INTiBSPAN

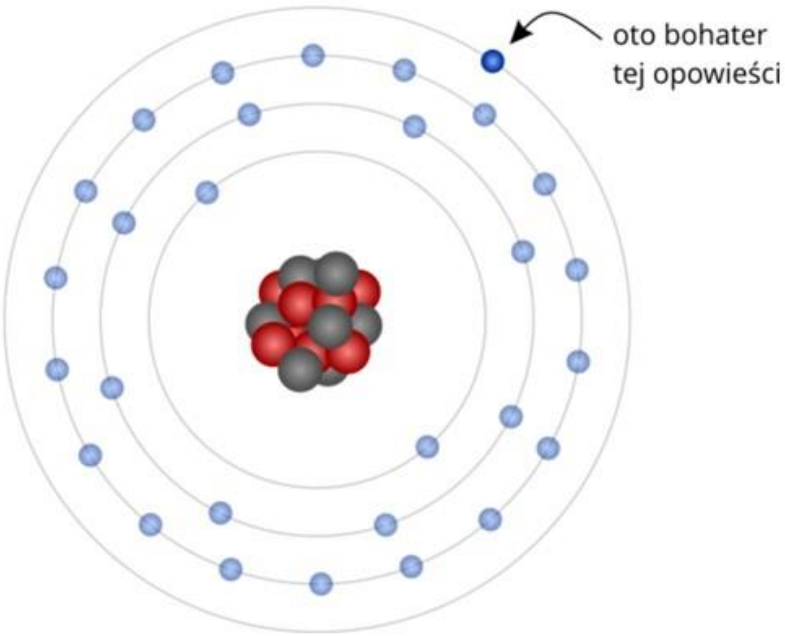
OChNiK
INTiBS PAN

Skaningowa Mikroskopia Elektronowa

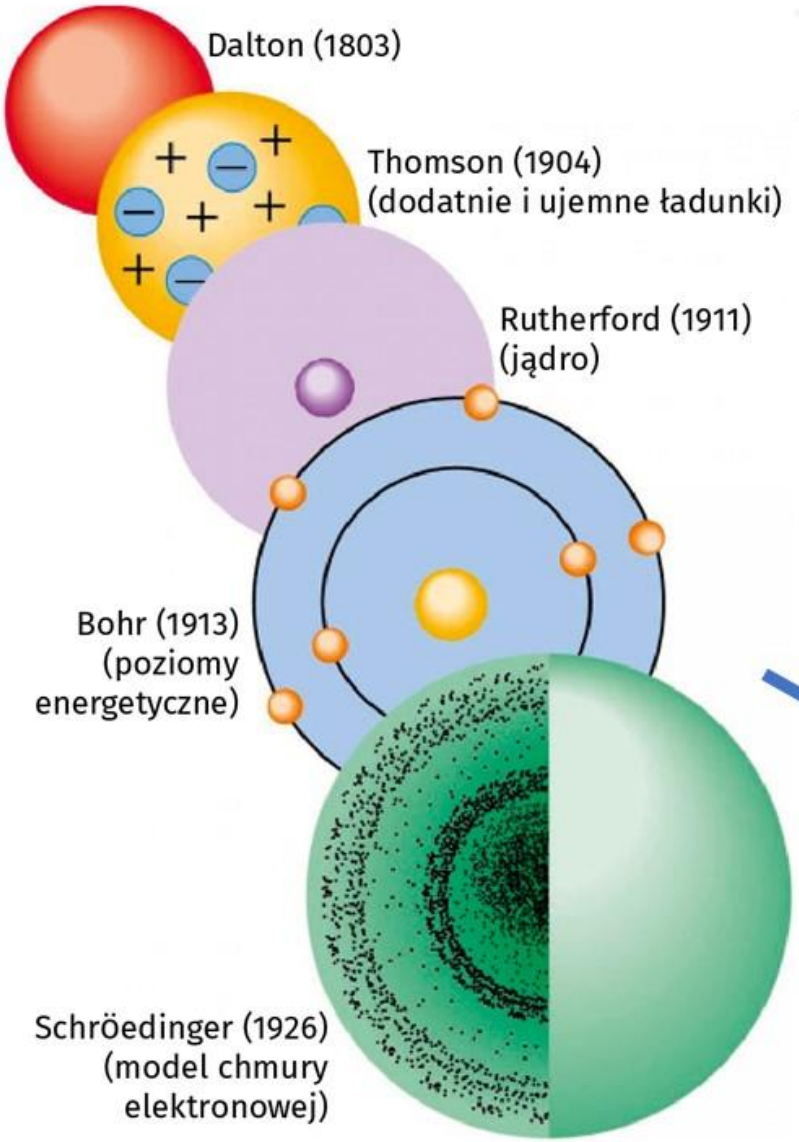
Mały-wielki elektron

W trakcie wykładu uczestnicy dowiedzą się: Co to jest elektron i jaką ma naturę? Czy elektrony mogą nam pomóc w eksploracji fascynującego nano-świata? Jak zobaczyć nanocząstkę i dlaczego mały, ale wielki możliwościami elektron, nam na to pozwala. Jak wygląda mikroskop elektronowy i co możemy dzięki niemu zobaczyć? Uczestnicy zagłębią się w fascynujący, nieznany nano-świat, który jest zupełnie różny od makro-świata, w którym żyjemy.

Mały-wielki elektron



Małgorzata Małecka



Teoria atomistyczna
Dalton nawiązał do starożytnej, greckiej idei atomów. Jego teoria głosiła, że atomy są niepodzielne. Atomy danego pierwiastka są identyczne a związki chemiczne są połączeniami różnych atomów

Potwierdził, że atomy różnych pierwiastków są różne

Atom nie jest niepodzielny

Model „ciastka z rodzynkami"
Thomson odkrył elektron. Stworzył model „ciastka z rodzynkami". Przedstawił atom jako elektrony rozproszone wewnątrz kulistej chmury ładunku dodatniego.

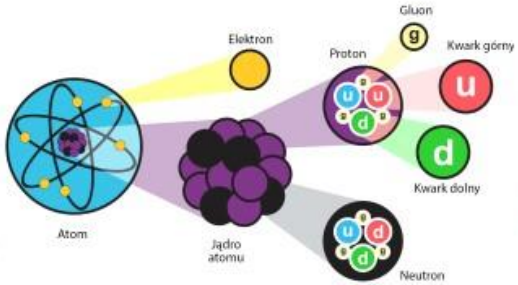
Odkrył elektron i uznał go jako składnik atomu

W jego teorii brakuje jądra i nieodkrytego jeszcze neutronu

Model jądrowy
Rutherford odkrył, że atom to głównie pusta przestrzeń z dodatnio naładowanym jądrem skoncentrowanym w samym środku.

Jądra atomowe znajdujące się w centrum atomu jest naładowane dodatnio

Nie wyjaśnił dlaczego ani jak elektrony krążą wokół jądra



Model planetarny
Bohr zmodyfikował model atomu Rutherforda, stwierdzając, że elektrony poruszają się wokół jądra po orbitach o ustalonych rozmiarach i energiach

Zaproponował występowanie stałych powłok elektronowych obsadzonych elektronami

Zaproponowany model nie sprawdzał się dla ciężkich atomów i nie tłumaczył dlaczego elektrony nie emitują energii podczas ruchu

Model kwantowy
Schrodinger stwierdził, że elektrony nie poruszają się po ustalonych ścieżkach. Zaproponował falowe ujęcie elektronu. Stwierdził, że nie jest możliwe określenie dokładnej lokalizacji elektronu, można określić jedynie prawdopodobieństwo występowania elektronu w danym miejscu w przestrzeni

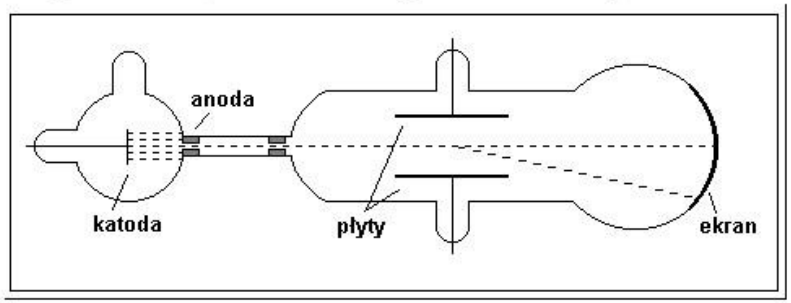
Zauważył, że elektron nie porusza się jedynie po sztywnej orbicie, ale można określić jego położenie jedynie za pomocą prawdopodobieństwa

WSPÓŁCZEŚNIE uznawany model

Rozwój modeli budowy atomu

Odkrycie elektronu

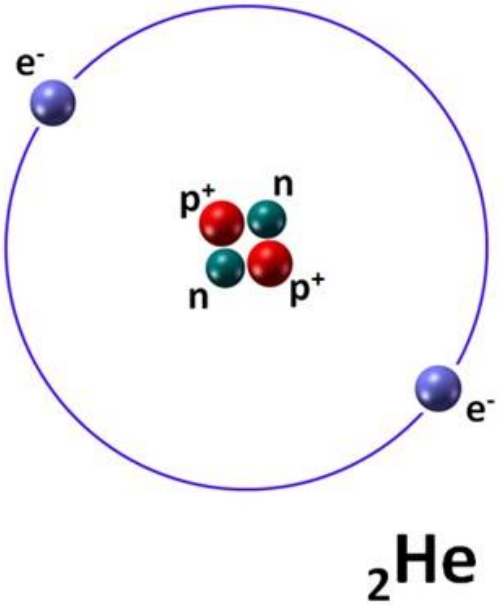
Joseph John Thomson, znany także jako J.J. Thomson – angielski fizyk. W 1906 r. otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki „w uznaniu zasług za teoretyczne i eksperymentalne badania nad przewodnictwem elektrycznym gazów”, które doprowadziły do odkrycia elektronu.



