

Rada Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława
Dąbrowskiego
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Dr Marta MICHALSKA-DOMAŃSKA
Instytut Optoelektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Wniosek

z dnia 30.09.2023

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie¹ *inżynieria materiałowa*.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora
habilitowanego: *Cykl publikacji powiązanych tematycznie, zatytułowany: „Synteza, właściwości
i zastosowanie anodowego tlenku tytanu”*

Wniosuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała
uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **jawnym**.

Zostałem poinformowany, że:

*Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w
sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej
z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).*

*Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.
Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c)
Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.
232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu
przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i
obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.*

*Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest
na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html*

Marta Ewa
Michalska -
Domańska
(podpis wnioskodawcy)

Elektronicznie podpisany
przez Marta Ewa
Michalska - Domańska
Data: 2023.09.30 23:36:30
+0200

Załączniki:

Załącznik 1. Dane wnioskodawcy

Załącznik 2. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

Autoreferat

1. Marta Michalska-Domańska
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Doktor Nauk Technicznych	Dyscyplina naukowa: Inżynieria Materiałowa Specjalność: Materiały Funkcjonalne Tytuł pracy: Wpływ stanu materiału na aktywność katalityczną stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al. Data Obrony: 19.03.2015 r., obrona z wyróżnieniem Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Katedra Zaawansowanych Technologii i Chemii Promotor: Prof. dr hab. inż. Zbigniew BOJAR Promotor pomocniczy: dr Paweł JÓŻWIK Recenzenci: prof. dr hab. inż. Tadeusz KULIK (Politechnika Warszawska) prof. dr hab. inż. Krzysztof KRAWCZYK, prof. PW
Magister	Dyscyplina naukowa: Chemia Specjalność: Chemia Fizyczna Tytuł pracy: Synteza nanorurek węglowych metodą katalitycznej pirolizy alkoholi alifatycznych. Data Obrony: 2007 r. Uniwersytet Warszawski, Wydział Chemii Promotor: Prof. dr hab. inż. Hubert LANGE

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

01.2017 – nadal	Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, Adiunkt badawczo-dydaktyczny
06.2021 – 10.2021	Universidad Complutense de Madrid, Madryt, Hiszpania – staż naukowy (Postdoc)
01.2018 – 06.2019	TU Delft, 3M Faculty, Delft, Holandia – postdoc – staż naukowy (Postdoc)
03.2016 – 01.2017	Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, Asystent
11.2015 – 12.2015	University of Tübingen, Tübingen, Niemcy – krótkoterminowy staż naukowy Fabrication of well-ordered polystyrene spheres array by spin coating method.
06.2015 – 03.2016	Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, Starszy Inżynier
03.2015 – 06.2015	Wyższa Szkoła Służb Pożarniczych, Wykładowca
11.2013 – 31.04.2015	Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Zaawansowanych Materiałów i Technologii, Starszy Inżynier
02.2011 – 03.2013	Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Zaawansowanych Materiałów i Technologii, Samodzielny referent ds. technicznych

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie,

w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

Tytuł osiągnięcia naukowego:

Synteza, właściwości i zastosowanie anodowego tlenku tytanu

Jednotematyczny cykl publikacji:

Jako osiągnięcie naukowe, wynikające z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r., poz. 478 z późn. zm.), przedstawiam jednotematyczny cykl 9 publikacji naukowych z bazy Journal Citation Reports (JCR).

Sumaryczny współczynnik oddziaływania impact factor (IF) publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego zgodnie z rokiem opublikowania: 34,325

Sumaryczna liczba punktów MNiSW publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, zgodnie z rokiem opublikowania: 960

Średni udział habilitanta w publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego: 71,11%

Lista publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe:

- H1 **M. Michalska-Domańska***, P. Nyga, M. Czerwiński
Ethanol-based electrolyte for nanotubular anodic TiO₂ formation, Corrosion Science 134 (2018) 99 – 102,
IF (2018) = 5,245, punkty MNiSW (2018): 140
- Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji oraz opracowaniu planu eksperymentu, zaplanowaniu prowadzonych badań, wykonaniu części pomiarów, interpretacji wyników badań, przygotowaniu manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Mój udział procentowy szacuję na 85%.*
- H2 **M. Michalska-Domańska ***
An Overview of Anodic Oxides Derived Advanced Nanocomposites Substrate for Surface Enhance Raman Spectroscopy, in BOOK: Assorted Dimensional Reconfigurable Materials, ISBN 978-1-78985-514-2, 23pp., **2020**, IntechOpen,
IF (2019) 0, punkty MNiSW (2019): 20
- Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, zebraniu niezbędnych danych, wykonaniu analizy i podsumowania uzyskanych informacji, przygotowaniu manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Mój udział procentowy wyniósł 100%.*
- H3 **M. Michalska-Domańska ***, M. Łazińska, J. Łukasiewicz, J. M. C. Mol, T. Durejko
Self-Organized Anodic Oxides on Titanium Alloys Prepared from Glycol- and Glycerol-Based Electrolytes, Materials 13, **2020**, 4743
IF (2020) = **3,623**, punkty MNiSW (2020): 140 pkt

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, zaplanowaniu wszystkich prowadzonych badań, przygotowaniu anodowego tlenku tytanu do badań oraz wykonaniu wszystkich pomiarów, interpretacji wyników badań, przygotowaniu manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- H4 **M. Michalska-Domańska***, M. Czerwiński, M. Łazińska, V. Dubey, M. Jakubaszek, Z. Zawadzki, J. Kostecki,
Morphological and optical characterization of colored nano-tubular anodic titanium oxide made in ethanol-based electrolyte, Materials 2021, 14, 6992.
<https://doi.org/10.3390/ma14226992>, **IF (2021) = 3,623**, punkty MNiSW (2020): 140 pkt

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, zaplanowaniu wszystkich prowadzonych badań, przygotowaniu materiałów anodowego tlenku tytanu do badań oraz wykonaniu większości pomiarów, interpretacji wyników badań, przygotowaniu manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Mój udział procentowy szacuję na 70%

- H5 K. Gulati*, R. Del Olmo Martinez, M. Czerwiński, **M. Michalska-Domańska***
Understanding the Influence of Electrolyte Aging in Electrochemical Anodization of Titanium, Advances in Colloid and Interface Science 302, 2022, 102615,
IF (2022) =15,600, punkty MNiSW (2022): 200 pkt

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, opracowaniu struktury artykułu i podziale pracy między współautorów, integracji poszczególnych fragmentów tekstu w spójny manuskrypt, poprawkach manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Praca powstała w ramach współpracy z prof. K. Gulati (The University of Queensland, Australia). Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Jestem ostatnim autorem, ponieważ inni współautorzy z WAT są podwładnymi w prowadzonym przeze mnie zespole badawczym. Mój udział procentowy wyniósł 65%.

- H6 R. del Olmo Martinez, M. Czerwiński, A. Santos-Coquillat, V. Dubey, S. Dhoble, **M. Michalska-Domańska***
Chapter 4: Nano-Scale Surface Modification: Fabrication, in Surface Modification of Titanium Dental Implants, Springer 2022

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, opracowaniu struktury przeglądu i podziale pracy między współautorów, integracji poszczególnych fragmentów tekstu w spójny manuskrypt, poprawkach manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Praca powstała w ramach współpracy z naukowcami z Hiszpanii (Inst. De Investigación Sanitaria Gregorio Marañón, Madrid, Spain) oraz z Indii (Bhilai Institute of Technology Raipur, India oraz R.T.M.Nagpur University, India). Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Jestem ostatnim autorem, ponieważ inni współautorzy z WAT są podwładnymi w prowadzonym przeze mnie zespole badawczym. Mój udział procentowy wyniósł 60%.

- H7 R. del Olmo Martinez, B. Munirathinam, **M. Michalska-Domańska***
Chapter: Biomedical Application of Anodic Nanomaterials, in "SYNTHESIS OF BIONANOMATERIALS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS" Elsevier, 2022

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, opracowaniu struktury przeglądu i podziale pracy między współautorów, integracji poszczególnych fragmentów tekstu w spójny manuskrypt, poprawkach manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Praca powstała w ramach współpracy dr. B. Munirathinam (Technische Universitat Braunschweig, Germany). Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Jestem

ostatnim autorem, ponieważ inni współautorzy z WAT są podwładnymi w prowadzonym przeze mnie zespole badawczym. Mój udział procentowy wyniósł 60%.

- H8 **M. Michalska-Domańska***, K. Prabucka, M. Czerwiński,
Modification of Anodic Titanium Oxide Bandgap Energy by Incorporation of Tungsten, Molybdenum, and Manganese In Situ during Anodization, Materials 16, **2023**, 2707, IF(2022) = 3,748, punkty MNiSW (2022): 140 pkt.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, zaplanowaniu wszystkich prowadzonych badań, przygotowaniu planu eksperymentu, uczestnictwie w przygotowaniu materiałów anodowego tlenku tytanu do badań oraz uczestnictwie w wykonaniu analiz, uczestnictwie w interpretacji wyników badań, przygotowaniu manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Praca powstała na podstawie pracy dyplomowej p. K. Prabuckiej, której jestem Promotorem. Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

- H9 M. Czerwiński*, R. del Olmo, **M. Michalska-Domańska***,
Application of Anodic Titanium Oxide Modified with Silver Nanoparticles as a Substrate for Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, Materials 16, 2023, 5696, IF(2022) = 3,748, punkty MNiSW (2022): 140 pkt.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, udziale w zaplanowaniu prowadzonych badań, przygotowaniu planu eksperymentu, uczestnictwie w przygotowaniu materiału badawczego, uczestnictwie w interpretacji wyników badań, uczestnictwie w korektach szkicu manuskryptu, dyskusji z recenzentami. Praca powstała w ramach pracy doktorskiej mgr inż. M. Czerwińskiego, którego jestem Promotorem Pomocniczym. Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Jestem ostatnim autorem, ponieważ inni współautorzy są podwładnymi w prowadzonym przeze mnie zespole badawczym. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

Litera „H” oznacza prace stanowiące podstawę habilitacji, w odróżnieniu od innych prac.
Symbol „*” oznacza autora korespondencyjnego danej pracy.

OMOWIENIE OSIAGNIECIA

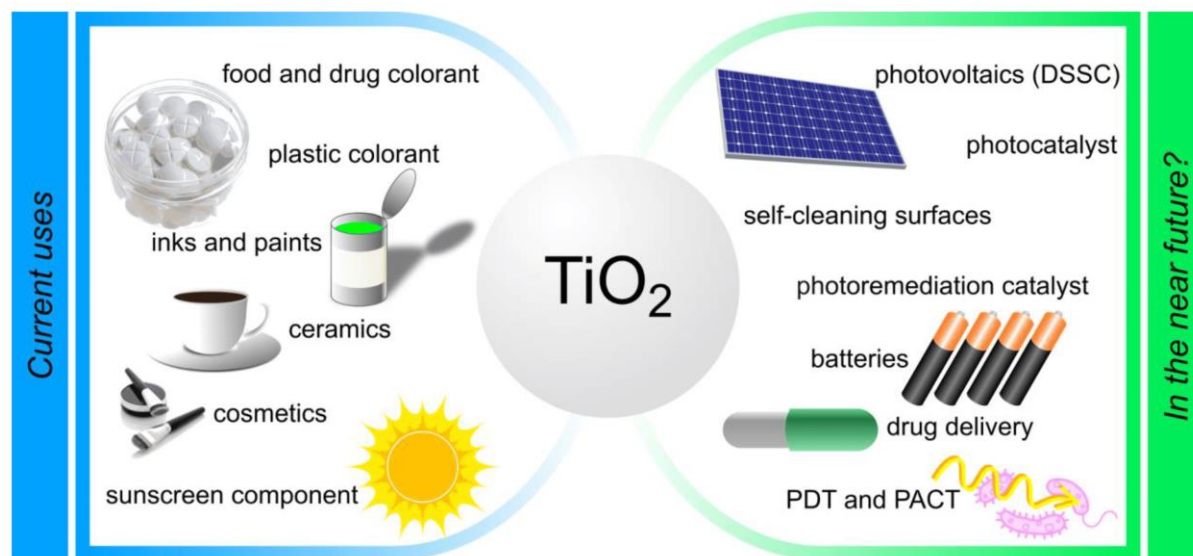
Synteza, właściwości i zastosowanie anodowego tlenku tytanu

Wstęp -wprowadzenie

Elektrochemiczne utlenianie powierzchni metali, znane powszechnie pod pojęciem anodyzacja, to jedna z efektywnych kosztowo i skalowalnych technologii wytwarzania kontrolowanych nanomorfologii wybranych tlenków metali. Anodowanie jest metodą taniej i szybkiej elektrochemicznej obróbki powierzchni, która pozwala na otrzymanie nowych nanomateriałów oraz prowadzi do modyfikacji właściwości powierzchni obrabianych metali lub ich stopów [

¹]. Proces elektrochemicznego utleniania polega na przepływie prądu stałego indukowanego z zewnętrznego zasilacza (DC) przez metale zaworowe (to jest przepuszczające prąd tylko w jedną stronę), czyli aluminium, tytan, tantal i niob, aczkolwiek można do nich zaliczyć także wolfram, chrom, cyrkon, hafn, cynk, wanad, bizmut lub antymon. ^[2]. Najpopularniejsze metale poddawane anodowaniu to aluminium i tytan.

Tytan jest lekkim metalem, charakteryzującym się najwyższą wytrzymałością względną wśród metali, odpornością korozyjną porównywalną z platyną oraz biokompatybilnością. Dodatkowo z innymi metalami tworzy stopy o nietuzinkowych właściwościach: dodatki stopowe mogą m.in. zwiększać twardość i wytrzymałość, zwiększać lub obniżać plastyczność, zmieniać odkształcalność. Podczas anodyzacji tytan pokrywa się tlenkiem tytanu, który jest powszechnie stosowany w przemyśle spożywczym, kosmetycznym, farbiarskim i farmaceutycznym. Dodatkowo materiał ten ma właściwości fotokatalityczne, antyrefleksyjne, samoczyszczące i antybakteryjne, a co za tym idzie ma szereg nowych, perspektywicznych zastosowań. Także duża biokompatybilność tytanu, jego stopów oraz tlenku tytanu jest wykorzystywana i rozwijana w zastosowaniach biomedycznych.

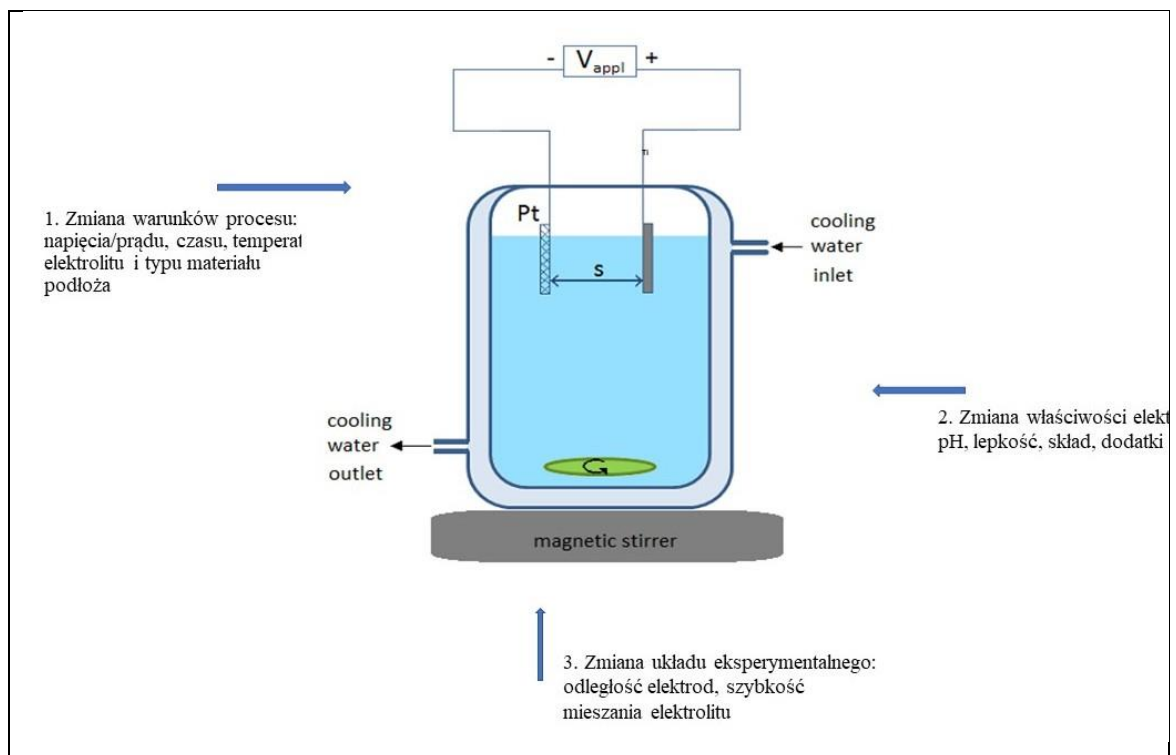


Rys 1. Obecne i przyszłe zastosowania tlenku tytanu ^[3].

Tlenek tytanu może występować w formie proszku, nanocząstek lub też innych obiektów w skali nano-. Podczas anodyzacji tytanu najczęściej wytwarzanymi morfologiami są nanorurki (ang. Titanium Nanotubes, TNT) i nanopory (ang. Titanium Nanopores, TNP) anodowego tlenku tytanu (ang. Anodic Titanium Oxide, ATO) (TiO₂) a także tlenek kompaktowy, czyli zwarta warstwa tlenku barierowego.

Pierwsze doniesienie na temat anodowania Ti w wodnym roztworze HF zawierającym kwas chromowy, w wyniku których powstał samouporządkowany tlenek anodowy, przypisuje się grupie prof. Zwilling [4, 5]. Wytworzona warstwa nieuporządkowanych nanorurek miała grubość około 500 nm oraz niejednorodne ściany boczne. Co ciekawe, 20 lat wcześniej Kelly i in. opisali powstawanie porowatej warstwy tlenku tytanu w elektrolicie zawierającym niskie stężenia fluorków, jednak prawdopodobnie samouporządkowane TNT nie zostały zobrazowane za pomocą mikroskopii elektronowej [6, 7]. To właśnie te przełomowe badania [4-7] przyczyniły się do dalszych postępów w badaniach nad anodowaniem tytanu.

Proces anodyzacji jest czuły na zmianę warunków eksperymentalnych: niewielka zmiana np. zastosowanego napięcia anodyzacji lub temperatury procesu znacząco wpływają na uzyskiwaną morfologię a tym samym na właściwości anodowych tlenków. Jednocześnie ta cecha procesu wytwarzania anodowych tlenków jest wykorzystywana do kontroli ich geometrii i właściwości. Co więcej, łatwość kontroli morfologii i właściwości nanoobjektów anodowego TiO_2 umożliwia ich zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, w tym m.in. w oczyszczaniu wody, bioczułnikach, ogniwach słonecznych i implantach biomedycznych [8]. Warto dodać, że nanorurki ATO (TNT_ATO) są najczęściej badaną nanomorfologią anodowego TiO_2 pod względem optymalizacji zarówno procesu wytwarzania, jak i wydajności specyficznych dla konkretnych aplikacji.



Rys. 2. Schemat układu eksperymentalnego z zaznaczeniem parametrów mogących wpływać na morfologię ATO.

Kontrola morfologii ATO jest realizowana poprzez zmianę warunków prowadzenia procesu anodyzacji, takich jak (Rys 2):

1. Zmiana warunków elektrochemicznych, takich jak napięcie, czas procesu, temperatura i typ elektrolitu, etc.
2. Zmiana właściwości elektrolitu, takich jak pH, lepkość, skład elektrolitu, etc.
3. Zmiana układu eksperymentalnego: odległość elektrod, szybkość mieszania.

Ogólnie, w zależności od zastosowanych warunków anodowania, wyróżnia się 4 generacje anodowego tlenku tytanu o zróżnicowanej morfologii (maksymalna grubość/długość, uporządkowanie i chropowatość ścian bocznych):

I generacja – słabo uporządkowane nanorurki, z maksymalną grubością 0,5 μm , wytworzone w wodnych roztworach kwasu fluorowodorowego HF [9];

II generacja – lepiej uporządkowane nanorurki [o pofałdowanych ścianach], wytworzone w wodnych roztworach soli zawierających fluor ($\text{NH}_4\text{F}/\text{NaF}$ 0,1–0,5% wag.) [10];

III i IV generacja – Obecnie TNT 3. lub 4. generacji wytwarza się w rozpuszczalnikach organicznych, głównie w elektrolitach na bazie alkoholi wielowodorotlenowych (tj. glikolu etylenowego lub glicerolu) z niewielką ilością wody (0,1–5)% wag. i soli $\text{NH}_4\text{F}/\text{NaF}$ (0,1–0,5) % wag. [11];

Omówienie celu naukowego

Zmiana warunków procesu anodyzacji pozwala na kontrolę morfologii a tym samym właściwości anodowego tlenku tytanu, dlatego też **głównym celem niniejszej pracy jest opisanie wpływu parametrów procesu anodyzacji tytanu na otrzymywaną morfologię anodowego tlenku tytanu oraz na jego właściwości**. Cel naukowy został zrealizowany w podziale na 3 kategorie zastosowań anodowego tlenku tytanu:

- 1) W trakcie pracy po raz pierwszy opracowałam i opisałam nowy typ elektrolitu do anodyzacji tytanu, oparty na alkoholu monohydorksylowym. Opisałam także jego wpływ na otrzymywaną morfologię i właściwości ATO (**Kategoria 1**).
- 2) Zbadałam i opisałam wpływ rodzaju elektrolitu oraz warunków prowadzenia procesu anodyzacji na morfologię/właściwości ATO uzyskiwanego na czystym tytanie oraz na stopach tytanu o zastosowaniu biomedycznym (**Kategoria 2**).

3) Modyfikując standardowe warunki anodyzacji tytanu w elektrolicie opartym na glikolu etylenowy wytworzyłam matryce tlenkowe ATO do zastosowania jako podłoża kompozytowe typu ATO/Metal szlachetny do wzmocnionej powierzchniowo spektroskopii Ramana (ang. Surface Enhance Raman spectroscopy, SERS) (**Kategoria 3**).

Poniżej omówiłam krótko osiągnięte wyniki z podziałem na wymienione powyżej kategorie.

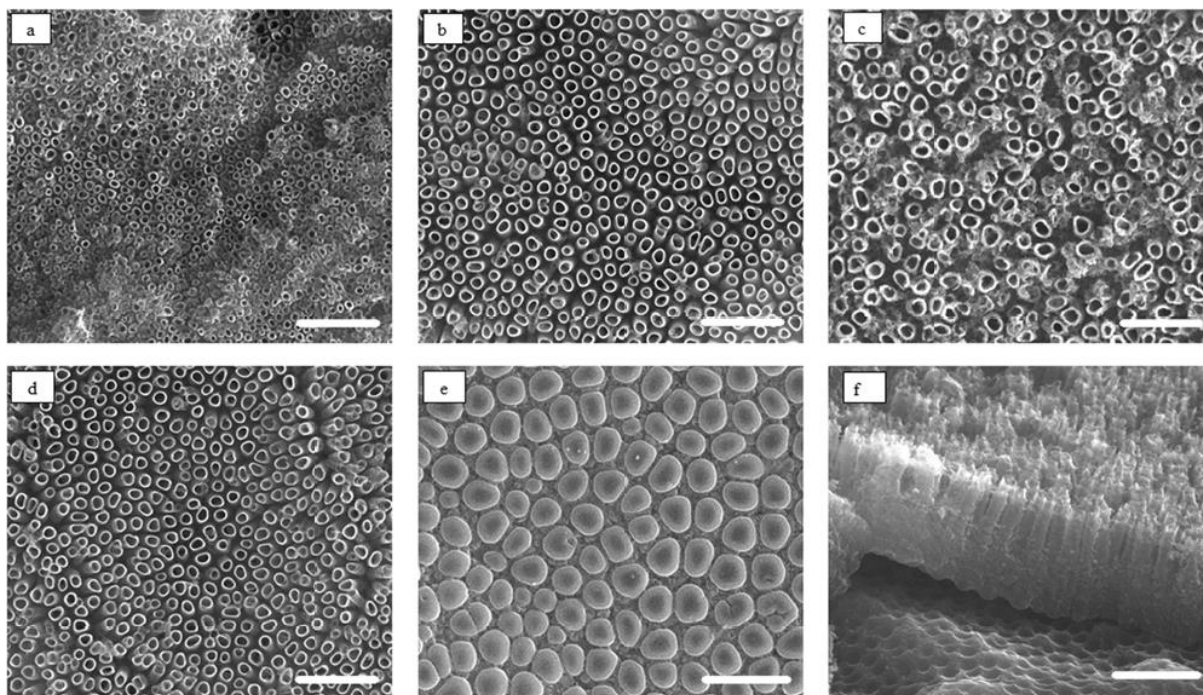
Omówienie osiągniętych wyników

Kategoria 1 – Nowy typ elektrolitu oparty na alkoholu monohydorksyłowym do anodyzacji tytanu, a także jego wpływ na otrzymywaną morfologię i właściwości ATO.

Główne osiągnięcia w Kategorii 1: Opracowałam nowy elektrolit do anodyzacji tytanu oparty na etanolu oraz zawierający fluorek sodu oraz dodatek wody. Użycie tego elektrolitu prowadzi do wytworzenia nanorurek ATO o morfologii, którą można umiejscowić pomiędzy matrycami ATO wytworzonymi w elektrolicie opartym na glikolu etylenowym i elektrolicie opartym na wodzie. Co więcej stwierdziłam, że zmiana zawartości wody w elektrolicie opartym na etanolu i anodyzacja Ti w niskiej temperaturze (20°C) prowadzi do wytworzenia nanorurek ATO z charakterystycznym kolorem strukturalnym, zależnym od przyłożonego napięcia jak i składu elektrolitu.

Generalnie, w zależności od użytego elektrolitu, można wytworzyć nanorurki tlenku tytanu (NTs) o różnej morfologii (głównie o różnej grubości maksymalnej, uporządkowaniu NTs lub chropowatości/gładkości ścianek NTs), które dzielimy na cztery generacje ATO [12]. Na przykład anodowe NTs wytworzone w elektrolicie na bazie wody zawierającym HF nie są dobrze uporządkowane, o maksymalnej grubości 0,5 μm i z szorstkimi ścianami poszczególnych nanorurek. Tlenek wytworzony w takim elektrolicie nazywany jest I generacją ATO [12]. Z kolei ATO III generacji to samoorganizujące się nanorurki tlenku tytanu otrzymane w roztworach organicznych zawierających sole fluorkowe (0,1–0,5% mas.) i niewielką ilość wody (zwykle 0,1–5% mas.), mające długość do 6 μm i gładkie ścianki nanorurek [13]. Obecnie nanorurki ATO III i IV generacji mają wiele zastosowań i są powszechnie wytwarzane w elektrolitach na bazie alkoholi wielowodorotlenowych, najczęściej w elektrolitach opartych na glikolu etylenowego, rzadziej w glicerolu.

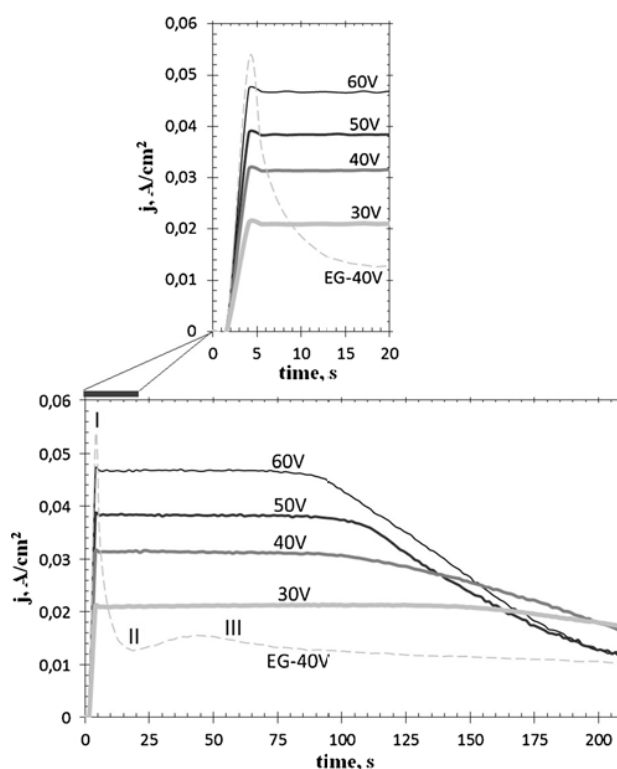
W publikacji H1 po raz pierwszy opisałam zastosowanie alkoholu jednowodorotlenowego – etanolu – jako rozpuszczalnika organicznego w elektrolicie do anodowania folii tytanowej o czystości 99,5%. Szczegółowo zbadalam morfologię otrzymanego nanorurkowego TiO_2 powstającego podczas anodowania folii Ti w elektrolicie na bazie etanolu, zawierającym 0,3M fluorku amonu i 3,5 obj% wody. Jednoetapowe anodowanie folii Ti w elektrolicie na bazie etanolu przeprowadziłam przy różnych napięciach (30, 40, 50, 60 V) w temperaturze 40°C przez 30 min. Próbkę referencyjną przygotowano w typowym elektrolicie do anodowania tytanu, który zawierał 0,3 M NH_4F , 2% obj. wody dejonizowanej oraz glikol etylenowy jako rozpuszczalnik. Wybrałam następujące warunki anodowania do wytworzenia próbki wzorcowej były: 40 V, 40°C, 30 min. Morfologię anodowanych warstw obserwowałam za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego z emisją polową FE-SEM (FEI, Quanta 3D).



Rys 3. Zdjęcia FE-SEM nanorurek Anodowego tlenku tytanu przygotowane w elektrolicie opartym na etanolu w 40 °C przy napięciu 30 V (a), 40 V (b), 50 V (c) and 60 V(d) – bar odpowiada 1 μm. (e) Widok próbki c) od spodu – bar odpowiada 500 nm; (f) Przekrój próbki d) – bar odpowiada 1 μm. [H1]

Co ciekawe, w świeżo przygotowanym roztworze elektrolitu widoczne były małe, białe, krystaliczne cząstki NH_4F . Stwierdziłam, że NH_4F rozpuszczał się w etanolu tylko częściowo i kryształy NH_4F wytrąciły się z powodu różnicy rozpuszczalności fluorku amonu w wodzie i etanolu. Ogólnie NH_4F dobrze rozpuszcza się w wodzie: rozpuszczalność wynosi odpowiednio 71,9, 82,6, 88,8 i 118 g w 100 ml wody o temperaturze odpowiednio 10, 20, 30 i 80°C. Dla porównania rozpuszczalność tej soli w glikolu etylenowym jest na ogół znacznie mniejsza niż w wodzie, ale nadal jest wysoka. Rozpuszczalność NH_4F w alkoholach monohydroksylowych jest o ponad rząd wielkości mniejsza niż w wodzie i wynosi odpowiednio 1,75 g i 2,88 g soli w 100 ml etanolu i metanolu w temperaturze 25°C. Anodyzację cienkich folii Ti prowadziłam w elektrolicie z krystalicznymi cząstkami NH_4F i bez nich. Elektrolit bez cząstek NH_4F przygotowałam przez filtrację świeżo przygotowanego elektrolitu z cząstkami krystalicznymi. Podczas anodowania folii Ti w elektrolicie bez kryształów fluorku amonu wystąpiło zjawisko korozji i przypalenia próbki. Ponadto powierzchnia próbek miała barwę granatową dla wszystkich przyłożonych wartości potencjałów (30–60 V), co sugeruje powstawanie zwartego tlenku na ich powierzchni. Natomiast anodowanie tytanu w elektrolicie na bazie

etanolu zawierającego kryształki NH_4F powoduje powstanie nanorurek ATO. Wynik ten sugeruje, że kryształy NH_4F w elektrolicie na bazie etanolu są źródłem jonów F^- i zapewniają stałe stężenie anionów fluorkowych w roztworze podczas procesu elektrowytleniania Ti. Ogólnie rzecz biorąc, ilość jonów F^- zużywanych podczas anodowania tytanu jest bardzo mała, ale są one niezbędne do tworzenia nanoporowatych lub nanorurkowych morfologii ATO. W przypadku elektrolitu na bazie etanolu, w którym rozpuszczalność NH_4F jest niska, obecność jonów fluorkowych jest również bardzo niska. Gdy anodowanie Ti przeprowadza się w elektrolicie bez fluoru, na powierzchni po elektrowytlenianiu obserwuje się jedynie zwartą warstwę tlenku (bez porów). Kryształy NH_4F obecne w roztworze elektrolitu na bazie etanolu mogą zapewnić odpowiednie i stałe stężenie F^- , co pozwala na wzrost nanorurek ATO. Ilość jonów F^- w elektrolicie na bazie etanolu jest regulowana przez pK_a NH_4F w etanolu. W konsekwencji w elektrolicie na bazie etanolu z kryształami NH_4F można uzyskać stałe warunki chemiczne niezbędne do wzrostu nanorurek ATO.



