



## Morfologia powierzchni cienkich warstw ftalocjaniny niklu i pochodnej perylenu w oparciu o obrazy mikroskopowe

T. Soniewicki <sup>a</sup>, J. Wieszka <sup>b, c</sup>, D. Pakuła <sup>b</sup>, J. Jurusik <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Absolwent Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
email: soniu84@interia.pl

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów  
Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie  
email: daniel.pakula@polsl.pl, jan.wieszka@polsl.pl

<sup>c</sup> Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych, Polska Akademia Nauk w Zabrzu  
email: jwieszka@cmpw-pan.edu.pl, jjurusik@cmpw-pan.edu.pl

**Streszczenie:** Celem pracy jest przeprowadzenie analizy zmian morfologii powierzchni cienkich warstw organicznych dwubezwodnika 3,4,9,10-tetrakarboksyloperylenu oraz ftalocjaniny niklu. Warstwy otrzymywane zostały metodami naporowania próżniowego. Obserwowano zmiany topografii powierzchni oraz zmiany chropowatości wywołane różnymi czynnikami. Pierwszym etapem było naporowanie zestawu czterech warstw PTCDA i PcNi na takim samym podłożu. Cienkie warstwy osadzono w tych samych warunkach: przy temperaturze 300°C, w czasie osadzania równym 55 min oraz ciśnieniu  $10^{-5}$  B. Jako podłoża stosowano: szkło, mika, sól oraz krzem. Wyniki badań i ich analiza pozwalają stwierdzić, że każdy z branych pod uwagę czynników technologicznych procesu osadzania ma znaczący wpływ na morfologię powierzchni cienkich warstw pochodnej perylenu i ftalocjaniny niklu.

**Abstract:** The purpose of thesis was to analyze changes in surface morphology of thin films of PTCDA and PcNi. Thin films were prepared using thermal vacuum evaporation method. Changes in surface topography and roughness resulting from various factors were observed. The first step was to prepare a set of four thin films PTCDA and PcNi evaporated on various substrates. Thin films were prepared under the same conditions: temperature of 300° C, deposition time - 55 minutes, pressure  $10^{-5}$  B. Substrates made of glass, mica, salt (NaCl) and silicon were used. The results and their analysis allow to state that each of the relevant factors have a significant impact on surface morphology of thin films of PTCDA and PcNi.

**Słowa kluczowe:** obrazy mikroskopowe, ftalocjanina, PTCDA

## 1. WPROWADZENIE

Od początku XX wieku materiały organiczne uważane są za nową grupę materiałów, na bazie których spodziewać się można wytworzenia nowej generacji urządzeń elektronicznych i optycznych. Niektóre z nich znalazły już zastosowanie jako przewodniki elektryczne i materiały do budowy nieliniowych urządzeń optycznych, organicznych diod elektroluminescencyjnych (OLED), wyświetlaczy elektrochromowych, pokryć antystatycznych, fotorezystorów, ogniw fotowoltaicznych oraz czujników i elektrod elektrochemicznych. Materiałami organicznymi, które dzięki swoim interesującym własnościom znalazły zastosowanie przede wszystkim w optoelektronice i optyce nieliniowej są ftalocjaniny oraz dwubezwodnik 3,4,9,10-tetrakarboksyloperyleny ( $C_{24}H_8O_6$ ) – PTCDA. W cząsteczkach tych związków organicznych występują naprzemienne wiązania pojedyncze i podwójne, które określa się mianem "układu sprzężonych wiązań podwójnych". Fizyczne, mechaniczne i użytkowe własności cienkich warstw materiałów organicznych zależą nie tylko od budowy chemicznej, lecz także w dużym stopniu od morfologii ich powierzchni. Badania morfologii powierzchni cienkich warstw organicznych mają na celu zarówno aspekty poznawcze jak i praktyczne. Ponieważ większość użytkowych organicznych urządzeń optoelektronicznych ma budowę warstwową, morfologia powierzchni poszczególnych warstw wpływa na powstawanie i wysokość różnych barier energetycznych na granicach między warstwami, które obniżają parametry użytkowe i w efekcie jakość urządzenia optoelektronicznego. W badaniach morfologii powierzchni cienkich warstw organicznych największe znaczenie mają metody mikroskopowe (mikroskopia optyczna, elektronowa i mikroskopia sił atomowych) oraz dyfrakcyjne [1-11].

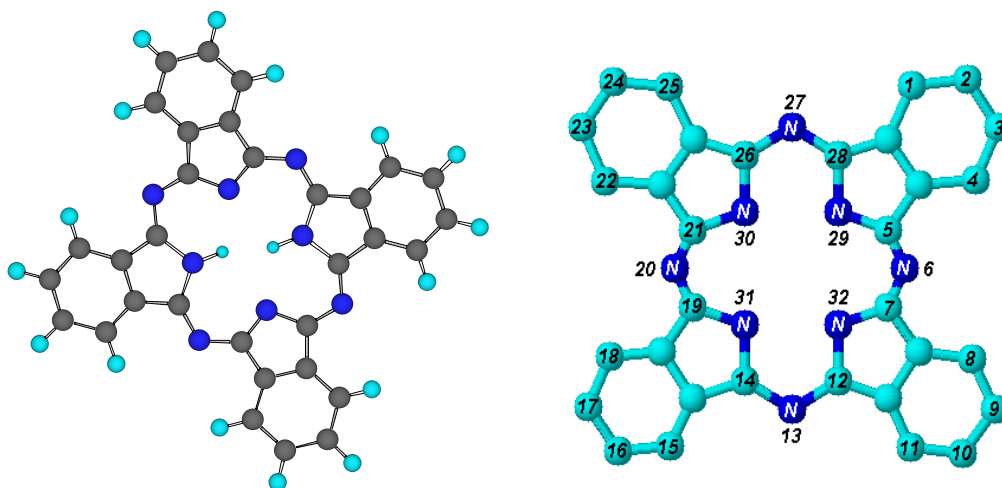
### 1.1. Ftalocjaniny

Ftalocjaniny oraz ich liczne pochodne to najbardziej interesująca grupa analogów strukturalnych porfiryn. Po raz pierwszy ftalocjaninę zaobserwowali A. Brauna i J. Tcherniak w 1907 roku podczas ogrzewania w wysokiej temperaturze o-cyjanobenzamidu i bezwodnika octowego w etanolu. Odkryli oni wówczas ciemnoniebieską, nierozpuszczalną substancję o nieznanym pochodzeniu. Podobnie w 1927 r. H. de Dieslach i E. von der Weid w czasie przygotowania o-dicyjanobenzamidu z cyjanku miedzi i o-dibromobenzamidu otrzymali niezwykle trwałe i niebieski produkt [12].

Przełom nastąpił rok później, kiedy to w szkockiej fabryce barwników Messers, Scottish Dyes Ltd. zauważono, że podczas syntezy imidu ftalowego z bezwodnika ftalowego i amoniaku, w reaktorze wykonanym z żelaza zebrał się niebieski kompleks, zidentyfikowany później jako ftalocjanina żelaza. Otrzymany pigment zwrócił uwagę i wzbudził szczególne zainteresowanie, dzięki czemu rozpoczęto szereg badań mających na celu poznanie struktury i własności tej kolorowej substancji. We wczesnych latach trzydziestych XX wieku Patrick Linstead, określił ich budowę chemiczną [13, 14].

Na rys. 1 pokazano, cząsteczkę ftalocjaniny która występuje w postaci charakterystycznego makrocyklu składającego się z czterech pierścieni indolowych połączonych mostkami azowymi, tworzących układ sprzężonych wiązań podwójnych zawierający 18 zdelokalizowanych elektronów  $\pi$  spełniających regułę aromatyczności

Huckle'a ( $4n+2$ ) dla  $n = 4$ . Makrocykl ten to zamknięta, aromatyczna płaszczyzna posiadająca cztery aktywne atomy azotu, w każdej z czterech pozycji meso, wewnątrz struktury zdolne do efektywnego chelatowania wielu różnych jonów metali [15].



Rys. 1. Makrocykliczny, heteroatomowy układ cząsteczki ftalocjaniny [13]

Ftalocjaniny dzięki swoim specyficznym własnościom: spektroskopowym, luminescencyjnym i magnetycznym, zdolnościom do fotoprzewodnictwa i fotoemisji zyskały duże zastosowanie w przemyśle. Wynika to z intensywnej barwy ich kompleksów z metalami. Można z nich otrzymać pigmenty we wszystkich odmianach koloru niebieskiego i zielonego. Nadzwyczaj ciekawe własności fizyczne, takie jak duża odporność termiczna, chemiczna i fotochemiczna, znalazły liczne zastosowania w inżynierii materiałowej. Ftalocjaniny są również wykorzystywane we współczesnej nauce, medycynie i technice (technika półprzewodnikowa, czujniki gazowe i cieczowe, optoelektronika, technika laserowa). Bardzo ważne znacznie mają także katalityczne i adsorpcyjne właściwości tych związków, które dają możliwość ich szerokiego wykorzystania w badaniach laboratoryjnych jak i w przemyśle chemicznym. Znajdują zastosowanie w urządzeniach półprzewodnikowych, w czujnikach gazowych i cieczowych, urządzeniach optoelektronicznych i technice laserowej.