Pod koniec XIX wieku lekarz J.J. Thomson rozpoczął eksperymenty z kineskopami. Są to zamknięte szklane rurki, z których większość powietrza została usunięta. Do dwóch elektrodach na jednym końcu rurki przykłada się wysokie napięcie, które powoduje przepływ cząstek z katody (ujemnie naładowana elektroda) do anody (dodatnio naładowana elektroda). Promieniowanie można wykryć poprzez zastosowanie materiału znanego jako luminofor na dalekim końcu rurki, za anodą. Luminofor świeci się, lub emituje światło, pod wpływem promieniowania katodowego.

Promieniowanie pochodzi z katody i przechodzi przez szczelinę anodową. Wiązka promieniowania katodowego odchyla się od ujemnie naładowanej płyty w kierunku płyty naładowanej dodatnio.

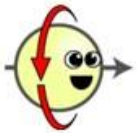
Elektron, ē - trwała cząstka elementarna (lepton), jeden z elementów atomu. Wydają się one być cząstkami bez jakiejkolwiek wewnętrznej struktury.



Elektron - matematyczny punkt!, ale uwaga - z masą, spinem i ładunkiem.

Promień elektronu = ~1 attometr = 10^{-18}m

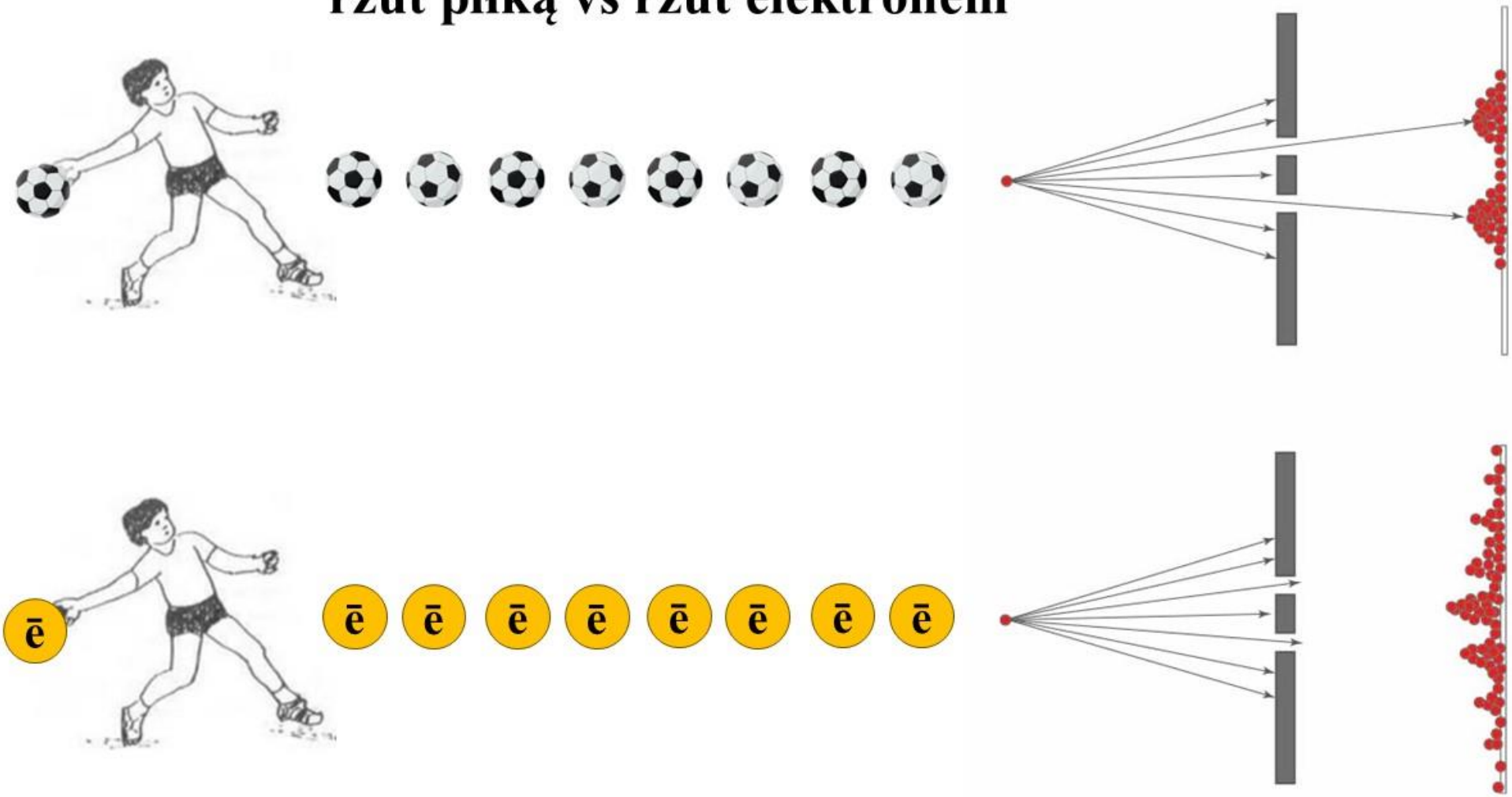
Masa elektronu = ~ $9{,}11\times10^{-31}$ kg



Spin elektronu = ½ ħ

Ładunek elektronu = ~ $-1{,}6\times10^{-19}$ C

rzut piłką vs rzut elektronem

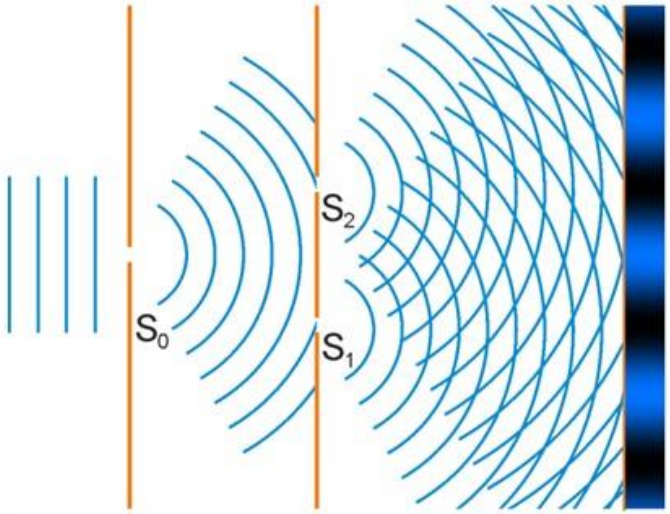


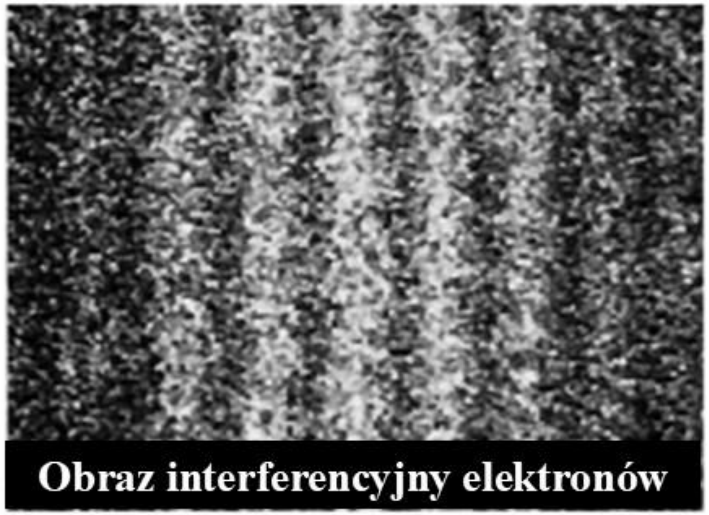
Falowa natura:
• Dyfrakcja
• Interferencja

Thomasa Younga zainspirowały obserwacje fal na wodzie pochodzących z dwóch różnych źródeł – ich wzajemne wzmacnianie się i osłabianie.

Doświadczenie Younga – eksperyment polegający na przepuszczeniu światła spójnego przez dwie blisko siebie położone szczeliny i obserwacji obrazu powstającego na ekranie.

Wskutek interferencji na ekranie powstają jasne i ciemne prążki w obszarach, w których światło jest wygaszane lub wzmacniane.