Rys 4. Krzywe prądowe zarejestrowane podczas anodyzacji tytanu przy różnych potencjałach (30–60 V) w elektrolicie opartym na etanolu zawierającym 0.3M NH_4F and 3.5 vol.% wody. EG-40V (szara przewywna linia) odpowiada próbce referencyjnej [H1].

Należy zauważyć, że kształt krzywych zależności gęstości prądu od czasu trwania procesu (krzywe prądowe) zarejestrowanych podczas anodowania folii Ti w elektrolicie na bazie

etanolu jest nietypowy. Krzywe prądowe zarejestrowane podczas procesu anodowania folii Ti w elektrolicie na bazie etanolu przedstawiono na Rys. 4. Gęstość prądu rośnie wraz z przyłożonym potencjałem i wynosi dla skrajnych napięć anodowania 21 mA/cm² dla 30 V i około 47 mA/cm² dla 60 V. Próbkę referencyjną przygotowano w elektrolicie na bazie glikolu przy potencjale 40 V w celu porównania standardowej krzywej prądowej i tych uzyskanych przy anodyzacji Ti w elektrolicie z etanolem. Zazwyczaj krzywe prądowe rejestrowane podczas procesu anodowania składają się z trzech dobrze znanych etapów, odpowiadających tworzeniu się zwartej warstwy na powierzchni Ti (etap I), inicjacji tworzenia się nieregularnych nanoporów na warstwie tlenku (etap II) oraz etapowi stanu ustalonego, gdy na tlenku tytanu narasta regularna warstwa nanoporów lub nanorurek (etap III) [3]. Krzywa prądowa próbki referencyjnej przygotowanej przy użyciu elektrolitu na bazie glikolu ma wszystkie trzy etapy (przerywana jasnoszara linia na Rys 4. oznaczona EG-40 V, etapy oznaczone jako I, II i III). Krzywe prądowe anodowania Ti w elektrolicie opartym na etanolu znacznie różnią się od krzywej próbki referencyjnej. Przypominają one profile obserwowane podczas anodowania stopów np. TiAl czy Ni₃Al. I etap jest wyraźnie widoczny, ale trudno rozpoznać etapy II i III. Na początku anodowania gęstość prądu wzrasta, a po osiągnięciu maksimum (etap I) nieco spada, by przez kilkaset sekund utrzymać się na porównywalnym poziomie. Następnie gęstość prądu powoli maleje. Wraz ze wzrostem napięcia anodowania spadek gęstości prądu następuje wcześniej i jest bardziej skokowy.

Zazwyczaj podczas anodowania Ti w elektrolicie wodnym w porównaniu z anodowaniem w elektrolicie organicznym rejestruje się większą gęstość prądu, co jest związane z większą ruchliwością i dyfuzją jonów w elektrolicie wodnym [14]. Gęstość prądu zarejestrowana podczas anodowania tytanu w elektrolicie na bazie etanolu (Rys 4.) jest większa niż dla anodowania prowadzonego w elektrolicie na bazie glikolu (Rys 4., krzywa oznaczona EG-40V). Obserwowane zjawisko może wynikać z różnej lepkości zastosowanych roztworów elektrolitów. Lepkość elektrolitu wpływa na morfologię anodowych nanorurek tlenku tytanu poprzez zmianę ruchliwości jonów w elektrolicie, co można zaobserwować poprzez zmiany gęstości prądu. Im wyższa lepkość elektrolitu, tym mniejsza ruchliwość jonowa. Lepkość zastosowanych rozpuszczalników wynosi: czysty glikol etylenowy 16,1 mPa·s, czysty etanol 1,07 mPa·s i woda 0,89 mPa·s [15]. Lepkość elektrolitu na bazie etanolu powinna być nieco wyższa niż lepkość czystego etanolu, czyli powinna być zbliżona do lepkości elektrolitu na bazie wody i o rząd wielkości niższa niż lepkość elektrolitów na bazie rozpuszczalników organicznych. Z drugiej strony asocjacja jonów fluorkowych z

cząsteczkami etanolu, zamiast z wodą, zapewnia większy promień hydrodynamiczny, co dodatkowo zmniejsza ruchliwość jonową i przewodność elektrolitu zawierającego etanol. Pomimo odstępstw zaobserwowanych podczas anodowania Ti w elektrolicie na bazie etanolu wobec standardowych elektrolitów, dla wszystkich badanych potencjałów (od 30 V do 60 V) otrzymano morfologię nanorurek anodowego tlenku tytanu. Na Rys 3. przedstawiono obrazy ze skaningowego mikroskopu elektronowego anodowych warstw tlenkowych otrzymane przy różnym przyłożonym potencjale. We wszystkich próbkach ATO uzyskano separację ścianek nanorurek, co potwierdza zdjęcie widoku z dołu reprezentatywnej próbki anodowego tlenku (Rys 3e.). Na przekroju reprezentatywnej nanomorfologii ATO wykonanej przez anodowanie Ti w elektrolicie na bazie etanolu wyraźnie widoczne są ściany boczne nanorurek, które nie są gładkie i posiadają „falbanki” (Rys 3f.). Takie cechy morfologii anodowego tlenku tytanu są typowe dla nanorurek ATO przygotowanych w elektrolicie na bazie wody.

Zwykle wartość przyłożonego potencjału przy anodowaniu tytanu zależy od rodzaju użytego elektrolitu i mieści się w przedziale 5–30 V dla elektrolitów wodnych i 10–60 V dla elektrolitów organicznych. Ponadto potencjał anodowania determinuje pośrednio migrację jonów w elektrolicie podczas procesu anodyzacji i jednocześnie średnicę porów powstającego tlenku anodowego. W elektrolicie z lepkim rozpuszczalnikiem organicznym średnica porów i grubość warstwy tlenku rosną liniowo do potencjału 60 V. Gdy potencjał przekracza 60 V, średnica porów zmniejsza się, ponieważ w takich warunkach dysocjacja wody jest utrudniona, co w konsekwencji niekorzystnie wpływa na morfologię powstających nanoporów ATO [16]. Badany elektrolit na bazie etanolu do anodowania Ti zastosowano z powodzeniem w temperaturze 40°C dla potencjałów anodyzacji w zakresie 30–60 V. Nanorurki ATO uzyskane w tym elektrolicie mają średnice wewnętrzne od 88 nm do 124 nm. Średnica wewnętrzna otrzymanych nanostruktur ATO zależy od przyłożonego potencjału: rosną liniowo do potencjału 50 V, a następnie spadają do wartości 105 nm dla potencjału 60 V. Nanorurki o największej średnicy wewnętrznej mają najniższą jakość (Rys 3c). Grubość warstwy ATO rośnie liniowo wraz z przyłożonym potencjałem i wynosi odpowiednio 1,15 μm i 1,33 μm dla warstwy ATO przygotowanej pod napięciem odpowiednio 30 V i 60 V. Uzyskana grubość ATO wytworzonych przy użyciu elektrolitu na bazie etanolu jest znacznie wyższa niż zwykle uzyskiwana przez anodowanie Ti w elektrolicie na bazie wody. Zastosowane warunki procesu anodowania Ti w elektrolicie z etanolem są podobne do tych zwykle stosowanych do anodowania Ti w elektrolitach organicznych, jednak w tych doniesieniach średnica wewnętrzna nanorurek ATO

zmniejszała się już przy potencjale 50 V. Ponadto uzyskana grubość ATO wytworzonego w elektrolicie opartym na etanolu jest mniejsza niż w przypadku stosowania standardowych elektrolitów organicznych, ale większa niż w przypadku elektrolitów wodnych. Pofałdowane ścianki boczne nanorurek otrzymane w elektrolicie z etanolem są charakterystyczne dla nanorurek ATO przygotowanych w wodnym roztworze elektrolitu. **Podsumowując, parametry morfologiczne matrycy ATO otrzymanej w elektrolicie na bazie etanolu można umieścić pomiędzy morfologią anodowego tlenku tytanu wytwarzanego w elektrolitach wodnych oraz w elektrolitach opartych na glikolu etylenowym [H1].**

Biorąc pod uwagę interesujące rezultaty otrzymane podczas anodyzacji Ti w elektrolicie opartym na etanolu z 0,3M NH_4F i 3,5 obj.% wody zbadałam możliwość wytwarzania ATO w elektrolicie opartym na etanolu o zmienionym składzie [H4]. Wykonałam roztwory elektrolitów opartych na etanolu z zawartością 2, 3,5, 5 i 10 obj.% wody i przeprowadzałam anodyzację tytanu stosując napięcie w zakresie od 30 do 60 V ze zmianą co 10V przy stałej temperaturze anodowania 20°C. Wykazałam, że w tej temperaturze możliwe jest kontrolowanie barwy anodowego tlenku tytanu poprzez zmianę warunków anodowania tytanu, to jest napięcia i składu elektrolitu. Przedstawiłam charakterystykę morfologiczną (SEM) oraz optyczną (współczynnik odbicia dyfuzji z wyliczeniem barwy teoretycznej) warstw tlenkowych ATO wytworzonych w elektrolicie opartym na etanolu. Otrzymane tlenki anodowe we wszystkich badanych warunkach miały morfologię nanorurek i grubość dochodzącą do setek nanometrów. Dla elektrolitów o zawartości wody 3,5, 5 i 10% obj. grubość anodowej warstwy tlenkowej zwiększała się wraz ze wzrostem przyłożonego potencjału. Średnice nanorurek oraz grubość ATO wytworzonych w elektrolicie opartym na etanolu o zawartości wody 2 obj.% były niezależne od przyłożonego napięcia i pozostawały stałe w granicach błędów dla wszystkich badanych potencjałów. Ponadto barwa anodowego tlenku tytanu wytworzonego w elektrolicie z 2 obj.% wody była niebieska i niezależna od przyłożonego napięcia, podczas gdy kolor próbek wytworzonych w elektrolitach o większej zawartości wody zmieniał się wraz z przyłożonym napięciem. Dla warstw tlenkowych wytworzonych w wybranych warunkach zaobserwowałam opalizowanie. Zaproponowałam, że obserwowany kolor strukturalny ATO wynika z efektu synergii między wielkością średnicy nanorurek i grubością warstwy tlenku.

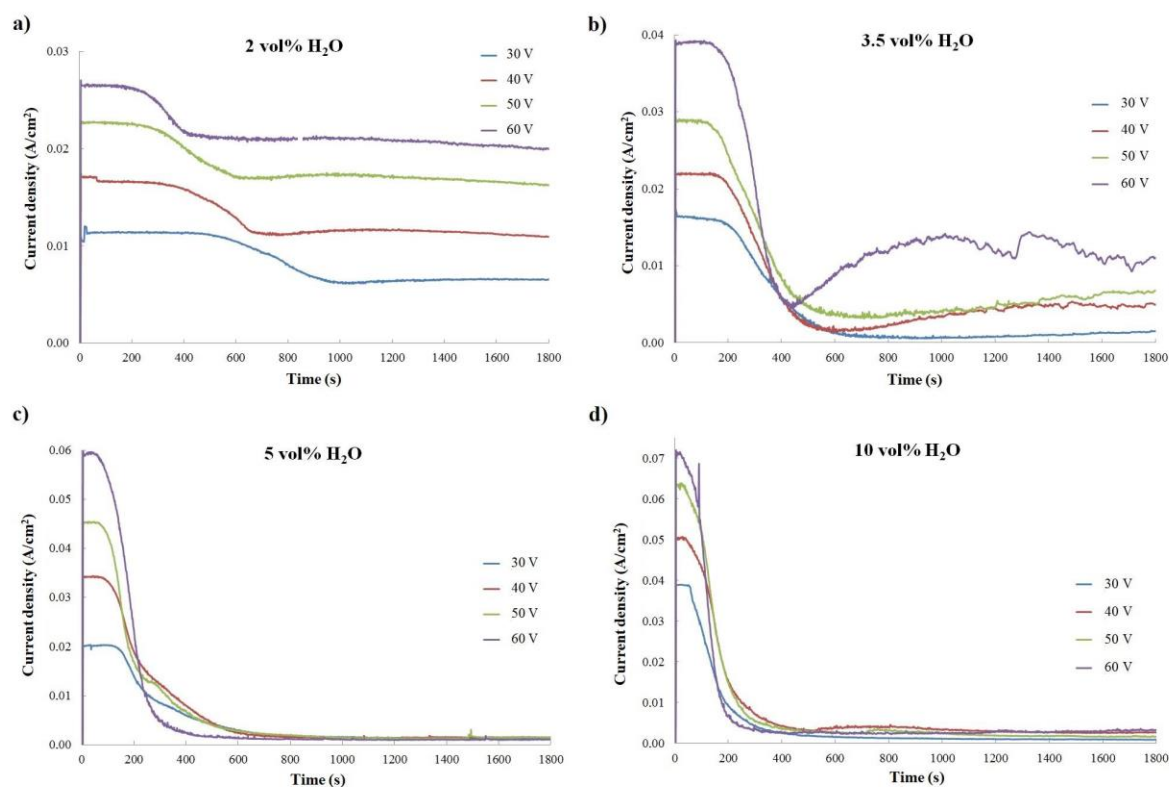
Barwne tlenki anodowe są wciąż świeżym tematem badań, zwłaszcza w odniesieniu do anodowego tlenku tytanu. Zapotrzebowanie na kolorowe powierzchnie tytanowe wzrosło ze względu na ich liczne zastosowania, w tym dekoracyjne i architektoniczne [17]. Ponieważ pigmenty stosowane do produkcji kolorowych powierzchni często zawierają ciężkie i/lub szkodliwe pierwiastki, pożądane są nowe podejścia do barwienia powierzchni metalowych bez użycia pigmentów. Możliwość wytwarzania tytanu in situ podczas anodowania tytanu nanostrukturalnego barwnego anodowego tlenku tytanu w nowych typach elektrolitów na bazie etanolu niesie ze sobą duży potencjał aplikacyjny. W porównaniu z tlenkiem anodowym typu barierowego, nanorurkowa morfologia kolorowego ATO daje możliwość zwiększenia nasycenia kolorów w przyszłości poprzez uszczelnienie nanorurek lub/oraz pokrycie go zewnętrzną metaliczną powłoką.

Barwa strukturalna jest szeroko rozpowszechniona w świecie biologicznym i można ją zaobserwować np. w piórach ptaków czy skrzydłach owadów [18]. Zjawisko to wynika z interakcji światła naturalnego z obecnymi na powierzchniach okresowymi mikrostrukturami lub nanostrukturami, których cechy geometryczne i rozmiary są porównywalne z długościami fal widzialnych. Ogólnie rzecz biorąc, wzrost nanometrycznych warstw tlenków na powierzchni metalu może wykazywać zachwycające kolory ze względu na interferencję warstw ze światłem. Efekt ten można wykorzystać np. w architekturze czy optoelektronice [19]. Gdy żadne pigmenty nie są związane z generowaniem koloru powierzchni, obserwowane kolory są znane jako kolory interferencyjne. W takim przypadku obserwowany kolor pochodzi od okresowych nanostruktur pokrywających powierzchnię i może być spowodowany charakterem nanostruktur (takimi jak rozmiar nanoobjektów, rozmieszczenie nanoobjektów lub ich brak, defekty stechiometryczne w składzie warstwy tlenkowej) lub grubością warstw pokrytych nanostrukturami [18, 20]. Kolorowy tlenek można wytwarzać na powierzchni aluminium lub tytanu przez anodowanie, przy czym zastosowane warunki anodowania silnie wpływają na uzyskane kolory i ich intensywność [21].

Barwny anodowy tlenek aluminium (AAO) udało się wytworzyć przez anodowanie aluminium w wielu różnych roztworach elektrolitów, m.in. opartych na kwasie szczawiowym, kwasie etidronowym i/lub elektrolit alkaliczny (KOH). Wykazano, że barwa strukturalna tlenku zależy od warunków anodowania, zwłaszcza rodzaju elektrolitu, przyłożonego napięcia lub gęstości prądu oraz czasu anodowania – z których wszystkie są silnie związane z grubością tlenku i średnicą nanoporów. Co ważne, istnieje możliwość zwiększenia nasycenia obserwowanej barwy AAO poprzez dodanie zewnętrznej powłoki

metalicznej o określonej grubości lub chropowatości. Warstwy tlenków AAO pokryte warstwą Ag wykorzystywane są jako sensor kolorymetryczny do detekcji nitroaromatycznej. Tworząc warstwowy AAO zbudowany z warstw o różnej grubości tlenku i/lub średnicy nanoporów otrzymywano kryształy foniczne charakteryzujące się bardzo jasnymi kolorami strukturalnymi [22].

Tytan pokryty nanostrukturalnym tlenkiem również często jest barwny. Komercyjnie dostępny stop technicznie czystego tytanu, anodowany w elektrolicie z kwasem siarkowym w zakresie potencjałów 5-80 V przez 30 s, prowadzi do powstania barwnego anodowego tlenku tytanu o barwie zależnej od przyłożonego potencjału [23]. Diamanti i in. szczegółowo przeanalizowali wpływ stężenia kwasu siarkowego w elektrolicie stosowanym w jednoetapowym anodowaniu tytanu na uzyskiwany kolor ATO [24]. Barwa interferencyjna tlenku anodowego otrzymanego na technicznie czystym tytanie i Ti-6Al-4V została z powodzeniem uzyskana przez jednoetapowe anodowanie w elektrolicie z kwasem siarkowym a także przez anodowanie dwuetapowe w elektrolicie z kwasem chlorowodorowym w pierwszym etapie i kwasem fosforowym w drugim etapie anodowania [25]. Anodowany tlenek tytanu wytworzony w elektrolicie zawierającym 3,5 M roztwór HCl w 2-propanolu, przy potencjale 15 V i stosując różne czasy (5-60 minut), charakteryzował się barwą od fioletowej do niebieskiej, w zależności od zastosowanego czasu anodowania [26]. Jak wspomniano wcześniej, na kolor ATO wpływa grubość tlenku anodowego, która jest kontrolowana przez przyłożone napięcie anodowania. Co więcej, odkąd Pedferri opatentował w 2002 roku elektrochemiczną metodę barwienia powierzchni tytanu [27], metoda ta stała się bardzo powszechnie stosowana w sztuce [17].



Rys 5. Krzywe prądowe zarejestrowane podczas anodyzacji tytanu w elektrolicie opartym na etanolu o różnym składzie (2, 3,5, 5 i 10 obj.% H₂O) przy różnym zadanym napięciu [H4].

Podczas anodyzacji tytanu w elektrolitach opartych na etanolu [H4] zarejestrowałam krzywe prądowe. Na krzywych prądowych na początku anodowania gęstość prądu wzrosła; po osiągnięciu maksimum podczas etapu II nieznacznie spadła, by przez kilkadziesiąt sekund utrzymywać się na porównywalnym poziomie. Następnie gęstość prądu powoli spadała. Na czas trwania procesu przy porównywalnym poziomie gęstości prądu duży wpływ miało napięcie anodowania: w zakresie danego składu elektrolitu, wraz ze wzrostem napięcia anodowania, spadek gęstości prądu następował wcześniej i szybciej, co obserwowano przy ostrzejszym kształcie krzywych (Rys 5.). Najbardziej widoczne było to podczas procesów prowadzonych z elektrolicie zawierającym 2% obj. wody (Rys 5a.), ale występowało również dla innych składów elektrolitów. Co więcej, przy stałym składzie elektrolitu gęstość prądu rośnie wraz ze wzrostem przyłożonego napięcia anodowania dla wszystkich badanych elektrolitów. Ponadto większa zawartość wody w elektrolicie powoduje wyższą maksymalną gęstość prądu rejestrowaną na początku procesu anodowania. Przykładowo, podczas anodowania Ti prowadzonego przy napięciu 60 V, w elektrolicie z 2% obj. wody, maksymalna gęstość prądu wynosiła $2,5 \times 10^{-3} \text{ A/cm}^2$, podczas gdy maksymalna gęstość

prądu w elektrolicie z 10 obj.% wody była prawie trzykrotnie wyższa i wynosiła $7,2 \times 10^{-3}$ A/cm². Dla stałego napięcia anodowania wpływ zawartości wody w elektrolitach na rejestrowaną gęstość prądu jest bardzo istotny. W przypadku anodowania tytanu prowadzonego w elektrolitach o większej zawartości wody zaobserwowano większą gęstość prądu na początku reakcji, zwłaszcza dla wyższych przyłożonych napięć. Ponadto przy stałym napięciu anodowania spadek gęstości prądu po I etapie anodowania następuje wcześniej i jest ostrzejszy, gdy zawartość wody w elektrolicie jest większa. Zależność ta jest podobna do zmiany gęstości prądu obserwowanej przy wzroście napięcia anodowania w zakresie jednego składu elektrolitu (Rys 5.). Wyniki sugerują, że szybkość anodowania prowadzonego w elektrolitach na bazie etanolu o większej zawartości wody jest wyższa niż w elektrolitach o niższej zawartości wody.

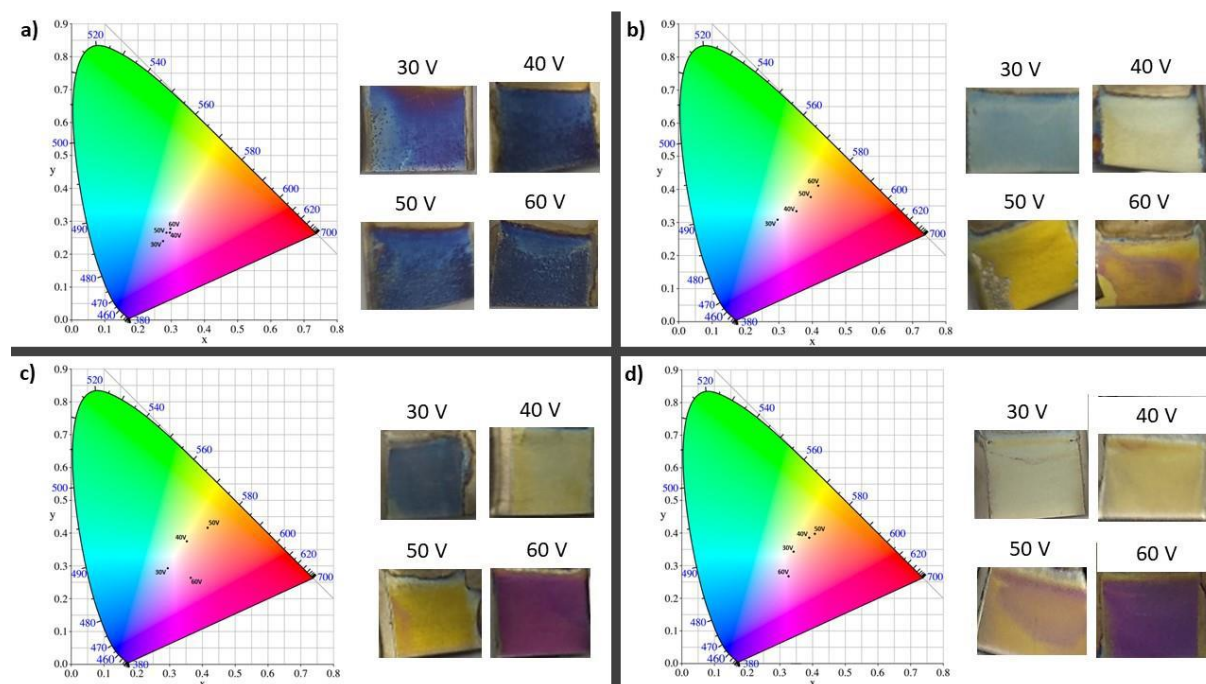
Generalnie, w trakcie anodyzacji woda jest zużywana w reakcjach wzrostu tlenków anodowych, a zwiększenie ilości wody w elektrolicie powoduje zwiększenie przewodności elektrolitu i wzrost długości nanorurek [28]. Zawartość wody w elektrolitach opartych na etanolu wpływała na rejestrowaną gęstość prądu, a tym samym na szybkość reakcji. Znajduje to odzwierciedlenie w grubości tlenków anodowych przygotowanych w elektrolitach na bazie etanolu o większej zawartości wody.

Wykazałam, że średnia gęstość prądu rośnie liniowo wraz ze wzrostem przyłożonego napięcia anodowania w zakresie danego składu elektrolitu dla wszystkich badanych zawartości wody w elektrolicie na bazie etanolu.

Średnia gęstość prądu w funkcji zawartości wody w elektrolicie wykazała największe zmiany w elektrolicie z mniejszym dodatkiem wody (odpowiednio 2 i 3,5 obj.%). Chociaż największą maksymalną gęstość prądu zarejestrowano dla anodowania Ti w elektrolicie z 10 obj.% dodatkiem wody, to średnie gęstości prądu dla procesów prowadzonych w elektrolitach z 5 obj.% i 10 obj.%. Dalsze zwiększanie zawartości wody w elektrolicie na bazie etanolu nie wpłynęło na średnią gęstość prądu uzyskiwaną podczas anodowania tytanu; niemniej jednak reakcje prowadzone w elektrolicie z 10% obj. wody były szybsze. Nie zaobserwowałam jednoznacznej tendencji do zmiany wielkości średnicy nanorurek ATO w zależności od przyłożonego napięcia anodowania dla tlenku anodowego generowanego we wszystkich badanych kompozycjach elektrolitu na bazie etanolu. W przypadku próbek ATO generowanych w elektrolitach opartych na etanolu o większej zawartości wody (5–10 obj.%), wielkość średnic nanorurek znacznie maleje wraz ze wzrostem przyłożonego napięcia. Ponadto średnice nanorurek tlenków ATO generowanych w elektrolicie opartym na etanolu z 2 obj.% wody zmniejszają się wraz ze wzrostem

przyłożonego potencjału, ale zmiana ta jest bardzo niewielka. Z drugiej strony średnice nanorurek powstałych w elektrolicie z 3,5 obj.% wody zwiększają się wraz ze wzrostem przyłożonego napięcia. Ponadto gęstość prądu zarejestrowana podczas anodowania Ti przeprowadzonego w elektrolicie na bazie etanolu z 3,5 obj.% wykazują inną tendencję niż gęstość prądu zarejestrowana przy anodyzacji w pozostałych testowanych składach elektrolitów. Zaobserwowane różnice w gęstości prądu mogą wpływać na średnicę nanorurek w powstających anodowych tlenkach tytanu.

Grubość tlenku ATO wzrastała wraz ze wzrostem napięcia anodowania dla próbek generowanych w elektrolitach o zawartości 3,5, 5 i 10 obj.% wody, co jest typowym zachowaniem dla tlenków powstałych w wyniku anodowania. Z drugiej strony próbki utworzone w elektrolitach z 2 obj.% wody dla wszystkich przyłożonych napięć wykazują podobne, w granicach błędu, grubości warstw tlenków. Można zauważyć niewielką tendencję spadkową grubości warstwy tlenku ATO wraz ze wzrostem przyłożonego napięcia. W tym konkretnym składzie elektrolitu szybkość rozpuszczania tlenku była prawdopodobnie wyższa niż szybkość wzrostu tlenku, co skutkowało zmniejszeniem grubości warstwy tlenku.



Rys 6. Obliczone wartości współrzędnych CIE przedstawione na diagramie CIE oraz widok makroskopowy próbek anodowego tlenków tytanu wytworzone w elektrolicie na bazie etanolu z (a) 2 obj.% H₂O; (b) 3,5 obj.% H₂O; (c) 5 obj.% H₂O; i (d) 10 obj.% H₂O.

[H4]

Wykazałam, że skład elektrolitu oparty na etanolu z 3,5, 5 i 10% obj. wody oraz elektrochemiczne warunki wytwarzania tlenków wpływają na barwę ATO. Na rysunku 6 przedstawiłam widok makroskopowy wykonanych próbek oraz obliczone wartości współrzędnych CIE przedstawionych na diagramie CIE. Zjawisko to może być związane z różnymi grubościami anodowych tlenków i/lub różnymi morfologiami próbek ATO. Jak wspomniano wcześniej, w zależności od morfologii nanostruktury, różne długości fal światła są rozpraszane i odbijane od powierzchni tlenku, a także dochodzi do interferencji fal z falami o tej samej częstotliwości i fazie, co skutkuje obserwacją różnych kolorów powierzchni. Analiza SEM próbek ATO przygotowanych w tym badaniu wykazała, że niezależnie od warunków wytwarzania, tlenki anodowe wykazują morfologię nanorurek o zmiennych średnicach nanorurek. Ponadto grubość tlenków różniła się istotnie w zależności od warunków anodowania (przyłożonego napięcia i składu elektrolitu). Jedynie grubość tlenków generowanych w elektrolicie z 2% obj. wody była stała, w granicach błędów, dla wszystkich zastosowanych potencjałów. Także średnica nanorurek ATO utworzonych w elektrolicie opartym na etanolu z 2 obj.% wody jest podobna dla wszystkich matryc utworzonych w badanych napięciach. Ponadto wszystkie próbki ATO utworzone w tym składzie elektrolitu są podobne i niezależne od przyłożonego napięcia, mają jeden kolor, który można określić jako niebieski/granatowy (Rys 6a.). Jednocześnie kolor próbek generowanych w elektrolitach o innych kompozycjach zmienia się wraz z zastosowanymi napięciami anodowania (Rys 6b – d.). Ważnym odkryciem jest to, że średnica nanorurek i grubość tlenku próbek zmieniały się znacząco wraz z warunkami anodowania. Obserwacje te sugerują, że obserwowane kolory próbek anodowych wynikają z efektu synergii między średnicą nanorurek a grubością tlenku. Badania wykazały, że możliwa jest kontrola barwy próbek ATO realizowana poprzez zmianę warunków anodowania w elektrolitach na bazie etanolu.

W celu określenia właściwości optycznych anodowych tlenków tytanu otrzymanych w elektrolitach opartych na etanolu przeprowadzono pomiary współczynnika odbicia dyfuzyjnego. Szczegóły dotyczące długości fali maksymalnego odbicia dla wszystkich badanych próbek podsumowano w Tabeli 1. Wyniki makroskopowych obserwacji kolorów i pomiarów współczynnika odbicia są zgodne z obliczonymi teoretycznymi kolorami (Rys 6.).