### Zastosowania ftalocjanin i ich kompleksów z metalami

Zainteresowanie ftalocjaninami przez dziesiątki lat było znikome, nie bardzo wiadomo, jaką inną rolę mogą pełnić aniżeli rolę barwników. Po raz pierwszy użyto ich do wypełniania wkładów do długopisów. Później przez długi okres czasu stosowano je jedynie jako barwniki między innymi w poligrafii, w przemyśle włókienniczym, gdyż można z nich otrzymać wszystkie odmiany kolorów niebieskiego i zielonego. Z drugiej strony związki te są nierozpuszczalne w wodzie, co predestynuje je do roli barwników tkanin oraz pigmentów do farb

i lakierów. Największym na świecie producentem ftalocjaninowych pigmentów jest japoński koncern samochodowy Mazda. Ftalocjanina miedziowa jest używana jako pigment do barwienia banknotów 5 funtowych w Mennicy Królewskiej w Wielkiej Brytanii.

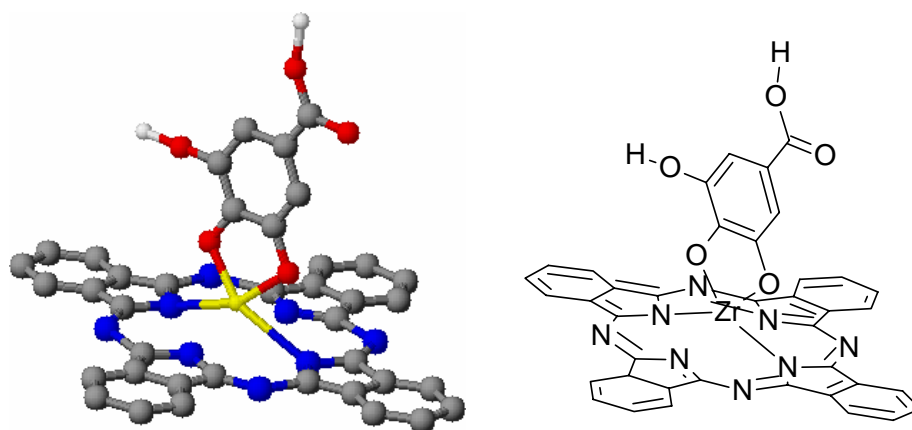
Z biegiem czasu zaczęto się zastanawiać nad innymi możliwymi zastosowaniami tych substancji. Zapoczątkowano badania, które doprowadziły do poznania ich specyficznych własności i dalszych zastosowań. Obecnie zakres ich zastosowań jest bardzo szeroki, stosuje się je m.in. jako [13] :

- barwniki absorbujące w zakresie podczerwieni, co ma znaczenie w technice militarnej,
- fotoprzewodzące materiały w kopiarkach, tusze do fotokopiarek i drukarek laserowych,
- zastosowania w optyce nieliniowej i dyskach optycznych (optical data storage),
- półprzewodniki molekularne i oparte na nich tranzystory,
- materiały elektroluminescencyjne,
- zastosowania w katalizie i elektrokatalizie, zwłaszcza ftalocjanin immobilizowanych na adsorbentach lub materiałach zol-żelowych,
- warstwy absorbujące światło w nagrywanych płytach CD,
- chemosensory gazów,
- fotosensybilizatory w terapii antynowotworowej.

Zastosowanie ftalocjanin według patentów amerykańskich z roku 1998 można podzielić na następujące grupy [13-15]:

- atramenty do drukarek laserowych, atramenty do długopisów,
- pigmenty oparte na ftalocjaninach,
- ftalocjaniny tytanu,
- sposoby wykorzystania mikro kryształów ftalocjanin metali stosowanych do lakierów samochodowych,
- ftalocjanin jako barwnik i do procesów fotograficznych,
- barwniki pochłaniające promieniowanie podczerwone,
- ftalocjaniny jako markery fluorescencyjne,
- ftalocjaniny rozpuszczalne w wodzie.

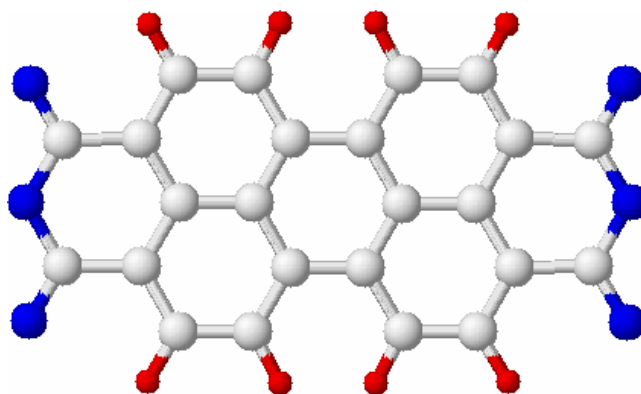
Na rys. 2 przedstawiono cząsteczki ftalocjaniny [13]:



Rys. 2. Ftalocjanina Zr(IV) Galusa [15]

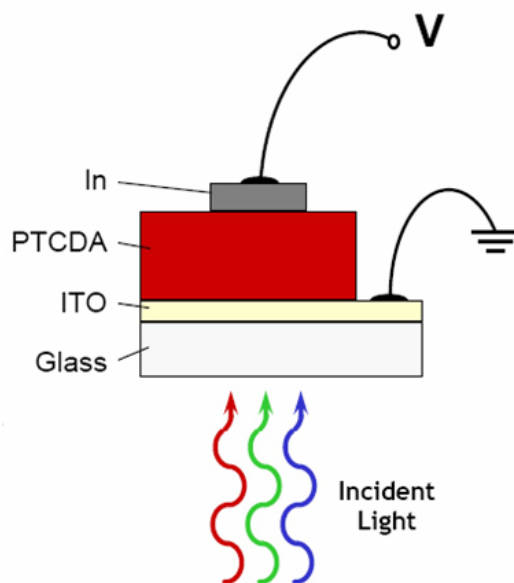
## 1.2. PTCDA – dwubezwodnik 3,4,9,10 cztero karboksylo perylenu

Materiały organiczne mające zastąpić metale i półprzewodniki w elektronice XXI wieku powinny mieć jednak szczególną postać chemiczną. W ich cząsteczkach muszą występować naprzemienne wiązania pojedyncze i podwójne, które określa się mianem "układu sprzężonych wiązań podwójnych". To właśnie ten układ powoduje, że własności elektronowe tych polimerów są zbliżone do własności półprzewodników samoistnych. Obecnie znanych jest już kilka materiałów organicznych przewodzących, trwałych i wskazujących dość wysokie przewodnictwo (rys. 3). Posiadają one mniejsze przewodnictwo elektryczne niż metale, ale dla wielu zastosowań wystarczające. Materiały organiczne przewodzące w stanie niezdomykowanym i domieszkowanym różnią się znacznie nie tylko przewodnictwem elektrycznym, ale również strukturą, barwą, własnościami mechanicznymi oraz innymi własnościami [16].



Rys. 3. Cząsteczka 3,4,9,10-Perylenetetracarboxylic dianhydride ( $C_{24}H_8O_6$ ) [16]

W ostatniej dekadzie XX wieku zanotowano ogromny postęp w tworzeniu bardzo cienkich warstw organicznych, znajdujących zastosowanie głównie w optoelektronice. Ten postęp został dokonany dzięki zrozumieniu istoty cienkich warstw jak i sposobu ich wytwarzania. Pierwszym ważnym postępem było użycie wysokiej próżni (UHV), w której osiągnięto kontrolę monowarstwową nad wzrostem cienkiej warstwy. Ta kontrola była również możliwa w innych dotychczas znanych metodach takich jak: Langmuir-Blodgett. Zaletą metody UHV jest zarówno kontrola grubości warstwy jak i atomowo czystego środowiska, a także podłoża. Obecne techniki takie jak metoda osadzania organicznych wiązek molekularnych (OMBD) dostarczają całkowicie nową perspektywę spojrzenia na własności strukturalne i optoelektroniczne cienkich warstw organicznych. Techniki te dążą do wytwarzania cienkich warstw organicznych o ściśle kontrolowanych własnościach. Wykorzystuje się w tym celu cząsteczki pochodnej perylenu PTCDA, które znajdują zastosowanie między innymi w organicznych diodach luminescencyjnych (OLED) oraz ogniwach fotowoltaicznych (rys. 4) [12].