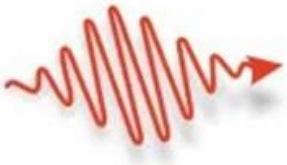


elektron

cząstka

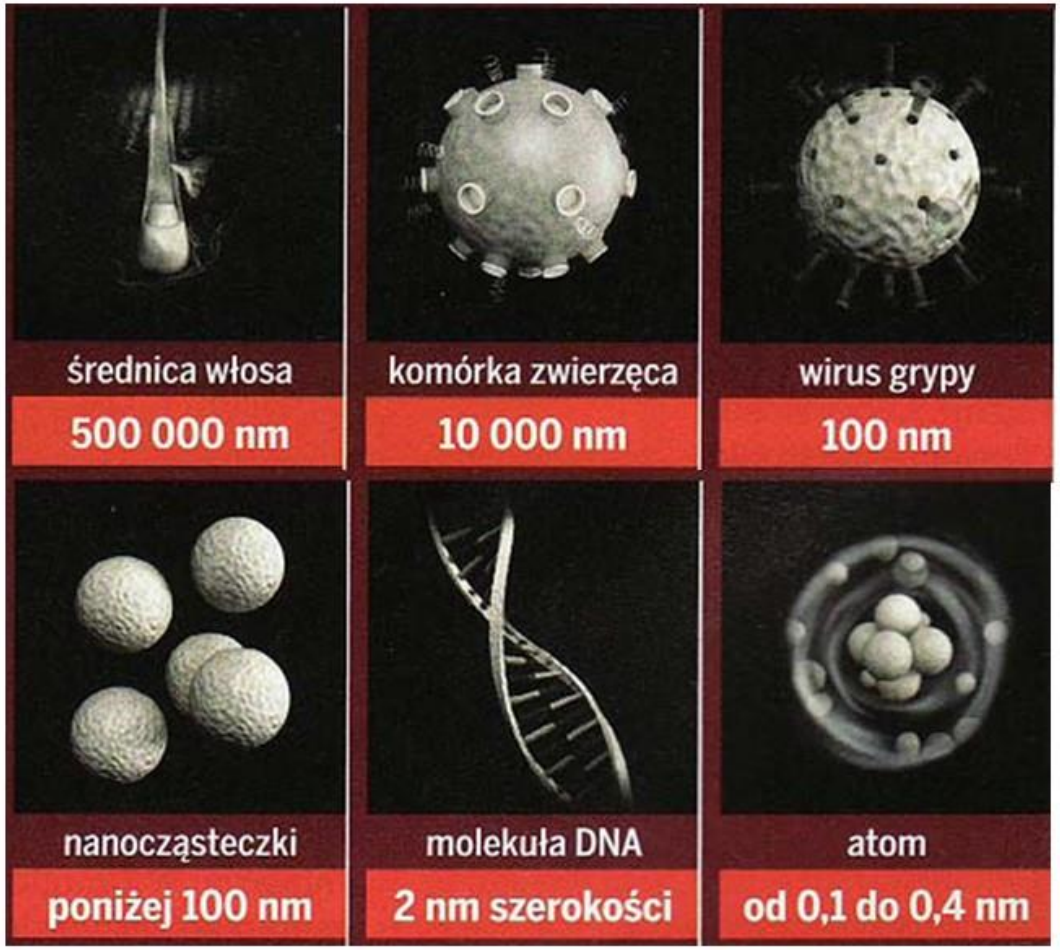
$E=mc^2$

fala

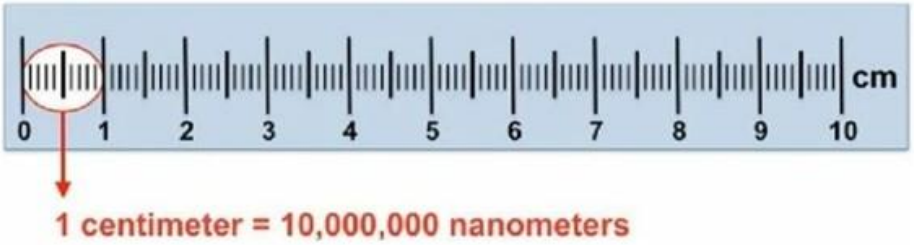


$E=hf$

Nanomateriały



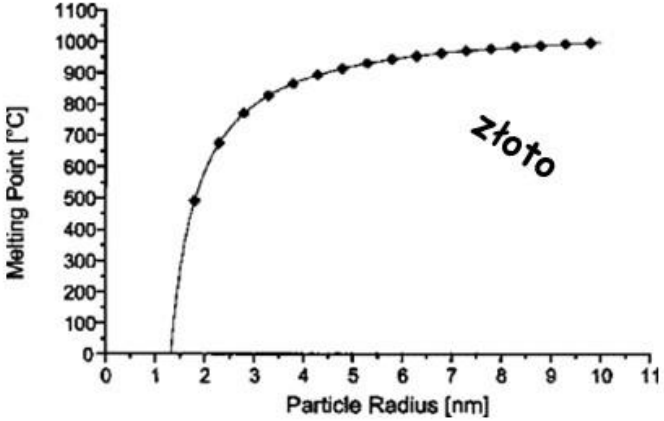
$1 nm = 10^{-9} m$

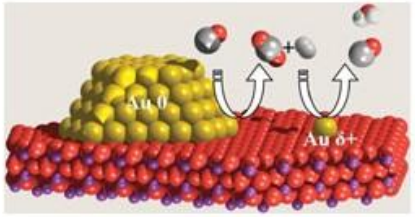


Nanocząsteczka to niewielka cząstka o wielkości od 1 do 100 nanometrów. Niewykrywalne przez ludzkie oko, nanocząsteczki mogą wykazywać znacznie inne właściwości fizyczne i chemiczne niż ich większe odpowiedniki materiałowe. Większość nanocząstek składa się tylko z kilkuset atomów.

Nanomateriały

Ilość warstw	Ilość atomów w zewnętrznej warstwie	Całkowita ilość atomów	Atomy powierzchniowe (%)
1	12	13	92
2	42	55	76
3	92	147	63
4	162	309	52
5	252	561	45
7	492	1415	35





