



**PIOTR KRZEMIŃSKI<sup>1</sup>, PIOTR PRACH<sup>2</sup>,  
KAROLINA JEDZINIAK<sup>3</sup>, KLAUDIA KILMAN<sup>4</sup>**

## **Badanie struktury skrzydła motyla przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego w kształceniu studentów kierunku inżynierii materiałowej**

---

### **Researching the Butterfly Wing Structure Using Scanning Electron Microscope in Education of Materials Engineering Students**

<sup>1</sup> Inżynier, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Centrum Dydaktyczno-Naukowe Mikroelektroniki i Nanotechnologii, Polska

<sup>2</sup> Inżynier, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Centrum Dydaktyczno-Naukowe Mikroelektroniki i Nanotechnologii, Polska

<sup>3</sup> Magister inżynier, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Centrum Dydaktyczno-Naukowe Mikroelektroniki i Nanotechnologii, Polska

<sup>4</sup> Student, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Pedagogiczny, Polska

#### **Streszczenie**

W artykule omówiono wyniki obrazowania struktury skrzydła motyla wraz z wymiarowaniem jego struktury w skali mikrometrycznej na skaningowym mikroskopie elektronowym.

**Słowa kluczowe:** skaningowy mikroskop elektronowy, wymiarowanie struktur mikrometrycznych

#### **Abstract**

The article presents results of butterfly wing structure imaging complete with measuring dimensions of said structures on scanning electron microscope.

**Keywords:** scanning electron microscope, dimensioning of micrometric, structures

---

#### **Wstęp**

Skaningowy mikroskop elektronowy (SEM) jest niewątpliwie jednym z najważniejszych wynalazków technologii wiązki elektronowej XX w. Od kiedy pojawiły się pierwsze komercyjne urządzenia we wczesnych latach 60., konstrukcja skaningowego mikroskopu elektronowego zmieniała się nieustannie.

Szybko zauważono, że jest to coś więcej niż tylko mikroskop o dużej zdolności rozdzielczej ukazujący topografię powierzchni próbki. Pozwalał on dostarczyć o wiele więcej informacji, nie tylko na temat powierzchni, ale i wnętrza badanego preparatu (Khursheed, 2011; Barbacki, 2007). W niniejszym artykule badania skupione będą jednak jedynie na topografii powierzchni skrzydła motyla w kontekście kształcenia studentów kierunku inżynieria materiałowa.

Motyle to małe owady aktywne za dnia lub w nocy. Ich ciało zbudowane jest z głowy, tułowia, skrzydeł i odwłoku. Skrzydła są znacznie większe niż reszta ciała, szerokie i z wyraźnie zaokrąglonymi brzegami. Większość jest bardzo bogato ubarwiona, tworząc niepowtarzalne wzory o szerokiej gamie kolorów.

Skrzydło zbudowane jest z części dolnej i górnej składających się z łusek o wielkości rzędu 100  $\mu\text{m}$ , na których powierzchni znajdują się nanoszczeliny o szerokości odpowiadającej długościom barw światła widzialnego.

### **Sprzęt badawczy**

Badania zostały wykonane na skaningowym mikroskopie elektronowym TESCAN VEGA3, wszechstronnym urządzeniu wykorzystującym termiczną emisję elektronów z włókna wolframowego. Umożliwia on pracę zarówno w wysokiej, jak i niskiej próżni. Wyposażony jest w nowoczesną optykę elektronową opartą na unikalnej konstrukcji z czterema soczewkami Wide Field Optics™ (<https://www.tescan.com/en-us/technology/sem/vega3>).

### **Przebieg wykonanego badania**

W badaniach wykorzystano skrzydło motyla (rusalka pawik, *Aglaisio*) o zróżnicowanym zabarwieniu. W celu poprawienia przewodności powierzchni próbki na skrzydło naniesiona została warstwa węgla metodą ewaporacji włókna węglowego, która spowodowała poprawę odprowadzania elektronów z obserwowanego obszaru, dzięki czemu znacznie poprawiła się jakość zdjęć otrzymanych metodą skaningowej mikroskopii elektronowej (rys. 1).

