\text{glass}$  systems were taken from [12]

Tabela 1. Przepuszczalność światła ( $\tau_v$ ) dla próbek TiO<sub>2</sub>/Ti/TiO<sub>2</sub>/szkło w zależności od grubości warstwy Ti i zewnętrznej warstwy TiO<sub>2</sub>. Wartości w tabeli dotyczą układów z/bez dodatkowej warstwy pomiędzy podłożem i Ti

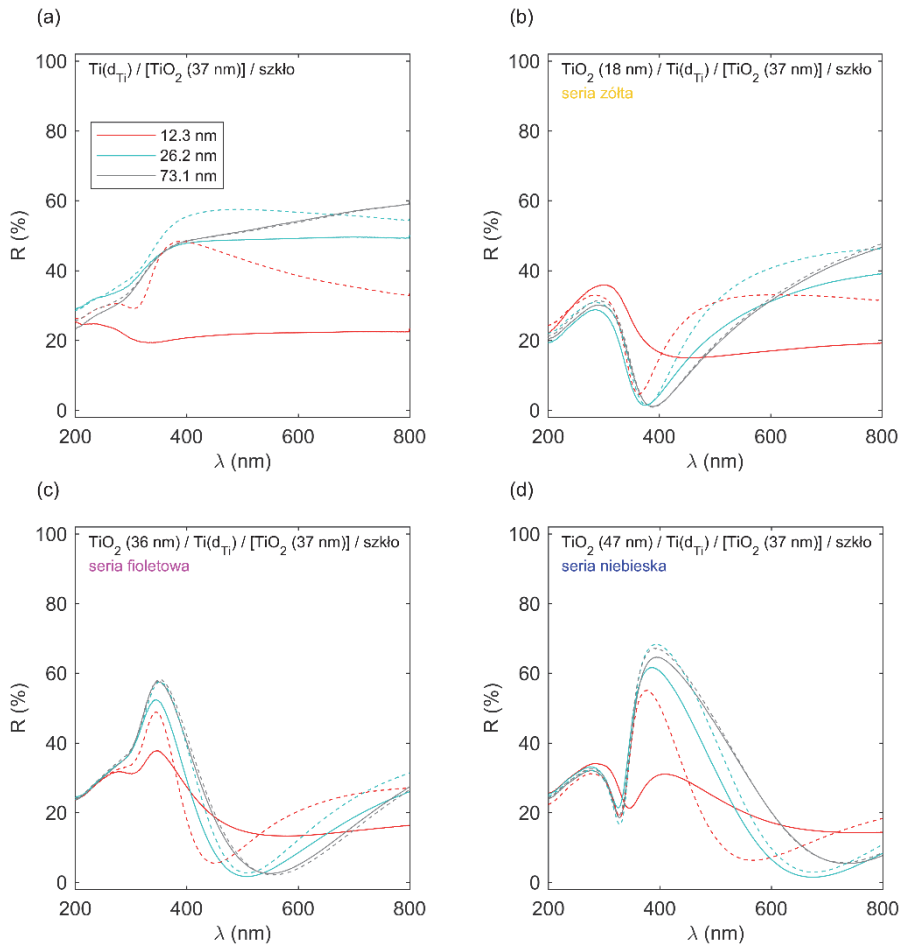
Table 1. Luminous transmittance ( $\tau_v$ ) for TiO<sub>2</sub>/Ti/TiO<sub>2</sub>/glass samples as a function of thickness of Ti and the external TiO<sub>2</sub> layer. Values refer to systems with/without the TiO<sub>2</sub> layer between glass and Ti