	2 vol% H ₂ O	3.5 vol% H ₂ O	5 vol% H ₂ O	10 vol% H ₂ O
30 V	360	450	390	520
40 V	360	520	550/380	620/380
50 V	360	620/380	640/390	700/390
60 V	360	700/390	410	430

Tabela 1. Wartości długości fali [nm] dla maksymalnego współczynnika odbicia uzyskanego dla próbek wygenerowanych we wszystkich badanych składach elektrolitu opartego na etanolu.[H4]

Na wykresach współczynnika odbicia zarejestrowanych dla tlenków powstających w elektrolitach opartych na etanolu z większą zawartością wody (zawierających 3,5, 5 i 10 obj.%) długość fali wzrasta wraz ze wzrostem przyłożonego napięcia anodowania. Co istotne, najwyższe wartości procentowe współczynnika odbicia (około 50%) odnotowałam dla próbek przygotowanych w elektrolicie na bazie etanolu z dodatkiem 10 obj.% wody. Tlenki generowane w elektrolicie o tej kompozycji wykazują zarówno największe średnice nanorurek, jak i największą grubość anodowych tlenków we wszystkich badanych próbkach. Z drugiej strony, na wykresach współczynnika odbicia próbek ATO przygotowanych w elektrolicie na bazie etanolu z 2 obj.% wody, maksymalne odbicie dla wszystkich czterech próbek było w przybliżeniu tej samej długości fali (Tabela 1), co jest zgodne z makroskopowymi obserwacjami kolorów (Rys 6a.). Ponadto analiza SEM wykazała, że ATO utworzone w elektrolicie z 2% obj. wody mają prawie taką samą grubość warstwy tlenku i bardzo podobne średnice nanorurek, dlatego wykresy współczynnika odbicia są zgodne z tą analizą. **Podsumowując, przedstawione wyniki badań sugerują, że na barwę próbek ATO przygotowanych w elektrolicie opartym na etanolu miała wpływ grubość anodowej warstwy tlenkowej oraz średnica nanorurek.**

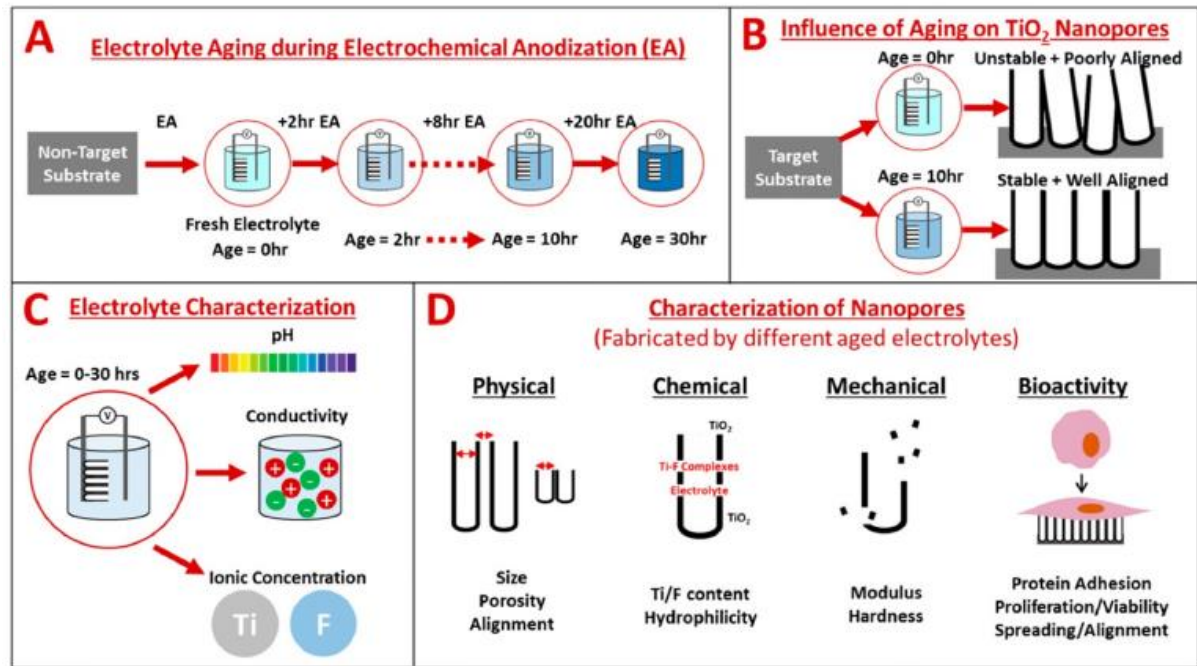
Kategoria 2 – Wpływ rodzaju elektrolitu i warunków procesu na morfologię/właściwości ATO uzyskiwanego na czystym tytanie (A) oraz na stopach tytanu o zastosowaniu biomedycznym (B).

Kategoria 2A - Wpływ rodzaju elektrolitu i warunków procesu na morfologię/właściwości ATO uzyskiwanego na czystym tytanie.

Jak wspomniano wcześniej, możliwość kontroli morfologii a tym samym właściwości ATO poprzez zmianę warunków anodowania ma ogromny potencjał, jeśli chodzi o przyszłe zastosowania warstw anodowych wytwarzanych na tytanie. Opracowanie a następnie zapewnienie powtarzalności warunków procesu anodowania umożliwia kontrolę morfologii uzyskanej warstwy anodowego tlenku. Jednakże, mimo dbałości o stałość warunków anodowania, niejednokrotnie pojawiały się niespodziewane odstępstwa rzeczywistej warstwy tlenkowej od pożądanej morfologii ATO. Wykazano, że mogą na to wpływać m.in. pozornie niewielkie zmiany układu eksperymentalnego (np. zmiana zasilacza) lub niejednokrotnie zaniechane warunki procesu takie jak np. odległość między elektrodami podczas anodyzacji [29]. Jednak nie tylko to wpływa na efekty elektrotleniania, tak wrażliwego na zmianę parametrów procesu. Jak udowodniono, wiek elektrolitu użytego do anodowania, liczony w czasie godzin pracy elektrolitu, fundamentalnie zmienia chemię procesu anodyzacji oraz znacząco wpływa na otrzymane tlenki tytanu [H5]. Co ciekawe, koncepcja kondycjonowania lub postarzania elektrolitu, rozumiana jako wielokrotne anodowanie niedocelowego Ti w świeżo przygotowanym elektrolicie (przed anodowaniem docelowego Ti), jest często stosowana w praktyce w anodyzacji Ti i jego stopów, ale pozostaje niewystarczająco opisana przez co nie jest dostępna powszechnie – co potwierdza znikoma ilość publikacji na ten temat. W pracy **H5** podjęłam próbę zebrania i usystematyzowania wiedzy dostępnej na ten temat kondycjonowania elektrolitów do anodyzacji tytanu. Kluczowe prace skupiające się na kondycjonowaniu elektrolitów do anodowania Ti (wytworzonych w oparciu o rozpuszczalniki organiczne takie jak glikol etylenowy, sulfotlenek dimetylu (DMSO) i glicerol) zostały stabelaryzowane, wraz z uwzględnieniem ich głównych wniosków. W obszernym i pionierskim przeglądzie **H5** omówiłam i szczegółowo opisałam kondycjonowanie elektrolitu do anodowania Ti w celu wytworzenia kontrolowanych nanostruktur oraz wpływ kondycjonowania na właściwości otrzymywanych nanostruktur tlenkowych, w tym morfologię, chemię, stabilność i wydajność pod specyficzną aplikację ATO. Najważniejsze informacje zawarte w pracy **H5** zostaną streszczone poniżej.

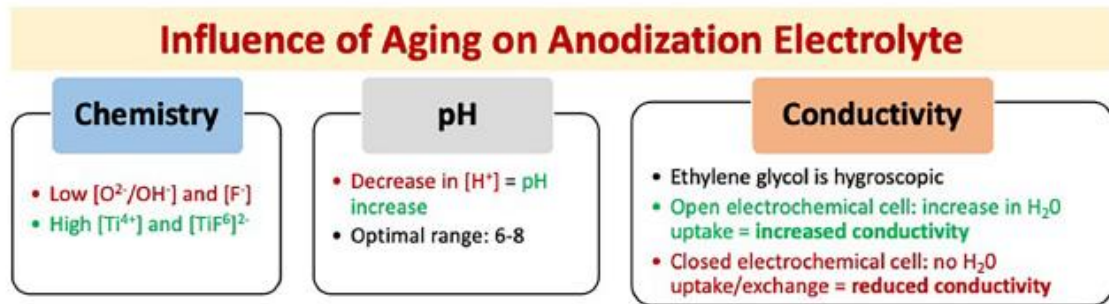
Jak dotąd w literaturze przyjmuje się, że zastosowanie kondycjonowanych elektrolitów pozwala na otrzymanie lepiej uporządkowanych i stabilniejszych nanorurek/nanoporów

ATO. Zjawisko to nie zostało jednak szeroko udokumentowane, dlatego też powstała praca H5.



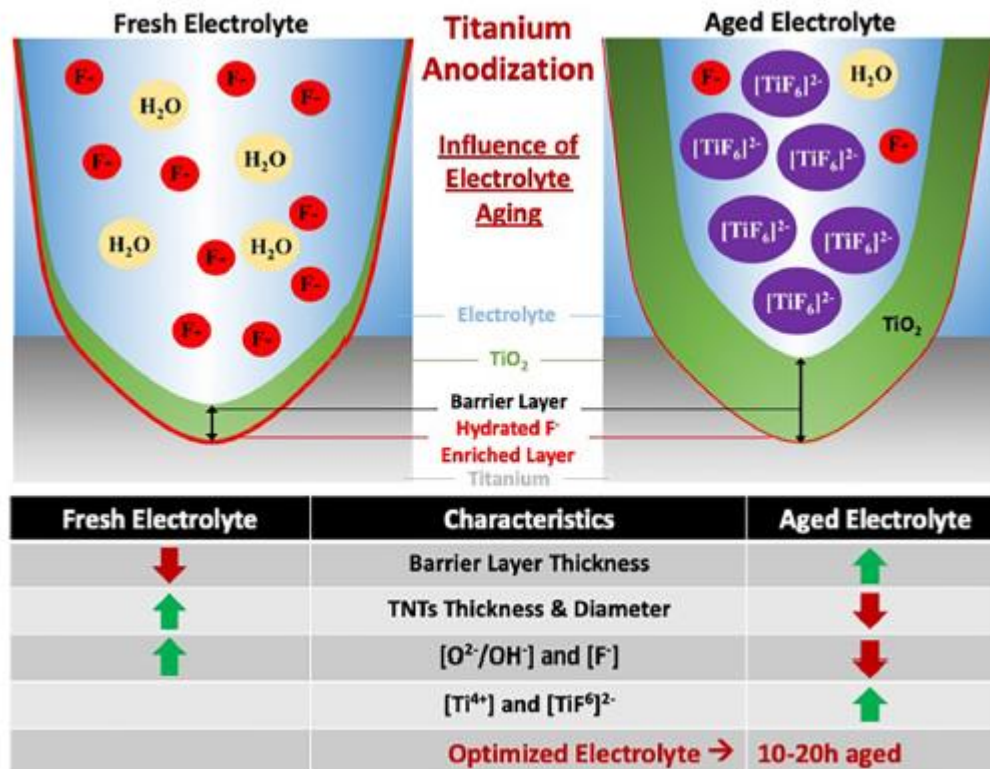
Rys 7. Wpływ kondycjonowania elektrolitu na charakterystykę ATO. Schemat procesu kondycjonowania (a), wpływu na stabilność/uporządkowanie ATO (b), zmian zachodzących w roztworze podczas kondycjonowania (c) oraz wpływu na topografię, skład chemiczny, właściwości mechaniczne i bioaktywność nanorurek ATO. [H5]

Rysunek 7 przedstawia schemat kondycjonowania elektrolitu oraz to, jakie zmiany zachodzą w kondycjonowanym elektrolicie i wytworzonych w nim nanostrukturach, gdy ten sam elektrolit jest wielokrotnie wykorzystywany. Kiedy nanoobiekty ATO wytwarzane są w świeżo przygotowanym elektrolicie, są one nieuporządkowane oraz niestabilne. Stosując te same warunki anodowania w elektrolicie kondycjonowanym 10 godzin, otrzymane nanostruktury ATO są dobrze uporządkowane i stabilne (Rys 7B.). Wykazano, że przedział czasu używania elektrolitu, skutkujący formowaniem stabilnych i dobrze uporządkowanych morfologii ATO mieści się między 10 a 20 godzinami kondycjonowania elektrolitu [H5]. Wraz z czasem kondycjonowania elektrolitu zmienia się jego skład chemiczny, co przejawia się zmianami pH, przewodności oraz stężenia obecnych w elektrolicie jonów (Rys 7C).



Rys 8. Wpływ kondycjonowania na zmiany składu chemicznego elektrolitu. [H5]

Z powodu różnic w składzie chemicznym zachodzących w elektrolicie podczas kondycjonowania, zmianie ulegają także właściwości chemiczne ATO wytwarzanych w elektrolitach o różnym czasie kondycjonowania, takie jak zawartość Ti/F w warstwie tlenku oraz jego hydrofilowość. W trakcie kondycjonowania w elektrolicie zwiększa się stężenie jonów Ti^{4+} oraz kompleksu $[TiF_6]^{2-}$, a jednocześnie maleje stężenie jonów O^{2-}/OH^- oraz F^- . W konsekwencji maleje ilość jonów H^+ , co przekłada się na wzrost pH elektrolitu. Optymalny zakres pH dla wytwarzania dobrze uporządkowanych warstw nanorurek ATO to 6 – 8. Co więcej, czas kondycjonowania elektrolitu może wpływać na strukturę krystaliczną wytworzonych warstw tlenkowych: im dłuższe kondycjonowanie elektrolitu, tym mniej anatazu w wytworzonych próbkach ATO po wygrzaniu [30]. Kolejną z kwestii budzących wątpliwości podczas kondycjonowania elektrolitów do anodyzacji tytanu jest zmiana (i jej kierunek) przewodności roztworów elektrolitów w czasie. Okazuje się, że gdy anodyzacja przeprowadzana jest w nieekranowanych (otwartych) ogniwach elektrochemicznych higroskopijne elektrolity zawierające glikol etylenowy mogą z czasem wchłaniać wodę z otoczenia zwiększając przewodnictwo [31,32]. Jednak, gdy kondycjonowanie przeprowadzane jest w zamkniętych celkach elektrochemicznych, woda z elektrolitu jest stale zużywana, zmniejszając w ten sposób przewodnictwo roztworu [33, 34]. Co ciekawe, wiele badań dotyczących kondycjonowania elektrolitu oraz anodowania tytanu nie określa, czy ogniwo elektrochemiczne było ekranowane, czy otwarte, co jest niezwykle ważnym kryterium określającym kondycjonowanie elektrolitu do anodyzacji Ti. Ponadto czas kondycjonowania elektrolitu wpływa na właściwości fizyczne i mechaniczne ATO a także jego bioaktywność (Rys 7D.) [H5].



Rys 9. Kluczowe różnice w składzie elektrolitu oraz morfologii uzyskanych ATO między anodyzacją tytanu prowadzoną w świeżym i kondycjonowanym elektrolicie. [H5]

W zależności od czasu kondycjonowania elektrolitu, utrzymując pozostałe parametry procesu anodyzacji stałe, otrzymuje się warstwy ATO charakteryzujące się różną porowatością, cechami morfologicznymi oraz uporządkowaniem i średnicą nanoobjektów. Podczas anodyzacji Ti w świeżym elektrolicie grubość warstwy barierowej jest mniejsza, natomiast grubość warstwy oraz średnica nanoobjektów większa niż w przypadku ATO wytworzonych w elektrolicie kondycjonowanym (Rys 9.).

Również właściwości mechaniczne zmieniają się w zależności od czasu kondycjonowania elektrolitu stosowanego do anodyzacji Ti. Bez względu na zastosowanie, stabilność warstw ATO jest kluczowa, ponieważ jakiegokolwiek pęknięcie lub rozwarstwienie warstwy tlenku może doprowadzić do jego nieprawidłowego działania. Ma to szczególne znaczenie w biomedycznych zastosowaniach ATO, gdzie warstwa ATO może być poddawana powtarzającym się cyklom obciążeń mechanicznych na przestrzeni wielu lat [35]. Właściwości mechaniczne ATO ocenia się głównie jakościowo za pomocą obrazowania SEM lub ilościowo za pomocą nanoindentacji, w celu pomiaru twardości i modułu Younga. Kondycjonowanie elektrolitu wpływa na szybkość tworzenia i rozpuszczania warstw ATO oraz na czas osiągnięcia równowagi reakcji anodyzacji, co wpływa na utrzymanie lub

zniszczenie mikrotopografii ATO oraz przyczepność warstwy tlenkowej do metalicznego podłoża. Ogólnie wydłużony czas kondycjonowania elektrolitu opóźnia osiągnięcie równowagi reakcji anodyzacji, pozwala na wytworzenie grubszej warstwy barierowej oraz sprzyja zmniejszeniu pęknięcia i porowatości warstw ATO. Naprężenia wewnętrzne na styku warstwy barierowej i podłoża Ti jest mniejsze dla warstw wytworzonych w kondycjonowanych elektrolitach – dzięki temu zwiększa się przyczepność warstwy ATO do podłoża Ti, a to może poprawić aplikacyjność ATO w wybranych zastosowaniach, takich jak np. biomedycznych i fotoelektrochemicznych. Co więcej, moduł Younga i twardość warstw wytworzonych w dłużej kondycjonowanych elektrolitach ulegają zwiększeniu co przekłada się na zwiększoną stabilność i wytrzymałość mechaniczną warstw anodowych [34].

Wysoka chropowatość w skali nano-, zwiększona bioaktywność oraz możliwość napełniania/lokalnego rozładowania nanorurek ATO sprawia, że implanty tytanowe pokryte warstwą ATO postrzegane są jako obiecujące implanty biomedyczne nowej generacji. Wpływ czasu kondycjonowania na bioaktywność ATO jest znaczący i obserwowany w zmianach adhezji, proliferacji, żywotności, rozprzestrzeniania się i pokrycia komórek. Warstwy tlenkowe wytworzone w dłużej kondycjonowanych elektrolitach charakteryzowały się wyższą hydrofilowością, co przekładało się bezpośrednio na lepszą adhezję komórek do ATO. Wzrost hydrofilowości warstw przypisuje się zarówno zmianom składu chemicznego jak i zmniejszeniu średnic nanorurek ATO w próbkach wytworzonych w elektrolitach kondycjonowanych ponad 30h [30]. Warto również zauważyć, że implanty biomedyczne (ortopedyczne i dentystyczne) mają złożone kształty i geometrię, często cechują się mikrochropowatością – dlatego też, aby zapewnić ich stabilność i stałą pracę pod obciążeniem, konieczne jest zwiększenie stabilności nanorurek ATO.

Podsumowując, praca H5 informuje czytelnika, jak i dlaczego zmieniają się właściwości nanostruktur i upraszcza koncepcję kondycjonowania elektrolitu, aby umożliwić dalszą optymalizację anodowania Ti w celu uzyskania kontrolowanych, powtarzalnych i stabilnych nanostruktur, odpowiadających potrzebom konkretnych aplikacji TiO₂.

Zmiany chemii elektrolitu stosowanego do anodyzacji tytanu mogą być także użyte w celu świadomej i celowej modyfikacji składu chemicznego otrzymanego ATO. W pracy H8, powstałej w kierowanym przeze mnie zespole badawczym, opisano 3 nowe składy

elektrolitów do anodyzacji tytanu, pozwalające otrzymać nanomorfologiczne warstwy ATO modyfikowane atomami wybranych pierwiastków: manganem (Mn), molibdenem (Mo) oraz wolframem (W) [H8].

Jednoetapową anodyzację prowadzono przez 1 godz, w stałej temperaturze 10°C dla napięcia 20V, 40V i 60V. Podczas procesu utrzymywano stałą odległość między elektrodami a szybkość mieszania wynosiła 200 rpm. Skład chemiczny badanych elektrolitów zaprezentowany jest w Tabeli 2.

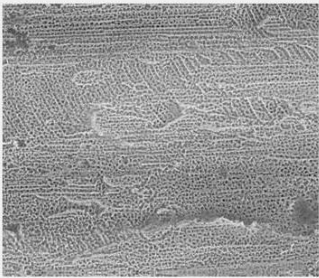
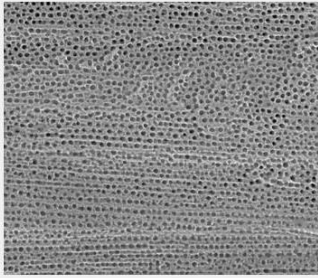
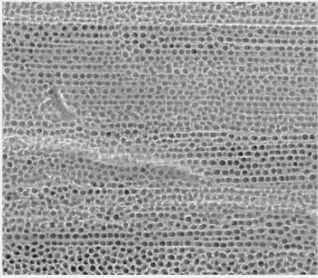

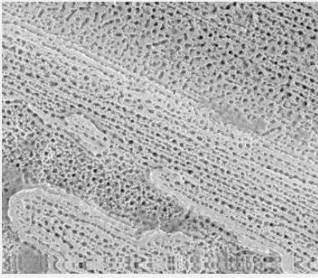
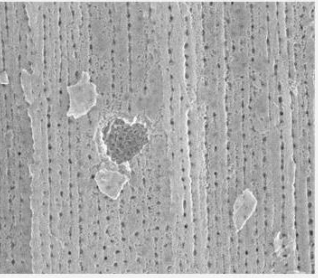
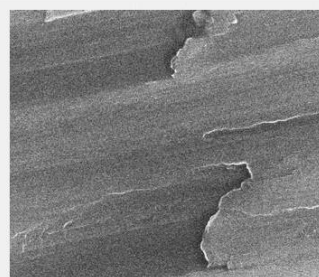

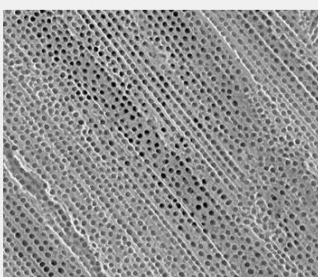
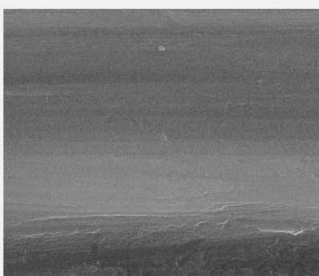
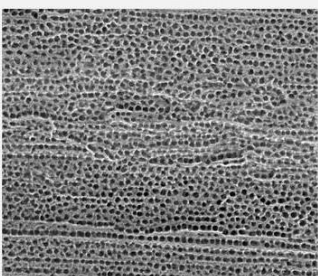
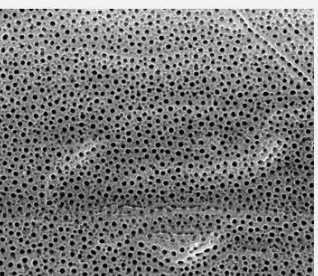
Electrolyte Name	Base	Concentration			
		0.1 M	0.01 M	0.02 M	2 vol%
Reference electrolyte			-	-	
A—Mn(NO ₃) ₂	Ethylene glycol	NH ₄ F	Mn(NO ₃) ₂	C ₄ H ₆ O ₆	H ₂ O
B—NaMoO ₄			Na ₂ MoO ₄	-	
C—Na ₂ WO ₄			Na ₂ WO ₃		

Tabela 2. Skład badanych elektrolitów [H8].

Co ciekawe, pH i przewodność elektrolitów zależy od ich składu chemicznego oraz wpływa na docelową morfologię uzyskiwanych ATO. Najniższe pH i przewodność charakteryzowały roztwór A—Mn(NO₃)₂, co przełożyło się na najniższe zarejestrowane wartości gęstości prądu w funkcji czasu wytwarzania ATO dla napięcia 40V i 60V.

Do przeprowadzenia badań zainspirowało mnie zjawisko wbudowywania jonów z elektrolitu w warstwę AAO. Badając anodyzację aluminium zaobserwowałam, że podczas procesu anodowania dodatnio spolaryzowana anoda przyciąga naładowane ujemnie jony elektrolitu. Następnie aniony te zostawały uwięzione w pobliżu anody i w konsekwencji zostały włączone do anodowej warstwy tlenku aluminium. W ten sposób różne pierwiastki (takie jak Cr lub Cu) [36, 37], a także duże cząstki (takie jak indygo karmin) [38] zostały wbudowane w AAO. Domieszkowanie ATO może być realizowane poprzez włączanie pierwiastków z roztworu elektrolitu a także z podłoża. Znane są także badania domieszkowania ATO lantanem/manganem *in-situ* w drodze jednoetapowej anodyzacji w roztworze elektrolitu zawierającym sole La i Mn, a następnie wykorzystanie go jako fotokatalizatora w utylizacji zanieczyszczeń organicznych ze stopniem degradacji powyżej 90% [39]. W pracy [40] opracowano wytwarzanie ATO *in situ* domieszkowanego Ru do stosowania jako elektroda w elektrolizie wody. Stwierdzono, że największa ilość Ru została włączona do tlenku przy napięciu **60 V** i że próbki te wykazywały największą aktywność

elektrokatalityczną [40]. W pracy **H8**, aby umożliwić wbudowanie manganu (Mn) z $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ do ATO, ładunek jonów manganu (Mn^{2+}) należy zmienić na ujemny. Postanowiłam włączyć kationy manganu do ujemnie naładowanego kompleksu. W tym celu zastosowano dodatek 0,02 M kwasu winowego ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$, 99,5%, Sigma-Aldrich), który pełni rolę czynnika kompleksującego. Pozostałe pierwiastki występowały w elektrolitach w formie anionów. W Tabeli 2 przedstawiono skład wszystkich elektrolitów zastosowanych w tych doświadczeniach. **W badaniach przeprowadzonych w pracy H8 potwierdziłam skuteczność modyfikacji składu chemicznego ATO poprzez zmianę składu elektrolitu.**

	20V	40V	60V
	— 1 μm		
Reference			
A – $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$			
B – NaMnO_4			
C – Na_2WO_4			

Rys 10. Morfologia ATO w zależności od użytego elektrolitu oraz przyłożonego napięcia.[H8]

ATO otrzymane w każdym testowanym elektrolicie pracy **H8** wykazywało morfologię nisko uporządkowanych nanorurek, jedynie dla napięcia 20V w elektrolicie B—Na₂MoO₄ i C—Na₂WO₄ otrzymano powierzchniowy tlenek barierowy (Rys 10.). Jednocześnie średnia gęstość prądu zarejestrowana dla tych procesów była najniższa spośród wszystkich prowadzonych procesów i wynosiła jedynie 0,12 mA/cm² dla elektrolitu B—Na₂MoO₄ i 0,13 mA/cm² dla elektrolitu C—Na₂WO₄. Następną wartość średniej gęstości prądu była prawie 4-krotnie wyższa i wynosiła 0,44 mA/cm² dla elektrolitu A—Mn(NO₃)₂ przy napięciu 20V. ATO wytworzone w elektrolicie A—Mn(NO₃)₂ przy napięciu 20V miało formę nanorurek. Zarówno średnica nanorurek jak i grubość warstwy tlenku wzrastała liniowo wraz ze wzrostem napięcia anodowania. Warto wspomnieć, że elektrolit A—Mn(NO₃)₂ miał odczyn kwaśny (pH=5,35), co wpłynęło na znacząco najniższą grubość uzyskiwanych w nim tlenków. W takim środowisku warstwa tlenkowa prawdopodobnie rozpuszczała się szybciej niż narastała, co wpływało na ostateczną grubość tlenku.

Dobór wprowadzanych w badaniu opisanym w H8 pierwiastków miał na celu zmianę wartości przerwy energetycznej (ang. band gap, BG) otrzymanego ATO. Generalnie, właściwości elektryczne materiału można określić za pomocą wartości BG, tj. można je podzielić na izolatory, półprzewodniki czy przewodniki. W półprzewodniku BG określa jego fotoaktywność, barwę i przewodność [41]. Tlenek tytanu jest półprzewodnikiem, a wartość jego BG zależy od fazy krystalograficznej i mieści się w zakresie od 3,02 eV do 3,20 eV [42, 43], co odpowiada wąskiemu zakresowi długości fal światła, od 385 nm (3,20 eV, anataz) do 405 nm (3,02 eV, rutył) [42]. Ta część światła słonecznego odpowiada obszarowi UV, który obejmuje jedynie około 4% widma słonecznego [44]. Domieszkowanie półprzewodnika ko-katalizatorem może wpływać na wartość BG i często jest prowadzona w celu poszerzenia zakresu falowego jego zastosowania. Znane są przykłady domieszkowania fotokatalizatorów TiO₂ kokatalizatorami nanocząstkowymi (np. N, Fe, Cr₂O₃, Mn₃O₄ i Fe₂O₃), co znacząco poprawia szybkość rozkładu wody pod wpływem światła [45]. Domieszkowanie półprzewodników można przeprowadzić różnymi metodami, np. metodą zol-żel, techniką zanurzeniową lub metodą współstrącania [45]. Choć metody te skutecznie zwiększają zakres działania i efektywność fotokatalizatorów, nadal trwają poszukiwania prostszych metod modyfikacji fotokatalizatorów na bazie TiO₂.

Electrolyte Name	Voltage (V)	BG (eV)	Corresponding Wavelength (nm)	Range of Sunlight
Reference electrolyte	20 V	3.42	363.03	UV
	40 V	3.14	395.41	UV
	60 V	2.85	435.64	Vis
A—Mn(NO ₃) ₂	20 V	3.30	376.23	UV
	40 V	3.16	392.90	UV
	60 V	2.55	486.89	Vis
B—Na ₂ MoO ₄	20 V	3.55	349.74	UV
	40 V	3.21	386.78	UV
	60 V	2.92	425.20	Vis
C—Na ₂ WO ₄	20 V	3.61	343.93	UV
	40 V	3.15	394.15	UV
	60 V	2.95	420.87	Vis

Tabela 3. Wartość przerwy energetycznej (eV) wraz z korespondującą długością fali anodowego tlenku tytanu modyfikowanego wybranymi pierwiastkami [H8].

Jednym z pomysłów jest zaproponowana w pracy **H8** jednoetapowa modyfikacja nanostrukturalnych półprzewodników TiO₂ *in-situ* podczas ich wytwarzania w procesie anodyzacji. Potwierdziłam, że nawet niewielki poziom dodatku (0,1 – 0,3 at%) może być wystarczający, aby wpłynąć na właściwości optyczne wytworzonego ATO. Wykazałam, że w zależności od składu chemicznego użytego elektrolitu oraz zastosowanego napięcia anodyzacji, wartość BG znajduje się w zakresie światła ultrafioletowego (UV) lub widzialnego (Vis). **Najniższa wartość BG wynosiła 2.55 eV (co odpowiada 486.89 nm w zakresie Vis) i otrzymano ją dla próbek ATO modyfikowanych Mn, wytworzonych przy napięciu 60V.** Dla porównania próbka ATO wykonana w elektrolicie referencyjnym przy tych samych warunkach procesu charakteryzowała się wyższą wartością BG, wynoszącą 2.85eV (Tabela 3).