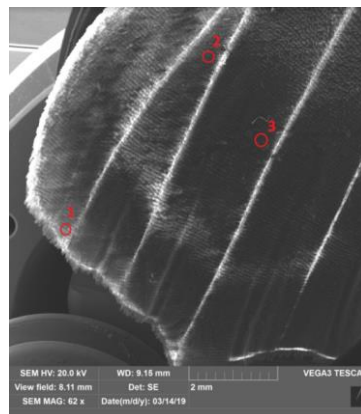
Badania zostały wykonane na mikroskopie TESCAN VEGA3, który pozwolił także na zwymiarowanie interesujących nas struktur. Z wykonanych pomiarów uzyskano średnie arytmetyczne wymiarów struktury dla każdego z obszarów (rys. 2). Dla obszaru „1” średnia wyniosła: 589 nm, „2”: 490 nm, „3”: 526 nm. W trakcie badań zauważono współzależność rozmiarów mikroszczelin i długości fal odpowiednich barw światła widzialnego. W ten sposób obserwujemy interferencję światła o określonej długości fali, którą można przyporządkować do barwy badanego obszaru skrzydła. Interferencję nazywamy zjawisko wzmocnienia danej długości fali, która w tym przypadku zachodzi przy wpadaniu światła od struktury powierzchniowej płatków skrzydła motyla. Pozostałe długości fali są natomiast wygaszane. Niektóre kolory na skrzydle pochodzą z pigmentów na łuskach motyli (np. brąz, żółć, pomarańcz czy czerwień), nato-

miast kolory metalicznie mieniące się (np. niebieski, fioletowy) powstają w wyniku załamania i interferencji promieni światła na powierzchni łusek (Vukusic, Sambles, Lawrence, Wootton, 1999).



**Rysunek 1. Badany fragment skrzydła motyla po naniesieniu warstwy węgla**

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 2. Zdjęcie fragmentu skrzydła w mikroskopie SEM wraz z opisanymi miejscami wykonania zdjęć i pomiarów („1”, „2” oraz „3”)**

Na rysunku 1 przedstawiono badany fragment skrzydła motyla osadzony na specjalnym stoliku do preparacji próbek. Na skrzydle można zaobserwować kolory (od dołu): brązowy, jasnobrązowy, czarny, niebiesko-fioletowy, żółty, biały i brunatny.

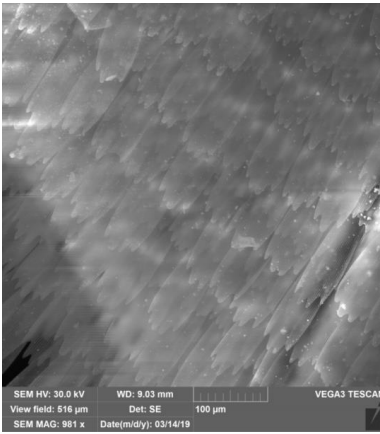
Rysunek 2 został wykonany techniką mikroskopii elektronowej SEM, następnie na zdjęciu tym zaznaczono miejsca kolejnych powiększeń.



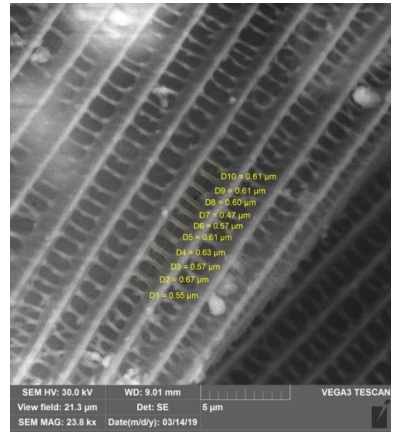
**Rysunek 3. Zdjęcie fragmentu skrzydła w mikroskopie SEM wraz z opisanymi miejscami wykonania badania nałożone na zdjęcie skrzydła w celu zlokalizowania badanych obszarów**

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 3 naniesiono obraz z mikroskopu SEM na zdjęcie, dzięki czemu można określić kolory, jakie występują w miejscach kolejnych przybliżeń (rys. 5–7).