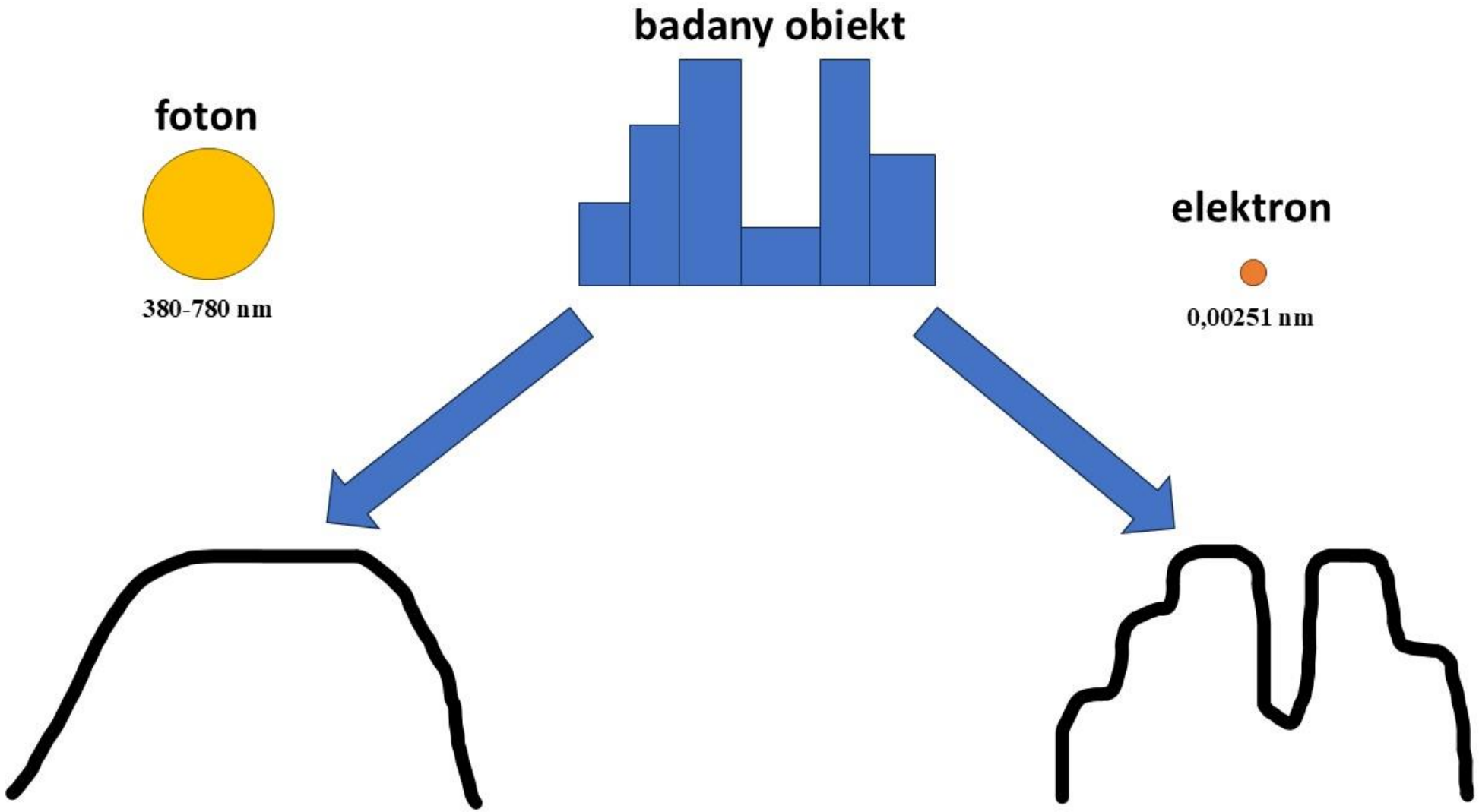
vs

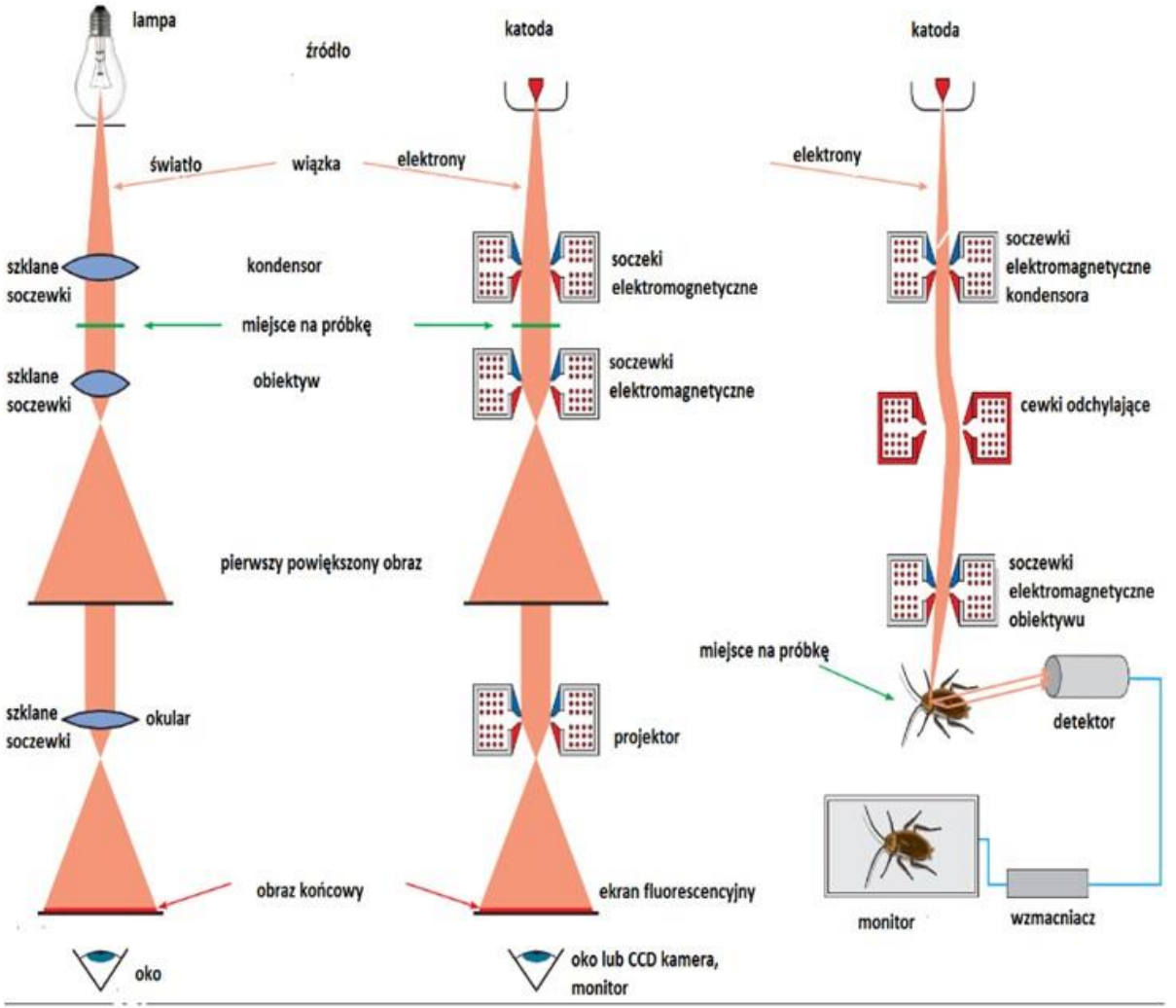
Jak zobaczyć nanocząstkę?

mikroskop

narzędzie	rozdzielczość
oko ludzkie	~0,02 mm
mikroskop świetlny	~200 nm
skaningowy mikroskop elektronowy	~1 nm
transmisyjny mikroskop elektronowy	~0.1 nm

napięcie przyśpieszające [kV]	długość fali [nm]
100	0,00370
200	0,00251
400	0,00164
światło widzialne	380-780

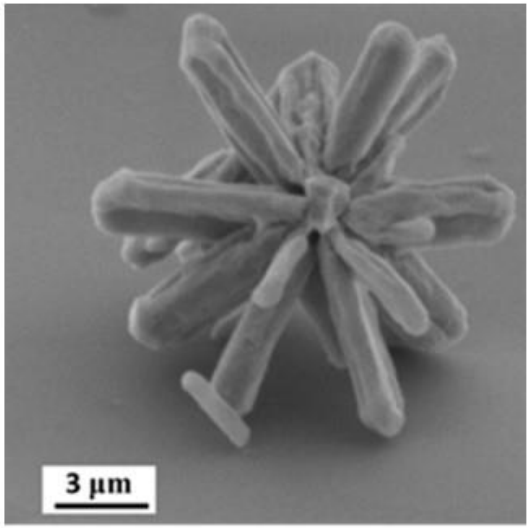

badany obiekt
foton
380-780 nm
elektron
0,00251 nm



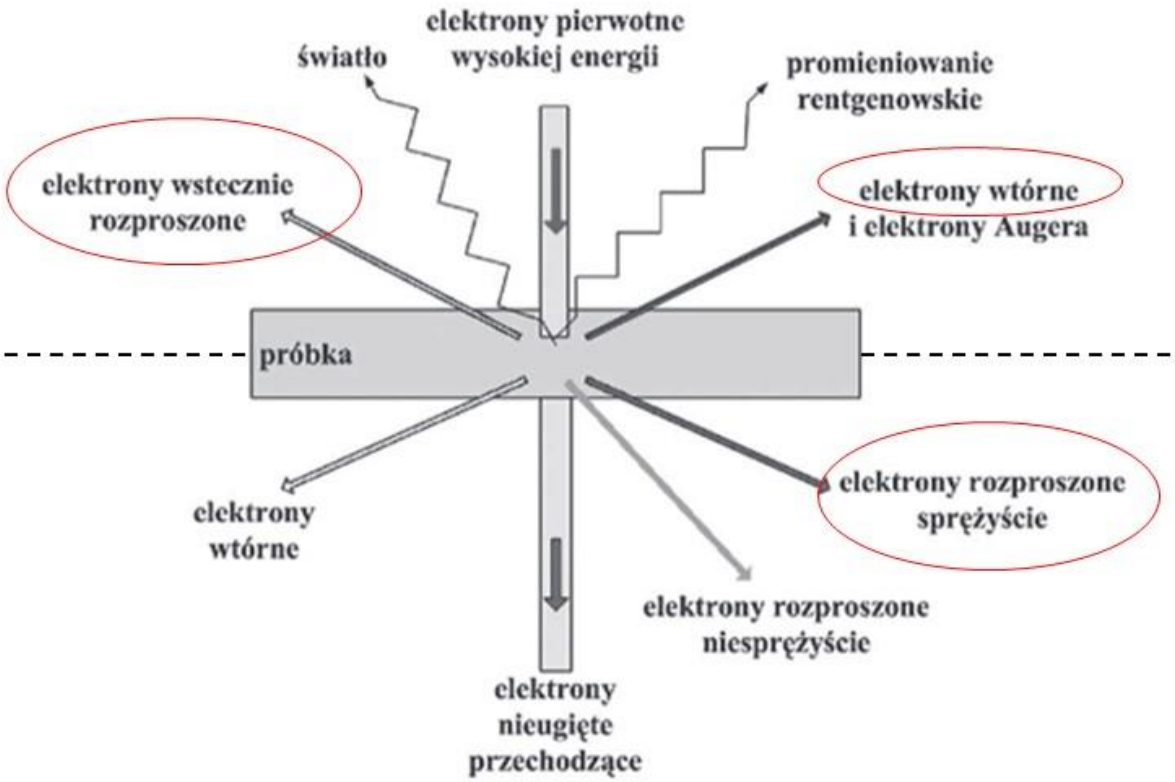
Ogólna idea budowy mikroskopu elektronowego jest oparta na mikroskopie optycznym.