Dodatkowo dla tlenków typu barierowego zaobserwowałam ciekawą zależność dotyczącą zawartości azotu. W badaniach pracy **H8** źródłem azotu w wytwarzanym ATO jest NH₄F we wszystkich elektrolitach oraz dodatkowo sól Mn(NO₃)₂ w elektrolicie A. Generalnie zawartość azotu w wytworzonych próbkach ATO wzrasta wraz z przyłożonym napięciem, co jest typowe dla procesów anodowania. Wyjątek stanowią tlenki barierowe wykonane przy napięciu 20 V w elektrolitach B – Na₂MoO₄ i C – Na₂WO₄. Dla tlenków barierowych

zawartość azotu była wyjątkowo wysoka, z jednocześnie zaskakująco niską zawartością węgla i tlenu, a także znacznie zmniejszoną ilością fluoru w porównaniu z pomiarami reszty próbek ATO. Prawdopodobnie w tych specyficznych warunkach anodowania (elektrolity B – Na_2MoO_4 i C – Na_2WO_4 przy 20 V i 20 °C) utlenianie elektrochemiczne nie było preferowaną reakcją. Być może ze względów termodynamicznych preferowano azotowanie. Zwykle powłoki podobne do tlenków barierowych otrzymanych w tym badaniu znane są jako warstwy azotowane [46]. Zasadniczo, azotowanie jest powierzchniową obróbką termochemiczną, podczas której azot jest dyfundowany do warstwy powierzchniowej stałego materiału (stopu). Celem azotowania jest poprawa powierzchniowych właściwości mechanicznych i antykorozyjnych materiałów przy jednoczesnym zachowaniu właściwości objętościowych (takich jak wytrzymałość mechaniczna, gęstość, odporność na uderzenia itp.). Istnieje wiele metod prowadzenia procesów azotowania, które zwykle wymagają atmosfery ze źródła azotu a także wysokiej temperatury i/lub wysokiego ciśnienia – np. obróbka plazmowa N_2 lub NH_3 lub szybki proces termiczny (ang. Rapid thermal proces, RTP) w środowisku gazowego azotu [47]. Warto zauważyć, że azotowanie prowadzone w powietrzu lub w środowisku wykorzystującym powietrze jako gaz utleniający może skutkować jednoczesnym utlenianiem w przypadku stali, szczególnie dla stali zawierających dodatkowe pierwiastki, takie jak aluminium, tytan i niob [48]. W takim przypadku powstające azotki mają charakter typowo wewnętrzny, co jest szczególnie korzystne termodynamicznie [60]. Niemniej jednak opisane wyżej zjawisko miało miejsce podczas gazowego utleniania stali, a nie elektrochemicznego utleniania tytanu. Należy pamiętać, że w niniejszym badaniu temperatura reakcji była niska (20 °C), środowisko reakcji było ciekłe, składające się głównie z glikolu etylenowego, wody i niewielkich dodatków soli (NH_4F , Na_2MoO_4 lub Na_2WO_4). Dodatkowo, warunki anodowania są łagodne, dają bardzo niską gęstość prądu i nie wytwarzają plazmy na anodowanych próbkach, jak to ma miejsce podczas azotowania. Podsumowując, **na podstawie przedstawionych wyników oraz naszej najlepszej wiedzy można stwierdzić, że podczas anodowania Ti w określonych warunkach anodowania wytworzono powłokę bogatą w azot, co zostało odnotowane po raz pierwszy.** W przyszłości planowane są kolejne testy, aby szczegółowo wyjaśnić to zjawisko.

Główne nowości naukowe zawarte w pracy **H8** to kolejno:

- potwierdzona możliwość modyfikacji ATO wybranymi pierwiastkami (Mn, Mo, W) *in-situ* podczas jednoetapowej anodyzacji;

- wbudowanie wybranych pierwiastków w ATO zmienia wartość jego BG, przy czym BG próbek wytworzonych przy korespondujących warunkach procesu anodyzacji dla wszystkich badanych elektrolitów mają zbliżony poziom;
- wartość BG tlenków wytworzonych przy napięciu 20V i 40V dla wszystkich badanych dodatków jest w zakresie UV, podczas gdy BG próbek przygotowanych przy napięciu 60V jest z zakresie światła widzialnego (Vis);
- dla próbki ATO wytworzonej przy napięciu 60V i modyfikowanej manganem otrzymano najniższą wartość BG (2,55eV) odpowiadającą barwie niebieskiej;
- pH roztworu elektrolitu znacząco wpływa na wzrost anodowego tlenku, przy czym najgrubsze warstwy tlenkowe można otrzymać w elektrolitach o pH neutralnym bądź zbliżonym do neutralnego;
- po raz pierwszy otrzymano warstwy anodowego tlenku tytanu typu barierowego o nietypowej (20V w elektrolitach zawierających Mo i W), znacznej zawartości azotu – skład warstw był podobny do składu powłok wytworzonych podczas procesu azotowania, jednak warunki anodowania były znacznie delikatniejsze niż te stosowane podczas procesów azotowania.

Kategoria 2B – Wpływ rodzaju elektrolitu i warunków procesu na morfologię/właściwości ATO uzyskiwanego na stopach tytanu o zastosowaniu biomedycznym (B).

Biomateriałami są urządzenia do budowy sztucznych narządów oraz implanty zastępujące naturalne tkanki ciała stykające się z organizmem człowieka, np. implanty, protezy, bioczujniki czy systemy podawania leków. Ogólnie biomateriały dzielą się na trzy grupy: biomateriały syntetyczne (1), pochodzenia naturalnego (2) oraz półsyntetyczne/hybrydowe (3). Zapotrzebowanie na biomateriały oraz na badania związane z ich ulepszaniem stale rośnie, głównie ze względu na stale wzrastającą średnią długość życia człowieka. Notuje się ciągły wzrost wartości rynku biomateriałów oraz znaczący wzrost liczby publikacji naukowych skoncentrowanych na wyrobach biomedycznych i biomateriałach. Warto pamiętać, że zastosowanie biomateriału wymusza wybór odpowiedniego materiału jego wykonania. Najistotniejszymi parametrami są w tym przypadku osiągnięcie podobnej biokompatybilności (tj. cytotoksyczności, rakotwórczości, mutagenności, alergenicności, trombogenności itp.); porównywalnych właściwości mechanicznych do tkanki/narządu, który ma zostać wymieniony; oraz zapewnienie ich doskonałej odporności na korozję i

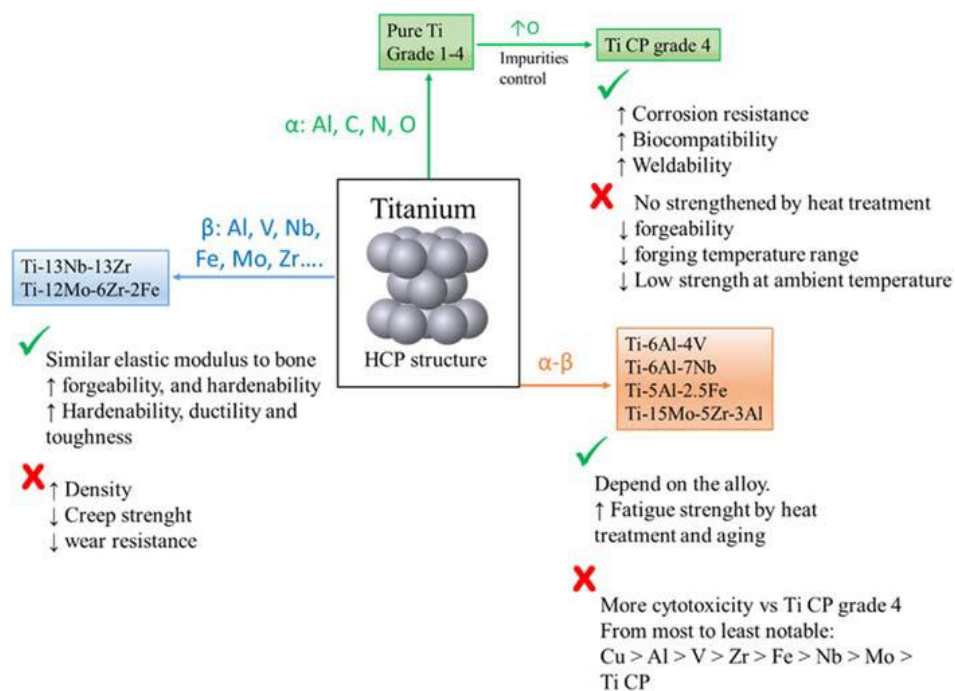
łatwości sterylizacji. Zawsze należy także brać pod uwagę cechy indywidualne pacjenta (takie jak stan zdrowia, wiek, alergię, obciążenie chorobami itp.) oraz skalę czasową przewidywanej pracy implantu/biomateriału, w której pacjent jest narażony na kontakt z materiałem. Ogólnie biomateriały metaliczne mają odpowiednie właściwości mechaniczne, są wysoce biokompatybilne i mogą długotrwale zastępować tkanki niekostne oraz twarde w chirurgii rekonstrukcyjnej i ortopedycznej. Ponadto podłoża metaliczne można łatwo modyfikować oraz np. łączyć z ceramiką i materiałami polimerowymi w celu uzyskania ulepszonych właściwości dzięki takim połączeniom. Spośród różnych podłoży metalicznych stopy tytanu zostały uznane za najbardziej obiecujące materiały w urządzeniach biomedycznych ze względu na swoją doskonałą biokompatybilność oraz wyjątkowe połączenie odporności na korozję i właściwości mechanicznych (Rys 11.) [49]. Opierając się na tych podstawach, **w pracy H7 zebrałam i opisałam zastosowanie anodowo wytwarzanych nanomateriałów w zastosowaniach biomedycznych, ze szczególnym uwzględnieniem anodowego tlenku tytanu.**



Rys 11. Główne cechy ATO związane z zastosowaniami biomedycznymi [H7].

Stopy tytanu są stosowane w urządzeniach biomedycznych od lat czterdziestych XX wieku jako zamiennik stali nierdzewnej i stopów na bazie kobaltu, które mają ograniczoną biokompatybilność i wynikające z tego ograniczenia w użyciu. Na powierzchni stopów tytanu w większości płynów fizjologicznych spontanicznie tworzy się pasywna warstwa tlenku, co zapewnia ich doskonałą odporność na korozję i korzystnie wpływa na wzrost biokompatybilności. Chociaż stopy Mg mają zbliżony moduł sprężystości (~35 – 45 GPa)

do modułu kości ludzkiej (~10 – 40 GPa) i z punktu widzenia właściwości mechanicznych są najkorzystniejszym materiałem na implanty kostne, to ich niska odporność korozyjna znacząco ogranicza ich zastosowanie do implantów tymczasowych. Niższy moduł sprężystości stopów tytanu (~115 GPa) w porównaniu do stopów opartych na Fe (~190 – 205 GPa) i Co-Cr (~230 GPa) sprawia, że wybór stopów tytanu na materiał implantu kostnego jest korzystniejszy, ponieważ zmniejsza efekt tzw. „ekranowania naprężeń” lub „osłony naprężeniowej”. Efekt ekranowania naprężeń jest to zjawisko biomechaniczne powodujące adaptacyjne zmiany wytrzymałości i sztywności kości wokół metalowych implantów, co potencjalnie może prowadzić do obłuzowania (lub nawet utraty) implantu. Konsekwencją usunięcia typowego naprężenia między kośćmi poprzez wprowadzenie implantu jest zmniejszenie gęstości kości (osteopenia). Im bardziej właściwości mechaniczne implantu zbliżone są do właściwości kości, tym ryzyko związane z efektem ekranowania naprężeń jest niższe.



Rys. 12. Podsumowanie stopów tytanu używanych obecnie w biomedycynie [H7]

Granica plastyczności czystego tytanu jest stosunkowo niska, dlatego też opracowywane są nowe stopy Ti z przeznaczeniem do różnych zastosowań. W zależności od mikrostruktury po obróbce, stopu Ti dzielimy na stopy α , stopy $\alpha+\beta$ oraz stopy β (Rys 12.). Opracowanie stopów Ti o optymalnych właściwościach mechanicznych, antykorozyjnych i wysokim stopniu biokompatybilności z tkanką gospodarza uznano za jedno z najważniejszych

wyzwań dla stopów Ti w urządzeniach biomedycznych. Najpopularniejszymi materiałami na bazie Ti do celów biomedycznych są:

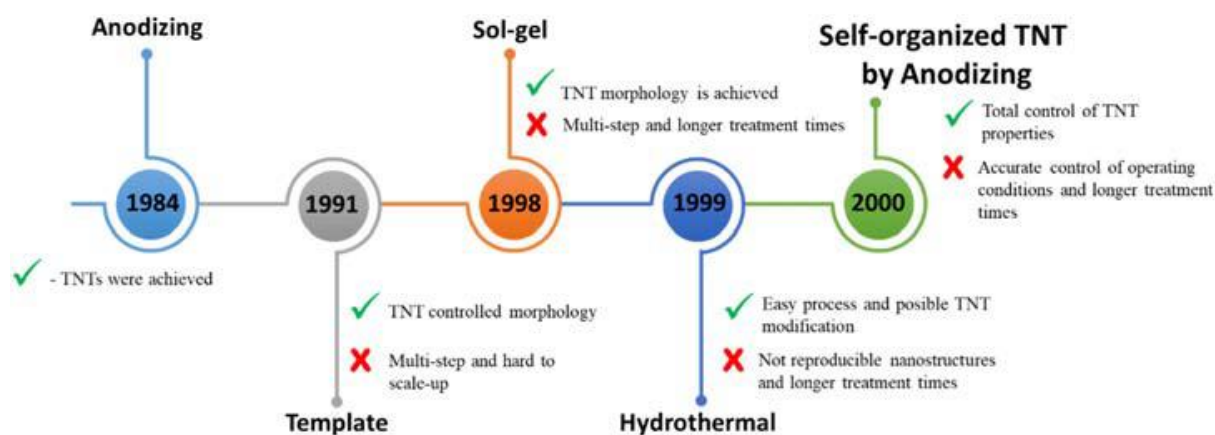
- 1) komercyjnie czysty Ti (CP klasa 4) – do zastosowań wrażliwych na korozję, np. implantów dentystycznych, szczękowo-twarzowych i twarzoczaszki;
- 2) dobrze znany stop Ti6Al4V – stop $\alpha+\beta$ o poprawionych właściwościach mechanicznych względem czystego Ti, jako implanty do np. endoprotezoplastyki całkowitej, endoprotezoplastyki stawu biodrowego i kolanowego.

W odpowiedzi na obawy związane z cytotoksycznością wanadu [50] do zastosowań biomedycznych zostały także opracowane inne trójskładnikowe stopy Ti, np. Ti6Al7Nb oraz Ti5Al2.5Fe [51, 52]. Są to stopy β , które znane są jako stopy tytanu drugiej generacji. Co istotne, wprowadzenie pierwiastków stopowych do osnowy Ti nie tylko poprawia właściwości mechaniczne, ale także zmienia jego właściwości elektrochemiczne [53; H3]. Między wszczepionym materiałem a krwią pacjenta w momencie kontaktu następuje natychmiastowa interakcja. Ogólnie, wysoka biokompatybilność tytanu i jego stopów wynika z tworzenia na jego powierzchni przylegającej, zwartej i cienkiej warstwy pasywnej (5 – 20nm), która zapobiega uwalnianiu jonów Ti z czystego tytanu lub mikrostopów ze stopu Ti do organizmu człowieka. Mimo to, naturalnie tworząca się warstwa pasywna jest zbyt cienka, aby zapewnić długotrwałą ochronę. Z tego względu, w celu zapewnienia wysokiego stopnia biokompatybilności i bioaktywności, zgodności z krwią a także zachowania właściwości mechanicznych przy odporności na zużycie i korozję, często wymagana jest modyfikacja powierzchni Ti i jego stopów. Można to osiągnąć poprzez takie dobrze znane metody obróbki powierzchni stopów Ti, jak:

- 1) metody fizyczne (natryskiwanie termiczne, PVD);
- 2) elektrochemiczne (anodowanie, PEO, osadzanie elektrolityczne);
- 3) metody biochemiczne (immobilizacja samoorganizujących się biomolekuł) (54)

Wśród nich przełomowe wyniki przyniosło zastosowanie na powierzchni tytanu i jego stopów nanomorfologii TiO₂, które dzięki wysokiej energii powierzchniowej zapewniają wyższą adsorpcję białek jednocześnie zmniejszając adhezję bakterii i ograniczając reakcję zapalną organizmu przy materiale implantu [55].

W **pracy H7** szczegółowo przedstawiono obecny stan wiedzy na temat metod syntezy powierzchniowego nanomorfologicznego tlenku tytanu, ze szczególnym uwzględnieniem nanorurek anodowego tlenku tytanu (ATO). Szczegółowo opisałam kalendarium wytwarzania nanorurek tlenku tytanu wraz z podaniem głównych zalet i wad poszczególnych metod (Rys 13.).



Rys 13. Kalendarium metod wytwarzania nanorurek tlenku tytanu [H7].

Opisano mechanizm procesu anodyzacji oraz szczegółowo opisano kluczowe parametry procesu anodyzacji (tj. zastosowane napięcie, pH i temperatura elektrolitu, czas anodyzacji) i ich wpływ oraz morfologię otrzymywanego anodowego tlenku tytanu. Należy zauważyć znaczący wpływ pH roztworu elektrolitu na szybkość wzrostu ATO: szybkość wzrostu nanorurek ATO znacząco maleje przy wzroście pH elektrolitu. Prawdopodobnie jest to skorelowane z wyższą szybkością chemicznego rozpuszczania nanorurek w elektrolitach o wyższym pH. Jednocześnie przy zbyt niskiej temperaturze anodyzacji szybkość rozpuszczania tlenku maleje i nie tworzą się jednorodne pory. Podwyższenie temperatury elektrolitu powoduje, że nawet przy niższej zawartości jonów F^- (0,5 wag%, 20V) możliwe jest otrzymanie samoporządkującej się morfologii ATO [56]. Ogólnie, dłuższe czasy anodowania sprzyjają powstawaniu grubszych warstw anodowych. W przypadkach niektórych elektrolitów nanorurki ATO mogą się zapaść z powodu silniejszego efektu rozpuszczania tlenku przez jony F^- na górze warstwy niż na dole. Wpływ zastosowanego napięcia na anodowe warstwy ATO jest zależny m.in. od rodzaju rozpuszczalnika zastosowanego w elektrolicie do anodyzacji Ti: w wodnych roztworach kwasów wymagane są raczej niskie napięcia anodyzacji (~20V), podczas gdy w elektrolitach opartych na rozpuszczalnikach organicznych napięcie anodyzacji powinno być znacząco wyższe (30-150V). Ogólnie, skład stopu, zanieczyszczenia i pierwiastki stopowe mogą wpływać nie tylko na kinetykę utleniania i skuteczność anodowania, ale w konsekwencji także na otrzymywaną morfologię, skład i krystaliczność warstw ATO.

W pracy H7 opisano anodowy tlenek tytanu w zastosowaniach biomedycznych, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu składu, struktury, topografii oraz morfologii powierzchni. Takie cechy powierzchni jak chropowatość, porowatość, energia

powierzchniowa, stopień uporządkowania nanoobjektów, konfiguracja kryształów i tekstura silnie wpływa na adhezję i wzrost komórek [57]

W **pracy H7** omówione zostały zalety i wyzwania anodowych nanomateriałów w zastosowaniach biomedycznych a także: biokorozja, bio-tribokorozja oraz właściwości półprzewodnikowe, biologiczne i mechaniczne ATO. Odporność na biokorozję jest jednym z najważniejszych parametrów przy projektowaniu i doborze biomateriałów w warunkach *in-vivo*. Morfologia i chemia powierzchni w mikro- i nanoskali głęboko wpływają na biointerakcje generowane przez materiały, a także na ich zachowanie podczas degradacji w środowisku biologicznym. Podstawowy paradygmat biomateriałów metalicznych brzmi: „im materiał bardziej odporny na korozję, tym bardziej biokompatybilny”. Wykazano, że bardziej zwarta warstwa nanoporów w porównaniu do nanorurek ATO skutkuje wyższą odpornością na korozję [58]. Ponadto na stopach tytanu drugiej generacji podczas anodyzacji powstają mieszane, złożone z dwóch rodzajów tlenku metali, anodowe nanorurki, co sprzyja bioaktywności [59]. Oczekuje się, że wpływ tych biomateriałów w przyszłości będzie ogromny, konieczne są jednak dalsze badania, aby określić zachowanie biokorozyjne oraz biotribokorozyjne mieszanych nanorurek utworzonych na stopach Ti drugiej generacji.

Zalety anodowych nanomateriałów przedstawione w pracy H7 można podsumować następująco:

1. Naturalne kości w mikro- i nano skali- wykazują podobieństwo do nanomorfologii anodowych tlenków. Wybrane stopy Ti (głównie drugiej generacji) mogą wykazywać zbliżony moduł sprężystości do naturalnych kości.
2. Morfologia nanoporowata zapewnia lepszą bioaktywność i funkcję osteoblastów, podczas gdy struktura mikroporowata wspomaga wzrost kości poprzez wytwarzanie hydroksyapatytu (HA).
3. Optymalna średnica nanorurek TiO_2 do zastosowań biomedycznych mieści się w przedziale 15–50 nm – dla takich średnic nanorurek ATO poprawia się adhezja, proliferacja i mineralizacja komórek oraz działanie przeciwbakteryjne. Dla nanorurek o średnicy >100 nm dochodzi do poważnego upośledzenia adhezji, żywotności i proliferacji komórek.
4. Krystaliczna struktura nanorurek zapewnia lepsze właściwości ochronne w porównaniu do nanorurek amorficznych. Biofunkcjonalizacja krystalicznych nanorurek ATO znacząco poprawiła ich stabilność mechaniczną i odporność na tribokorozję. Dodatki

nietoksycznych pierwiastków stopowych w stopach Ti drugiej generacji (takich jak Nb, Hf, Ta i Zr) zwiększa odporność na korozję i tribokorozję.

5. Łącząc proces anodowania i technikę druku 3D, można uzyskać implanty kostne/zębowe o bardziej skomplikowanych kształtach, zapewniając w ten sposób szeroką gamę implantów na żądanie. Nanorurki TiO₂ wytworzone na powierzchni porowatego podłoża Ti wykonanego metodą addytywną wykazują ulepszone właściwości biologiczne – ta technologia prawdopodobnie będzie obszarem przyszłych badań nad stopami Ti drugiej generacji.
6. Nanorurki ATO można wykorzystać jako platformy stopniowo uwalniające leki (np. przeciwbakteryjne, przeciwbólowe lub stymulujące osteogenezę).

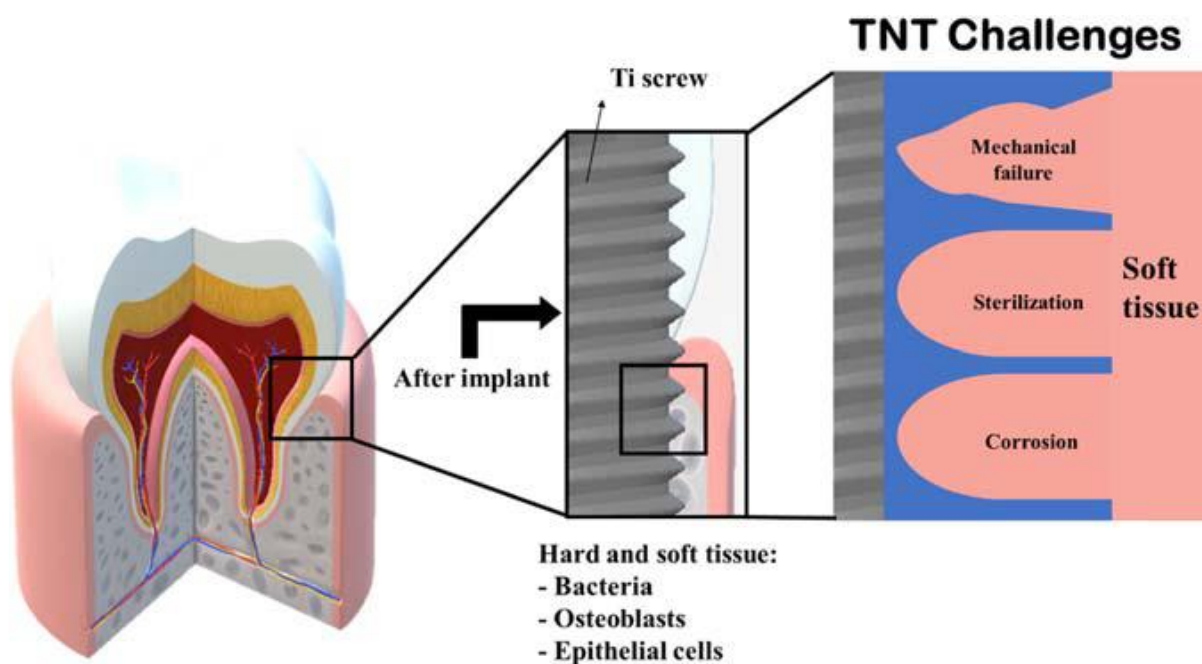
Wyzwania anodowych nanomateriałów w zastosowaniach biomedycznych opisałam następująco:

1. Optymalizacja cech morfologicznych nowych stopów Ti pod kątem ich reakcji biologicznej.
2. Przełożenie wyników badań tribokorozji w mediach biologicznych na praktykę kliniczną, opracowanie standardowej konfiguracji testów i standaryzację technik analitycznych symulujących warunki kliniczne.
3. Opracowanie końcowej obróbki nanorurek tlenku tytanu, która ograniczy ich kruchość i poprawi właściwości mechaniczne.
4. Kierunek przyszłych badań powinien skupiać się na zwiększaniu długoterminowych właściwości antybakteryjnych implantów, w szczególności na kontroli uwalniania środka przeciwbakteryjnego.
5. Zwiększenie skali produkcji nanorurek ATO tak, aby technologia ta nadawała się do produkcji na dużą skalę dla przemysłu biomedycznego.

Obecnie tytan i stopy tytanu są swego rodzaju złotym standardem w stomatologii, szczególnie powszechnie stosowanym w praktyce klinicznej do odbudowy zębów, implantacji endodontycznych lub zastosowań ortodontycznych. W **pracy H6** opisałam metody modyfikacji implantów dentystycznych w skali nano-, z wyszczególnieniem metod fizycznych i chemicznych oraz specjalnym podkreśleniem anodyzacji jako sposobu wytwarzania nanomorfologii na tytanie i jego stopach.

Implanty dentystyczne mają inne warunki użytkowania niż implanty kostne. Ze względu na specyficzne warunki pracy, implanty dentystyczne wymagają szybkiej osteointegracji, a

następnie utworzenia integracji z tkankami miękkimi. Implanty dentystyczne muszą pracować w trwałym biofilmie mikrobiologicznym jamy ustnej, dlatego kluczowym wyzwaniem w tym zastosowaniu jest osiągnięcie długotrwałego sukcesu w zakresie kości i zaburzonej integracji tkanki przezśluzówkowej. O długoterminowym sukcesie implantów stomatologicznych decydują: szybkie gojenie i bezpieczna integracja materiału implantu z kością szczęki. Wykazano, że nanorurki ATO na powierzchni implantu dentystycznego sprzyjają integracji tkanek twardych i miękkich, mają dobrą kompatybilność z krwią pacjenta, sprzyjają wzrostowi komórek. Niestety, większość badań związanych z adhezją i żywotnością komórek na nanorurkach ATO nie uwzględnia sterylizacji (realizowane poprzez napromieniowanie UV, wyżarzanie lub obróbka końcowa w autoklawie) wykonywanej przed wszczepieniem implantu. Jest to niezwykle istotne, ponieważ większość technik sterylizacji nie wpływa na morfologię ATO, ale wybór metody sterylizacji wpływa na siłę działania antybakteryjnego materiału implantu.



Rys 14. Schematycznie przedstawiona obecna perspektywa zastosowania ATO w implantach dentystycznych [H7].

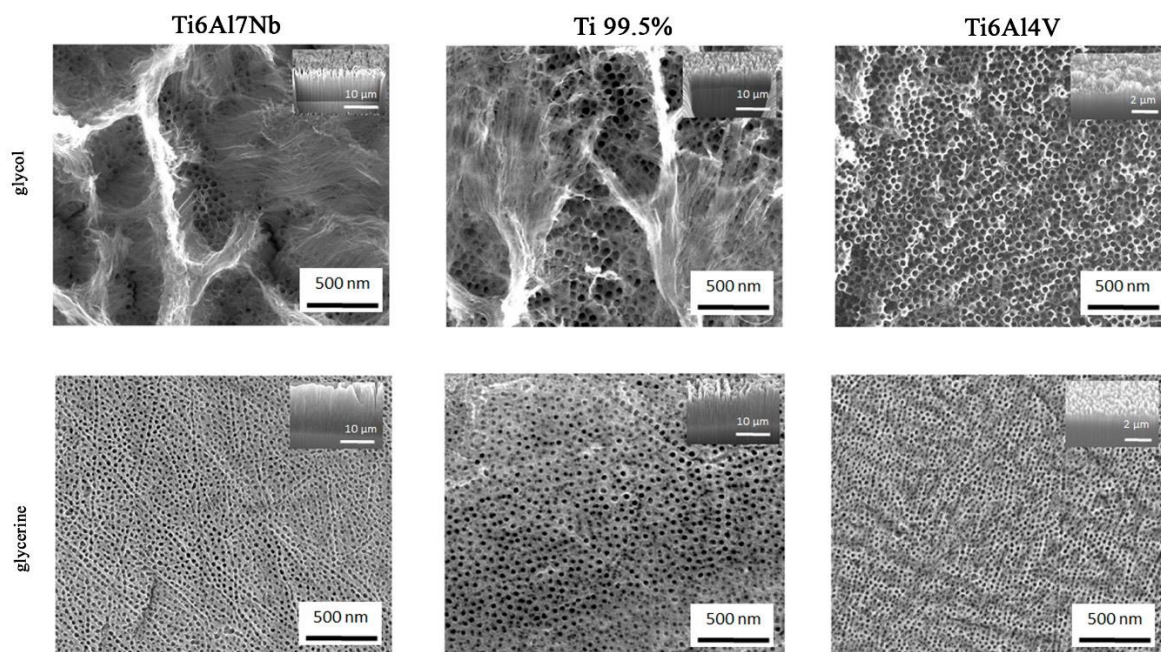
Z klinicznego punktu widzenia implanty dentystyczne mają złożoną geometrię (z krzywiznami, krawędziami i rowkami) (Rys 14.), co skutkuje osłabieniem właściwości mechanicznych (pęknięciami, rozwarstwieniami itd.). Rozwiązaniem zwiększającym początkową stabilność mogą być: wstępne polerowanie podłoża, dwuetapowe/wielokrotne anodowanie lub anodowanie Ti w odpowiednio kondycjonowanym elektrolicie. Ogólnie, zastosowanie ATO

jako platformy do lokalnego dostarczania leków (z pominięciem podawania ogólnoustrojowego) tj. czynniki wzrostu i antybiotyki, jest bardzo perspektywnym rozwiązaniem.

W pracy H3 przeprowadziłam anodyzację w dwóch elektrolitach o różnej lepkości, komercyjnie czystego stopu Ti i dwóch stopów biomedycznych Ti6Al7Nb i Ti6Al4V wykonanych metodą addytywną. Celem badań było określenie wpływu składu elektrolitu oraz składu podłoża na warstwę anodową, a także zbadanie możliwości anodyzacji podłoży wykonanych metodą addytywną.