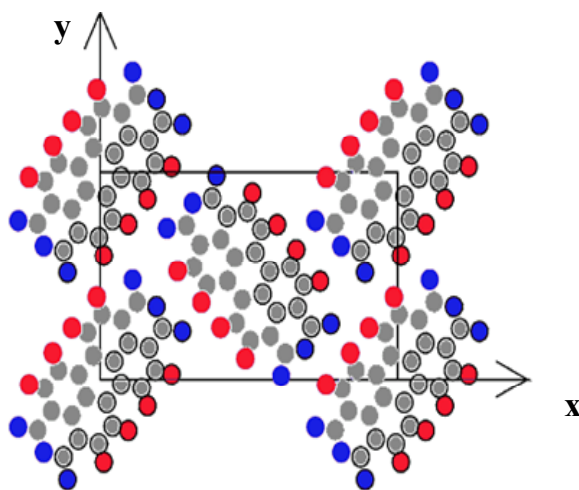


Rys. 4. Struktura warstwowa fotoogniwa z warstwą PTCDA [9]

Materiały organiczne dla elektroniki są obecnie przedmiotem bardzo intensywnych badań nie tylko o charakterze podstawowym, ale również aplikacyjnym. W celu naniesienia warstw z roztworu stosowana jest metoda równomiernego rozprowadzania roztworu metodą wirowania, a także wiele innych technologii. Warstwy dielektryczne są wytwarzane podobnie jak w przypadku półprzewodników organicznych. Są to zwykle dwie metody [8, 16]:

- naporowanie próżniowo  $\text{SiO}_2$  lub perylenu oraz
- odparowanie z roztworu poli-4-winylofenolu (PVP).

Na rys. 5 przedstawiono strukturę krystaliczną cząsteczki PTCDA.



Rys. 5. Struktura krystaliczna cząsteczki PTCDA w układzie współrzędnych XY [16]



## 2. PRZEBIEG BADAŃ

Badanie morfologii naporowanych warstw PTCDA i PcNi przeprowadzono na mikroskopie sił atomowych firmy TopoMetrix pracującym w trybie kontaktowym, oraz na mikroskopie skaningowym przy powiększeniu 50 tysięcy razy. Badania wykonano pod kątem obserwacji zmian topografii powierzchni, morfologii oraz chropowatości cienkich warstw organicznych w zależności od podłoża, na które zostały osadzone. Podczas badań przy użyciu mikroskopu skaningowego na badane warstwy naporowano cienką warstwą złota celem uniknięcia elektryzowania się warstw. W przypadku pochodnej perylenu była to warstwa o grubości 15 nm natomiast przy ftalocjaninie 10 nm. Analiza wyników badań przeprowadzono przy użyciu programu WSxM hiszpańskiej firmy Nanotec. Do badań użyto podłoży z soli, miki, szkła oraz krzemu. Na podłoża naporowano pochodną perylenu PTCDA oraz ftalocjaninę niklu PcNi. Parametry procesu osadzania warstw przedstawiono w tabelicy 1.

Tablica 1.

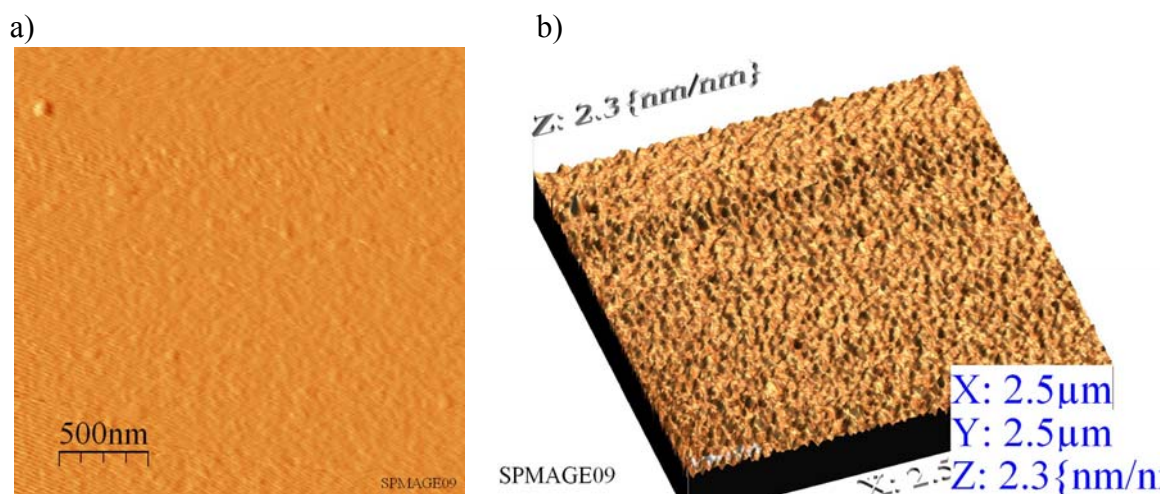
Parametry procesu osadzania warstw

Rodzaj podłoża	Temperatura procesu [°C]	Ciśnienie procesu [B]	Czas naporowania [min]
MIKA (A)	300	$10^{-5}$	55
SÓL(B)			
SZKŁO(C)			
KRZEM(D)			

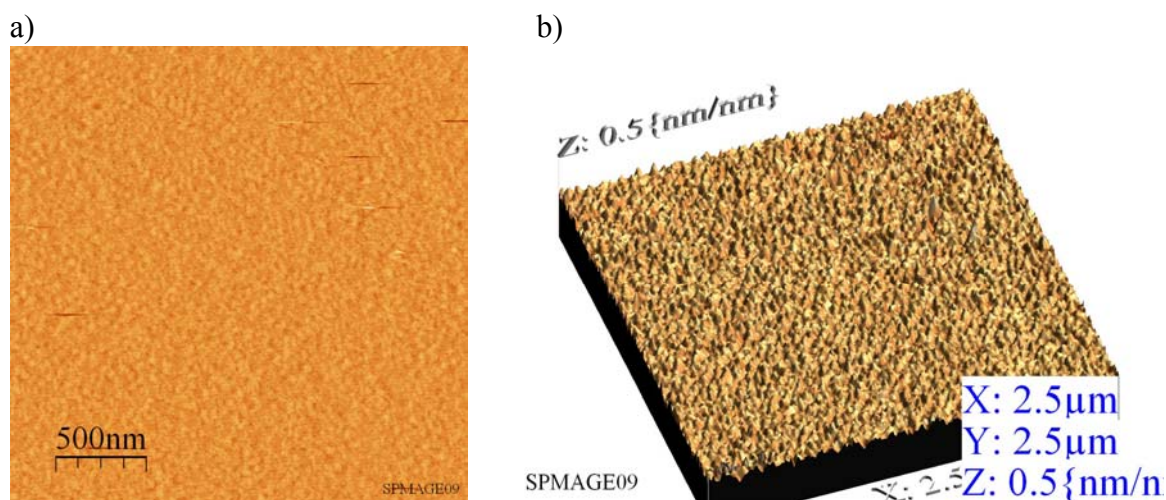
## 3. WYNIKI BADAŃ

### 3.1. Analiza topografii powierzchni warstw PTCDA

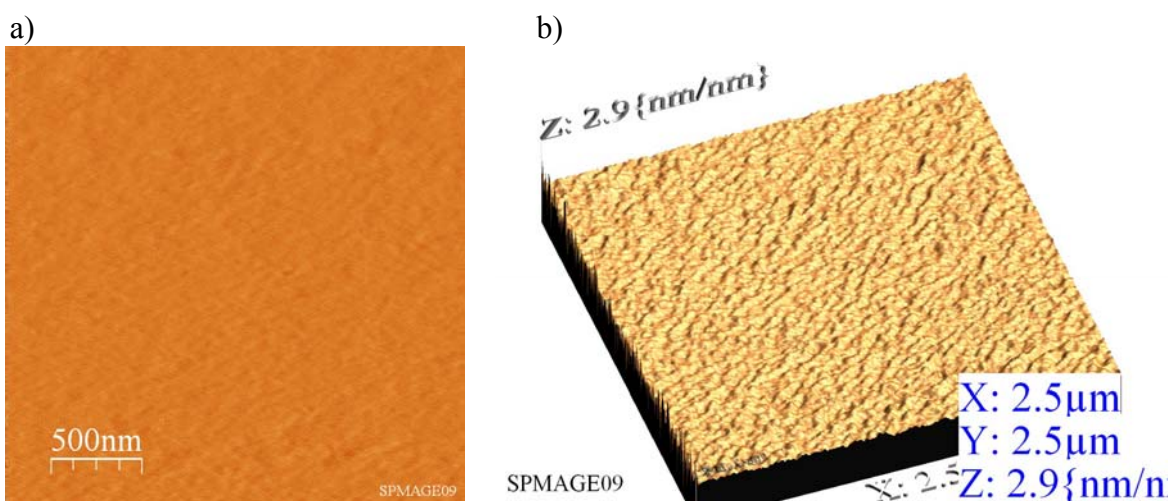
Na rys. 6-9 przedstawiono obrazy topograficzne cienkich warstw pochodnej perylenu osadzonych na podłożach z miki (rys. 6), soli (rys. 7), szkła (rys. 8) oraz krzemu (rys. 9).