Grubość warstwy TiO <sub>2</sub> / d <sub>i</sub> (nm)	Grubość zewnętrznej warstwy Ti \ d <sub>Ti</sub> (nm)						
	12	16	21	26	39	49	73
	Przepuszczalność światła / $\tau_v$ (%)						
0	41 / 42	34 / 31	23 / 20	16 / 12	8 / 6	4 / 3	1 / 1
11 (z)	46 / 47	39 / 36	28 / 24	19 / 14	11 / 8	5 / 4	1 / 1
15 (ż)	48 / 48	41 / 38	31 / 26	22 / 16	12 / 8	6 / 4	1 / 1
18 (p)	49 / 49	43 / 39	33 / 27	23 / 18	13 / 9	6 / 4	1 / 1
22 (cz1)	52 / 50	46 / 40	36 / 28	26 / 19	15 / 10	7 / 5	2 / 1
27 (cz2)	54 / 50	49 / 41	39 / 29	29 / 20	16 / 11	8 / 5	2 / 1
36 (f)	60 / 48	55 / 43	45 / 32	33 / 22	19 / 12	8 / 6	2 / 1
40 (n1)	63 / 48	56 / 41	43 / 30	30 / 21	15 / 11	7 / 5	1 / 1
47 (n2)	64 / 48	54 / 39	39 / 28	26 / 19	13 / 9	5 / 4	1 / 1

Orientacyjne kolory próbek:

z – złoty, ż – żółty, p – pomarańczowy, cz1 – czerwony, cz2 – ciemnoczerwony, f – fioletowy, n1 – niebieski, n2 – ciemnoniebieski

Na rysunku 3. przedstawiono widma odbiciowe dla próbek z wybranymi grubościami warstw tytanowych, natomiast w tabeli 2 zebrano współczynniki odbicia światła wyznaczone według zależności (2). Dla układów metalicznych (rys. 3a), w których  $d_{Ti} \leq 39$  nm większe wartości  $R$  wykazują próbki z dodatkową warstwą tlenkową pomiędzy szkłem a podłożem. Prowadzi to do dużych różnic w wartościach przepuszczalności światła. Dla próbek z najmniejszą grubością Ti ( $d_{Ti} = 12$  nm) różnica ta wynosi 19% i stopniowo maleje wraz ze wzrostem grubości warstwy metalicznej. Dla próbek z najgrubszą warstwą tytanu ( $d_{Ti} = 73$  nm) kształt widm odbiciowych jest taki sam, a przepuszczalność światła wynosi 53%. W przypadku układów z barwnymi warstwami w widmach odbiciowych można zaobserwować minimum charakterystyczne dla układów interferencyjnych [1, 11–14], którego położenie i kształt związane są bezpośrednio z kolorem próbki [1, 11–14]. Warto podkreślić, że dla układu bez dodatkowej warstwy TiO<sub>2</sub>, dla której  $d_{Ti} = 12$  nm minimum to nie jest wyraźne, co skutkuje znacznie mniejszym nasyceniem koloru, niż w przypadku pozostałych grubości Ti [12]. Zastosowanie dwutlenku tytanu pomiędzy szkłem a Ti, na skutek dodatkowych odbić w tej warstwie, prowadzi do powstania w widmie odbiciowym wspomnianego minimum i bardziej nasyczonego koloru próbki. W przypadku kolorowych próbek największe różnice w wartościach  $\rho_v$  dla układów z i bez dodatkowej warstwy tlenkowej zaobserwować można również w przypadku próbek z  $d_{Ti} = 12$  nm. Zanikają one wraz ze wzrostem grubości warstwy metalicznej.



Rys. 3. Widma odbiciowe układów interferencyjnych  $TiO_2/Ti$   $TiO_2/szkło$  dla wybranych grubości warstw  $TiO_2$  oraz  $Ti$ . Linie ciągłe dotyczą powłok bez warstwy  $TiO_2$  pomiędzy szkłem a  $Ti$ , natomiast linie przerywane z jej uwzględnieniem. Widma odbiciowe układów  $TiO_2/Ti/szkło$  zostały zaczerpnięte z pracy [12]

Fig. 3. Reflectance spectra of the produced  $TiO_2/Ti$   $TiO_2/glass$  samples for chosen thicknesses of  $TiO_2$  and  $Ti$  layers. Solid and dashed line are related to systems without and with the  $TiO_2$  between glass and  $Ti$ . The data recorded for  $TiO_2/Ti/glass$  systems were taken from [12]