Jak zostało wspomniane wyżej, w zastosowaniach lotniczych i biomedycznych jednym z najczęściej stosowanych materiałów jest stop Ti6Al4V – zawiera on jednak wanad, który można uznać za szkodliwy w przypadku uwolnienia do organizmów podczas długotrwałego narażenia na kontakt z tym materiałem. Z drugiej strony perspektywny stop tytanu drugiej generacji Ti6Al7Nb – zawiera nietoksyczny Nb i posiada jeszcze wyższą odporność na korozję oraz wyższą biotolerancję niż Ti6Al4V. Z tego względu te dwa stopy wytypowano do badań.

W pracy **H3** wykazano, że rodzaj elektrolitu oraz skład chemiczny podłoża wpływają na ostateczną morfologię i skład chemiczny powstającego anodowego tlenku tytanu. Wyższą gęstość prądu, ruchliwość jonową i szybkość wzrostu tlenków zarejestrowałam w elektrolicie na bazie glikolu (mniej lepki) w porównaniu do otrzymanych w elektrolicie na bazie gliceryny (bardziej lepki) dla wszystkich badanych stopów. W obu typach elektrolitów zaobserwowano samoorganizującą się nanorurkową i nanoporowatą morfologię anodowego tlenku tytanu (Rys 15.).



Rys 15. Widok z góry i przekrój ATO wytworzonego na stopach Ti6Al7Nb, Ti 99,5% i Ti6Al4V metodą anodowania w elektrolicie na bazie glikolu (a–c) i glicerolu (d–f). Na głównym zdjęciu (widok z góry) pasek skali odpowiada 500 nm dla każdego podłoża. W przekroju poprzecznym podziałka odpowiada 10 μm dla Ti6Al7Nb i Ti 99,5%, a 2 μm dla stopu Ti6Al4V.[H3]

Główne wnioski z badań przeprowadzonych w **pracy H3** można przedstawić następująco:

1. W każdym elektrolicie podatność stopu na utlenianie zwiększała się w następującej kolejności: Ti6Al4V < Ti 99,5% < Ti6Al7Nb, co można powiązać z podatnością na utlenianie bazowego stopu tytanu.
2. Na gęstość prądu i szybkość wzrostu ATO wpływa skład (w tym baza, czyli stosowany rozpuszczalnik) zastosowanego elektrolitu, a także skład chemiczny podłoża. Ogólnie rzecz biorąc, szybkość wzrostu tlenku jest wyższa w elektrolicie na bazie glikolu (mniej lepki) niż w elektrolicie na bazie gliceryny dla wszystkich badanych podłoży tytanowych.
3. Stwierdzono, że skład chemiczny podłoża ma istotny wpływ na skład tlenku anodowego. Dla jednego rodzaju elektrolitu największą gęstość prądu i szybkość wzrostu ATO zarejestrowano dla stopu Ti6Al7Nb, a najmniejszą dla stopu Ti6Al4V. Prawdopodobnie wynika to ze składu stopu: niob jest pierwiastkiem bardziej podatnym na utlenianie niż tytan i wanad, dlatego wypadkowo podatność Ti6Al7Nb na utlenianie jest większa niż pozostałych badanych stopów. Ilość fluoru w ATO wytworzonym w

elektrolicie na bazie gliceryny była kilkukrotnie większa w porównaniu do ATO wyprodukowanego w elektrolicie na bazie glikolu dla tego samego podłoża.

4. Zaobserwowano, że im więcej jest zanieczyszczeń/pierwiastków stopowych w podłożu, tym mniejsza średnica porów otrzymanego anodowego tlenku tytanu.
5. Do ATO wytworzonego w elektrolicie na bazie glicerolu zaobserwowano większe wbudowywanie składników elektrolitu niż do ATO wytworzonego w elektrolicie na bazie glikolu.

Kategoria 3 – Matryce tlenkowe ATO do zastosowania jako podłoża kompozytowe typu ATO/Metal szlachetny do SERS.

Powierzchniowo wzmocniona spektroskopia Ramana (ang. Surface Enhanced Raman Spectroscopy, SERS) to znana od 1977 r. technika analityczna, służąca identyfikacji śladowych ilości (lub nawet pojedynczych cząsteczek) substancji chemicznych lub biologicznych. SERS rejestruje wzmocnione zjawiskiem powierzchniowego rezonansu plazmowego widmo rozproszenia Ramana, czyli nieelastycznie rozproszonych fotonów, a substancje oznaczane są na podstawie swojego widma wibracyjnego, unikatowego dla danego związku. SERS to technika umożliwiająca analizę badanego analitu w czasie rzeczywistym, z wykorzystaniem jego specyficznego strukturalnego i wibracyjnego „odcisku palca”. Dzięki zastosowaniu tej techniki możliwa jest nie tylko wydajna analiza jakościowa cząstek zaadsorbowanych na powierzchni podłoża, ale także uzyskanie cennych informacji na temat struktury wykrywanych związków.

SERS może być wykorzystana m.in. w medycynie, przemyśle farmaceutycznym i spożywczym, bezpieczeństwie wewnętrznym, nanosensorach czy ochronie środowiska. Zaletami SERS są m.in.: jakościowa analiza śladowych ilości analitu, nieinwazyjność, duża rozdzielczość. Niestety SERS ma też wady, takie jak m.in.: problemy z oznaczaniem materiałów fluorescencyjnych, stabilność i powtarzalność pomiarów. Wyzwanie dotyczące podłoży SERS polega na udoskonaleniu substratów SERS, aby zminimalizować te wady. Obecnie przy wytwarzaniu podłoża SERS stosuje się precyzyjną litografię wiązką elektronów lub skupioną wiązkę jonów, co jest niepraktyczne w przypadku produkcji na dużą skalę. W ostatnich latach uwaga badaczy skupiła się na porowatych tlenkach anodowych, których produkcja jest efektywna cenowo i skalowalna, jako potencjalnych materiałach na podłoża SERS. Aby opracować udoskonalone podłoża SERS konieczne jest opracowanie powtarzalnej

metody syntezy równomiernie rozmieszczonych jednorodnych nanostruktur umożliwiających wytworzenie podkładów znacznie wzmacniających sygnał ($>10^6$) w sposób powtarzalny.

Aby opisać podłoże SERS, należy wziąć pod uwagę następujące parametry: współczynnik wzmocnienia sygnału dla danego analitu, powtarzalność pomiarów, trwałość/trwałość, wymaganą długość fali wzbudzenia i zakres mocy lasera, czułość na temperaturę i wilgotność. Aby określić wydajność substratu SERS, należy uwzględnić konkretne zastosowanie, w którym planuje się zastosować substrat. Na przykład, gdy planujemy zastosować SERS w obszarze niebieskim lub zielono-pomarańczowym (pokrycie światła widzialnego i światła NIR), możemy zastosować nanokoloidy Au lub Ag, ale w przypadku obszaru UV musimy użyć nanocząstek Al [60].

W pracy H2 omówiłam postępy prac nad zastosowaniem anodowego tlenku tytanu jako podłoża SERS oraz krótko opisałam stosowane obecnie, konwencjonalne podłoża SERS. Zaprezentowałam sposób podziału podłoża SERS, metody ich wytwarzania oraz możliwe ulepszenia. Stabelaryzowałam i opisałam komercyjnie dostępne podłoża SERS. **Opisałam jak i jakie anodowe tlenki są obecnie badane w zastosowaniu jako podłoża SERS.** Na zakończenie przedstawiłam perspektywę przyszłości zastosowania anodowych tlenków jako wydajnego i efektywnego podłoża SERS.

Podsumowując pracę H2, biorąc pod uwagę wszystkie wymienione w pracy wymagania stawiane idealnemu podłożu SERS, anodowe nanokompozyty tlenkowe (anodowy tlenek/metal szlachetny) jako podłoża SERS mogą stać się wydajnym i popularnym produktem. Obecnie możliwość zastosowania tego materiału jako wysoce aktywnego podłoża SERS jest w fazie badań i efekty są bardzo obiecujące. **Potencjalnie przyszłościową** rolę zaawansowanych nanokompozytów anodowych na bazie tlenków jako podłoża SERS można przypisać następującym cechom:

- Brak fluorescencji i bardzo niskie tło, podobne do wartości zarejestrowanych dla kwarcu i krzemu.
- Produkcja tlenków anodowych jest procesem stosunkowo łatwym i szybkim, zatem koszt takiej produkcji byłby znacząco niższy od kosztów obecnie dostępnych na rynku dostępne podłoża SERS.
- Struktury otrzymane w procesie anodowania charakteryzują się dużą powierzchnią właściwą, powtarzalnością morfologii oraz możliwością kontroli parametrów geometrycznych

za pomocą parametrów procesu produkcyjnego (np. potencjału anodyzacji czy temperatury procesu), co zapewni powtarzalność analiz SERS.

- Istnieje możliwość stosunkowo szybkiego i łatwego zwiększenia skali produkcji anodowych podłoży tlenkowych SERS.

Pomimo niewątpliwych zalet i potencjalnie dużych możliwości szerokiego zastosowania spektroskopii SERS w wielu dziedzinach, jej postęp został zahamowany przez niezdolność naukowców i przemysłu do wytworzenia substratów SERS o wysokiej czułości, stabilności i powtarzalności. Obecnie dostępne na rynku podłoża SERS charakteryzują się uzyskaniem realnego wzmocnienia na poziomie 10^5 – 10^7 i trwałością od kilku dni do 6 miesięcy. Powyższe ograniczenia wynikają ze stosunkowo małej kontroli nad morfologią struktur substratów w nanoskali, które odpowiadają za obserwowane wzmocnienie SERS [61].

Wykonanie idealnego podłoża SERS nie jest zadaniem prostym. Ważne jest, aby uzyskać powtarzalny i jednorodny rozkład nanostruktur na całej powierzchni efektywnego podłoża SERS, przy jednoczesnym uzyskaniu dużych obszarów spełniających te warunki. Następnym krokiem, stwarzającym pewne problemy technologiczne, jest znalezienie technologii umożliwiającej przeniesienie wyników badań z laboratorium na skalę przemysłową. Zastosowanie konwencjonalnych nanostruktur w metodach wytwarzania staje się mniej atrakcyjne, ponieważ są one stosunkowo drogie, czasochłonne, trudne i nieskuteczne w przypadku powierzchni większych niż 1 mm^2 . Zastosowanie szablonu anodowego tlenku aluminium do wytwarzania nanostruktur, pomimo obiecujących wyników w nanoskali, obarczone jest wieloma problemami pojawiającymi się przy próbach zwiększenia skali produkcji, w tym:

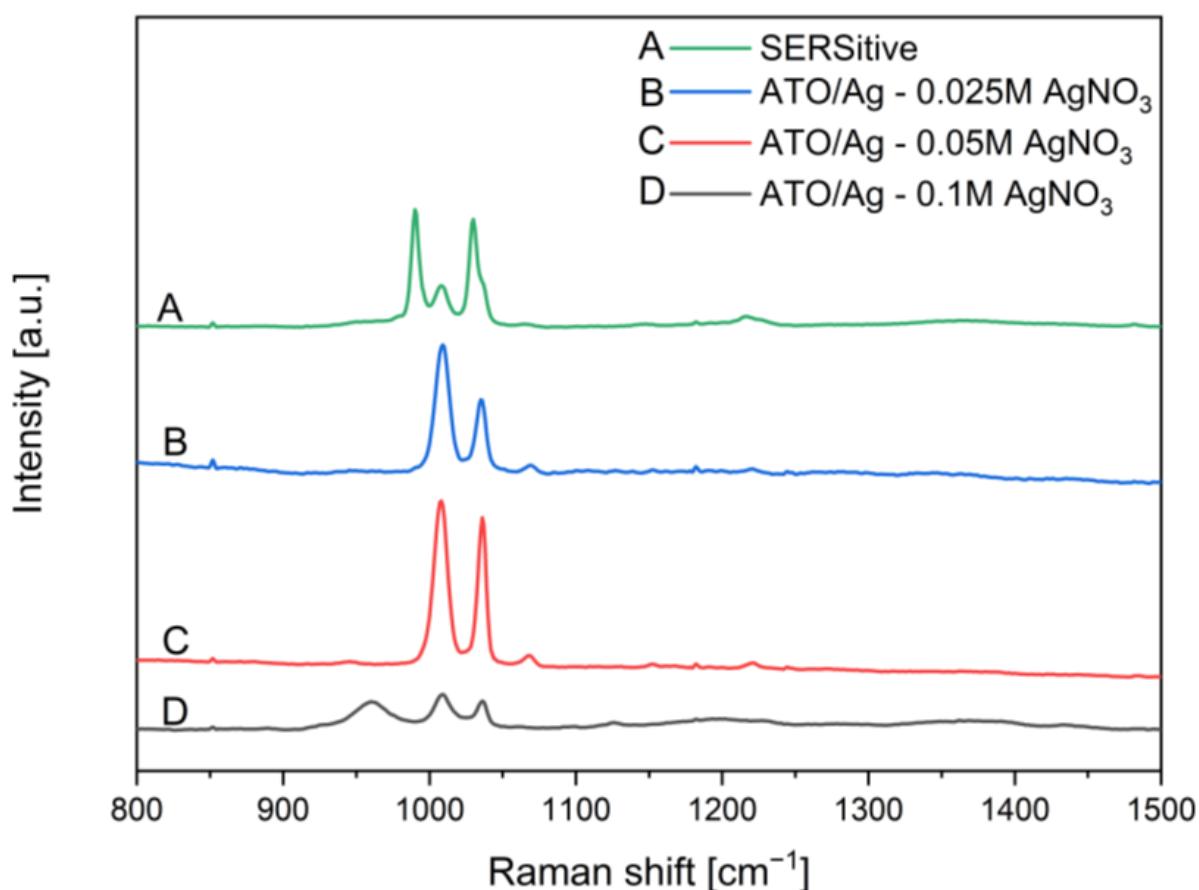
- skomplikowanym, wieloetapowym i trudnym procesem wytwarzania ultracienkich membran AAO;
- uporządkowaniem struktur tylko w obszarze domenowym;
- trudnościami w uzyskaniu powtarzalnych układów nanostruktur.

Z drugiej strony powierzchnia nanoobjektów wykonana metodą wspomaganą szablony AAO ma obiecujące zastosowanie praktyczne w dziedzinie SERS, więc kierunek ten prawdopodobnie będzie rozwijany w przyszłości.

Obiecującym rozwiązaniem wydaje się również zastosowanie ATO do produkcji substratów SERS: możliwość łączenia stosunkowo uporządkowanych nanoporów/nanorurek z ich właściwościami fotokatalitycznymi w celu wykorzystania efektu samooczyszczania podłoży

SERS daje duże perspektywy zastosowania tego materiału. Prawdopodobnie w przyszłości kompozytowe podłoża SERS na bazie AAO/ATO i Ag lub Au będą dostępne na rynku.

W nawiązaniu do pracy stwierdzeń pracy H2 **wykonałam eksperymenty zastosowania matryc ATO pokrytych srebrem jako podłoża SERS**. Wyniki przeprowadzonych badań zaprezentowałam w pracy **H9**.



Rys 16. Widma SERS pirydyny zarejestrowanej na (A) dostępnym na rynku substracie SERS—SERSitive – pełni funkcję referencji, (B) ATO/Ag Podłoże SERS pokryte Ag w 0,025 M roztworze AgNO₃ (C) Podłoże ATO/Ag SERS pokryte Ag w 0,05 M roztworze AgNO₃ (D) Podłoże ATO/Ag SERS pokryte Ag w 0,1 M roztworze AgNO₃ [H9].

W pracy H9 zbadalam tworzenie nanostrukturalnych warstw anodowego tlenku tytanu (ATO) na czystym tytanie metoda konwencjonalnego anodowania stosujac dwa rone zestawy warunkach elektrochemicznych – w celu uzyskania morfologii nanorurek i nanoporow ATO. Warstwy ATO zostaly pomyslnie opracowane i wykazaly optymalna integralnosc strukturalna po procesie wyzarzania prowadzonego w atmosferze powietrza w temperaturze 450 C. Warstwa nanoporow ATO byla cieńsza (1,2 +/- 0,3 µm) niz warstwa nanorurek ATO (3,3 +/- 0,6 µm).

Zauważalne były również różnice w wewnętrznej średnicy nanoobjektów ATO, tj. 88 ± 9 nm i 64 ± 7 nm, odpowiednio dla morfologii nanoporów i nanorurek ATO. Osadzanie srebra na ATO przeprowadziłam pomyślnie w przypadku obu morfologii ATO metodą elektroosadzania srebra i osadzaniem koloidu Ag. Najbardziej jednorodną warstwę srebra otrzymałam stosując metodę **elektroosadzania Ag na nanoporach ATO**. Z tego względu próbki te wybrałam jako potencjalne podłoże SERS i przeprowadziłam ich ocenę przy użyciu wodnego roztworu pirydyny jako analitu testowego.

Wyniki wykazały, że najbardziej intensywny sygnał SERS zarejestrowano dla nanoporowego podłoża ATO/Ag otrzymanego przez osadzanie elektrolityczne srebra na ATO przez 2,5 min przy 1 V (Rys 16.):

- z 0,05 M AgNO_3 (aq.) (analityczny współczynnik wzmocnienia, AEF wynosił $\sim 5,3 \cdot 10^4$) oraz
- z 0,025 M AgNO_3 (aq.) (AEF $\sim 2,7 \cdot 10^2$).

Istotne jest, że **podłoża SERS przedstawione w pracy H9 cechują się porównywalnym współczynnikiem wzmocnienia do komercyjnie dostępnych podłoży (SERSitive, $\sim 2,9 \cdot 10^3$)**. Podsumowując, badania wskazują na to, że mało złożona i efektywna cenowo synteza ATO/Ag jako wydajnych substratów SERS ma duży potencjał komercjalizacji.

Wnioski główne

W ramach przedstawionego cyklu 9 publikacji:

- 1) opracowałam i opisałam nowy typ elektrolitu do anodyzacji tytanu, oparty na etanolu;
- 2) wytworzyłam i opisałam barwne anodowe tlenki tytanu;
- 3) opisałam wady, zalety, możliwości i wyzwania zastosowania anodowych tlenków tytanu jako warstw aktywnych w zastosowaniach biomedycznych;
- 4) zbadałam różnice w warstwach ATO wytworzonych na dwóch najpopularniejszych stopach biomedycznych wytworzonych metodą addytywną;
- 5) opisałam wady, zalety, możliwości i wyzwania zastosowania anodowych tlenków tytanu jako elementów wysokoefektywnych, aktywnych, kompozytowych podłoży SERS;
- 6) wykazałam potencjał kompozytów typu ATO/Ag jako podłoży SERS o porównywalnym współczynniku wzmocnienia do podłoży komercyjnie dostępnych.

Literatura:

1. Zaraska, L.; Sulka, G.D.; Szeremeta, J.; Jaskuła, M. Porous anodic alumina formed by anodization of aluminum alloy (AA1050) and high purity aluminum. *Electrochim. Acta* 2010, 55, 4377–4386.
2. Yerokhin, A., & Khan, R. H. U. (2010). Anodising of light alloys. In *Surface engineering of light alloys: Aluminium, magnesium and titanium alloys* (pp. 83-109).
3. Ziental D, Czarczynska-Goslinska B, Mlynarczyk DT, Glowacka-Sobotta A, Stanisiz B, Goslinski T, Sobotta L. Titanium Dioxide Nanoparticles: Prospects and Applications in Medicine. *Nanomaterials*. 2020; 10(2):387. <https://doi.org/10.3390/nano10020387>
4. Zwilling V, Darque-Ceretti E, Boutry-Forveille A, David D, Perrin M-Y, Aucouturier M. Structure and physicochemistry of anodic oxide films on titanium and TA6V alloy. *Surf Interface Anal* 1999;27(7):629–37.
5. Zwilling V, Aucouturier M, Darque-Ceretti E. Anodic oxidation of titanium and TA6V alloy in chromic media. An electrochemical approach. *Electrochim Acta* 1999;45(6):921–9.
6. Kelly JJ. The influence of fluoride ions on the passive dissolution of titanium. *Electrochim Acta* 1979;24(12):1273–82.
7. Roy P, Berger S, Schmuki P. TiO₂ nanotubes: synthesis and applications. *Angew Chem Int Ed* 2011;50(13):2904–39.
8. Roy P, Kim D, Lee K, Spiecker E, Schmuki P. TiO₂ nanotubes and their application in dye-sensitized solar cells. *Nanoscale* 2010;2(1):45–59.
9. Gong D, Grimes CA, Varghese OK, Hu W, Singh RS, Chen Z, et al. Titanium oxide nanotube arrays prepared by anodic oxidation. *J Mater Res* 2001;16(12):3331–4
10. Macak JM, Tsuchiya H, Schmuki P. High-aspect-ratio TiO₂ nanotubes by anodization of titanium. *Angew Chem Int Ed* 2005;44(14):2100–2.
11. H2- Michalska-Domanska M. An overview of anodic oxides derived advanced nanocomposites substrate for surface enhance raman spectroscopy. In: Peshwe RSDADR, editor. *Assorted Dimensional Reconfigurable Materials*. IntechOpen; 2020
12. D. Regonini, C.R. Bowen, A. Jaroenworarluck, R. Stevens, A review of growth mechanism, structure and crystallinity of anodized TiO₂ nanotubes, *Mater. Sci. Eng. R* 15. 74 (2013) 377–406.
13. J. Macak, P. Schmuki, Anodic growth of self-organized anodic TiO₂ nanotubes in viscous electrolytes, *Electrochim. Acta* 52 (2006) 1258–1264.
14. J.M. Macak, L.V. Taveira, H. Tsuchiya, K. Sirotna, J. Macak, P. Schmuki, Influence of different fluoride containing electrolytes on the formation of self-organized titania nanotubes by Ti anodization, *J. Electroceram.* 16 (2006) 29–34
15. David R. Lide (Ed.), *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, Internet Version 2005, CRC Press, Boca Raton, FL, 2005Section 6: Fluid properties, p. 6–186 (water), p. 6–187 (ethylene glycol, ethanol) <http://www.hbcpnetbase.com>.
16. Z. Su, M. Buhl, W. Zhou, Dissociation of water during formation of anodic aluminum oxide, *J. Am. Chem. Soc.* 131 (2009) 8697–8702.
17. Diamanti, M.; Del Curto, B.; Pedferri, M. Colored Titanium Oxides: From Jewelry to Biomedical Applications. In *Encyclopedia of Interfacial Chemistry*; Wandelt, K., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2018; pp. 99–107; ISBN 9780128098943, doi:10.1016/B978-0-12-409547-2.13581-4.
18. Noh, H.; Liew, S.F.; Saranathan, V.; Mochrie, S.G.J.; Prum, R.O.; Dufresne, E.R.; Cao, H. Structural Color: How Noniridescent Colors Are Generated by Quasi-ordered Structures of Bird Feathers. *Adv. Mater.* 2010, 22, 2871–2880
19. Diamanti, M.V.; Garbagnoli, P.; Curto, B.; Pedferri, M. On the Growth of Thin Anodic Oxides Showing Interference Colors on Valve Metals. *Curr. Nanosci.* 2015, 11, 307–316.
20. Karambakhsh, A.; Afshar, A.; Ghahramani, S.; Malekinejad, P. Pure Commercial Titanium Color Anodizing and Corrosion Resistance. *J. Mater. Eng. Perform.* 2011, 20, 1690–1696.
21. Van Gils, S.; Mast, P.; Stijns, E.; Terryn, H. Colour properties of barrier anodic oxide films on aluminium and titanium studied with total reflectance and spectroscopic ellipsometry. *Surf. Coatings Technol.* 2004, 185, 303–310.
22. Chen, Y.; Santos, A.; Ho, D.; Wang, Y.; Kumeria, T.; Li, J.; Wang, C.; Losic, D. On The Generation of Interferometric Colors in High Purity and Technical Grade Aluminum: An Alternative Green Process for Metal Finishing Industry. *Electrochimica Acta* 2015, 174, 672–681.

26. Karambakhsh, A.; Afshar, A.; Ghahramani, S.; Malekinejad, P. Pure Commercial Titanium Color Anodizing and Corrosion Resistance. *J. Mater. Eng. Perform.* 2011, 20, 1690–1696.
27. Diamanti, M.V.; Pedferri, M.P. Effect of anodic oxidation parameters on the titanium oxides formation. *Corros. Sci.* 2007, 49, 939–948.
28. Diamanti, M.V.; Del Curto, B.; Pia Pedferri, M. Interference Colors of Thin Oxide Layers on Titanium. *Color Res. Appl.* 2008, 3, 221–228, doi:10.1002/col.20407.
29. Hassan, F.M.; Nanjo, H.; Venkatachalam, S.; Kanakubo, M.; Ebina, T. Effect of the solvent on growth of titania nanotubes prepared by anodization of Ti in HCl. *Electrochimica Acta* 2010, 55, 3130–3137
30. Pedferri, P. Method of Coloring Titanium and Its Alloys Through Anodic Oxidation. EP 1199385 A2, 24 April 2002.
31. Lee, K.; Kim, J.; Kim, H.; Lee, Y.; Tak, Y.; Kim, D.; Schmuki, P. Effect of Electrolyte Conductivity on the Formation of a Nanotubular TiO₂ Photoanode for a Dye-Sensitized Solar Cell. *J. Korean Phys. Soc.* 2009, 54, 1027–1031.
32. M. Michalska-Domańska, W. Stepniowski, M. Salerno, Effect of inter-electrode separation in the fabrication of nanoporous alumina by anodization, *Journal of Electroanalytical Chemistry* 823, 2018, 47 – 53
33. Suhadolnik L, Marinko Ž, Ponikvar-Svet M, Tavčar G, Kovač J, Čeh M. Influence of anodization-electrolyte aging on the photocatalytic activity of TiO₂ nanotube arrays. *J Phys Chem C* 2020;124(7):4073–80.
34. Lee K, Kim J, Kim H, Lee Y, Tak Y, Kim D, et al. Effect of electrolyte conductivity on the formation of a nanotubular TiO₂ photoanode for a dye-sensitized solar cell. *J Korean Phys Soc* 2009;54(3):1027–31.
35. Yoriya S, Paulose M, Varghese OK, Mor GK, Grimes CA. Fabrication of vertically oriented TiO₂ nanotube arrays using dimethyl sulfoxide electrolytes. *J Phys Chem C* 2007;111(37):13770–6.
36. Gulati K, Santos A, Findlay D, Losic D. Optimizing anodization conditions for the growth of Titania nanotubes on curved surfaces. *J Phys Chem C* 2015;119(28): 16033–45
37. Guo T, Oztug NAK, Han P, Ivanovski S, Gulati K. Old is gold: electrolyte aging influences the topography, chemistry, and bioactivity of anodized TiO₂ Nanopores. *ACS Appl Mater Interfaces* 2021;13(7):7897–912.
38. Gulati K, Hamlet SM, Ivanovski S. Tailoring the immuno-responsiveness of anodized nano-engineered titanium implants. *J Mater Chem B* 2018;6(18): 2677–89.
39. Stepniowski, W.J.; Norek, M.; Michalska-Domańska, M.; Bombalska, A.; Nowak-Stepniowska, A.; Kwaśny, M.; Bojar, Z. Fabrication of anodic aluminum oxide with incorporated chromate ions. *Appl. Surf. Sci.* 2012, 259, 324–330.
40. Brudzisz, A.M.; Gizinski, D.; Stepniowski, W.J. Incorporation of Ions into Nanostructured Anodic Oxides—Mechanism and Functionalities. *Molecules* 2021, 26, 6378.
41. Stepniowski, W.J.; Norek, M.; Budner, B.; Michalska-Domanska, M.; Nowak-Stepniowska, A.; Bombalska, A.; Kaliszewski, M.; Mostek, A.; Thorat, S.; Salerno, M.; et al. In-situ electrochemical doping of nanoporous anodic aluminum oxide with indigo carmine organic dye. *Thin Solid Films* 2016, 598, 60–64
42. Wang, W.; Zhang, J.; Liang, D.; Li, Y.; Xie, Y.; Wang, Y.; Li, J. Anodic oxidation growth of lanthanum/manganese-doped TiO₂ nanotube arrays for photocatalytic degradation of various organic dyes. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2020, 31, 8844–8851.
43. Shin, S.; Kim, K.; Choi, J. Fabrication of ruthenium-doped TiO₂ electrodes by one-step anodization for electrolysis applications. *Electrochem. Commun.* 2013, 36, 88–91.
44. Atkins, P.; de Paula, J.; Keeler, J. *Physical Chemistry*, 11th ed.; Oxford University Press: Oxford, UK, 2017
45. Zaraska, L.; Gawlak, K.; Wiercigroch, E.; Malek, K.; Koziel, M.; Andrzejczuk, M.; Marzec, M.M.; Jarosz, M. The effect of anodizing potential and annealing conditions on the morphology, composition and photoelectrochemical activity of porous anodic tin oxide films. *Electrochim. Acta* 2019, 319, 18–30.
46. Jain, A.; Vaya, D. Photocatalytic Activity of TiO₂ Nanomaterial. *J. Chil. Chem. Soc.* 2017, 62, 3683–3690.
47. Naldoni, A.; Altomare, M.; Zoppellaro, G.; Liu, N.; Kment, Š.; Zbořil, R.; Schmuki, P. Photocatalysis with Reduced TiO₂: From Black TiO₂ to Cocatalyst-Free Hydrogen Production. *ACS Catal.* 2019, 9, 345–364.
48. Leary, R.; Westwood, A. Carbonaceous nanomaterials for the enhancement of TiO₂ photocatalysis. *Carbon N. Y.* 2011, 49, 741–772.
49. Akhtar, S.S.; Arif, A.F.M.; Yilbas, B.S. 3.11 Gas Nitriding of H13 Tool Steel Used for Extrusion Dies: Numerical and Experimental Investigation. In *Comprehensive Materials Finishing*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2017; pp. 158–177.

50. Dong, H. Surface engineering in sport. In *Materials in Sports Equipment*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2003; pp. 160–195.
51. Baker, B.A. Types of Environments. In *Shreir's Corrosion*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2010; pp. 399–406.
52. Chen, Q., & Thouas, G. A. (2015). *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 87, 1-57.
53. Okazaki, Y. (2001). *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 5, 45-53.
54. Karbowniczek, J., Muhaffel, F., Cempura, G., Cimenoglu, H., & Czyrska-Filemonowicz, A. (2017). *Surface and Coatings Technology*, 321, 97e107
55. Simsek, I., & Ozyurek, D. (2019). *Materials Science and Engineering: C*, 94, 357-363.
56. Kaur, M., & Singh, K. (2019). *Materials Science and Engineering: C*, 102, 844-862.
57. Barthes, J., Ciftci, S., Ponzio, F., Knopf-Marques, H., Pelyhe, L., Gudima, A., Kientzl, I., Bogner, E.,
58. Weszl, M., Kzhyshkowska, J., & Vrana, N. E. (2018). *Critical Reviews in Biotechnology*, 38, 423-437.
59. Quinn, J., McFadden, R., Chan, C.-W., & Carson, L. (2020). *iScience*, 23, 101745.
60. Wang, J., & Lin, Z. (2009). *The Journal of Physical Chemistry C*, 113, 4026-4030.
61. Sarraf, M., Nasiri-Tabrizi, B., Yeong, C. H., Madaah Hosseini, H. R., Saber-Samandari, S., Basirun, W. J., &
62. Tsuzuki, T. (2021). *Ceramics International*, 47, 2917-2948.
63. Perez, D. A. G., Jorge Junior, A. M., Asato, G. H., Lepretre, J.-C., Roche, V., Bolfarini, C., & Botta, W. J.
64. (2019). *Journal of Alloys and Compounds*, 796, 93-102.
65. Fatichi, A. Z., Mello, M. G., Caram, R., & Cremasco, A. (2019). *Journal of Applied Electrochemistry*, 49, 1079-1089.
66. Jha SK, Ekinci Y, Agio M, Loffler JF. Towards deep-UV surface-enhanced resonance Raman spectroscopy of explosives: Ultrasensitive, real-time and reproducible detection of TNT. *Analyst*. 2015;140:5671-5677.
67. Banholzer MJ, Millstone JE, Qin L, Mirkin CA. Rationally designed nanostructures for surface-enhanced Raman spectroscopy. *Chemical Society Reviews*. 2008;37:885-897

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

W ramach prowadzenia badań naukowych współpracuję z grupami naukowców z zagranicznych uniwersytetów i jednostek badawczych. W tej części przedstawiam publikacje wynikające z prowadzonej współpracy oraz wykonanych badań w tym w zagranicznych jednostkach.