Rys. 6. Zdjęcie topografii powierzchni warstwy osadzonej na micy wykonane na mikroskopie AFM: a) widok 2D, b) widok 3D



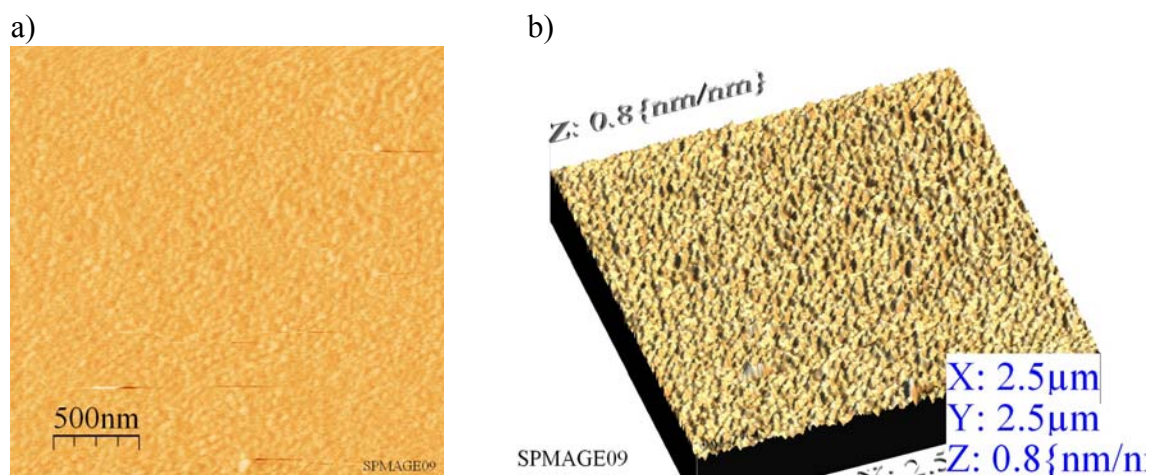
Rys. 7. Zdjęcie topografii powierzchni warstwy osadzonej na soli wykonane na mikroskopie AFM: a) widok 2D, b) widok 3D



Rys. 8. Zdjęcie topografii powierzchni warstwy osadzonej na szkłe wykonane na mikroskopie AFM: a) widok 2D, b) widok 3D

Wszystkie osadzone warstwy pokazane na rys. 6-9 mają morfologię powierzchni o charakterze granularem. Warstwa osadzona na micy jest w miarę równomierna, a jej powierzchnia lekko pofalowana. Na podłożu z soli uzyskana warstwa pochodnej perylenu jest gładka, a granulki zlewają się tworząc jednolitą całość. W przypadku warstwy osadzonej na szkłe granice pomiędzy poszczególnymi granulami zlewają się tworząc pofalowaną strukturę. Warstwa osadzona na krzemie również jest równomierna i nie występują na niej żadne większe granulki.

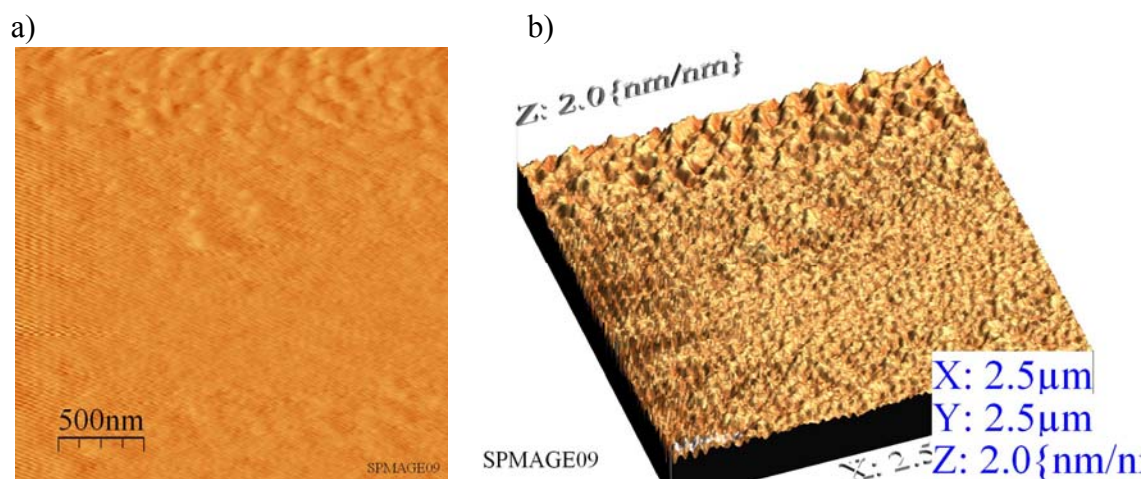




Rys. 9. Zdjęcie topografii powierzchni warstwy osadzonej na krzemie wykonane na mikroskopie AFM: a) widok 2D, b) widok 3D

### 3.2. Analiza topografii powierzchni warstw PcNi

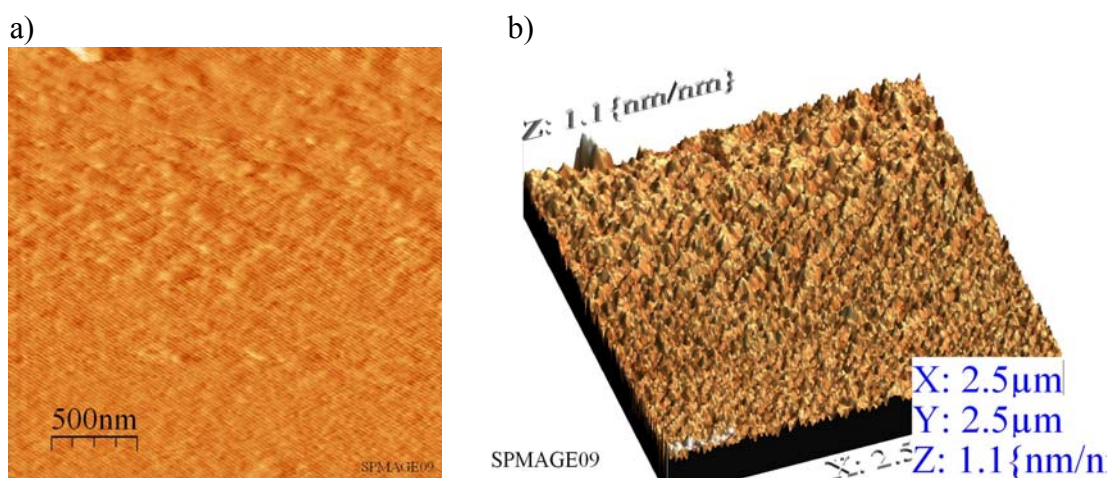
Na rys. 10-13 przedstawiono obrazy topograficzne cienkich warstw ftalocjaniny niklu osadzonych na podłożach z miki (rys. 10), soli (rys. 11), szkła (rys. 12) oraz krzemu (rys. 13).



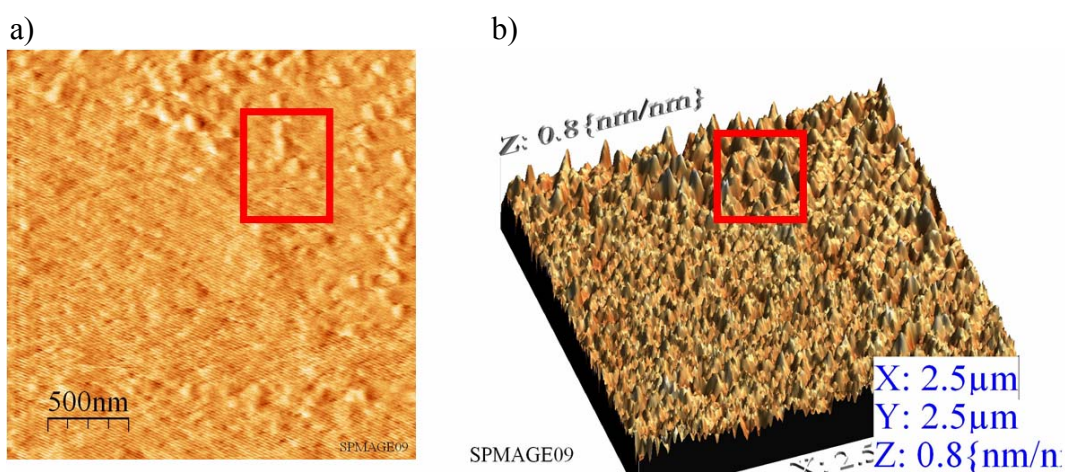
Rys. 10. Zdjęcie topografii powierzchni warstwy osadzonej na micy wykonane na mikroskopie AFM: a) widok 2D, b) widok 3D