Tabela 2. Odbicie światła ( $\rho_p$ ) dla próbek TiO<sub>2</sub>/Ti/TiO<sub>2</sub>/szkło w zależności od grubości warstwy Ti i zewnętrznej warstwy TiO<sub>2</sub>. Wartości w tabeli dotyczą układów z/bez dodatkowej warstwy pomiędzy podłożem a Ti

Table 2. Luminous reflectance ( $\rho_p$ ) for TiO<sub>2</sub>/Ti/TiO<sub>2</sub>/glass samples as a function of thickness of Ti and the external TiO<sub>2</sub> layer. Values refer to systems with/without the TiO<sub>2</sub> layer between glass and Ti

		Grubość zewnętrznej warstwy Ti / $d_{Ti}$ (nm)						
		12	16	21	26	39	49	73
Grubość warstwy TiO <sub>2</sub> / $d_i$ (nm)		Odbicie światła / $\rho_p$ (%)						
	0	41 / 22	44 / 30	51 / 40	57 / 49	58 / 55	57 / 56	53 / 53
	11 (z)	37 / 19	39 / 23	43 / 31	48 / 39	48 / 43	45 / 44	40 / 39
	15 (ż)	34 / 17	35 / 19	37 / 25	41 / 33	40 / 36	37 / 35	31 / 30
	18 (p)	32 / 16	32 / 17	34 / 22	37 / 27	35 / 32	32 / 31	27 / 26
	22 (cz1)	28 / 15	27 / 15	27 / 16	28 / 21	25 / 22	22 / 22	18 / 17
	27 (cz2)	25 / 15	23 / 13	21 / 12	21 / 15	18 / 16	14 / 15	11 / 11
	36 (f)	16 / 14	13 / 10	8 / 6	8 / 5	7 / 5	6 / 6	4 / 4
	40 (n1)	10 / 19	6 / 11	5 / 6	8 / 6	15 / 12	17 / 15	16 / 15
	47 (n2)	8 / 20	8 / 14	14 / 13	23 / 17	30 / 27	33 / 31	31 / 31

#### 4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono widma odbiciowe i transmisyjne układów interferencyjnych TiO<sub>2</sub>/Ti/TiO<sub>2</sub>/szkło wytworzonych metodą magnetronową w warunkach przemysłowych. Bazując na normie PN-EN 410 wyznaczono przepuszczalność i odbicie światła dla wytworzonych próbek. Wykazano, że wraz ze wzrostem grubości warstwy metalicznej maleje przepuszczalność światła, przy czym (generalnie) nieco większe wartości wykazują układy z dodatkową warstwą TiO<sub>2</sub> pomiędzy szkłem a tytanem. Największe różnice przepuszczalności światła zaobserwowano dla próbek z najcieńszą warstwą metaliczną, przy czym zanikają one wraz ze wzrostem jej grubości.

#### 5. LITERATURA

- [1] ANTOŃCZAK A.J., STĘPAK B., KOZIOŁ P.E., ABRAMSKI K.M.: The influence of process parameters on the laser-induced coloring of titanium, *Applied Physics A* 115, 2014, 1003–1013.
- [2] CRONIN J.P.: *Electrochromic Coatings*. [W:] Aegerter M.A., Mennig M. (eds) *Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users*. Springer, Boston, MA, 2004.
- [3] DOMANOWSKI P., WAWRZAK A.: Automation of thin film deposition process based on magnetron sputtering, *J. Mach. Eng.* 2, 2012, 111–119.
- [4] FERRARA M., CASTALDO A., ESPOSITO S., D'ANGELO A., GUGLIELMO A., ANTONAIA A.: AlN–Ag based low-emission sputtered coatings for high visible transmittance window, *Surface Coatings and Technology* 295, 2016, 2–7.
- [5] FUJIWARA H.: *Spectroscopic Ellipsometry. Principles and Applications*. JohnWiley & Sons Ltd., Chichester UK, 2009.
- [6] GINLEY D.S., BRIGHT C.: Transparent Conducting Oxides, *MRS Bulletin* 25, 2000, 15–18.
- [7] NOCUŃ M.: Powłoki funkcyjne na szkłe – rodzaje, właściwości, perspektywy rozwoju, *Świat Szkła* 1, 2010, 44–49.
- [8] PN-EN 410:2011, *Szkło w budownictwie – określenie świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia*