5.1. Współpraca międzynarodowa oraz publikacje naukowe:

- I. *Międzynarodowa współpraca naukowa z grupą prof. Sanjay J. Dhoble z Department of Physics, R.T.M.Nagpur University z Nagpur w Indiach oraz publikacje powstałe w wyniku współpracy*

Profesor Sanjay J. Dhoble 4 rok z rzędu znajduje się w 2% najlepszych naukowców na świecie. W ramach współpracy z naukowcami z grupy prof. Sanjay J. Dhoble, uczestniczyłam w badaniach nad opracowaniem i opisaniem syntezy nanomateriałów. Mój udział polegał na uczestnictwie w przygotowaniu i opisanie syntez we współautorskich rozdziałach oraz w charakteryzacji nanomateriałów w opublikowanych manuskryptach. Współpraca rozpoczęła się po uzyskaniu przeze mnie stopnia doktora. Jako współautor, opublikowałam w tym obszarze dwie publikacje, sześć rozdziałów w monografiach, oraz byłam współedytorem książki. Kolejne prace są w przygotowaniu. Poniżej zamieszczam opublikowane w ramach współpracy prace, które nie znajdują się na liście publikacji stanowiących podstawę habilitacji:

J1. Amol Nande, Swati Raut, **Marta Michalska-Domańska**, S. J. Dhoble, Green Synthesis of Nanomaterials Using Plant Extract: A Review, Current Pharmaceutical Biotechnology 22(13) 2021 1794 – 1811, IF=2,097, 100pkt <https://doi.org/10.2174/1389201021666201117121452>

J2. Abhijeet R. Kadam , Girish C. Mishra , **Marta Michalska-Domanska** , S.J. Dhoble, Theoretical analysis of electron vibrational interaction (EVI) parameters in 5d states of Eu²⁺ activated BaSiF6 downconversion phosphor, Journal of Molecular Structure 1229 (2021) 129505, IF=2,463, 70 pkt <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129505>

Ch1. V. Lahariya, **M. Michalska-Domańska**, S. J. Dhoble, Chapter 9: Synthesis, structural properties, and applications of cadmium sulfide quantum dots, **Name of Edited Book:** Quantum Dots: Emerging Materials for Versatile Applications, **Edited by:** N. T. Kalyani, S. J. Dhoble, M. Michalska-Domańska, B. Vengadaesvaran, H. Nagabhushana, A. K. Arof, **Publishers: Elsevier:** Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, **ISBN:** 978-0-323-85278-4, **Chapter-9**, pp. 235-266, **2023**, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85278-4.00018-0>, **United States**

Ch2. N. T. Kalyani, H. Nagabhushana, **M. Michalska-Domańska**, B. Vengadaesvaran, A. K. Arof, S. J. Dhoble, Chapter 21: Sustainability, recycling, and lifetime issues of quantum dots, **Name of Edited Book:** Quantum Dots: Emerging Materials for Versatile Applications, **Edited by:** N. T. Kalyani, S. J. Dhoble, M. Michalska-Domańska, B. Vengadaesvaran, H. Nagabhushana, A. K. Arof, **Publishers: Elsevier:** Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, **ISBN:** 978-0-323-85278-4, **Chapter-21**, pp. 575-580, **2023**, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85278-4.00012-X>, **United States**

Ch3. **M. Michalska-Domańska***, S. J. Dhoble, Chapter 8: Quantum dots made with using of anodic aluminum oxide template: fabrication and application, **Name of Edited Book:** Quantum Dots: Emerging Materials for Versatile Applications, **Edited by:** N. T. Kalyani, S. J. Dhoble, M. Michalska-Domańska, B. Vengadaesvaran, H. Nagabhushana, A. K. Arof, **Publishers: Elsevier:** Woodhead Publishing, **ISBN:** 978-0-323-85278-4, **Chapter-8**, pp. 215-233, **2023**, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85278-4.00021-0>, **United States**

Ch4. Nanocomposite-based functional materials: Synthesis, properties, and applications, Tiwari, A., Michalska-Domanska, M., Dhoble, S.J., **Name of Edited Book:** Functional Materials from Carbon, Inorganic, and Organic Sources: Methods and Advances, **Edited by:** S. J. Dhoble, A. Nande, N. T. Kalyani, A. Tiwari, A. K. Arof, **Publishers: Elsevier:** Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, **ISBN:** 978-0-323-85788-8, **Chapter-10**, pp. 317-365, **2023**, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85788-8.00016-1>, **United States**

Ch5. A scrutiny of phosphors for TL radiation dosimetry, Tresa A. Joseph, Vibha Chopra, **Michalska-Domanska** and S.J. Dhoble, **Name of Edited Book:** Radiation Dosimetry Phosphors: Synthesis, Mechanisms, Properties and Analysis, **Edited by:** **Sanjay J. Dhoble**, Vibha Chopra, Vinit Nayar, George Kitis, Dirk Poelman and Hendrik Swart, **Publishers: Elsevier Publication**, United States, **ISBN:** 978-0-323-85471-9, **Chapter-3**, pp 45-70, **2022**, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85471-9.00014-2>, **United States.**

Ch6. Nanophosphors for radiation dosimetry, Abhijeet R. Kadam, Yatish R. Parauha, **Marta Michalska-Domanska**, N.S. Dhoble and S.J. Dhoble, **Name of Edited Book:** Radiation Dosimetry Phosphors: Synthesis, Mechanisms, Properties and Analysis, **Edited by:** **Sanjay J. Dhoble**, Vibha Chopra, Vinit Nayar, George Kitis, Dirk Poelman and Hendrik Swart, **Publishers: Elsevier Publication**, United States, **ISBN:** 978-0-323-85471-9, **Chapter-10**, pp 251-276, **2022**, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85471-9.00011-7>, **United States.**

B1. Book, **Name of Edited Book:** Quantum Dots: Emerging Materials for Versatile Applications, **Edited by:** N. T. Kalyani, S. J. Dhoble, M. Michalska-Domańska, B. Vengadaesvaran, H. Nagabhushana, A. K. Arof, **Publishers: Elsevier:** Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, **ISBN:** 978-0-323-85278-4, **2023**, <https://doi.org/10.1016/C2020-0-02561-2>, **United States**

II. Międzynarodowa współpraca naukowa z grupą prof. Vikasa Dubey z Department of Physics, Bhilai Institute of Technology Raipur z Raipur w Indiach oraz publikacje powstałe w wyniku współpracy

W ramach współpracy z naukowcami z grupy prof. Vikasa Dubey uczestniczyłam w badaniach nad opracowaniem materiałów luminescencyjnych. Przeprowadzono badania rozwoju nowych metod syntezy materiałów luminoforów w oparciu o modyfikację dotychczas używanych metod. Mój udział polegał na uczestnictwie w planowaniu badań oraz charakteryzacji wytworzonych materiałów. Współpraca rozpoczęła się po uzyskaniu przeze mnie stopnia doktora. Jako współautor, opublikowałam w tym obszarze trzy publikacje, pięć rozdziałów w monografiach, oraz byłam współedytorem 3 książek. Kolejne prace są w przygotowaniu. Poniżej zamieszczam opublikowane w ramach współpracy prace, które nie znajdują się na liście publikacji stanowiących podstawę habilitacji:

J1. T. Ram, N. Verma, J. Kaur, A.K. Misra, V. Dubey*, N. Dubey, **M. Michalska-Domańska***, J. Saji, R.S. Yadav, Estimation of spectroscopic parameters and TL glow curve analysis of Eu³⁺-activated CaY₂O₄ phosphor, RSC Advances, 2023, 13, 26357-26365, DOI <https://doi.org/10.1039/D3RA03200K> IF=3,9, 100 pkt.

J2. N. Verma, **M. Michalska-Domanska***, T. Ram, J. Kaur, A. K. Misra, V. Dubey*, N. Dubey, K. Tiwarid, M. C. Rao, Optimizing the luminescence efficiency of an europium (Eu³⁺) doped SrY₂O₄ phosphor for flexible display and lighting applications, RSC Adv., 2023, 13, 20217, IF = 3,9, 100 pkt, DOI <https://doi.org/10.1039/D3RA03199C>

J3. Ruby Priya, Marta **Michalska-Domanska**, Sanjay Kumar, O.P. Pandey, Morphological and optical studies of Gd₂O₃:Eu nanostructures synthesized via sacrificial template directed co-precipitation route Optics & Laser Technology 143 (2021) 107357, , IF= 3,233, 100pkt

Ch1. O. Prakash, R. Chandrakar, A. Kumar, **M. Michalska-Domańska**, Chapter 1: Overview of high-entropy alloys **Name of Edited Book:** High-Entropy Alloys: Processing, Alloying Element, Microstructure, and Properties, Edited by: A. Kumar, R. Chandrakar, V. Dubey, M. Michalska-Domańska, Publishers: Berlin, Boston: De Gruyter 2023: STEM, ISBN: e-ISBN: 978-3-110-76947-0, print-ISBN: 978-3-110-76944-9, 2023, : Chapter 1, 2023, pp. 1-30, <https://doi.org/10.1515/9783110769470-001>

Ch2. N. Dubey, **M. Michalska-Domańska**, J. Saji, V. Dubey, J. Kaur Saluja, Chapter: 7- Spectroscopic parameters of red emitting Eu³⁺-doped La₂Ba₃B₄O₁₂ phosphor for display and forensic applications, Hybrid Perovskite Composite Materials, Design to Applications, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering 2021, 169-180

Ch3. Rubina Sahin, Anil Kumar, Rituraj Chandrakar, Marta Michalska-Domańska, Vikas Dubey, Chapter 3: The physico-chemical interaction of fluorine with the environment, Book: Water Resource Technology, De Gruyter, pp. 17-38, 2021

Ch4. Dubey; N. Dubey, M. Michalska-Domańska, R. K. Tamrakar, R. Chandrakar, Chapter 7: Synthesis, characterization and photoluminescence studies of rare earth (RE=Sm, Dy, Gd) doped Y₄Al₂O₉ phosphors for display applications, In book: *Phosphors for Display, Forensic and Biomedical Application*, 2021, pp. 153-163

Ch5. Neha Dubey, **Marta Michalska-Domańska**, Jagjeet Kaur Saluja , Chapter: Effect of CaZrO₃ doping by Gd³⁺ on phototherapy lamp phosphor performance, in BOOK: Luminescent Materials in Display and Biomedical Applications, *NOVA science publishers*, Editors: Vikas Dubey, Sudipta Som, Vijay Kumar, ISBN 9780367112127

B1. Book, **Name of Edited Book:** High-EntropyAlloys: Processing, Alloying Element, Microstructure, and Properties, **Edited by:** A. Kumar, R. Chandrakar, V. Dubey, M. Michalska-Domańska, **Publishers** Berlin, Boston: De Gruyter 2023: STEM, **ISBN:** e-ISBN: 978-3-110-76947-0, print-ISBN: 978-3-110-76944-9, 2023, <https://doi.org/10.1515/9783110769470>

B2. Book, **Name of Edited Book:** Water Resource Technology, **Edited by:** Vikas Dubey, Sri R. K. Mishra, Marta Michalska-Domańska, Vaibhav Deshpande (Eds.), 2021 Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, ISBN 978-3-11-072134-8, e-ISBN (PDF) 978-3-11-072135-5, e-ISBN (EPUB) 978-3-11-072155-3

B3. Book, **Name of Edited Book:** *Phosphors for Display, Forensic and Biomedical Application*, **Edited by:** Dubey, V., Michalska-Domańska, M., Dubey, N., Saluja, J.K., Nova Science Publisher, Series: *Physics Research and Technology*, BISAC: SCI0550002021, pp. 1-327, 2021

III. *Międzynarodowa współpraca naukowa z grupą prof. J.M.C. Mol z TU Delft w Niderlandach oraz publikacje powstałe w wyniku współpracy*

Prof. J.M.C. Mol jest znanym naukowcem pracującym w obszarze korozji. U prof. Mol realizowałam staż doktorski (postdoc) w ramach projektu Almagic. W ramach współpracy opracowywałam nowe, ekologiczne powłoki antykorozyjne przeznaczone do stopów metali lekkich (Al, Mg). W trakcie pracy pracowałam także nad anodyzacją metali oraz byłam promotorem 2 prac dyplomowych. Współpraca rozpoczęła się po uzyskaniu przeze mnie stopnia doktora. Jako współautor, opublikowałam w tym obszarze publikację dotyczącą anodyzacji miedzi. Kolejne prace są w przygotowaniu. Poniżej zamieszczam prace, które nie znajdują się na liście publikacji stanowiących podstawę habilitacji:

J.I. W. J. Stępniewski, D. Paliwoda, S.T. Abrahami, **M. Michalska-Domańska**, K. Landskron, J. G. Buijnsters, J. M.C. Mol, H. Terry, W. Z. Misiolek, Nanorods grown by copper anodizing in sodium carbonate, *Journal of Electroanalytical Chemistry* 857 (2020) article number 113628, **IF=3,012**

5.2. Projekty badawcze międzynarodowe:

Uczestniczyłam w następujących międzynarodowych projektach badawczych:

1. Aluminium and Magnesium Alloys Green Innovative Coatings -ALMAGIC, Clean Sky 2 Joint Undertaking (H2020-EU.3.4.5.5), 06.2017 – 06.2019, Technische Universiteit Delft, Netherland, 01.2018 – 06.2019, postdoc
2. European Cooperation in Science and Technology COST, Action MP1302, Nanospectroscopy, 2015, participant
3. Fabrication of well-ordered polystyrene spheres array by spin coating method, Short Time Scientific Mission (STSM) under European Cooperation in Science and Technology (COST), Action MP1302, Nanospectroscopy, University of Tybingen, Germany, 30.11-18.12.2015.

5.3. Naukowe pobyty zagraniczne (po uzyskaniu stopnia doktora):

- 1) Universidad Complutense de Madrid (UCM), Madryt, Hiszpania, 06.2021 – 10.2021, – staż naukowy W ramach projektu stażowego NAWA im. Bekkera (Characterization of metal oxides produced by plasma electrolytic oxidation of FeAl alloy), stypendium naukowe na stanowisku Postdoc
- 2) Delft University of Technology (TU Delft), 3M Faculty, Delft, Holandia, 01.2018 – 06.2019, – staż naukowy w ramach projektu naukowego Almagic (Clean Sky 2 Joint Undertaking (H2020-EU.3.4.5.5)), zatrudnienie na umowę o pracę na stanowisku Postdoc
- 3) University of Tübingen, Tübingen, Niemcy 11.2015 – 12.2015
– krótkoterminowy staż naukowy w ramach European Cooperation in Science and Technology (COST), Action MP1302, Nanospectroscopy (Fabrication of well-ordered polystyrene spheres array by spin coating method).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1. Działalność dydaktyczna po uzyskaniu stopnia doktora

Zajęcia dydaktyczne opracowane i prowadzone przez habilitanta dla studentów studiów I stopnia:

1. Nanotechnologia w Inżynierii Biomedycznej – wykład (16h) i ćwiczenia (12h), rok akademickiego 2020/2021, WAT, Instytut Optoelektroniki, kierunek Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna, studia I stopnia.

Zajęcia dydaktyczne prowadzone przez habilitanta dla studentów studiów Szkoły Doktorskiej:

1. Praktyki zawodowe – Ilość godz.: 10, rok akademicki 2022/2023. WAT, Instytut Optoelektroniki

Zajęcia dydaktyczne prowadzone przez habilitanta dla studentów studiów II stopnia:

1. Corrosion laboratories – Ilość godz.: 16, studia II stopnia, rok akademicki 2018/2019, TU Delft, studia II stopnia.

6.2 Opieka naukowa nad studentami oraz doktoranami:

Prace inżynierskie:

1. Mateusz Czerwiński, „Parametry otrzymywania i badania właściwości optycznych anodowego tlenku tytanu”, 2016/2017, WAT, Wydział Nowych Technologii i Chemii, obrona 17.02.2017
2. Katarzyna Prabucka, „Modyfikacja właściwości elektrycznych anodowego tlenku tytanu”, 2021/2022, WAT, Instytut Optoelektroniki, obrona 28.02.2022
3. Alicja Nowakowska, „Badanie wpływu temperatury wygrzewania na uzyskiwaną strukturę krystaliczną nanostrukturalnego tlenku tytanu”, 2021/2022, WAT, Wydział Inżynierii Mechanicznej, praca niezłożona
4. Natalia Wojtkiewicz, „Badanie odporności korozyjnej biomedycznych stopów tytanu pokrytych nanomorfologiczną warstwą tlenkową.”, 2023/2024, WAT, Wydział Inżynierii Mechanicznej, praca w trakcie realizacji
5. Anna Szklarska, "Właściwości optyczne ciemnego anodowego tlenku cynku", 2023/2024, WAT, Instytut Optoelektroniki, praca w trakcie realizacji

Prace magisterskie:

1. Inż. Mateusz Czerwiński, „Osadzanie nanostruktur srebra w matrycy anodowego tlenku tytanu”, 2018/2019, WAT, Wydział Nowych Technologii i Chemii, obrona 30.09.2019
2. Eng. Sven Nierijnck, 2019/2020, “Investigation of novel Cr6+-free anodising pre-treatments for enhanced corrosion protection of aluminium alloy 2024-T3”, TU Delft, Department of Materials Science and Engineering, obrona 28.02.2020
3. Inż. Katarzyna Prabucka, „Badanie przerwy energetycznej anodowego tlenku tytanu modyfikowanego manganem.”, 2023/2024, WAT, Instytut Optoelektroniki, praca w trakcie realizacji

Opieka nad Doktorantami, Promotor Pomocniczy:

1. Mgr inż. Mateusz Czerwiński, „Modyfikacje morfologii i struktury krystalicznej anodowego tlenku tytanu w celu zastosowania go jako podłoża do powierzchniowo wzmocnionej spektroskopii Ramana, 2020-2024, obecnie IV rok.

6.3 Działalność organizacyjna po uzyskaniu stopnia doktora:

Organizacja konferencji naukowych:

1. Committee Member at Materials Science Congress 2020 at Rome, Italy during March 23-24, 2020 (<http://www.globalepisteme.org/Conference/material-science-conference/members>)
2. Secretary of the Organizing Committee of the International Conference on Advanced Materials and Technologies AMT2016 (<http://amt2016.syskonf.pl/komitet>)

Działalność organizacyjna:

1. Członek Komisji ds. Równości Płci WAT (2022-nadal)
2. Koordynator ds. Równości Płci w Instytucie Optoelektroniki (2022-nadal)

6.4 Działalność popularyzująca naukę:

1. 25.02.2021, Dziennik Gazeta Prawna, sekcja Panorama Gospodarcza, wydanie drukowane oraz on-line pod linkiem:
<http://panoramagospodarcza.pl/antyterrorystyczna-wiazka-swiatla/> artykuł popularnonaukowy
2. 25.06.2020, <http://rzecz.pl/blog/2020/06/25/bezpieczenstwo-wewnetrzne-kontrola-jakosci-zywnosci-oraz-lekow-szerokie-zastosowanie-innowacyjnych-kompozytowych-podlozy-do-wzmocnionej-powierzniowo-spektroskopii-ramana/> artykuł popularnonaukowy
3. 31.07.2023, <https://panorama-gospodarcza.gazetaprawna.pl/9014079,odcisk-palca-czasteczki.html>, artykuł popularnonaukowy.

7 Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Inne wyróżnienia i nagrody **otrzymane po uzyskaniu stopnia doktora:**

1. Nominacja Europejskiego Ośrodka Rozwoju Gospodarki w kategorii „Złoty Ambasador Innowacyjności 2024”
2. M. Michalska-Domańska-udział w programie Shesnnovation 2023 (01.2023-06.2023)
3. Nagroda Europejskiego Ośrodka Rozwoju Gospodarki w kategorii „Ambasador Innowacyjności 2023”
4. Laureat Polskiej Nagrody Inteligentnego Rozwoju w kategorii „Naukowiec Przyszłości 2020”
5. Stypendium Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Dla Młodych Wybitnych Naukowców (2016-2019, umowa nr 1013/E-410/STYP/11/2016)
6. Nagroda Prezesa Rady Ministrów za najlepszą rozprawę doktorską obronioną w 2015 roku
7. Nagroda Rektora WAT za wyróżnioną rozprawę doktorską w dyscyplinie inżynieria materiałowa, 2016

7.2 Członkostwo w organizacjach naukowych:

1. International Society of Electrochemistry – członek od 2013 r.
2. Polskie Stowarzyszenie Wodoru i Ogniw Paliwowych – członek od 2012 r.
3. Polskie Towarzystwo Materiałoznawcze – członek od 2011 r.

.....
(podpis wnioskodawcy)

Rada Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława
Dąbrowskiego
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Dr Marta MICHALSKA-DOMAŃSKA
Instytut Optoelektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Wniosek

z dnia 30.09.2023

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie¹ *inżynieria materiałowa*.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora
habilitowanego: *Cykl publikacji powiązanych tematycznie, zatytułowany: „Synteza, właściwości
i zastosowanie anodowego tlenku tytanu”*

Wniosuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała
uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **jawnym**.

Zostałem poinformowany, że:

*Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w
sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej
z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).*

*Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.
Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c)
Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.
232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu
przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i
obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.*

*Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest
na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html*

.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

Załącznik 1. Dane wnioskodawcy

Załącznik 2. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

Rada Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława
Dąbrowskiego
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Dr Marta MICHALSKA-DOMAŃSKA
Instytut Optoelektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Wniosek

z dnia 30.09.2023

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie¹ *inżynieria materiałowa*.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora
habilitowanego: *Cykl publikacji powiązanych tematycznie, zatytułowany: „Synteza, właściwości
i zastosowanie anodowego tlenku tytanu”*

Wniosuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała
uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **jawnym**.

Zostałem poinformowany, że:

*Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w
sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej
z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).*

*Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.
Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c)
Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.
232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu
przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i
obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.*

*Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest
na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html*

.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

Załącznik 1. Dane wnioskodawcy

Załącznik 2. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

**Wykaz osiągnięć naukowych, stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny
Inżynieria Materiałowa**

Dr Marta MICHALSKA-DOMAŃSKA

Instytut Optoelektroniki

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie

Warszawa, maj 2022 r.

Informacje zawarte w poszczególnych punktach tego dokumentu powinny uwzględniać podział na okres przed uzyskaniem stopnia doktora oraz pomiędzy uzyskaniem stopnia doktora a uzyskaniem stopnia doktora habilitowanego.

I. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH NAUKOWYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY

1.1 Tytuł osiągnięcia

Synteza, właściwości i zastosowanie anodowego tlenku tytanu

1.2 Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy;

Jako osiągnięcie naukowe, wynikające z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.), przedstawiam jednotematyczny cykl 9 publikacji naukowych z bazy Journal Citation Reports (JCR).

Sumaryczny współczynnik oddziaływania *impact factor* (IF) publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, zgodnie z rokiem opublikowania: **34,325**

Sumaryczna liczba punktów MNiSW publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, zgodnie z rokiem opublikowania: **960**

Średni udział habilitanta w publikacjach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego: **71%**

Lista publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

H1 **M. Michalska-Domańska*, P. Nyga, M. Czerwiński**

Ethanol-based electrolyte for nanotubular anodic TiO₂ formation, Corrosion Science 134 (2018) 99 – 102,
IF (2018) = 5,245, punkty MNiSW (2018): 140

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji oraz opracowaniu planu eksperymentu, zaplanowaniu prowadzonych badań, wykonaniu części pomiarów, interpretacji wyników badań, przygotowaniu manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Mój udział procentowy szacuję na 85%.

H2 **M. Michalska-Domańska ***

An Overview of Anodic Oxides Derived Advanced Nanocomposites Substrate for Surface Enhance Raman Spectroscopy, in BOOK: Assorted Dimensional Reconfigurable Materials, ISBN 978-1-78985-514-2, 23pp., **2020**, IntechOpen, IF (2019) 0, punkty MNiSW (2019): 20

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, zebraniu niezbędnych danych, wykonaniu analizy i podsumowania uzyskanych informacji, przygotowaniu manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Mój udział procentowy wyniósł 100%.

H3 **M. Michalska-Domańska ***, M. Łazińska, J. Łukasiewicz, J. M. C. Mol, T. Durejko *Self-Organized Anodic Oxides on Titanium Alloys Prepared from Glycol- and Glycerol-Based Electrolytes*, Materials 13, **2020**, 4743

IF (2020) = 3,623, punkty MNiSW (2020): 140 pkt

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, zaplanowaniu wszystkich prowadzonych badań, przygotowaniu anodowego tlenku tytanu do badań oraz wykonaniu wszystkich pomiarów, interpretacji wyników badań, przygotowaniu manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- H4 **M. Michalska-Domańska***, M. Czerwiński, M. Łazińska, V. Dubey, M. Jakubaszek, Z. Zawadzki, J. Kostecki,
Morphological and optical characterization of colored nano-tubular anodic titanium oxide made in ethanol-based electrolyte, Materials 2021, 14, 6992.
<https://doi.org/10.3390/ma14226992>, **IF (2021) = 3,623**, punkty MNiSW (2020): 140 pkt

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, zaplanowaniu wszystkich prowadzonych badań, przygotowaniu materiałów anodowego tlenku tytanu do badań oraz wykonaniu większości pomiarów, interpretacji wyników badań, przygotowaniu manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Mój udział procentowy szacuję na 70%

- H5 K. Gulati*, R. Del Olmo Martinez, M. Czerwiński, **M. Michalska-Domańska***
Understanding the Influence of Electrolyte Aging in Electrochemical Anodization of Titanium, Advances in Colloid and Interface Science 302, 2022, 102615,
IF (2022) = 15,600, punkty MNiSW (2022): 200 pkt

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, opracowaniu struktury artykułu i podziale pracy między współautorów, integracji poszczególnych fragmentów tekstu w spójny manuskrypt, poprawkach manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Praca powstała w ramach współpracy z prof. K. Gulati (The University of Queensland, Australia). Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Jestem ostatnim autorem, ponieważ inni współautorzy z WAT są podwładnymi w prowadzonym przeze mnie zespole badawczym. Mój udział procentowy wyniósł 65%.

- H6 R. del Olmo Martinez, M. Czerwiński, A. Santos-Coquillat, V. Dubey, S. Dhoble, **M. Michalska-Domańska***
Chapter 4: Nano-Scale Surface Modification: Fabrication, in Surface Modification of Titanium Dental Implants, Springer 2022

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, opracowaniu struktury przeglądu i podziale pracy między współautorów, integracji poszczególnych fragmentów tekstu w spójny manuskrypt, poprawkach manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Praca powstała w ramach współpracy z naukowcami z Hiszpanii (Inst. De Investigación Sanitaria Gregorio Marañón, Madrid, Spain) oraz z Indii (Bhilai Institute of Technology Raipur, India oraz R.T.M.Nagpur University, India). Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Jestem ostatnim autorem, ponieważ inni współautorzy z WAT są podwładnymi w prowadzonym przeze mnie zespole badawczym. Mój udział procentowy wyniósł 60%.

- H7 R. del Olmo Martinez, B. Munirathinam, **M. Michalska-Domańska***
Chapter: Biomedical Application of Anodic Nanomaterials, in "SYNTHESIS OF BIONANOMATERIALS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS" Elsevier, 2022

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, opracowaniu struktury przeglądu i podziale pracy między współautorów, integracji poszczególnych fragmentów tekstu w spójny manuskrypt, poprawkach manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Praca powstała w ramach współpracy dr. B. Munirathinam (Technische Universität Braunschweig, Germany). Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Jestem ostatnim autorem, ponieważ inni współautorzy z WAT są podwładnymi w prowadzonym przeze mnie zespole badawczym. Mój udział procentowy wyniósł 60%.

- H8 **M. Michalska-Domańska***, K. Prabucka, M. Czerwiński,
Modification of Anodic Titanium Oxide Bandgap Energy by Incorporation of Tungsten, Molybdenum, and Manganese In Situ during Anodization, Materials 16, 2023, 2707, IF(2022) = 3,748, punkty MNiSW (2022): 140 pkt.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, zaplanowaniu wszystkich prowadzonych badań, przygotowaniu planu eksperymentu, uczestnictwie w przygotowaniu materiałów anodowego tlenku tytanu do badań oraz uczestnictwie w wykonaniu analiz, uczestnictwie w interpretacji wyników badań, przygotowaniu manuskryptu oraz późniejszej dyskusji z recenzentami. Praca powstała na podstawie pracy dyplomowej p. K. Prabuckiej, której jestem Promotorem. Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

- H9 M. Czerwiński*, R. del Olmo, **M. Michalska-Domańska***,
Application of Anodic Titanium Oxide Modified with Silver Nanoparticles as a Substrate for Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, Materials 16, 2023, 5696, IF(2022) = 3,748, punkty MNiSW (2022): 140 pkt.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na stworzeniu jej koncepcji, udziale w zaplanowaniu prowadzonych badań, przygotowaniu planu eksperymentu, uczestnictwie w przygotowaniu materiału badawczego, uczestnictwie w interpretacji wyników badań, uczestnictwie w korektach szkicu manuskryptu, dyskusji z recenzentami. Praca powstała w ramach pracy doktorskiej mgr inż. M. Czerwińskiego, którego jestem Promotorem Pomocniczym. Jestem autorem korespondencyjnym pracy. Jestem ostatnim autorem, ponieważ inni współautorzy są podwładnymi w prowadzonym przeze mnie zespole badawczym. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

W przypadku prac dwu- lub wieloautorskich zaleca się złożenie oświadczenia przez habilitanta oraz współautorów wskazujące na ich merytoryczny (a NIE procentowy) wkład w powstanie każdej pracy [np. twórca hipotezy badawczej, pomysłodawca badań, wykonanie specyficznych badań (np. przeprowadzenie konkretnych doświadczeń, opracowanie i zebranie ankiet, itp.), wykonanie analizy wyników, przygotowanie manuskryptu artykułu, i inne]. Określenie wkładu danego autora, w tym habilitanta, powinno być na tyle precyzyjne, aby umożliwić dokładną ocenę jego udziału i roli w powstaniu każdej pracy.

II. INFORMACJA O AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ

- Wykaz opublikowanych monografii naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.1).