Badania warstw wykazały, że warstwa naparowana na micy jest stosunkowo miękka. W wyniku czego trudno jednoznacznie określić czy rzeczywistym obrazem warstwy jest

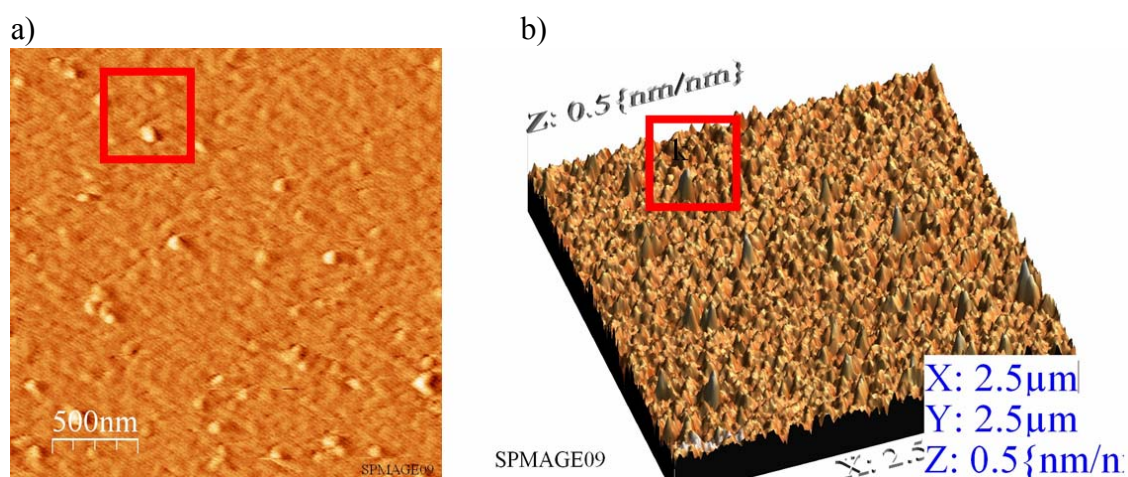
górną część uzyskanego zdjęcia czy dolną. Można stwierdzić, że warstwa jest granularna, a jej struktura jest pofalowana. Warstwa osadzona na soli również ma strukturę granularną i pofalowaną, a jej powierzchnia nie ma większych granulek w swojej strukturze. Morfologia powierzchni warstwy osadzonej na szkle ma charakter granularny. Widoczne są jednak dość liczne przypadkowo rozmieszczone większe granulki w różnych miejscach badanej warstwy zaznaczone na czerwono. Natomiast w przypadku warstwy osadzonej na krzemie widoczne są rzadko, przypadkowo rozmieszczone większe granulki. Warstwa podobnie do poprzednich ma postać granularną.



Rys. 11. Zdjęcie topografii powierzchni warstwy osadzonej na soli wykonane na mikroskopie AFM: a) widok 2D, b) widok 3D



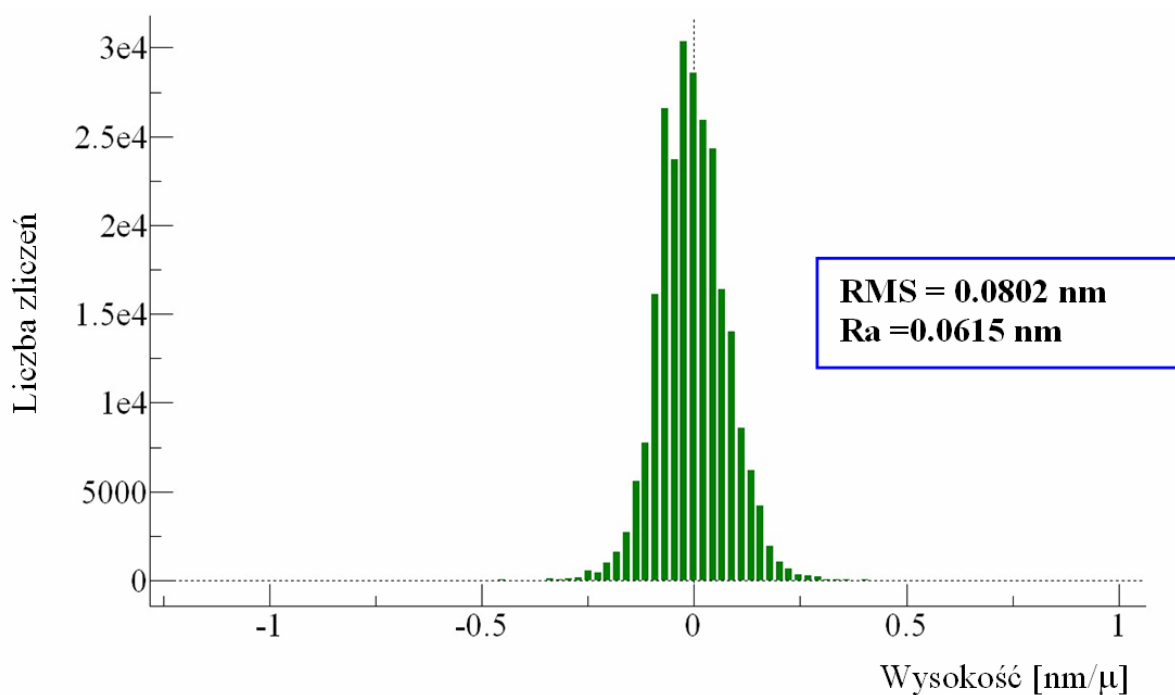
Rys. 12. Zdjęcie topografii powierzchni warstwy osadzonej na szkle wykonane na mikroskopie AFM: a) widok 2D, b) widok 3D



Rys. 13. Zdjęcie topografii powierzchni warstwy osadzonej na krzemie wykonane na mikroskopie AFM: a) widok 2D, b) widok 3D

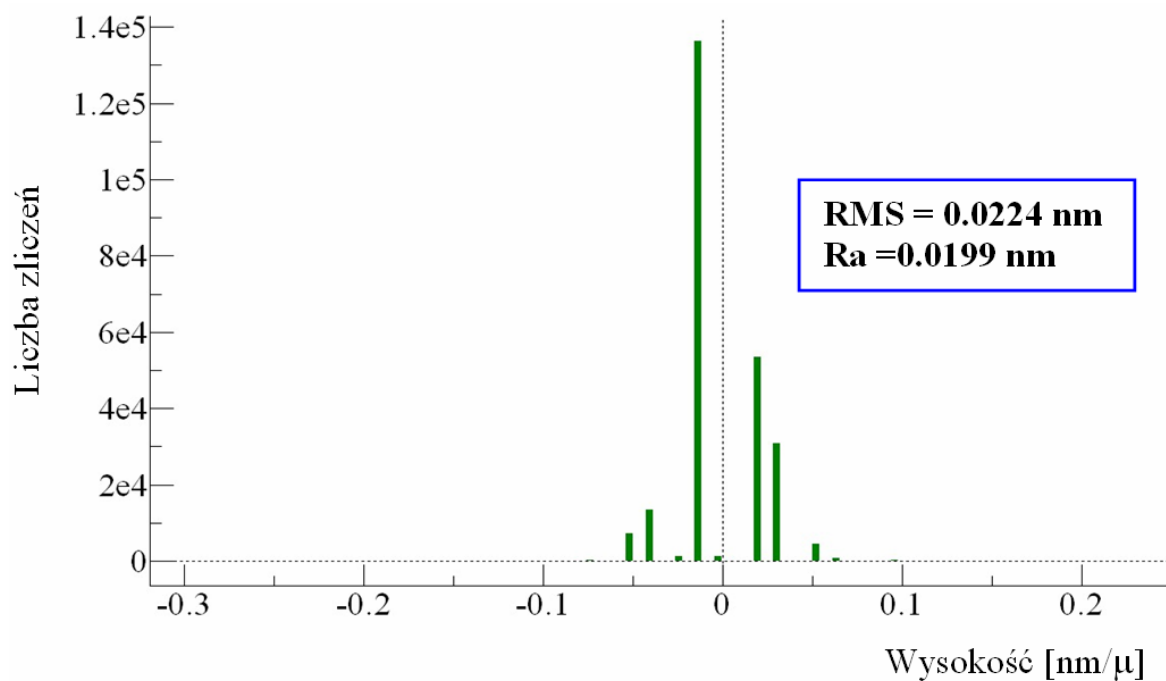
### 3.3. Analiza chropowatości warstw PTCDA

Na rys. 14-17 przedstawiono analizę chropowatości osadzonych na różnych podłożach warstw PTCDA przeprowadzoną w programie WSxM. Chropowatość scharakteryzowano obliczając parametr chropowatości RMS oraz przedstawiając histogram.