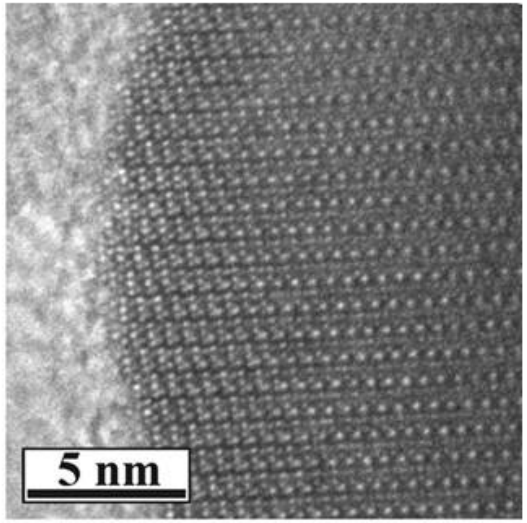
- Zamiast żarówki mamy działo elektronowe.
- Konieczna jest wysoka próżnia.
- Soczewki w mikroskopie elektronowym są elektromagnetyczne a nie szklane.
- Obraz w mikroskopie TEM powstaje na ekranie fluorescencyjnym, kliszy lub matrycy CCD.
- W przypadku mikroskopu SEM stosuje się specjalne detektory.

W mikroskopie skaningowym wiązką elektronów skanuje powierzchnię przewodzącej próbki linia po linii, zaś transmisyjny bada elektrony, które przeszły przez specjalnie przygotowaną bardzo cienką próbkę.


3 µm

SEM

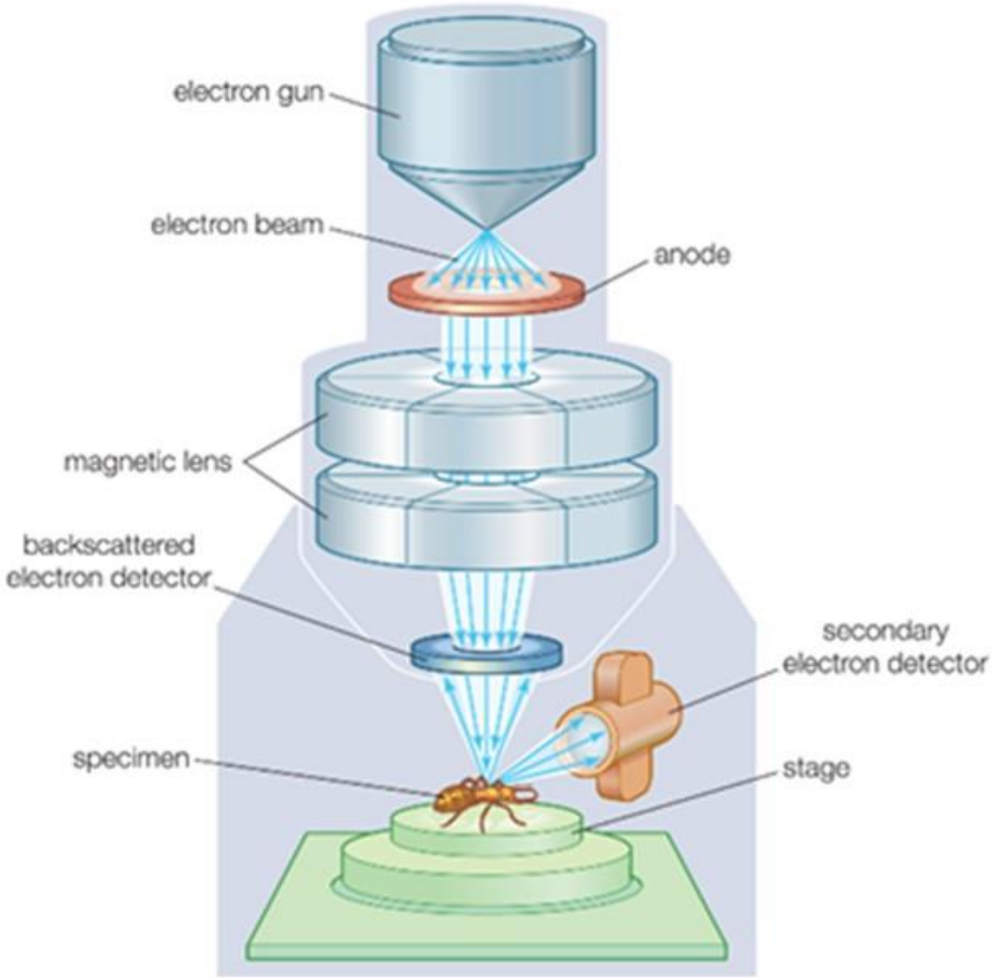

elektrony pierwotne
wysokiej energii
światło
promieniowanie
rentgenowskie
elektrony wstecznie
rozproszone
elektrony wtórne
i elektrony Augera
próbka
elektrony
wtórne
elektrony rozproszone
sprężyście
elektrony rozproszone
niesprężyście
elektrony
nieugięte
przechodzące


5 nm

TEM

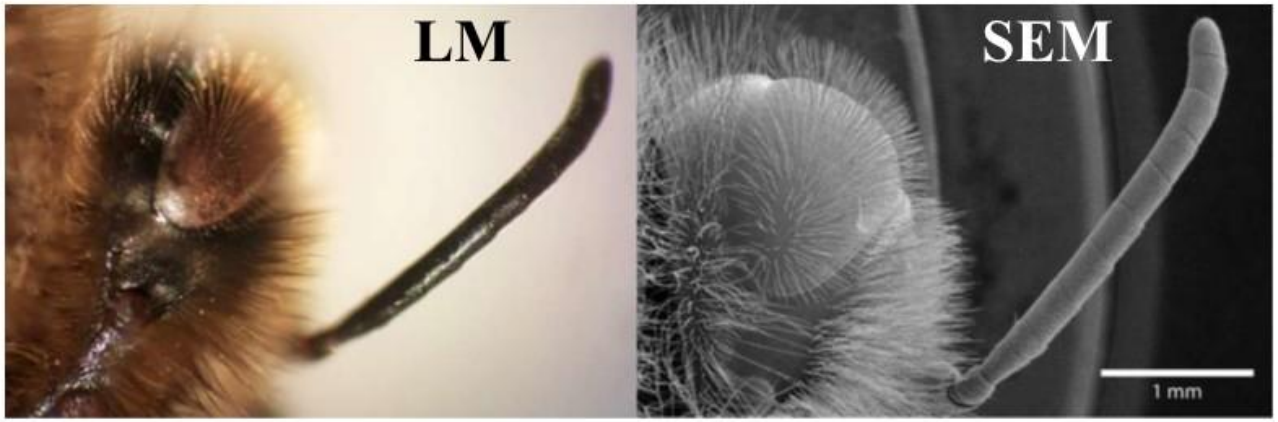
FEI NovaNanoSEM230

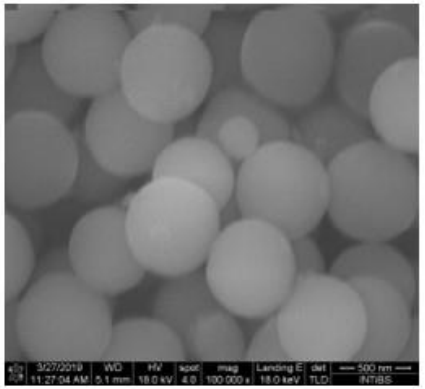
SEM

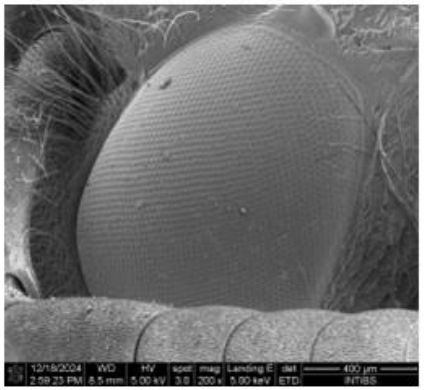


Obrazy SEM

Skaningowy mikroskop elektronowy (SEM) zapewnia przewagę nad mikroskopem świetlnym (LM) w trzech kluczowych obszarach: rozdzielczość przy dużym powiększeniu, głębia ostrości i mikroanaliza.