Wykaz opublikowanych monografii naukowych habilitanta, które ukazały się po uzyskaniu stopnia doktora

Nr	Książka	Rok publikacji
Książki niestanowiące podstawy habilitacji		
1	Book: Phosphors for Display, Forensic and Biomedical Application, Nova Science Publisher, Editors: V. Dubey, M. Michalska-Domańska , N. Dubey, J.K. Saluja, ISBN13 (EAN): 9781536189377	2021
2	Book: Water Resource Technology, Management for Engineering Applications, Publisher: De Gruyter STEM, Editors: Vikas Dubey, Sri R.K. Mishra, Marta Michalska-Domańska and Vaibhav Deshpande, https://doi.org/10.1515/9783110721355	2021
3	Book: Rare Earth Activated Phosphors, Editors: Vikas Dubey Sr., Neha Dubey, Marta Michalska-Domańska , Jayasimhadri Mula, S.J. Dhoble., ISBN-10 0323898564	2022
4	Book: Quantum Dots Emerging Materials for Versatile Applications, Publisher: Elsevier, Editors: N. Thejo Kalyani, S.J. Dhoble, Marta Michalska-Domanska Vengadaesvaran Balakrishnan, H Nagabhushana, Abdul Kariem Arof, ISBN: 978-0-323-85278-4 (print), ISBN: 978-0-323-85279-1 (online)	2023
5	Book: High-Entropy Alloys: Processing, Alloying Element, Microstructure, and Properties, Editors: A. Kumar, R. Chandrakar, V. Dubey, M. Michalska-Domańska , ISBN: e-ISBN: 978-3-110-76947-0, print-ISBN: 978-3-110-76944-9	2023

- Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.

Wykaz rozdziałów habilitanta opublikowanych w monografiach naukowych, które ukazały się po uzyskaniu stopnia doktora

Nr	Rozdział	Rok publikacji
Rozdziały stanowiące podstawę habilitacji		
1	H2 - Chapter: M. Michalska-Domańska* : An Overview of Anodic Oxides Derived Advanced Nanocomposites Substrate for Surface Enhance Raman Spectroscopy, in BOOK: Assorted Dimensional Reconfigurable Materials, ISBN 978-1-78985-514-2, 23pp., 2020, IntechOpen	2020
2	H6 - Chapter: R. del Olmo Martinez, M. Czerwiński, A. Santos-Coquillat, V. Dubey, S. Dhoble, M. Michalska-Domańska* , Chapter 4: <i>Nano-Scale Surface Modification: Fabrication</i> , in Surface Modification of Titanium Dental Implants, Springer 2023. ISBN: 978-3-031-21564-3	2023
3	H7 - Chapter: R. del Olmo Martinez, B. Munirathinam, M. Michalska-Domańska* , Chapter: <i>Biomedical Application of Anodic Nanomaterials</i> , in "SYNTHESIS OF BIONANOMATERIALS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS" Elsevier, 2023, ISBN 978-0-323-91195-5	2023
Rozdziały niestanowiące podstawy habilitacji		

4	N. Dubey, M. Michalska-Domańska , J. Kaur Saluja, Chapter: Effect of CaZrO ₃ doping by Gd ³⁺ on phototherapy lamp phosphor performance in Luminescent Materials in Display and Biomedical Applications, Taylor & Francis Publisher, 2020, ISBN 9780367112127	2020
5	N. Dubey, M. Michalska-Domańska , J. Saji, V. Dubey, J. Kaur Saluja, Chapter: 7-Spectroscopic parameters of red emitting Eu ³⁺ -doped La ₂ Ba ₃ B ₄ O ₁₂ phosphor for display and forensic applications, Hybrid Perovskite Composite Materials, Design to Applications, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering 2021, 169-180, ISBN 978-0-12-819977-0, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819977-0.00007-X	2021
6	R. Sahin, A. Kumar, R. Chandrakar, M. Michalska-Domańska , V. Dubey, Chapter 3: The physico-chemical interaction of fluorine with the environment, Book: Water Resource Technology, De Gruyter, pp. 17-38, 2021, https://doi.org/10.1515/9783110721355	2021
7	V. Dubey; N. Dubey, M. Michalska-Domańska , R. K. Tamrakar, R. Chandrakar, Chapter 7: Synthesis, characterization and photoluminescence studies of rare earth (RE=Sm, Dy, Gd) doped Y ₄ Al ₂ O ₉ phosphors for display applications (Book Chapter), Phosphors for Display, Forensic and Biomedical Application, 2021, 153-163, ISBN13 (EAN): 9781536189377	2021
8	T. Joseph, V. Chopra, M. Michalska-Domanska , S. J. Dhoble, A scrutiny of phosphors for TL radiation dosimetry (Book Chapter), Radiation Dosimetry Phosphors: Synthesis, Mechanisms, Properties and Analysis , Publisher: Elsevier, ISBN 978-032385471-9, 978-032385472-6, DOI: 10.1016/B978-0-323-85471-9.00014-2	2022
9	A. Kadam, Y. Parauha, M. Michalska-Domanska , N.S. Dhoble, S.J. Dhoble, Nanophosphors for radiation dosimetry (Book Chapter), Radiation Dosimetry Phosphors: Synthesis, Mechanisms, Properties and Analysis Publisher: Elsevier, ISBN 978-032385471-9, 978-032385472-6, DOI 10.1016/B978-0-323-85471-9.00011-7	2022
10	Ashish Tiwari, Marta Michalska-Domanska , and S.J. Dhoble, Chapter 10: Nanocomposite-based functional materials: Synthesis, properties, and applications (Book Chapter), Functional Materials from Carbon, Inorganic, and Organic Sources, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, ISBN: 978-0-323-85788-8 (print) ISBN: 978-0-323-90929-7 (online)	2022
11	Vikas Lahariya, Marta Michalska-Domańska , S.J. Dhoble, 9: Synthesis, structural properties and applications of CdS quantum dot, Quantum Dots Emerging Materials for Versatile Applications (Book Chapter), Elsevier, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, ISBN: 978-0-323-85278-4 (print) ISBN: 978-0-323-85279-1 (online)	2023
12	N. Thejo Kalyani, H. Nagabhushana, Marta Michalska-Domanska , B. Vengadaesvaran, Abdul Kariem Arof, Sanjay J. Dhoble, Chapter 21: Sustainability, recycling, and lifetime issues of quantum dots (Book Chapter), Quantum Dots Emerging Materials for Versatile Applications, ISBN: 978-0-323-85278-4 (print) ISBN: 978-0-323-85279-1 (online)	2023
13	M. Michalska-Domańska* , S.J. Dhoble, Chapter 8: FABRICATION AND APPLICATIONS OF QUANTUM DOTS MADE USING ANODIC ALUMINUM OXIDE TEMPLATE in Synthesis, structural properties and applications of CdS quantum dot, Publisher: Elsevier, Quantum Dots Emerging Materials for Versatile Applications, ISBN: 978-0-323-85278-4 (print) ISBN: 978-0-323-85279-1 (online)	2023
14	O. Prakash, R. Chandrakar, A. Kumar, M. Michalska-Domańska, Chapter 1: Overview of high-entropy alloys (Book Chapter), High-Entropy Alloys: Processing, Alloying Element, Microstructure, and Properties, Berlin, Boston: De Gruyter 2023: STEM, ISBN: e-ISBN: 978-3-110-76947-0, print-ISBN: 978-3-110-76944-9	2023

3. Informacja o członkostwie w redakcjach naukowych monografii.

Wykaz członkostwa habilitanta w redakcjach naukowych monografii, które ukazały się po uzyskaniu stopnia doktora

Nr	Monografia naukowa
Po uzyskaniu stopnia doktoratu	
1	V. Dubey, M. Michalska-Domańska , N. Dubey, J.K. Saluja, <i>Phosphors for Display, Forensic and Biomedical Application</i> , Nova Science Publisher, ISBN13 (EAN): 9781536189377 (2021)
2	V. Dubey, S. R.K. Mishra, M. Michalska-Domańska , V. Deshpande, <i>Water Resource Technology, Management for Engineering Applications</i> , Publisher: De Gruyter STEM, https://doi.org/10.1515/9783110721355 (2021)
3	V. Dubey Sr., N. Dubey, M. Michalska-Domańska , J. Mula, S.J. Dhoble Rare Earth Activated Phosphors, (2022)
4	N. T. Kalyani, S.J. Dhoble, M. Michalska-Domanska , V. Balakrishnan, H Nagabhushana, A. K. Arof, <i>Synthesis, structural properties and applications of CdS quantum dot</i> , Publisher: Elsevier, (2023)
5	A. Kumar, R. Chandrakar, V. Dubey, M. MichalskaDomanska , <i>High-Entropy Alloys: Processing, Alloying Element, Microstructure, and Properties</i> , ISBN: e-ISBN: 978-3-110-76947-0, print-ISBN: 978-3-110-76944-9 (2023)

4. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.2).

Wykaz publikacji habilitanta z bazy JCR, które ukazały się po uzyskaniu stopnia doktora

Nr	Publikacja	Impact factor**	Punktacja MNiSW***
Publikacje stanowiące podstawę habilitacji			
1	M. Michalska-Domańska* , P. Nyga, M. Czerwiński, <i>Ethanol-based electrolyte for nanotubular anodic TiO₂ formation</i> , Corrosion Science 134 (2018) 99 – 102.	5,245	140
2	M. Michalska-Domańska* , <i>An Overview of Anodic Oxides Derived Advanced Nanocomposites Substrate for Surface Enhance Raman Spectroscopy</i> , in BOOK: Assorted Dimensional Reconfigurable Materials, ISBN 978-1-78985-514-2 (2020) IntechOpen	0	20
3	M. Michalska-Domańska* , M. Łazińska, J. Łukasiewicz, J. M. C. Mol, T. Durejko, <i>Self-Organized Anodic Oxides on Titanium Alloys Prepared from Glycol- and Glycerol-Based Electrolytes</i> , Materials 13 (2020) 4743.	3,623	140
4	M. Michalska-Domańska* , M. Czerwiński, M. Łazińska, V. Dubey, M. Jakubaszek, Z. Zawadzki, J. Kostecki, <i>Morphological and optical characterization of colored nano-tubular anodic titanium oxide made in ethanol-based electrolyte</i> , Materials 14 (2021) 6992.	3,623	140
5	K. Gulati*, R. Del Olmo Martinez, M. Czerwiński, M. Michalska-Domańska* , <i>Understanding the Influence of Electrolyte Aging in Electrochemical Anodization of Titanium</i> , Advances in Colloid and Interface Science 302 (2022) 102615.	12,984	200
6	Chapter: R. del Olmo Martinez, M. Czerwiński, A. Santos-Coquillat, V. Dubey, S. Dhoble, M. Michalska-Domańska* , Chapter 4: <i>Nano-Scale Surface Modification: Fabrication</i> , in Surface Modification of Titanium Dental Implants, Springer 2022	0	20
7	Chapter: R. del Olmo Martinez, B. Munirathinam, M. Michalska-Domańska* , Chapter: <i>Biomedical Application of Anodic</i>	0	20

	<i>Nanomaterials</i> , in "SYNTHESIS OF BIONANOMATERIALS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS" Elsevier, 2022		
8	M. Michalska-Domańska* , K. Prabuca, M. Czerwiński, <i>Modification of Anodic Titanium Oxide Bandgap Energy by Incorporation of Tungsten, Molybdenum, and Manganese In Situ during Anodization</i> , <i>Materials</i> 16, 2023, 2707	3,400	140
9	M. Czerwiński*, R. del Olmo, M. Michalska-Domańska* , <i>Application of Anodic Titanium Oxide Modified with Silver Nanoparticles as a Substrate for Surface-Enhanced Raman Spectroscopy</i> , <i>Materials</i> 16, 2023, 5696	3,400	140
Publikacje niestanowiące podstawy habilitacji			
1	R. del Olmo, M. Łazińska, M. Czerwiński, T. Durejko, M. Michalska-Domańska* , <i>Morphological and semiconductive properties of the anodic oxide layers made on Fe3Al alloy by anodizing in tartaric-sulfuric acid mixture</i> , <i>Scientific Reports</i> 13, 2023, 15135	4,600	140
2	T. Ram, N. Verma, J. Kaur, A.K. Misra, V. Dubey*, N. Dubey, M. Michalska-Domańska* , J. Saji, R.S. Yadav, <i>Estimation of spectroscopic parameters and TL glow curve analysis of Eu3+-activated CaY2O4 phosphor</i> , <i>RSC Advances</i> , 13, 2023, 26357-26365	3,900	100
3	N. Verma, M. Michalska-Domanska* , T. Ram, J. Kaur, A. K. Misra, V. Dubey*, N. Dubey, K. Tiwarid, M. C. Rao, <i>Optimizing the luminescence efficiency of an europium (Eu3+) doped SrY2O4 phosphor for flexible display and lighting applications</i> , <i>RSC Adv.</i> , 13, 2023, 20217	3,900	100
4	R. Priya, M. Michalska-Domanska , S. Kumar, O.P. Pandey, <i>Morphological and optical studies of Gd2O3:Eu nanostructures synthesized via sacrificial template directed co-precipitation route</i> , <i>Optics & Laser Technology</i> 143 (2021) 107357.	3,233	100
5	A. Nande, S. Raut, M. Michalska-Domańska , S. J. Dhoble, <i>Green Synthesis of Nanomaterials Using Plant Extract: A Review</i> , <i>Current Pharmaceutical Biotechnology</i> 22(13) (2021) 1794 – 1811.	2,097	100
6	A. R. Kadam , G. C. Mishra , M. Michalska-Domanska , S.J. Dhoble, <i>Theoretical analysis of electron vibrational interaction (EVI) parameters in 5d states of Eu2+ activated BaSiF6 downconversion phosphor</i> , <i>Journal of Molecular Structure</i> 1229 (2021) 129505.	2,463	70
7	B. Bartosewicz, M. Liszewska, B. Budner, M. Michalska-Domanska , K. Kopczynski, B. Jankiewicz, <i>Fabrication of Ag doped hollow titania spheres via controlled silver diffusion in Ag-TiO2 core-shell nanostructures</i> , <i>Beilstein Journal of Nanotechnology</i> 11 (2020) 141 – 146.	2,970	100
8	W. J. Stępniewski, D. Paliwoda, S.T. Abrahami, M. Michalska-Domańska , K. Landskron, J. G. Buijnsters, J. M.C. Mol, H. Terryn, W. Z. Misiólek, <i>Nanorods grown by copper anodizing in sodium carbonate</i> , <i>Journal of Electroanalytical Chemistry</i> 857 (2020) 113628.	3,012	70
9	P. Chilimoniuk, M. Michalska-Domańska , T. Czujko, <i>Formation of nanoporous mixed aluminum-iron oxides by self-organized anodizing of FeAl3 intermetallic alloy</i> , <i>Materials</i> 12(14) (2019) 2299.	2,792	140
10	M. Michalska-Domańska* , W. Stępniewski, M. Salerno, <i>Effect of inter-electrode separation in the fabrication of nanoporous alumina by anodization</i> , <i>Journal of Electroanalytical Chemistry</i> 823 (2018) 47 – 53.	3,012	70
11	P. Chilimoniuk, M. Michalska-Domańska , W. J. Stępniewski, T. Czujko, <i>Formation of nanoporous oxide by self-organized</i>	2,572	70

	<i>anodizing of FeAl intermetallic alloy in oxalic acid solution containing glycol</i> , <i>Materials Letters</i> 224 (2018) 9 – 12.		
12	W.J. Stepniowski, M. Moneta, K. Karczewski, M. Michalska-Domańska , T. Czujko, J.M.C. Mol, J.G. Buijnsters, <i>Fabrication of copper nanowires via electrodeposition in anodic aluminum oxide templates formed by combined hard anodizing and electrochemical barrier layer thinning</i> , <i>Journal of Electroanalytical Chemistry</i> 809 (2018) 59 – 66.	3,012	70
13	M. Łazińska, T. Durejko, M. Michalska-Domańska , Z. Bojar, <i>Characterization of titanium oxide formed on biomedical Ti6Al7Nb alloy fabricated by Laser Engineered Net Shaping (LENS)</i> , <i>Proceedings Euro PM2017: International Power Metallurgy Congress and Exhibition 2017 – Additive Manufacturing (2017) Code 140833</i>	0	0
14	B. Bartosewicz, M. Michalska-Domańska , M. Liszewska, D. Zasada, B. J. Jankiewicz, <i>Synthesis and Characterization of Noble Metal–Titania Core–Shell Nanostructures with a Tunable Shell Thickness</i> , <i>Beilstein J. Nanotechnol.</i> 8 (2017) 2083 – 2093.	3,13	35
15	M. Michalska-Domańska* , W. J. Stepniowski, L. R. Jaroszewicz, <i>Characterization of nanopores arrangement of anodic alumina layers synthesized on low-(AA1050) and high- purity aluminum by two-step anodizing in sulfuric acid with addition of ethylene glycol at low temperature</i> , <i>Journal of Porous Materials</i> 24(3) (2017) 779 – 786.	1,624	25
16	M. Michalska-Domańska* , B. Jankiewicz, Z. Bojar, J. Bystrzycki, <i>Effect of Ni-based catalysts grains diameters on their catalytic properties in methanol decomposition</i> , <i>Comptes Rendus Chimie</i> 20(2) (2017) 156 – 163.	1,879	30
17	W. Stepniowski, T. Durejko, M. Michalska-Domańska , M. Łazińska, J. Aniszewska, <i>Characterization of nanoporous anodic aluminum oxide formed on laser pre-treated aluminum</i> , <i>Materials Characterization</i> 122 (2016), 130 – 136.	2,383	45
18	M. Polański, B. Fikus, A. Panas, P. Platek, S. Dyjak, I. Kuncce, P. Kuziora, A. Olejarczyk, K. Witek, M. Michalska-Domańska , L. R. Jaroszewicz, <i>Pressurised-cell test stand with oscillating heating for investigation heat transfer phenomena in metal hydride beds</i> , <i>International Journal of Hydrogen Energy</i> 41 (38) (2016) 16974 – 16983.	3,205	35
19	M. Salerno, W.J. Stepniowski, G. Cieślak, M. Norek, M. Michalska-Domańska , K. Karczewski, P. Chilimoniuk, W. Polkowski, P. Józwiak, Z. Bojar, <i>Advanced Image Analysis of the Surface Pattern Emerging in Ni3Al Intermetallic Alloys on Anodization</i> , <i>Frontiers in Materials</i> 3 (2016) 34.	0	0
20	W. J. Stepniowski, M. Moneta, M. Norek, M. Michalska-Domańska , A. Scarpellini, M. Salerno, <i>The influence of electrolyte composition on the growth of nanoporous anodic alumina</i> , <i>Electrochimica Acta</i> 211 (2016) 453 – 460.	4,803	40
21	W. J. Stepniowski, J. Choi, H. Yoo, K. Oh, M. Michalska-Domańska , P. Chilimoniuk, T. Czujko, R. Łyszkowski, S. Józwiak, Z. Bojar, D. Losic, <i>Anodization of FeAl intermetallic alloys for bandgap tunable nanoporous mixed aluminum-iron oxide</i> , <i>Journal of Electroanalytical Chemistry</i> 771 (2016) 37 – 44.	2,729	35
22	M. Michalska-Domańska* , P. Józwiak, B.J. Jankiewicz, B. Bartosewicz, D. Siemiaszko, W.J. Stepniowski, Z. Bojar, <i>Study of cyclic Ni3Al catalyst pretreatment process for uniform carbon nanotubes formation and improved hydrogen yield in methanol decomposition</i> , <i>Materials Today: Proceedings</i> 3S2, 2016, S171–S177	0	0
23	W. J. Stepniowski, J. Choi, H. Yoo, M. Michalska-Domańska , P. Chilimoniuk, T. Czujko, <i>Quantitative fast Fourier transform based</i>	2,489	35

	arrangement analysis of nanoporous anodic oxide formed by self-organized anodization of FeAl intermetallic alloy, <i>Materials Letters</i> 164 (2016) 176 – 179.		
24	W. Stepniowski, M. Norek, B. Budner, M. Michalska-Domańska , A. Nowak-Stepniowska, A. Mostek, S. Thorat, M. Salerno, M. Giersig, Z. Bojar, In-situ electrochemical doping of nanoporous anodic aluminum oxide with indigo carmine organic dye, <i>Thin Solid Films</i> 598 (2016) 60 – 64.	1,759	30
25	W. J. Stepniowski, W. Florkiewicz, M. Michalska-Domańska , M. Norek, T. Czujko, A comparative study of electrochemical barrier layer thinning for anodic aluminum oxide grown on technical purity aluminum, <i>Journal of Electroanalytical Chemistry</i> 741 (2015) 80 – 86.	2,971	30

Wykaz publikacji habilitanta z bazy JCR, które ukazały się przed uzyskaniem stopnia doktora

Nr	Publikacja	Impact factor**	Punktacja MNiSW***
1	W. J. Stepniowski, M. Michalska-Domańska , M. Norek, E. Twardosz, W. Florkiewicz, W. Polkowski, D. Zasada, Z. Bojar, <i>Anodization of cold deformed technical purity aluminum (AA1050) in oxalic acid</i> , <i>Surface & Coatings Technology</i> 258 (2014) 268-274.	2,119	35
2	W. J. Stepniowski, D. Forbot, M. Norek, M. Michalska-Domańska , A. Król, <i>The impact of electrolyte's viscosity on the formation of nanoporous anodic aluminum oxide</i> , <i>Electrochimica Acta</i> 133 (2014) 57 – 64.	4,086	35
3	W.J. Stepniowski, M. Norek, M. Michalska-Domańska , A. Nowak-Stepniowska, M. Kaliszewski, P. Chilimoniuk, A. Bombalska, Z. Bojar, <i>Fabrication and luminescence of anodic alumina with incorporated vanadyl citrate chelate anions</i> , <i>Journal of Materials Science and Nanotechnology</i> 1 (1) (2014) 1 – 7.	0	0
4	W. J. Stepniowski, M. Norek, M. Michalska-Domańska , D. Forbot, A. Król, <i>Study on the correlation between criterion number derived from Rayleigh-Bénard convective cells and arrangement of nanoporous anodic aluminum oxide</i> , <i>Materials Letters</i> 125 (2014) 124-127.	2,269	35
5	M. Michalska-Domańska* , M. Norek, P. Józwiak, B. Jankiewicz, W.J. Stepniowski, Z. Bojar, <i>Catalytic stability and surface analysis of microcrystalline Ni3Al thin foils in methanol decomposition</i> , <i>Applied Surface Science</i> 293 (2014) 169-176.	2,538	30
6	W.J. Stepniowski, A. Nowak-Stepniowska, M. Michalska-Domańska , M. Norek, A. Bombalska, Z. Bojar, <i>Fabrication and characterization of highly-ordered hexagonally arranged arrays of nanoporous anodic alumina</i> , <i>Polish Journal of Chemical Technology</i> 16 (1) (2014) 62 – 69.	0,474	15
7	W. J. Stepniowski, M. Michalska-Domańska , M. Norek, T. Czujko, <i>Fast Fourier transform based arrangement analysis of poorly organized alumina nanopores formed via self-organized anodization in chromic acid</i> , <i>Materials Letters</i> 117 (2014), 69-73.	2,269	35
8	M. Norek, M. Michalska-Domańska , W. J. Stepniowski, I. Ayala, A. Bombalska, B. Budner, <i>Multi-band emission in a wide wavelength range from tin oxide/Au nanocomposites grown on porous anodic alumina substrate (AAO)</i> , <i>Applied Surface Science</i> 111 (1) (2013) 265 – 271.	2,538	30

9	W. J. Stępniewski, M. Norek, M. Michalska-Domańska , Z. Bojar, <i>Ultra-small nanopores obtained by self-organized anodization of aluminium in oxalic acid at low voltages</i> , Materials Letters 111 (2013) 20 – 23.	2,269	35
10	M. Michalska-Domańska* , M. Norek, W.J. Stępniewski, B. Budner, <i>Fabrication of high quality anodic aluminum oxide (AAO) on low purity aluminum – a comparative study with the AAO produced on high purity aluminum</i> , Electrochimica Acta 105 (2013) 424 – 432.	4,086	35
11	W. J. Stępniewski, M. Norek, M. Michalska-Domańska , A. Nowak-Stępniewska, A. Bombalska, M. Włodarski, Z. Bojar, <i>Incorporation of copper chelate ions into anodic alumina walls</i> , Materials Letters 106 (2013) 242 – 245.	2,269	35
12	W.J. Stępniewski, G. Cieślak, M. Norek, K. Karczewski, M. Michalska-Domańska , D. Zasada, W. Polkowski, P. Jóźwik, Z. Bojar, <i>Nanoporous alumina formed by self-organized two-step anodization of Ni 3Al intermetallic alloy in citric acid</i> , Applied Surface Science 264 (2013) 605 – 610.	2,538	30
13	M. Norek, G. Łuka, M. Godlewski, T. Płociński, M. Michalska-Domańska , W.J. Stępniewski, <i>Plasmonic enhancement of blue emission from ZnO nanorods grown on the anodic aluminum oxide (AAO) template</i> , Applied Physics A: Materials Science and Processing 111 (2013) 265 – 271.	1,694	30
14	W.J. Stępniewski, M. Norek, M. Michalska-Domańska , A. Bombalska, A. Nowak-Stępniewska, M. Kwaśny, Z. Bojar, <i>Fabrication of anodic aluminum oxide with incorporated chromate ions</i> , Applied Surface Science 259 (2012) 324 – 330.	2,112	30
15	M. Bystrzejewski, A. Huczko, M. Domańska , P. Byszewski, M.H. Rummeli, T. Gemming, H. Lange, <i>Systematic Studies on Carbon Nanotubes Synthesis from Aliphatic Alcohols by CVD Floating Catalyst Method</i> , Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures, 17 (3) (2009) 298 – 307.	0,710	0

* Autor korespondencyjny.

** Wartość współczynnika *impact factor* , według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania.

*** Wartość zgodnie z rokiem opublikowania pracy, chyba że podano inaczej.

5. Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3).

Projekty kierowane przez habilitanta (po uzyskaniu stopnia doktora):
1. UGB 879/2023 WAT, Anodowy tlenek tytanu wytworzony na wybranych stopach tytanu o potencjalnym zastosowaniu w biomedycynie i przemyśle kosmicznym – właściwości elektryczne i antykorozyjne, 01.04.2023-31.12.2023, WAT, 75 000 zł
2. OPUS nr. 2019/35/B/ST5/04215, Nowe nanoporowate anodowe materiały fotoaktywne w zakresie UV-Vis (New nanoporous anodic materials photoactive in the UV-Vis range), 02.09.2020-1.09.2024, NCN, 1 966 440,00 zł
3. Nr LIDER/50/0199/L-9/17/NCBR/2018, Materiały kompozytowe składające się z anodowego tlenku tytanu i metali szlachetnych jako podłoża do wzmocnionej powierzchniowo spektroskopii Ramana (Composite materials made of anodic titanium oxide and noble metals as substrates for surface-enhanced Raman spectroscopy), 15.07.2019 – 14.07.2023, NCBIR, 1 200 000,00 zł
4. NAWA Bekker, PPN/BEK/2020/1/00399/U/00001, Charakterystyka tlenków metali powstających w wyniku plazmowego utleniania elektrolitycznego stopu FeAl

<p>(Characterization of metal oxides produced by plasma electrolytic oxidation of FeAl alloy), Postdoctoral NAWA Scholarship under Bekker programme, 1.06.2021 – 1.10.2021, NAWA, 83 000,00 zł</p> <p>5. UGB 827/2021 WAT, Wpływ elektrochemicznych warunków wytwarzania oraz zastosowanego sposobu i temperatury wygrzewania na otrzymaną wielkość przerwy energetycznej matryc anodowego tlenku tytanu, grant wewnętrzny, 01.05.2021 - 31.12.2021, WAT, 68 000,00 zł</p> <p>6. Sonata nr. 2015/17/D/ST8/02432, Wpływ morfologii i struktury plazmowej fotoanody na bazie tlenku tytanu na jej aktywność w reakcji dysocjacji wody pod wpływem energii słonecznej (Influence of the structure and morphology of plasmonic photoanodes based on the titanium oxide on their photoactivity in the solar water splitting), 14.02.2016-13.02.2020, NCN, 362 500,00 zł</p> <p>7. RMN No. 08-709/2017/WAT, Wzmocnienie sygnału powierzchniowo wzmocnionej spektroskopii Ramana na powierzchniach anodowego tlenku tytanu elektrochemicznie pokrytych srebrem (Enhance of surface-enhanced Raman spectroscopy signal on anodic titanium oxide surfaces electrochemically covered by silver), RMN - grant wewnętrzny, 01.05.2017-31.12.2018, WAT, 84 360,44 zł</p>
<p>Projekty kierowane przez habilitanta (przed uzyskaniem stopnia doktora):</p> <p>1. Preludium nr 2012/07/N/ST8/03069, Wpływ stanu struktury i morfologii warstwy wierzchniej cienkich taśm na osnowie fazy międzymetalicznej Ni3Al na mechanizm i efekty reakcji termokatalitycznego rozkładu metanolu i heksanu, Influence of the structure and morphology of the surface layer of Ni3Al intermetallic thin foils on the mechanism and effects of methanol and hexane thermocatalytic decomposition reactions, 24.06.2013 – 23.12.2014, NCN, 74 750,00 zł</p> <p>2. RMN GW-AS No. 971/2011/WAT, Wpływ stanu struktury na aktywność katalityczną stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni3Al, Structure effect on the catalytic activity of Ni3Al intermetallic phase, RMN - grant wewnętrzny, 01.05.2011-31.12.2012, WAT, 2 876,00 zł</p>
<p>Projekty, w których habilitant uczestniczył jako wykonawca (po uzyskaniu stopnia doktora):</p> <p>1. Aluminium and Magnesium Alloys Green Innovative Coatings -ALMAGIC, Clean Sky 2 Joint Undertaking (H2020-EU.3.4.5.5), 06.2017 – 06.2019, Technische Universiteit Delft, Netherland, 01.2018 – 06.2019, postdoc</p> <p>2. Plasmonic nanostructures for photovoltaic and optoelectronics applications, LIDER/23/22/L-3/11/NCBR/2012, NCBiR, 10.2012-06.2016, contractor</p> <p>3. European Cooperation in Science and Technology, Action MP1302, Nanospectroscopy, 2015, participant</p> <p>4. Fabrication of well-ordered polystyrene spheres array by spin coating method, Short Time Scientific Mission (STSM) under European Cooperation in Science and Technology (COST), Action MP1302, Nanospectroscopy, University of Tybingen, Germany, 30.11-18.12.2015.</p> <p>5. Innovative Laser Engineered Net Shaping LENS technology for geometry modification and biofunctionalisation of the cementless cemented hips implants, National Center for Research and Development, Poland, under grant no PBS3/A5/53/2015, contractor</p>
<p>Projekty, w których habilitant uczestniczył jako wykonawca (przed uzyskaniem stopnia doktora):</p> <p>1. Projekt badawczy rozwojowy – inicjatywa technologiczna IT1 – 13798/2008, NCBiR, Technologia wytwarzania i przetwarzania litych nanomateriałów metalicznych, 2008 - 2011, wykonawca.</p>