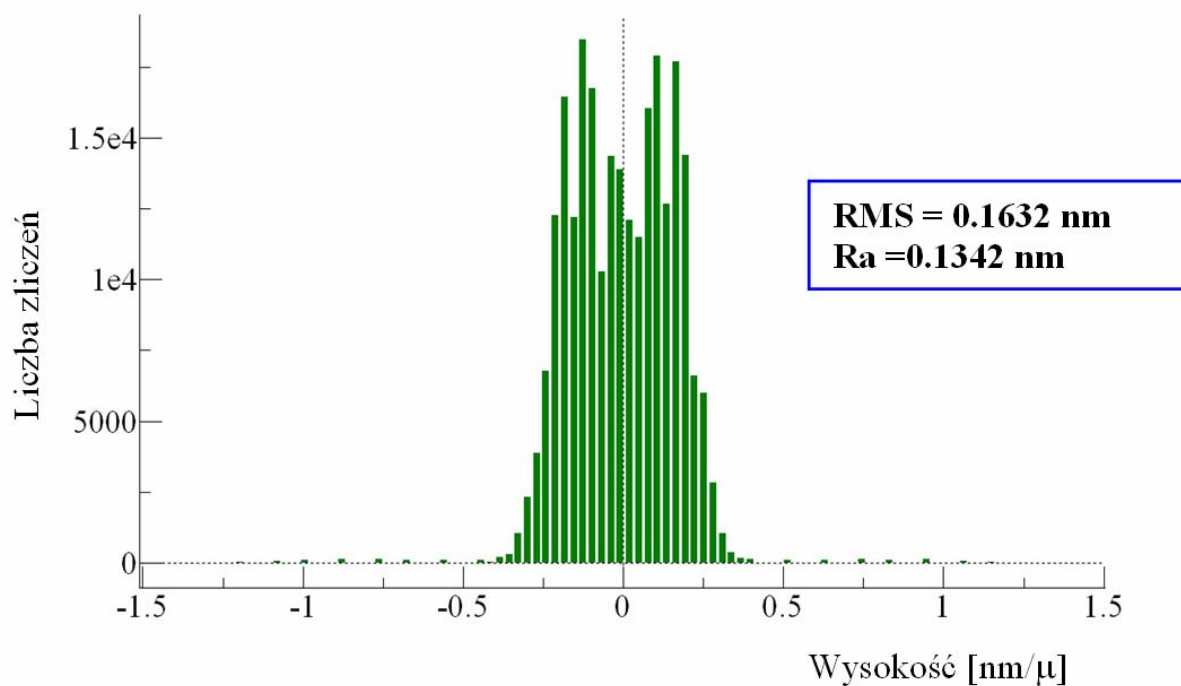


Rys. 14. Histogram po wysokości warstwy PTCDA osadzonej na miedzi

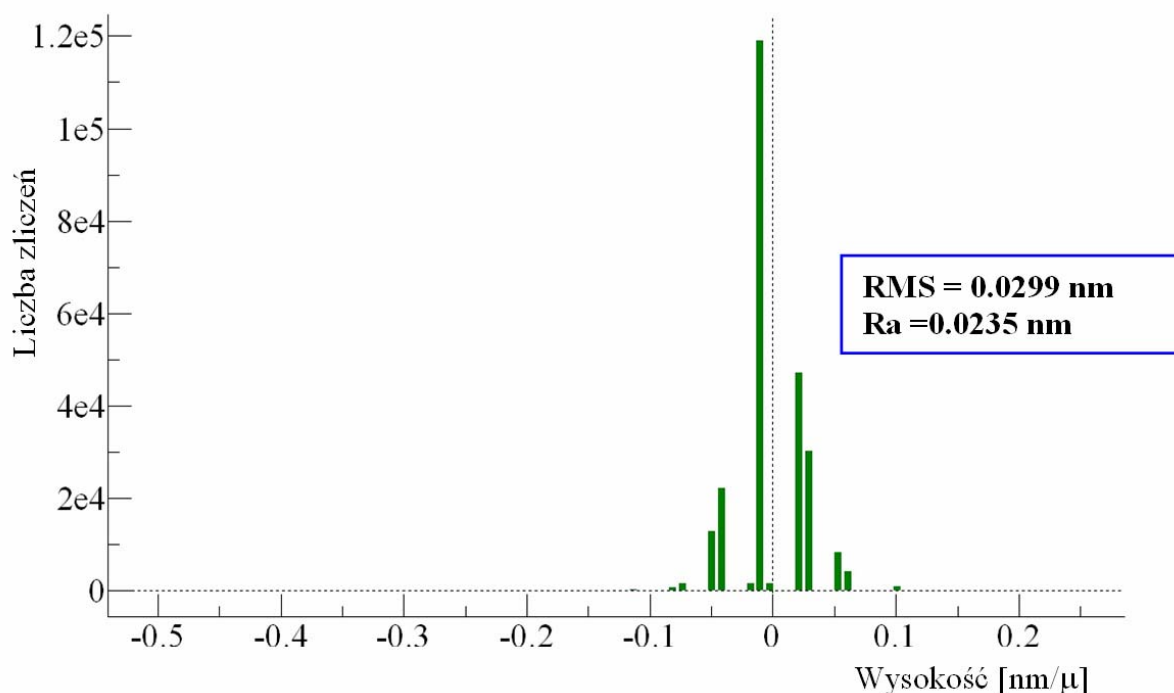




Rys. 15. Histogram po wysokości warstwy PTCDA osadzonej na soli



Rys. 16. Histogram po wysokości warstwy PTCDA osadzonej na szkle



Rys. 17. Histogram po wysokości warstwy PTCDA osadzonej na krzemie

Z tablicy 2 wynika, że najniższe parametry chropowatości powierzchni uzyskano dla warstw PTCDA osadzonych na soli. Warstwa ta ma najmniejszy współczynnik chropowatości  $RMS = 0,0224$ . Zbliżoną wartość chropowatości uzyskano na warstwie naparowanej na krzemie, a pozostałe dwie warstwy uzyskane odpowiednio na micy i szkle odbiegają nieco parametrami wziętymi pod uwagę.

Tablica 2.

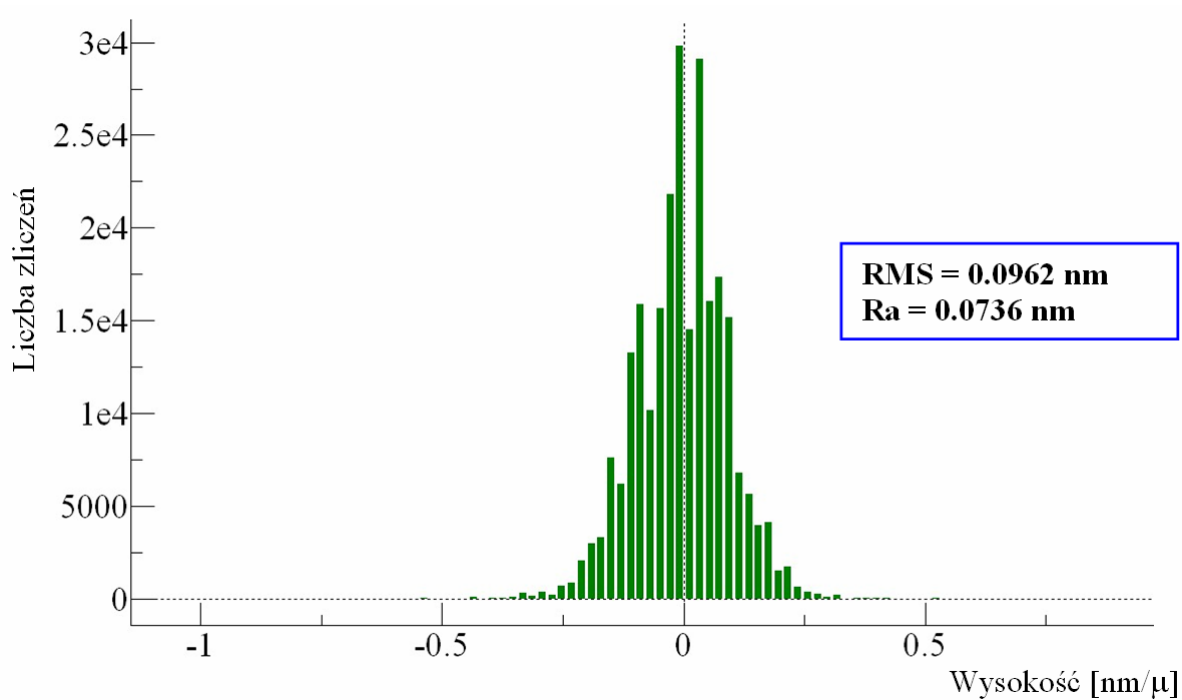
Parametry chropowatości obliczone w programie WSxM