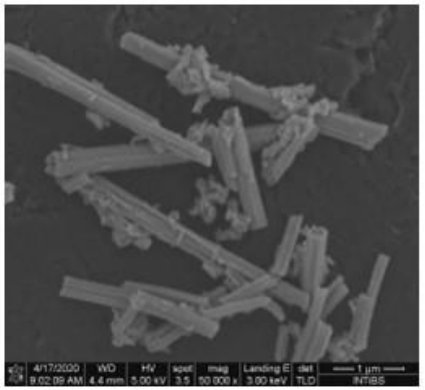




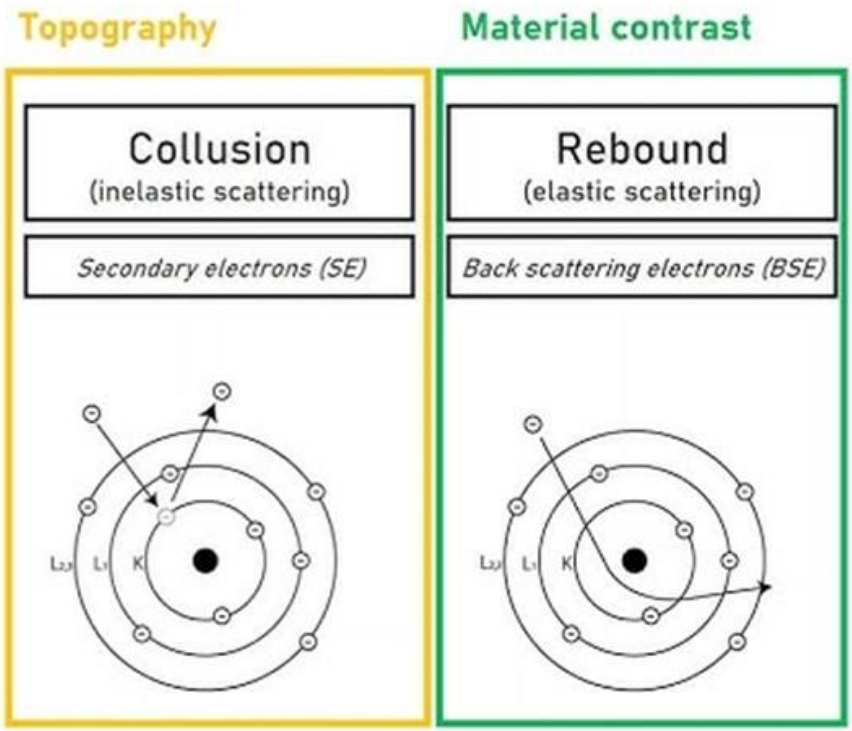


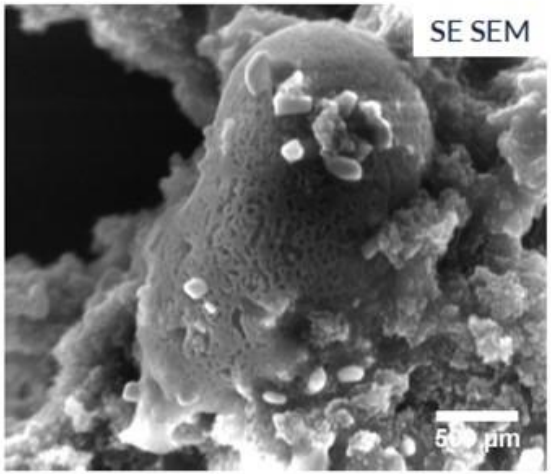
Próbki

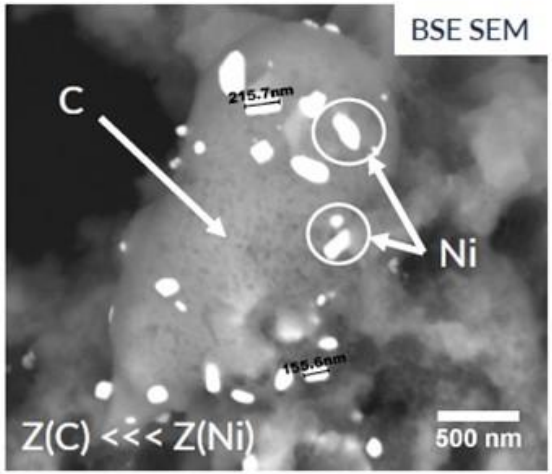
biologiczne **nieorganiczne**



topografia
vs
kontrast materiałowy







Elektrony wtórne (SE) są wynikiem nieelastycznych oddziaływań między wiązką elektronów a próbką. Elektrony wtórne są bardzo przydatne do badania topografii powierzchni próbki.

Elektrony rozproszone wstecznie (BSE) są wynikiem elastycznych zderzeń elektronów z atomami, które powodują zmianę trajektorii elektronów. Liczba elektronów rozproszonych wstecznie docierających do detektora jest proporcjonalna do ich liczby atomowej. Obrazy BSE zawierają informacje o składzie próbki.