- [9] POSADOWSKI W.M., WIATROWSKI A., DORA J., RADZIMSKI Z.J.: Magnetron sputtering process control by medium-frequency power supply parameter. *Thin Solid Films* 516, 2008, 4478–4482
- [10] SKOWRONSKI L., SZCZESNY R., ZDUNEK K.: Optical and microstructural characterization of amorphous-like Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> thin layers deposited using a pulse gas injection magnetron sputtering technique, *Thin Solid Films*, 632, 2017, 112–118.
- [11] SKOWRONSKI Ł., TRZCINSKI M., ANTOŃCZAK A.J., DOMANOWSKI P., KUSTRA M., WACHOWIAK W., NAPARTY M.K., HILLER T., BUKALUK A., WRONKOWSKA A.A.: Characterisation of coloured TiO<sub>x</sub>/Ti/glass systems, *Applied Surface Science* 322, 2014, 209–214.
- [12] SKOWRONSKI L., WACHOWIAK A.A., GRABOWSKI A.: Characterization of optical and microstructural properties of semitransparent TiO<sub>2</sub>/Ti/glass interference decorative coatings, *Applied Surface Science* 388, 2016, 731–740.
- [13] SKOWRONSKI L., WACHOWIAK A.A., WACHOWIAK W.: Optical and microstructural properties of decorative Al/Ti/TiO<sub>2</sub> interference coatings, *Applied Surface Science*, 421, 2017, 794–801.
- [14] SKOWRONSKI L., WACHOWIAK A.A., ZDUNEK K., TRZCINSKI M., NAPARTY M.K.: TiO<sub>2</sub> – based decorative coatings deposited on the AISI 316L stainless steel and glass using an industrial scale magnetron, *Thin Solid Films*, 627, 2017, 1–8.
- [15] SKOWRONSKI L., ZDUNEK K., NOWAKOWSKA-LANGIER K., CHODUN R., TRZCINSKI M., KOBIERSKI M., KUSTRA M., WACHOWIAK A., WACHOWIAK W., HILLER T., GRABOWSKI A., KURPASKA Ł., NAPARTY M.: Characterization of microstructural, mechanical and optical properties of TiO<sub>2</sub> layers deposited by GIMS and PMS methods, *Surface and Coatings Technology* 282, 2015, 6–23
- [16] ZDUNEK K., NOWAKOWSKA-LANGIER K., DORA J., CHODUN R.: Gas injection as a tool for plasma process control during coating deposition, *Surface and Coatings Technology* 228, 2013, S367–S373.
- [17] ZDUNEK K., SKOWRONSKI L., CHODUN R., NOWAKOWSKA-LANGIER K., GRABOWSKI A., WACHOWIAK W., OKRASA S., WACHOWIAK A., STRAUSS O., WRONKOWSKA A., DOMANOWSKI P.: Novel gims technique for deposition of coloured Ti/TiO<sub>2</sub> coatings in industrial scale. *Material Science-Poland* 34, 2016, s. 137–141

## LUMINOUS PROPERTIES OF GLASS WITH INTERFERENCE TiO<sub>2</sub>/Ti – BASED COATINGS PRODUCED BY MAGNETRON SPUTTERING

**Summary:** Functional coatings deposited on glass modify its features or give it completely new properties, simultaneously changing optical properties of the whole system (layer/layers-substrate). Interference decorative TiO<sub>2</sub>/Ti/TiO<sub>2</sub>/glass coatings were produced using magnetron sputtering technique at industrial conditions. Luminous properties of the obtained systems were determined according norm EN 410. Showed that thickness of both TiO<sub>2</sub> and Ti significantly have an influence on parameters defined in the above mentioned norm.

**Key words:** decorative coatings, luminous transmittance, luminous reflectance, titanium dioxide, titanium