Parametry/Warstwy	A	B	C	D
RMS [nm]	0,0802	0,0224	0,1632	0,0299
Ra [nm]	0,0615	0,0199	0,1342	0,0235

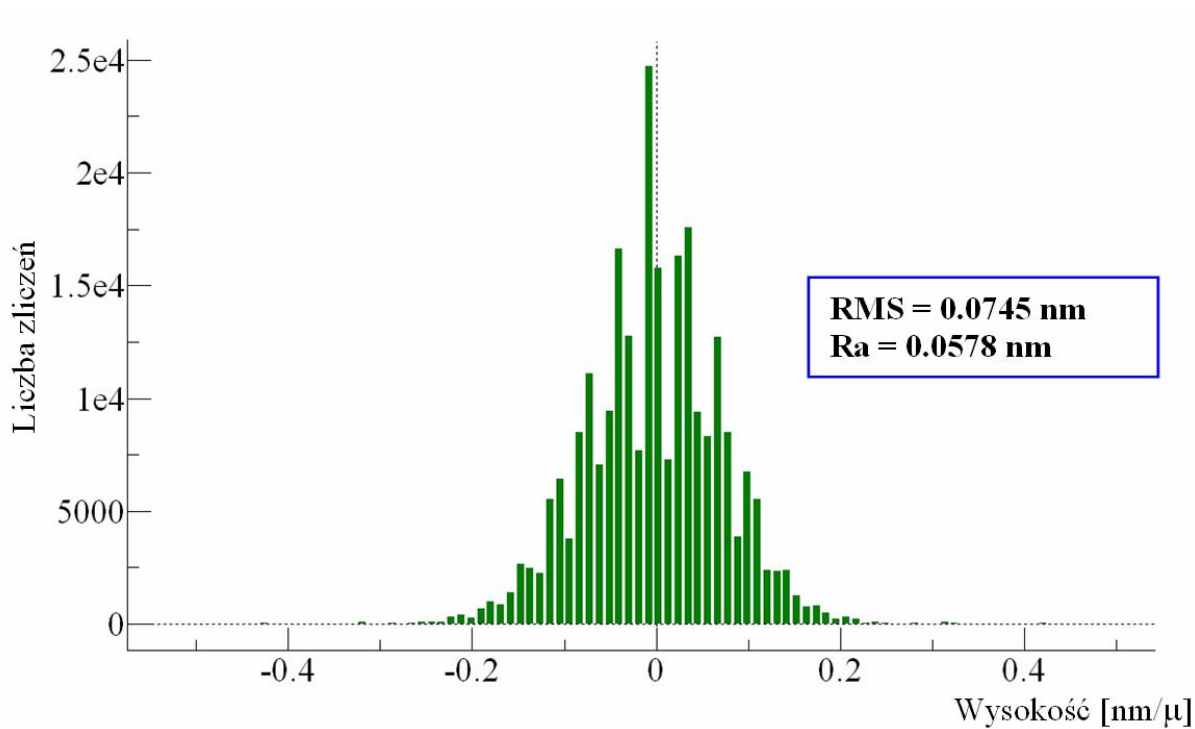
### 3.3. Analiza chropowatości warstw PcNi

Na rys.18-21 przedstawiono analizę chropowatości osadzonych na różnych podłożach warstw PcNi przeprowadzoną w programie WSxM. Chropowatość scharakteryzowano obliczając parametr chropowatości RMS oraz przedstawiając histogram.

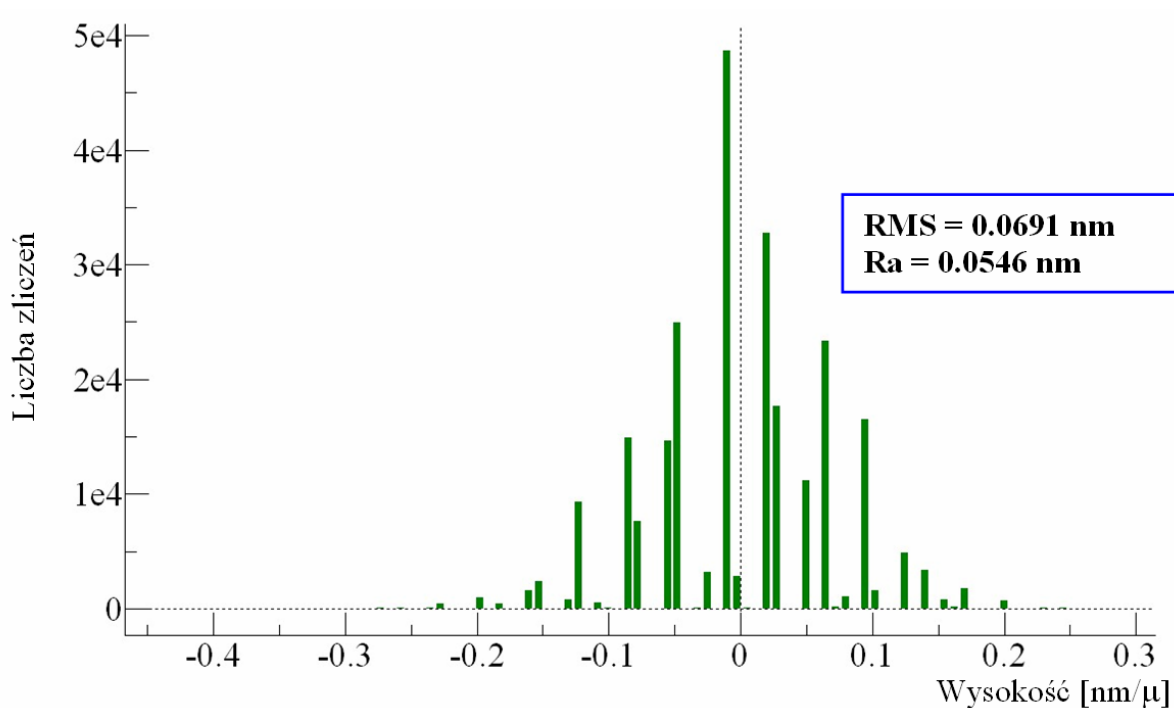




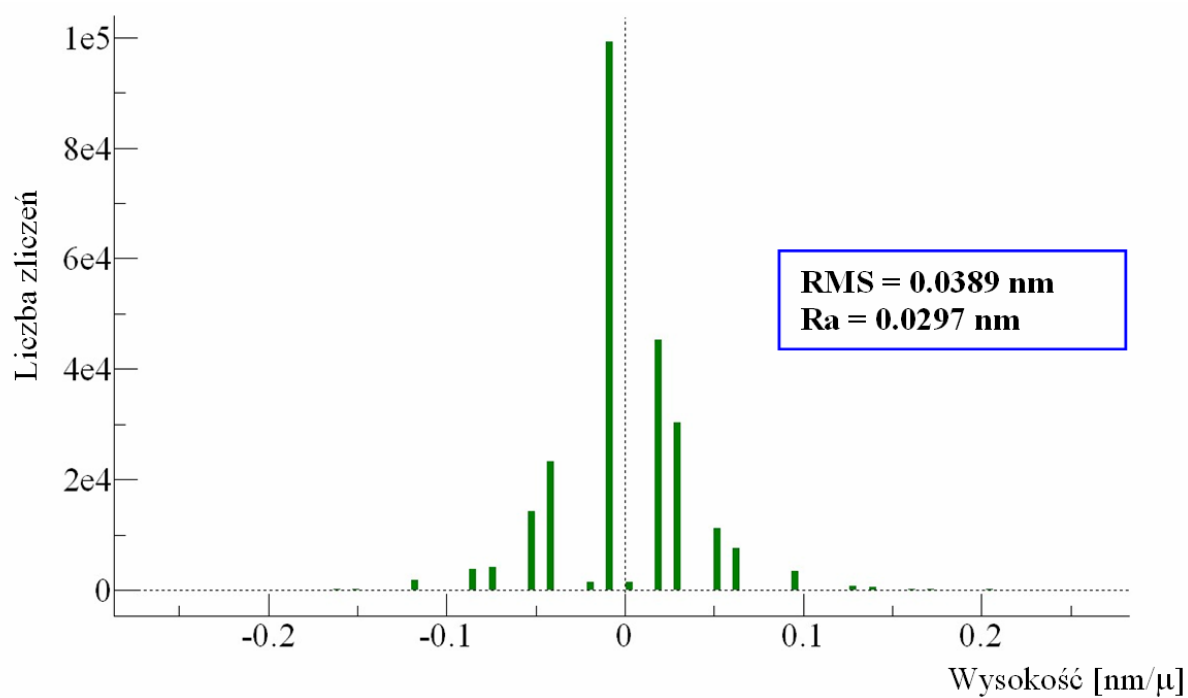
Rys. 18. Histogram po wysokości warstwy PcNi osadzonej na mice



Rys. 19. Histogram po wysokości warstwy PcNi osadzonej na soli



Rys. 20. Histogram po wysokości warstwy PcNi osadzonej na szkle



Rys. 21. Histogram po wysokości warstwy PcNi osadzonej na krzemie

W tablicy 3 zestawiono parametry poszczególnych warstw ftalocjaniny niklu. Najniższe wartości wskaźnika chropowatości ma warstwa ftalocjaniny otrzymana na krzemie. Różnice jednak są bardzo niewielkie.