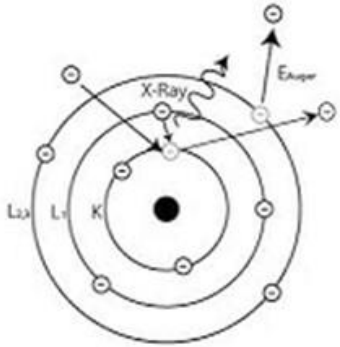
Spektroskopia dyspersji energii

–

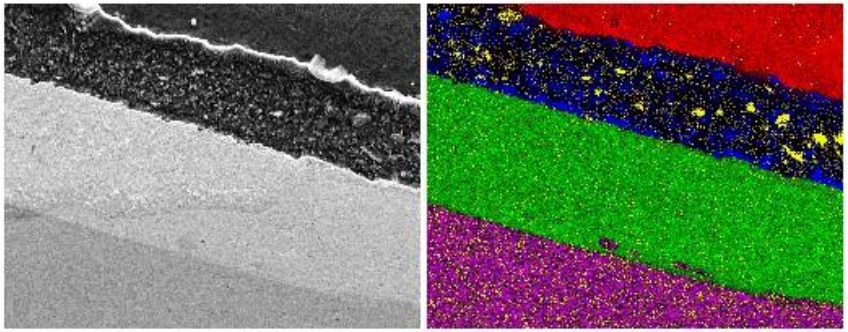
skład pierwiastkowy

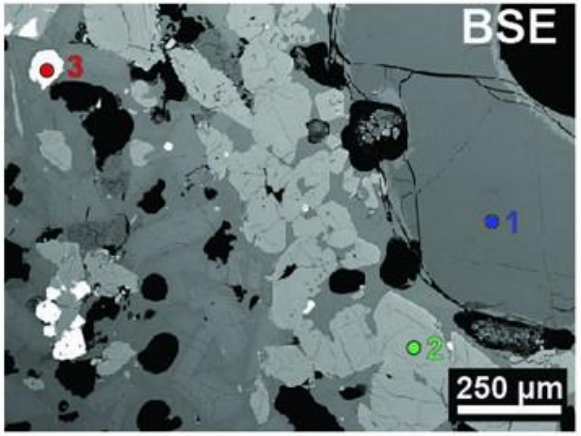
Replacement and emission

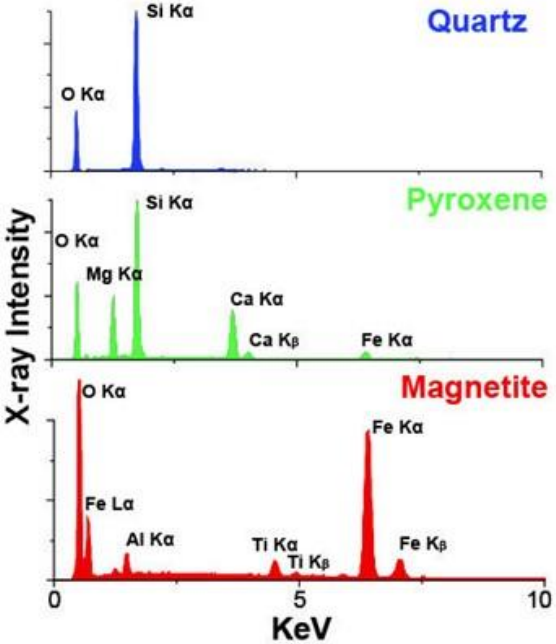
X-Ray



Mapy składu – Ca, Fe , Mg , Nb , Ni

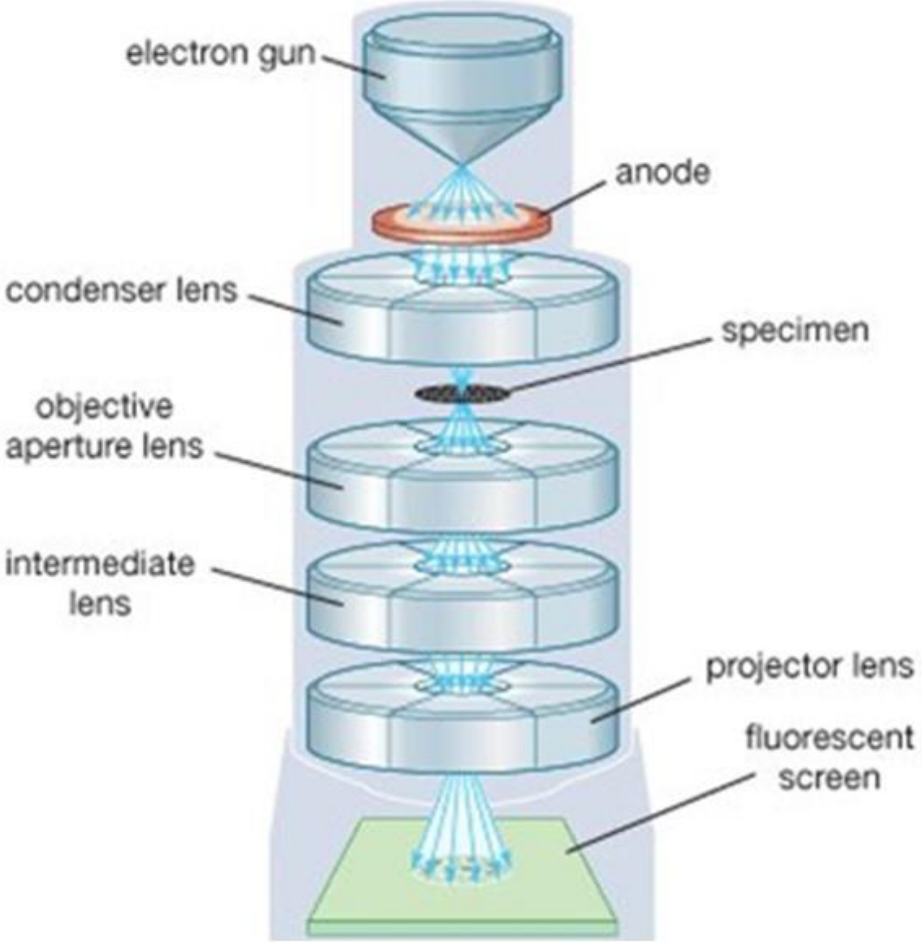




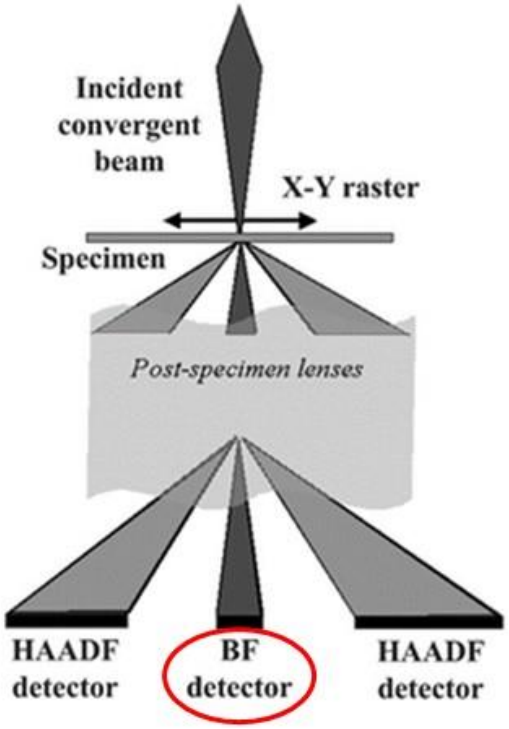


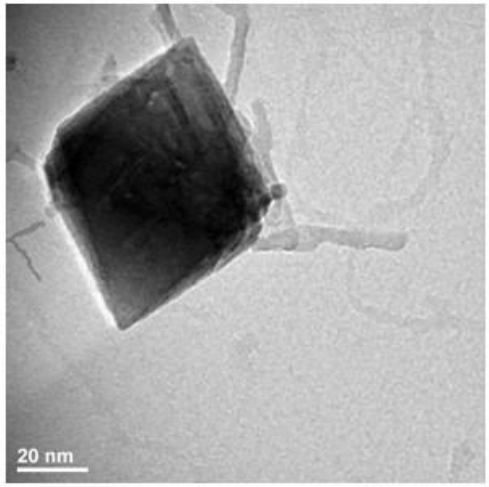
Philips CM20 SuperTwin

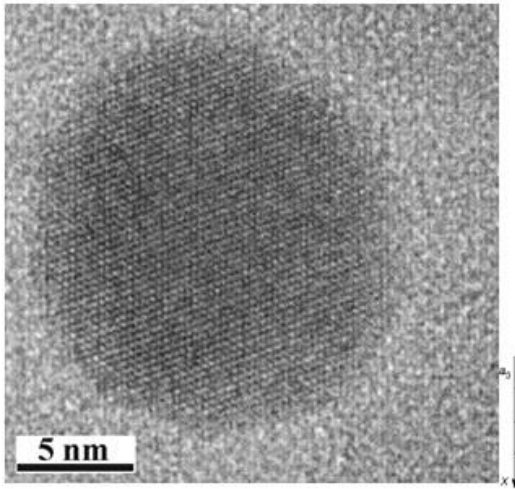
TEM

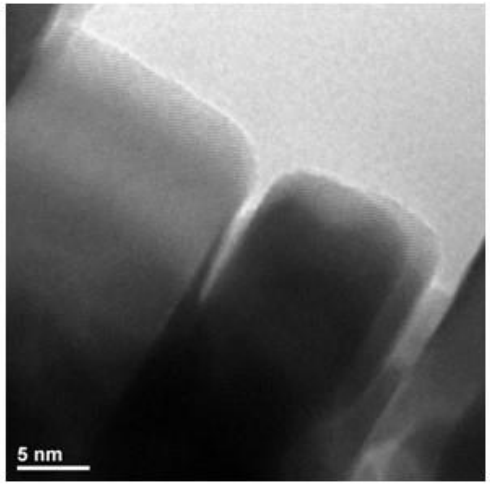


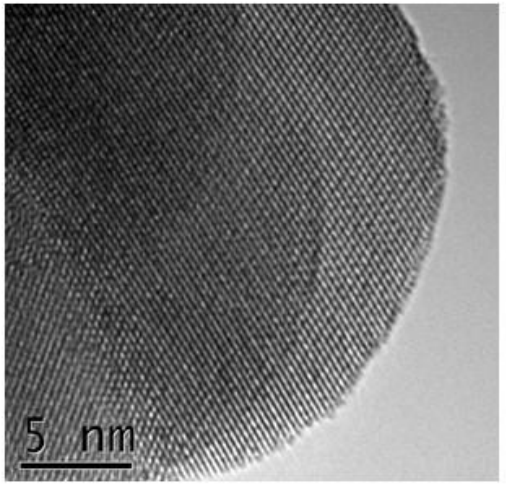
Obrazy mikroskopowe i wysokorozdzielcze jasne pole - BF