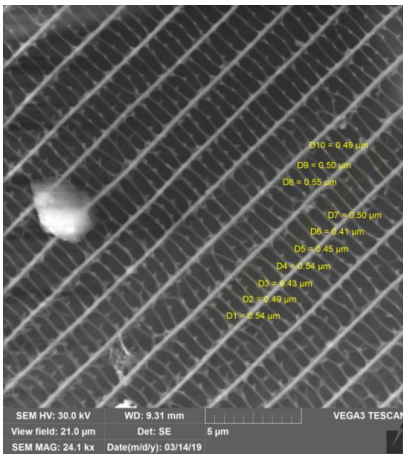


**Rysunek 4.** Zdjęcie fragmentu skrzydła w mikroskopie SEM z obszaru „1” w powiększeniu. Na zdjęciu widoczne są płytki skrzydła, w których zlokalizowane są struktury mikrometryczne odpowiadające za interferencję światła

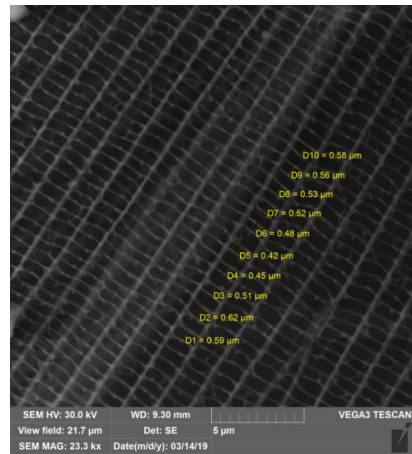


**Rysunek 5.** Zdjęcie fragmentu skrzydła w mikroskopie SEM w powiększeniu z obszaru „1” wraz ze zwymiarowanymi szerokościami otworów w strukturze o średniej wartości 589 nm.

Źródło: opracowanie własne.



**Rysunek 6.** Zdjęcie fragmentu skrzydła w mikroskopie SEM w powiększeniu z obszaru „2” wraz ze zwymiarowanymi szerokościami otworów w strukturze o średniej wartości 490 µm



**Rysunek 7.** Zdjęcie fragmentu skrzydła w mikroskopie SEM w powiększeniu z obszaru „3” wraz ze zwymiarowanymi szerokościami otworów w strukturze o średniej wartości 526 µm

Źródło: opracowanie własne.

Przy 981-krotnym powiększeniu możemy zobaczyć płatki o szerokości około 50  $\mu\text{m}$ . Natomiast powiększenie 23–24 tys. razy daje nam możliwość zaobserwowania szczelin tworzących siatkę dyfrakcyjną, które są elementem niniejszych badań. Na rysunku 5, który przedstawia pierwszy badany obszar, jesteśmy w stanie zobaczyć otwory o szerokości podobnej do długości fali światła o barwie żółtej/pomarańczowej (Halliday, Resnick, Walker, 2014).

Struktury w obszarze „2” zostały zwymiarowane na rysunku 6. Długość 490  $\mu\text{m}$  odpowiada barwie niebieskiej, natomiast 526  $\mu\text{m}$  z obszaru „3” (rys. 7) – barwie zielono-żółtej (Halliday i in., 2014).

## Podsumowanie

W przeprowadzonych badaniach przy użyciu mikroskopu SEM można przedstawić zalety i wady skaningowej mikroskopii elektronowej zastosowaniu do obserwacji świata naturalnego i praw fizyki w otaczającej nas rzeczywistości. Umiejętności nabyte w trakcie przeprowadzonych badań pozwalają na wykonanie podobnych dociekań w odniesieniu do wielu innych typów struktur powierzchniowych.

## Literatura

- Barbacki, A. (2007). *Mikroskopia elektronowa*. Poznań: Wyd. PP.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2014). *Podstawy fizyki*. T. 2. Warszawa: Wyd. Naukowe PWN.
- <http://apollo.natura2000.pl/motyle.php?dzial=2&kat=10> (26.03.2019).
- <https://www.tescan.com/en-us/technology/sem/vega3> (27.03.2019).
- Khursheed, A. (2011). *Scanning Electron Microscope Optics and Spectrometers*. World Scientific.
- Vukusic, P., Sambles, J.R., Lawrence, C.R., Wootton, R.J. (1999). Quantified Interference and Diffraction in Single Morpho Butterfly Scales. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1427), 1403–1411. DOI: 10.1098/rspb.1999.0794.