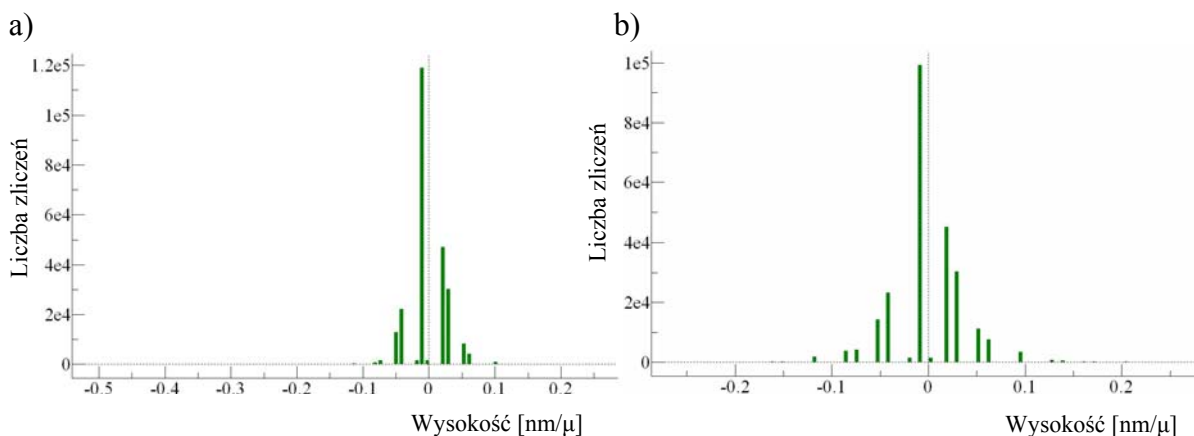
Tablica 3.

Parametry chropowatości obliczone w programie WSxM

Parametry/Warstwy	A	B	C	D
RMS [nm]	0,0962	0,0745	0,0691	0,0389
Ra [nm]	0,0736	0,0578	0,0546	0,0297

### 3.4. Porównanie histogramów warstw PTCDA i PcNi na tym samym podłożu

Na rys. 22 porównano histogramy po wysokości powierzchni warstwy PTCDA i PcNi osadzonej na krzemie.



Rys. 22. Histogram po wysokości warstwy osadzonej na krzemie a) PTCDA b) PcNi

W tablicy 4 porównano wskaźniki chropowatości dla warstw osadzonych na krzemie. W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wskaźniki chropowatości dla obu warstw są bardzo zbliżone do siebie. Zarówno w przypadku ftalocjaniny niklu jak i pochodnej perylenu są one bardzo niskie i wynoszą odpowiednio  $RMS = 0.0299$  dla PTCDA oraz  $RMS = 0.0389$  dla PcNi.

Tablica 4.

Parametry chropowatości obliczone w programie WSxM

Parametry/Warstwy	PTCDA	PcNi
RMS [nm]	0.0299	0.0389
Ra [nm]	0.0235	0.0297

#### 4. PODSUMOWANIE

Spośród materiałów organicznych niskocząsteczkowych szerokie zastosowania w urządzeniach optoelektronicznych i optyce nieliniowej znajdują ftalocjaniny różnych metali oraz dwubezwodnik 3,4,9,10-tetrakarboksyloperylenu ( $C_{24}H_8O_6$ ) – PTCDA. W cząsteczkach tych związków występują naprzemiennie wiązania pojedyncze i podwójne tworzące układy sprzężonych wiązań podwójnych i w efekcie zdelokalizowanych elektronów  $\pi$ , które leżą u podstaw ich własności optoelektronicznych.

Urządzenia optoelektroniczne mają strukturę warstwową i to powoduje, że morfologia powierzchni kolejnych warstw organicznych tworzących taką strukturę jest ważnym czynnikiem, który wpływa na sprawność i efektywność całego urządzenia. Wszelkie niepożądane bariery energetyczne na granicach cienkich warstw organicznych pogarszają jakość urządzenia.

Obrazy topografii 2D i 3D warstw PTCDA i PcNi osadzonych na różnych podłożach wykazują morfologię powierzchni o charakterze granularnym, w miarę jednorodną. Na powierzchni warstw PTCDA osadzonych na miedzi i soli widoczne są granule o zbliżonym rozmiarze dając lekko pofalowaną powierzchnię. Warstwy PTCDA osadzone na szkle i krzemie mają powierzchnię równomiernie pofalowaną. Analiza chropowatości warstw PTCDA pokazuje, że najmniejszą chropowatość mają warstwy naporowane na sól i krzem. W przypadku warstw PcNi ich powierzchnie wykazują morfologię granularną, pofalowaną i mniej jednorodną, a w przypadku warstw osadzonych na szkle widoczne są przypadkowo rozmieszczone granule o dużych rozmiarach, ich gęstość jest większa niż dla warstw osadzonych na krzemie. Analiza chropowatości pokazuje, że najmniejszą chropowatość mają warstwy osadzone na szkle i krzemie. Badania z użyciem AFM pokazały, że warstwy ftalocjaniny niklu są bardziej miękkie od warstw PTCDA.

Przeprowadzone badania i analiza otrzymanych wyników pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Parametry procesu napyłania cienkich warstw w dużym stopniu wpływają na morfologię badanej cienkiej warstwy perylenu oraz ftalocjaniny.
2. Morfologia powierzchni, a przede wszystkim jej chropowatość, zależy od podłoża, na które nanosi się badaną warstwę. Morfologia powierzchni podłoża wpływa na przyczepność cienkiej warstwy i przebieg procesu jej osadzania.
3. Na wszystkich badanych podłożach naporowano warstwy, a ich topografie powierzchni były zbliżone do siebie.

**LITERATURA**

1. L.A. Dobrzański, Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, Wydanie II, WN-T, Warszawa, 2006.
2. Z. Florjańczyk, S. Penczka (red.), Chemia polimerów, Tom III, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2001.
3. [www.chemia@ogolna.webpark.pl](http://www.chemia@ogolna.webpark.pl)
4. M. Uliasz, Polimery sulfonowane w zastosowaniu do płuczek wiertniczych, Materiały XIV Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Nowe Metody i Technologie w Geologii Naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji Otworowej i Gazownictwie”, Zakopane, 2003.
5. I. Gruin, Materiały polimerowe, WN-T, Warszawa, 2002.
6. J.E. Midwinter, Y.L. Guo, Optoelektronika i technika światłowodowa, WKiŁ, 2001.
7. A.K. Błędzki (red.), Recykling materiałów polimerowych, WN-T, Warszawa, 1997.
8. C. Kendrick, A. Kahn, S.R. Forrest, STM study of the organic semiconductor PTCDA on highly-oriented pyrolytic graphite, Applied Surface Science 104-105 (1996) 586-594.
9. A. Schmidt, T.J. Schuerlein, G.E. Collins, N.R. Armstrong, Ordered Ultrathin Films of Perylene-tetracarboxylic Dianhydride (PTCDA) and Dimethylperylenebis(dicarboximide) (Me-PTCDI) on Cu(100): Characterization of Structure and Surface Stoichiometry by LEED, TDMS, and XPS, Journal of Physical Chemistry 99/30 (1995) 11770-11779.
10. E. Regis, Nanotechnologia. Narodziny nowej nauki, czyli świat cząsteczka po cząsteczce, Pruszyński i Spółka, Warszawa, 2001.
11. T. Makowski, A. Tracz, Wytwarzanie i właściwości cienkich warstw organicznych dla elektroniki i optoelektroniki, Wrocław, 1995.
12. W. Romanowski, Cienkie Warstwy Metaliczne, PWN, Warszawa, 1974.
13. T. Burakowski, T. Wierzchoń, Inżynieria Powierzchni Metali, WN-T, Warszawa, 1995.
14. M. Trytek, M. Makarska, K. Polska, S. Radzki, J. Fiedurek, Porfiryryny i ftalocjaniny, Cz. I: Właściwości i niektóre zastosowania, Poznań, 2000.
15. M. Żenkiewicz, Przetwórstwo tworzyw wielocząsteczkowych, WN-T, Warszawa, 2001.
16. J. Wüsten, S. Berger, K. Heimer, S. Lach, Ch. Ziegler, Interaction of alkali metals with perylene-3,4,9,10-tetracarboxylic-dianhydride thin films, Journal of Applied Physics 98/1 (2005) 013705.