2.	Projekt badawczo rozwojowy PBR 0049/R/T00/2008/05, MNiSW, Konsorcjum WAT – Maskpol, Aplikacje wojskowe mikro, ultra i nanokrystalicznych stopów Ni ₃ Al – demonstrator technologii w postaci termoaktywnych elementów układ do oczyszczania powietrza z substancji toksycznych, 10.10.2008 – 09.10.2010, wykonawca.
3.	Projekt rozwojowy POIG.01.03.01-14-016/08, Nowe Materiały Fotoniczne i ich Zaawansowane Zastosowanie, 2008–2013, kontynuacja: 2013–2015, wykonawca.
4.	Projekt badawczo rozwojowy PBR Nr 15001006, NCBiR, Badanie różnych zastosowań stopów na osnowie faz międzymetalicznych, 24.08.2009 – 31.07.2012, wykonawca
	Grand promotorski, „Nanostrukturalne Al ₂ O ₃ otrzymanywane metodą elektrochemicznej anodyzacji”, N N507 311640 (2011-2012), WAT, podwykonawca.
7.	Projekt 505/G/1020/0045, SAP 505/00021/1020/46.000000, Politechnika Warszawska, podwykonawca
8.	Projekt badawczy NCN „SONATA 4” nr 2012/07/D/ST8/02718, „Plazmonowe wzmocnienie luminescencji wybranych półprzewodników szerokopasmowych.”, 1.10.2013 – 30.09.2016, główny wykonawca.
9.	The impact assessment of hydrogen content and operating conditions on the utilities properties of the reactor material, Scientific-Research Work (Ammono S.A.), 30.04.2013 – 23.09.2013, wykonawca.
10.	High-size laboratory plasma-catalytic reactor to carry out the processes of decomposition of liquids and gases under non-equilibrium plasma discharge slip econdition, The project of applied research PBST27-079/2013/WAT, 11/01/2013 - 31/10/2016, contractor.
11.	Mechanism of ammonothermal absorbent powders degradation during and development of regeneration methods, Scientific-Research Work (Ammono S.A.), 09.05.2014 – 30.07.2014, contractor.
12.	New Photonics Materials and its Advanced Applications, The development project POIG.01.03.01-14-016 / 08, 2008-2013 and continued: 2013-2015, employee.
13.	RAMBO - Rapid Air-particle Monitoring against BiOlogical threats, Project of

6. Informacja o wystąpieniach na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych.

Wystąpieniach na zaproszenie na międzynarodowych konferencjach, w których habilitant uczestniczył po uzyskaniu stopnia doktora:	
1	Invited talk at 6 th International Iron&Steel Symposium, “Morphology and application of anodic oxide growth on FeAl”, 11-13.05.2023, Gelecegin Burada Baslar, Turkey (on-line)
2	Invited Talk at the International Conference on Advances in Materials: Engineering & Technology (ICAMET), “Anodic Oxide made on FeAl Phase and its properties”, 16-20 December 2022 in the Rashtrasant Tukadoji Maharaj Nagpur University, Nagpur, India (on-line)
3	Invited Talk at the Innovation and Challenges in Nanoscience and Nanotechnology: Past, Present and Future, 15-16 December 2022 in the Samjay Rungta Group of Institutions, Raipur, India (on-line)
4	Keynote Speaker at International Conference "INSPIRE -2022", “Anodization of biomedical titanium alloys”, Kanpur, India, 5-6 October 2022. (on-line)

5	Keynote Speaker at 3rd International Conference on Recent Trends in Renewable Energy and Sustainable Development, talk “Anodic Titanium Oxide – Fabrication, Modification and Application”, @BIT Raipur, India, 29-30 April 2022. (on-line)
6	Invited Speaker at National Conference on Luminescence and its Applications with talk: “Fabrication, characterization, and applications of anodic oxide made on FeAl alloy”, December 9-11, 2021
7	KEYNOTE LECTURE at XIX International Symposium on Luminescence Spectrometry and 21st International Symposium on Bioluminescence and Chemiluminescence, 22-25 June 2020, Gijon, Spain (spotkanie odroczone w związku z COVID-19, odbyło się on-line)
8	Materials Science Congress 2020 at Rome, Italy during March 23-24, 2020, Organizing Committee Member: Invited Speaker, :”Influence of anodization conditions on anodic oxide morphology and properties”, Marta Michalska-Domańska
9	An International Conference on Recent Trends in Renewable Energy and Sustainable Development at Bhilai Institute of Technology, Raipur, C.G. “Anodic oxide morphology and properties influenced by anodization condition”, January 30-31, 2020, key-note speaker, Marta Michalska-Domańska
10	National Workshop on Novel Materials & Medical Imaging Phosphor, organized by Department of Physics, Government Vishwanath Yadav Tamaskar Pot Graduate Auto College, :” Anodic oxide morphology and properties affected by anodization conditions” Durg, 29-30 January 2020, Marta Michalska-Domańska
11	Invited talk, M. Michalska-Domańska , W. Stępniewski, M. Salerno, A. Mol, Influence of anodization conditions on aluminium oxide morphology and properties, AAC conference, Hilton Minneapolis in Minnesota, USA, October 2-4 2018

Wystąpieniach na międzynarodowych konferencjach, w których habilitant uczestniczył po uzyskaniu stopnia doktora:	
1	M. Michalska-Domańska , Katarzyna Prabucka, Mateusz Czerwiński, Madalena Łazińska, Tomasz Durejko, Anodic titanium oxide modified by in-situ incorporation of vanadium – corrosion properties, FuNam4, Kraków, Polska, 26-29.09.2023
2	Mateusz Czerwiński, Katarzyna Prabucka, M. Michalska-Domańska , Bandgap tailoring of anodic titanium oxide by in-situ doping with manganese, molybdenum and tungsten, FuNam4, Kraków, Polska, 26-29.09.2023
3	M. Michalska-Domańska , M. Czerwiński, K. Prabucka, In-situ modification of anodic titanium oxide and its application in energy field, Renewablemeet2023, 13-15.03.2023, Rzym, Włochy
4	M. Michalska-Domańska , “Wytwarzanie i zastosowania anodowego tlenku tytanu”, Tytan2020, Kielce, Polska, 18.09.22-21.09.22
5	M.Czerwiński, R. del Olmo Martinez, Katarzyna Prabucka, Alicja Nowakowska, M. Michalska-Domańska , “Modyfikacja właściwości anodowego ditlenku tytanu poprzez elektroosadzanie srebra oraz osadzanie nanocząstek srebra z roztworu koloidu”, Tytan 2020, Kielce, Polska, 18.09.22-21.09.22
6	Alicja Nowakowska, M.Czerwiński, R. del Olmo Martinez, M. Michalska-Domańska , “Wpływ temperatury i trybu wygrzewania na strukturę krystaliczną anodowego tlenku tytanu”, Tytan2020, Kielce, Polska, 18.09.22-21.09.22
7	Katarzyna Prabucka, M.Czerwiński, R. del Olmo Martinez, M. Michalska-Domańska , „Wbudowywanie molibdenu w anodowy tlenek tytanu in-situ w trakcie procesu anodyzacji”, Tytan2020, Kielce, Polska, 18.09.22-21.09.22
8	M.Czerwiński, R. del Olmo Martinez, M. Michalska-Domańska , „Application of the Ti/TiO ₂ (NT)/NG/Ag(NP) composite as a potential substrate for Surface-enhanced Raman spectroscopy”, „11th International Colloids Conference”, Lizbona, Portugalia, 12.06.22-15.06.22

9	M. Michalska-Domanska , M. Czerwiński, K. Prabucka, "Photoactivity of anodic titanium oxide in-situ doped by selected elements", „11th International Colloids Conference”, Lizbona, Portugalia, 12.06.22-15.06.22
10	Ruben del Olmo, M. Czerwiński, M. Michalska-Domańska , "Anodization of Fe ₃₆ Al alloy: A novel approach for tunable bandgap of anodic oxide for photocatalytic applications", „11th International Colloids Conference”, Lizbona, Portugalia, 12.06.22-15.06.22
11	M. Michalska-Domańska , Nano-morfologiczne anodowe tlenki metali i ich potencjał aplikacyjny, 7. Forum Inteligentnego Rozwoju, Kongres Projektów Przyszłości, Uniejów, Polska, 6-7.06.2022
12	M. Czerwiński, R. del Olmo Martinez, M. Michalska-Domańska , „Deposition of silver nanoclusters on titanium oxide substrate”, International Workshop on Functional Nanostructured Materials - FuNaM-3”, Kraków 06.10.21-08.10.21
13	M. Czerwiński, R. del Olmo Martinez, M. Michalska-Domańska , „Anodic titanium oxide obtained in a monohydric alcohol-based electrolyte”, „International Workshop on Functional Nanostructured Materials - FuNaM-3”, Kraków 06.10.21-08.10.21
14	M. Czerwiński, M. Michalska-Domańska (supervisor) , Parametry otrzymywania i badania właściwości optycznych anodowego tlenku tytanu, 05.10.2018, Warszawa, Konferencja IMP, Wręczenie Nagród PTG - (1st award for the best eng. Thesis in the field of electrochemistry)
15	M. Michalska-Domańska , P. Nyga, M. Czerwiński, J.M.C. Mol, Nanotubular Anodic TiO ₂ Formed in Ethanol-based Electrolyte, 69th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry 2-7 September 2018, Bologna, Italy
16	Stepniowski W. J., Moneta M., Norek M., Chilimoniuk P., Karczewski K., Michalska-Domanska M. , Nowak-Stepniowska A., Czujko T., Buijnsters J.G., Mol J. M.C., Electrochemical barrier layer thinning of anodic alumina templates for nanofabrication of nanowires, Anodize it! 2017 Conference, Toulouse, France , July 11-13th 2017
17	M. Michalska-Domańska* , P. Nyga, T. Durejko, M. Łazińska, J. Aniszewska, Effect of the substrate composition on the anodic titanium oxide formation, Anodize it! 2017 Conference, Toulouse, France , July 11-13th 2017
18	M. Michalska-Domańska* , M. Czerwiński, P. Nyga, Effect of water content in electrolyte on anodic titanium oxide morphology and optical properties, 21 st Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, Szeged, Hungary, 23-26.04.2017
19	M. Michalska-Domańska* , M. Liszewska, B. Budner, A. Horrer, C. Dreser, M. Fleischer, M. Dominik, M. Śmietana, P. Nyga, Gold nanoflowers as SERS substrates, Optical NanoSpectroscopy IV, Lisbon, Portugal, 28-31st March 2017
20	W.J. Stepniowski, M. Norek, M. Michalska-Domańska , M. Moneta, A. Mostek, T. Czujko, Electrodeposition of metals into nanoporous anodic aluminum oxide, XXI Physical Metallurgy and Materials Science Conference Advanced Materials and Technologies AMT 2016, 5-8 czerwca 2016, Rawa Mazowiecka, Polska
21	M. Czerwiński * , P. Nyga, M. Michalska-Domańska , Parametry otrzymywania i badania właściwości optycznych anodowego tlenku tytanu, XIV Warszawskie Seminarium Doktorantów Chemików - ChemSession'17, 9 Czerwiec 2016, Warszawa, Polska
22	B. Budner, P. Nyga, M. Norek, M. Michalska-Domańska , The atomic force microscopy used to examination of the silver Island films fabricated by physical vapour deposition, Training School on nanomaterials Characterization, University of Białystok, Poland, 14-16 March 2016
23	B. Bartosewicz, M. Michalska-Domańska , B. Jankiewicz, Application of tunable resistive pulse sensing (TRPS) method to core-shell nanostructures sizing, Training School on nanomaterials Characterization, University of Białystok, Poland, 14-16 March 2016
24	M. Michalska-Domańska* , B. Budner, P. Nyga, Influence of height of silver nanotriangles on their optical properties, XVIII th International Krutyn Summer School 2015, Nanoplasmonic, Institute of Physical Chemistry, Polish Academy of Sciences, Krutyń, Poland, 27.10-03.11.2015,

Wystąpieniach na międzynarodowych konferencjach, w których habilitant uczestniczył przed uzyskaniem stopnia doktora:	
1	K. Zinów, M. Michalska-Domańska , P. Józwik, Z. Bojar, Dobór parametrów elektropolerowania stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al, Konferencja Młodych Naukowców Wiedza i Innowacje, Warszawa, 2-4 Grudzień 2014
2	M. Michalska-Domańska , P. Józwik, B.J. Jankiewicz, B. Bartosewicz, D. Siemiaszko, W.J. Stępniewski, Z. Bojar, Study of cyclic Ni ₃ Al catalyst pretreatment process for obtain uniform carbon nanotubes and improved hydrogen yield in methanol decomposition, International Conference on Diamond and Carbon Materials, Melia Castilla, Madrid, Spain, 8-11 September, 2014
3	M. Michalska-Domańska* , M. Gajda-Rączka, B. Bartosewicz, P. Dobrowolska, B. J. Jankiewicz, Application of the Raman Spectroscopy to Determination of TiO ₂ Sub-microparticles Crystal Phase Composition, International Symposium on Nanostructured Functional Materials, Warsaw – Pułtusk, 15 – 18.06.2014
4	W. J. Stępniewski, M. Norek, M. Michalska-Domańska , A. Nowak-Stępniewska, S. Kret, S. Thorat, M. Salerno, A. Mostek, P. Chilimoniuk, W. Florkiewicz, B. Jankiewicz, A. Bombalska, M. Kaliszewski, M. Gajda-Rączka, B. Bartosewicz, Z. Bojar, Incorporation of Complex Ions, Organic Molecules and Nanoparticles into Anodic Alumina Walls, 2nd International Symposium on Anodizing Science and Technology, Sapporo, Hokkaido, JAPAN, June 4-6, 2014
5	W. Polkowski, C. Senderowski, P. Józwik, M. Michalska-Domańska, Analiza składu chemicznego metodą LA-ICP-OES systemu intermetalicznych powłok ochronnych Fe-Al natryskanych detonacyjnie, XVIII Konferencja „Zastosowanie metod AAS, ICP-OES i ICP-MS w analizie środowiskowej”, Politechnika Krakowska, Kraków, 10 grudnia 2013
6	M. Michalska-Domańska , M. Norek, P. Józwik, Z. Bojar, Wpływ wielkości ziarna na właściwości katalityczne intermetalicznego katalizatora Ni ₃ Al w reakcji dekompozycji heksanu, Konferencja Młodych Naukowców Wiedza i Innowacje, Warszawa, 3 Grudzień 2013 (oral)
7	P. Dobrowolska, M. Gajda-Rączka, B. Bartosewicz, M. Michalska – Domańska , B. J. Jankiewicz, Influence of annealing temperature and duration on titanium dioxide nanoparticles phase composition, Poster presentation at VI Polish Conference on Nanotechnology, Szczecin, POLAND, July 9-12, 2013
8	W.J. Stępniewski, A. Nowak-Stępniewska, M. Michalska-Domańska , M. Norek, A. Bombalska, Z. Bojar, Fabrication and characterization of highly-ordered hexagonally arranged arrays of nanoporous anodic alumina, VI Polish Conference on Nanotechnology, Szczecin, Poland, 9-12 lipca 2013
9	Wojciech J. Stępniewski, Agata Nowak-Stępniewska, Marta Michalska-Domańska , Małgorzata Norek, Zbigniew Bojar, „Wbudowywanie anionów metali d-elektronowych w anodowym tlenku aluminium” (INCORPORATION OF D-ELECTRONIC ANIONS IN ANODIC ALUMINUM OXIDE), III Krajowa Konferencja Nano i Mikromechaniki pod patronatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego Prof. Dr hab. Barbary Kudryckiej, IPPT PAN, 4.07-6.07.2012, Proceedings, p. 165 - 165
10	J. Bystrzycki, T. Durejko, M. Polański, M. Kwiatkowska, I. Kuncce, S. Lipiński, M. Łazińska, M. Michalska-Domańska , D. Zasada, K. Karczewski, Z. Zarański, R. Łyszkowski, D. Siemiaszko, C. Senderowski, Z. Komorek, S. Józwiak, Z. Bojar, Rapid Manufacturing of Iron Aluminate Components by Laser Engineered net Shaping – a Feasibility Study, FeAl`2011 Discussion Meeting on The Development on Innovative Iron Aluminium Alloys, Lanzarote (Canary Islands) 5-7 October (2011)
11	P. Józwik, R. Grabowski, M. Michalska-Domańska , Z. Bojar, Catalytic properties of thin Ni ₃ Al foils In methanol decomposition, 3rd Polish Forum on Fuel Cells and Hydrogen Technologies, Warsaw, Poland, November 29-30 (2011), Bulletin of the polish Hydrogen and Fuel Cell Association, p. 121
12	M. Michalska-Domańska , P. Józwik, Z. Bojar, Analysis of catalytic properties of Ni ₃ Al thin foils for the methanol and hexane decomposition, Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology 59 , 2011, pp. 1616-1619

13	M. Michalska-Domańska , P. Jóźwik, Analiza wpływu pary wodnej w reakcji rozkładu metanolu na powierzchni taśm Ni ₃ Al, XXXVIII Szkoła Inżynierii Materiałowej, Krynica 28 IX – 1 X 2010, Prace Szkoły Inżynierii Materiałowej, Monografia pod redakcją prof. Jerzego Pacyny, s. 118 – 121
14	M. Michalska-Domańska , P. Jóźwik, Badania właściwości katalitycznych taśm Ni ₃ Al w reakcji rozkładu metanolu, XXXVII Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków – Krynica 29 IX – 2 X 2009, Prace Szkoły Inżynierii Materiałowej, Monografia pod redakcją prof. Jerzego Pacyny, s. 176 – 179
15	A. Huczko, H. Lange, M. Domańska , M. Bystrzejewski, CCVD Growth of 1-D Crystalline Carbon Nanostructures, Fifth International Conference on Solid State Crystals and Eight Polish Conference on Crystal Growth, Zakopane-Koscielisko Poland 20-24th May 2007, Book of Abstracts, p. 55
16	H. Lange, M. Bystrzejewski, M. Domańska , A. Huczko, Synthesis of single-walled carbon nanotubes from aliphatic alcohols by CCVD method, European Materials Research Society, E-MRS 2007, FALL MEETING, Warsaw (Poland) 17th-21st September 2007, Symposium B, Book of abstract, B5, p.72

7. Informacja o udziale w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji.

Komitety organizacyjne i naukowe konferencji, w których habilitant uczestniczył po uzyskaniu stopnia doktora:	
1	Committee Member at Materials Science Congress 2020 at Rome, Italy during March 23-24, 2020 (http://www.globalepisteme.org/Conference/material-science-conference/members)
2	Secretary of the Organizing Committee of the International Conference on Advanced Materials and Technologies AMT2016 (http://amt2016.syskonf.pl/komitet)

8. Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach.

1	International Society of Electrochemistry – członek od 2013 r.
2	Polskie Stowarzyszenie Wodoru i Ogniw Paliwowych – członek of 2012 r.
3	Polskie Towarzystwo Materiałoznawcze – członek od 2011 r.

9. Informacja o odbytych stażach w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru.

Staż, które habilitant odbył po uzyskaniu stopnia doktora:	
06.2021 – 10.2021	Universidad Complutense de Madrid (UCM) , Madryt, Hiszpania – staż naukowy W ramach projektu stażowego NAWA im. Bekkera (Characterization of metal oxides produced by plasma electrolytic oxidation of FeAl alloy), stypendium naukowe na stanowisku Postdoc
01.2018 – 06.2019	Delft University of Technology (TU Delft) , 3M Faculty, Delft, Holandia – postdoc

	– staż naukowy w ramach projektu naukowego Almagic (Clean Sky 2 Joint Undertaking (H2020-EU.3.4.5.5)), zatrudnienie na umowę o pracę na stanowisku Postdoc
11.2015 – 12.2015	University of Tübingen, Tübingen, Niemcy – krótkoterminowy staż naukowy w ramach European Cooperation in Science and Technology (COST), Action MP1302, Nanospectroscopy (Fabrication of well-ordered polystyrene spheres array by spin coating method).

10. Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.).

Po uzyskaniu stopnia doktora	
1	Redaktor Gościnny (Guest Editor): Marta Michalska-Domańska , Wydanie Specjalne Materials MDPI (2023) (Special Issue): "Anodized Materials and Their Applications", https://www.mdpi.com/journal/materials/special_issues/anodized_materials

11. Informacja o recenzowanych pracach naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych.

Po uzyskaniu stopnia doktora habilitant był recenzentem 72 publikacji w czasopismach międzynarodowych (sumaryczny IF = 246,163). Prace do recenzji zostały przesłane przez redaktorów wiodących czasopism, publikujących w tematyce inżynierii materiałowej, elektrochemii oraz katalizy.

Nr	data recenzji	Czasopismo	IF z roku recenzji	Punkty Ministerialne z roku recenzji
1	27.04.2023	Luminescence	2,613	100
2	16.02.2023	Materials	3,748	140
3	18.01.2023	Applied Surface Science	7,392	140
4	13.12.2022	Applied Surface Science	7,392	140
5	28.11.2022	Luminescence: The Journal of Biological and Chemical Luminescence	2,613	100
6	27.11.2022	Inorganic Chemistry Communications	3,428	40
7	28.09.2022	Surfaces and Interfaces	6,137	70
8	22.05.2022	Applied Surface Science	6,707	140
9	02.02.2022	Materials Today Advances	7,579	20
10	02.02.2022	Nanomaterials	5,076	100
11	14.08.2021	Surface and Coatings Technology	4,158	100
12	28.07.2021	Journal of Raman Spectroscopy	3,133	70

13	22.06.2021	Advanced Materials Letters	0	0
14	24.03.2021	Surface and Coatings Technology	4,158	100
15	21.01.2021	Surface and Coatings Technology	4,158	100
16	2020-09	Chemical Papers	2,097	40
17	17.08.2020	SN Applied Sciences	0	20
18	23.07.2020	Surface and Coatings Technology	4,164	100
19	02.07.2020	SN Applied Sciences	0	20
20	25.06.2020	Nano-Structures & Nano-Objects	0	40
21	19.06.2020	Journal of Alloys and Compounds	5,316	100
22	18.06.2020	Nanotechnology	3,874	100
23	03.04.2020	ECS Journal of Solid State Science and Technology	2,07	70
24	16.03.2020	ECS Journal of Solid State Science and Technology	2,07	70
25	11.03.2020	Journal of Alloys and Compounds	5,316	100
26	14.02.2020	Materials Chemistry and Physics	4,094	70
27	30.01.2020	Nanotechnology	3,874	100
28	23.10.2019	Applied Surface Science	6,182	140
29	22.10.2019	Journal of Alloys and Compounds	4,650	100
30	13.09.2019	Materials Research Express	1,949	70
31	13.09.2019	Materials Research Express	1,949	70
32	27.08.2019	Applied Surface Science	6,182	140
33	09.08.2019	Materials Research Express	1,949	70
34	05.08.2019	Journal of Materials Science: Materials in Electronics	2,220	70
35	01.08.2019	Journal of Materials Science: Materials in Electronics	2,220	70
36	17.07.2019	Neural Networks	5,535	200
37	29.06.2019	Inorganics	2,243	20
38	10.05.2019	Surface Topography: Metrology and Properties	2,038	70
39	16.04.2019	Neural Networks	5,535	200
40	27.03.2019	Metals	2,327	70
41	18.03.2019	Inorganic Chemistry	4,825	140
42	09.01.2019	Thin Solid Films	2,030	70
43	04.12.2018	Nanomaterials	3,504	35
44	03.10.2018	Journal of Alloys and Compounds	4,175	35
45	23.09.2018	Thin Solid Films	1,888	30
46	19.09.2018	Materials Research Express	1,475	20
47	23.08.2018	Materials Research Express	1,475	20
48	26.07.2018	Materials	2,467	35
49	24.07.2018	Catalysts	3,444	30
50	10.07.2018	Catalysts	3,444	30
51	29.06.2018	Chemistry - A European Journal	5,160	40
52	21.05.2018	Nanomaterials	3,504	35
53	09.04.2018	Corrosion Science	6,335	45
54	05.03.2018	Surface and Coatings Technology	3,48	35
55	05.03.2018	Materials	2,972	35
56	22.02.2018	Applied Sciences	2,217	0

57	17.02.2018	Applied Sciences	2,217	0
58	09.02.2018	Nanotechnology	3,399	35
59	20.12.2017	Applied Surface Science	4,439	35
60	12.12.2017	Applied Surface Science	4,439	35
61	08.12.2017	Nanotechnology	3,404	35
62	05.12.2017	Materials	2,654	35
63	28.11.2017	Separation Science and Technology	1,200	25
64	25.08.2017	Surfaces and Interfaces	1,350	15
65	22.03.2017	Journal of Materials Science: Materials in Electronics	2,324	25
66	25.12.2016	Materials Letters	2,572	35
67	05.09.2016	Applied Surface Science	3,387	35
68	14.06.2016	Electrochimica Acta	4,798	40
69	10.04.2016	Materials Letters	2,572	35
70	06.12.2015	Materials Letters	2,437	35
71	10.11.2015	Materials Letters	2,437	35
72	24.09.2015	Langmuir	3,993	35
Suma			246,163	4605

12. Informacja o uczestnictwie w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny.

1	Recenzent NCN, Wniosek OPUS nr 2020/39/B/ST8/02494, Oxy-spalanie wodoru dla zeroemisyjnej i wysokosprawnej produkcji energii elektrycznej, Data wykonania recenzji: 20.04.2021
2	Recenzent programu UNA4CAREER (a postdoctoral recruitment programme led from the Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain and co-financed by Marie Skłodowska Curie COFUND actions) 1 i 2 etap oceny wniosku nr ATL4000069437 Eco-Friendly Multifunctional Coatings Data wykonania: 14.03.2022 oraz 11.05.2022
3	Recenzent programu UNA4CAREER (a postdoctoral recruitment programme led from the Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain and co-financed by Marie Skłodowska Curie COFUND actions.) 1 etap oceny wniosku nr ATL4000069462 Recycling of waste paper streams into nanocellulose based printable flexible Supercapacitors. Data wykonania: 14.03.2022
4	Członek Komisji Naukowej Oceniającej Plakaty z sekcji BioNanomateriałów, 4th International Workshop on Functional Nanostructured Materials. Data wykonania: 28.09.2023

13. Inne wyróżnienia i nagrody

Otrzymane nagrody i wyróżnienia po uzyskaniu stopnia doktora:	
1	Nominacja Europejskiego Ośrodka Rozwoju Gospodarki w kategorii „Złoty Ambasador Innowacyjności 2024”

2	Nagroda Europejskiego Ośrodka Rozwoju Gospodarki w kategorii „ Ambasador Innowacyjności 2023 ”
3	Laureat Polskiej Nagrody Inteligentnego Rozwoju w kategorii „ Naukowiec Przyszłości 2020 ”
4	Stypendium Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Dla Młodych Wybitnych Naukowców (2016-2019, umowa nr 1013/E-410/STYP/11/2016)
5	Nagroda Prezesa Rady Ministrów za najlepszą rozprawę doktorską obronioną w 2015 roku
6	Nagroda Rektora WAT za wyróżnioną rozprawę doktorską w dyscyplinie inżynieria materiałowa, 2016

III. INFORMACJA O WSPÓŁPRACY Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM

1. Informacja o współpracy z sektorem gospodarczym.

W ramach projektu **ALMAGIC** (Aluminium and Magnesium Alloys Green Innovative Coatings, Clean Sky 2 Joint Undertaking (H2020-EU.3.4.5.5), 06.2017 – 06.2019, Technische Universiteit Delft, Netherland, 01.2018 – 06.2019), w którym byłam zatrudniona na stanowisku postdoc, współpracowałam z firmą AKZONOBEL Netherland (Holandia) oraz Fraunhofer Institute (Niemcy), w celu opracowania lepszych, ekologicznych powłok antykorozyjnych stopów metali lekkich (Al, Mg), pozwalających na niewykorzystywanie rakotwórczego chromu (VI).

2. Uzyskane prawa własności przemysłowej, w tym uzyskane patenty, krajowe lub międzynarodowe.

1	Patent: An Eu3+ Doped Phosphor Chemical Compound for An Electroluminescence Related Applications and A Method for Synthesis of The Compound, Kshatri, D. S.; Mishra, Shubhra; Mishra, Anup Kumar; Dubey, Vikas; Dubey, Neha; Domańska, Marta Michalska; Sharma, Manoj; Singh, Anita; Sharma, Sheetal; Dhundhel, Rakesh Singh and Arora, Seema, Patent number: 2021105735, data przyznania 3.11.2021
2	Patent: The way of enhance both, the hydrogen absorption and desorption rate. Jaroszewicz L., Panas A.J., Polański M., Płatek P., Dyjak S., Kunce I., Michalska-Domańska M., Fikus B., Witek K., Kuziora P., Olejarczyk A., P.409924, wniosek 27.10.2014, Data przyznania Patentu: Pat.231933, 03-12-2018

IV. INFORMACJE NAUKOMETRYCZNE

Zbiornicze podsumowanie dorobku publikacyjnego

Numery identyfikacyjne habilitanta w naukowych bazach publikacji:
ORCID ID: 0000-0002-8684-3230
Scopus: 55166591400

Wskaźnik dokonań naukowych (dane bazy Scopus z dnia 28 wrzesień 2023 r.):

- Liczba publikacji habilitanta: 59
- Liczba publikacji habilitanta z bazy JCR: **59** (po doktoracie **44**)
- Przyznane patenty międzynarodowy po doktoracie: **2**

1. Informacja o punktacji Impact Factor (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny).

Sumaryczny *impact factor* publikacji habilitanta: **130,504** (po doktoracie **98,453**)

2. Informacja o liczbie cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań.

Liczba cytowań habilitanta wg bazy Scopus: **877** (bez autocytowań **558**)

3. Informacja o posiadanym indeksie Hirscha.

Indeks Hirscha publikacji habilitanta wg bazy Scopus: **18**

4. Informacja o liczbie punktów MNiSW.

Liczba punktów MNiSW publikacji habilitanta: **2780** (po doktoracie **2370**)

Informacje zawarte w pkt. IV powinny wskazywać również na bazę danych, na podstawie której zostały podane.

Przy wyborze tej bazy należy zwracać uwagę na specyfikę dziedziny i dyscypliny naukowej, w której kandydat ubiega się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Rada Doskonałości Naukowej informuje, że podawanie danych naukometrycznych – w opinii Rady Doskonałości Naukowej – jest wskazane i zalecane, wynika to także ze stosowanej powszechnie praktyki przez samych kandydatów ubiegających się o awans naukowy. Należy jednak podkreślić, że podane we wnioskach o wszczęcie postępowania awansowego dane naukometryczne nie mogą stanowić kryterium oceny dorobku naukowego Kandydata dla podmiotów doktoryzujących, habilitujących oraz samej Rady Doskonałości Naukowej, organów prowadzących postępowania w sprawie nadania stopnia lub tytułu. Zadaniem tych

organów jest przede wszystkim ocena ekspercka dorobku naukowego Kandydata ubiegającego się o awans naukowy, zaś decyzja o nadaniu stopnia lub tytułu nie powinna być uzależniona od podania tych danych.

.....

(podpis wnioskodawcy)

Rada Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława
Dąbrowskiego
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Dr Marta MICHALSKA-DOMAŃSKA
Instytut Optoelektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Wniosek

z dnia 30.09.2023

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie¹ *inżynieria materiałowa*.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora
habilitowanego: *Cykl publikacji powiązanych tematycznie, zatytułowany: „Synteza, właściwości
i zastosowanie anodowego tlenku tytanu”*

Wniosuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała
uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **jawnym**.

Zostałem poinformowany, że:

*Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w
sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej
z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).*

*Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.
Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c)
Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.
232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu
przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i
obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.*

*Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest
na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html*

.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

Załącznik 1. Dane wnioskodawcy

Załącznik 2. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

Rada Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława
Dąbrowskiego
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Dr Marta MICHALSKA-DOMAŃSKA
Instytut Optoelektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego
Ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Wniosek

z dnia 30.09.2023

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie¹ *inżynieria materiałowa*.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora
habilitowanego: *Cykl publikacji powiązanych tematycznie, zatytułowany: „Synteza, właściwości
i zastosowanie anodowego tlenku tytanu”*

Wniosuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała
uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **jawnym**.

Zostałem poinformowany, że:

*Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w
sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej
z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).*

*Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.
Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c)
Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.
232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu
przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i
obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.*

*Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest
na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html*

.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

Załącznik 1. Dane wnioskodawcy

Załącznik 2. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).