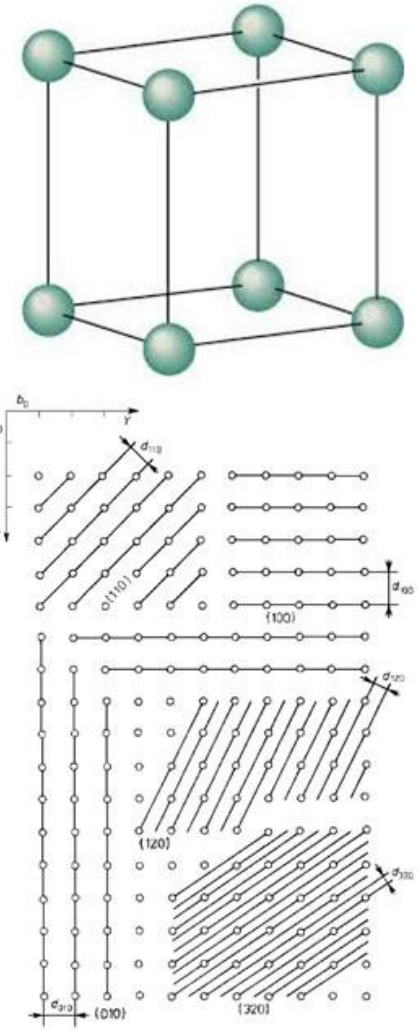




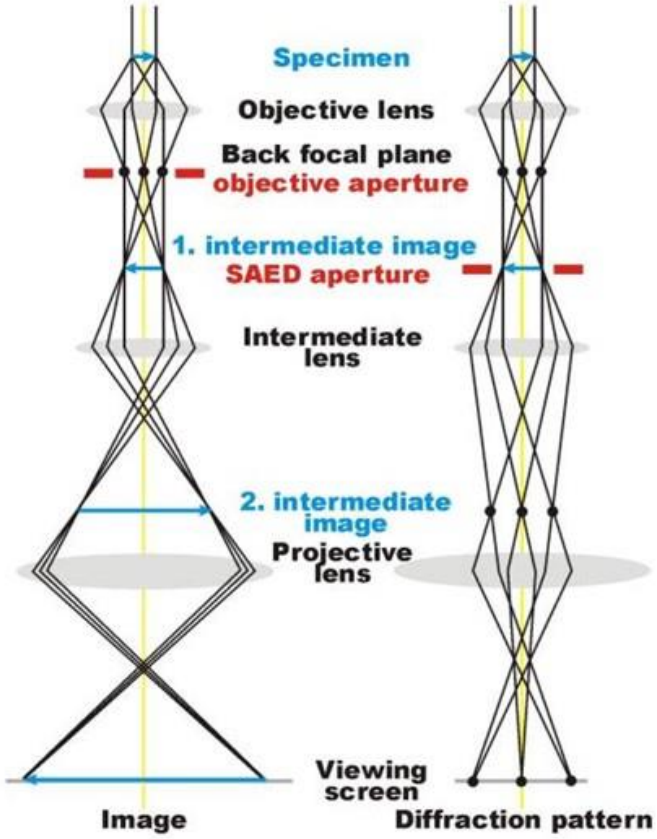




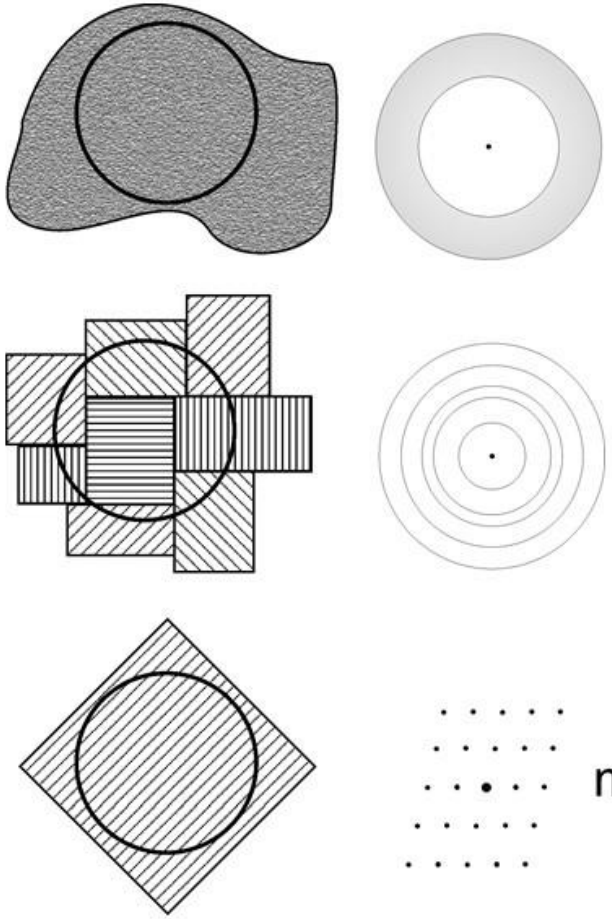




Obrazy dyfrakcyjne



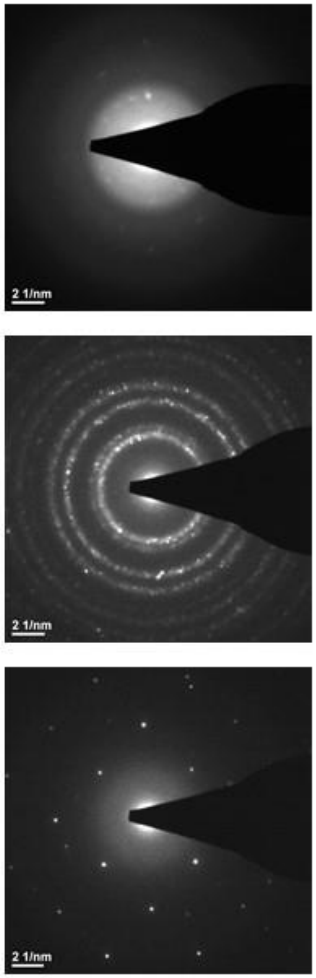
Przełączanie z trybu obrazu na tryb dyfrakcyjny jest bardzo łatwe i następuje poprzez zmianę natężenia soczewki pośredniej.



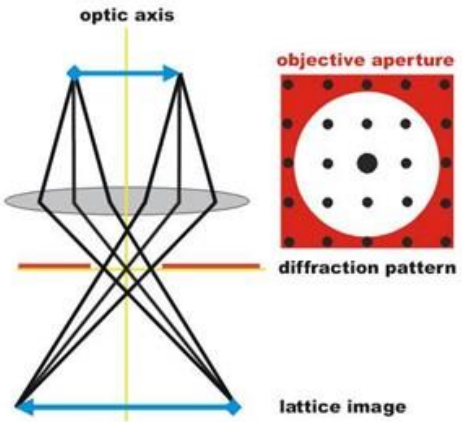
Próbka amorficzna

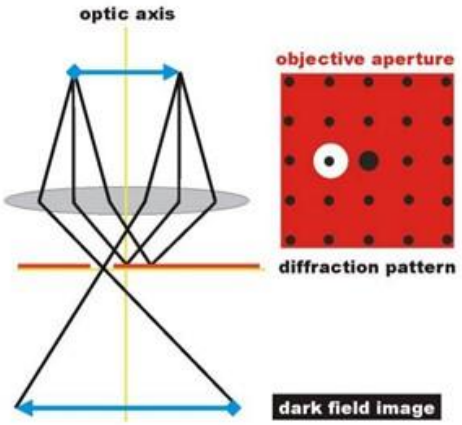
Próbka polikrystaliczna

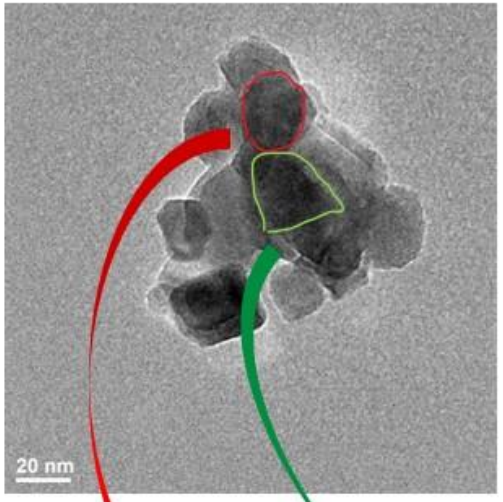
Próbka monokrystaliczna

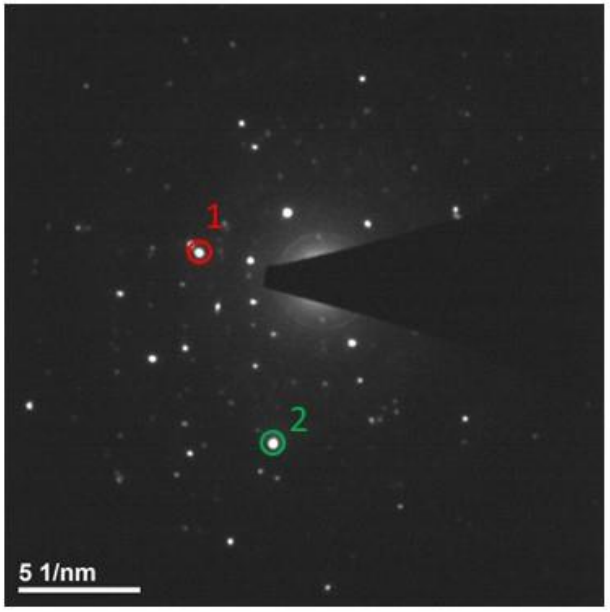


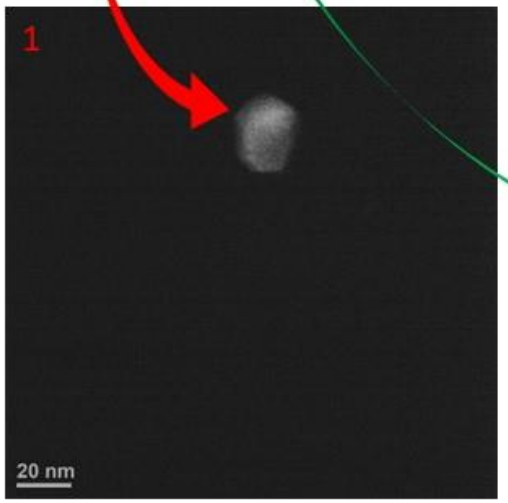
Obrazy mikroskopowe ciemne pole - DF

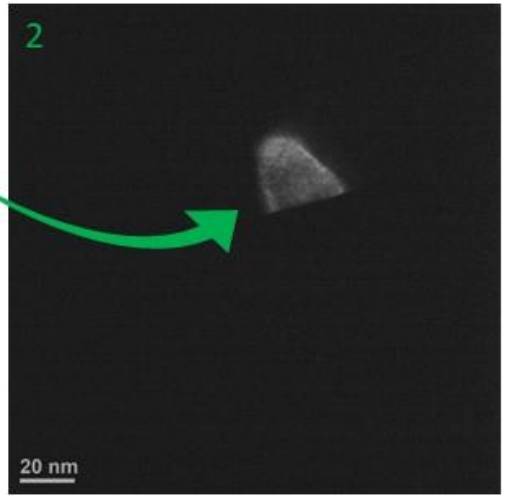






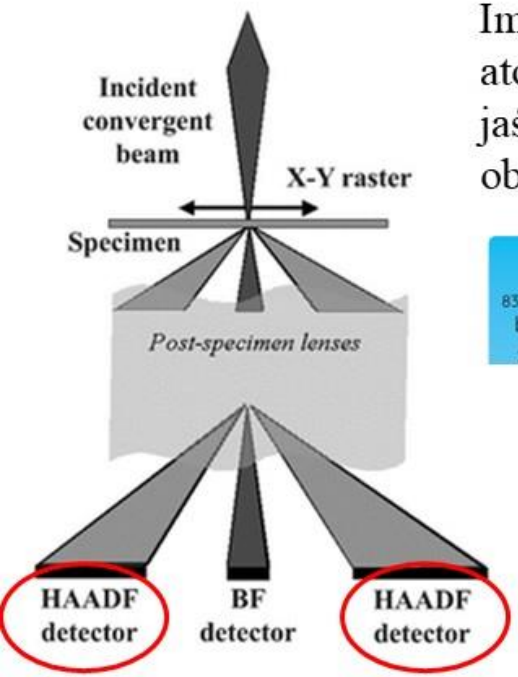




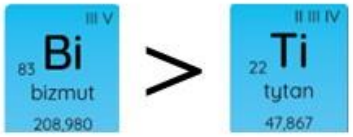


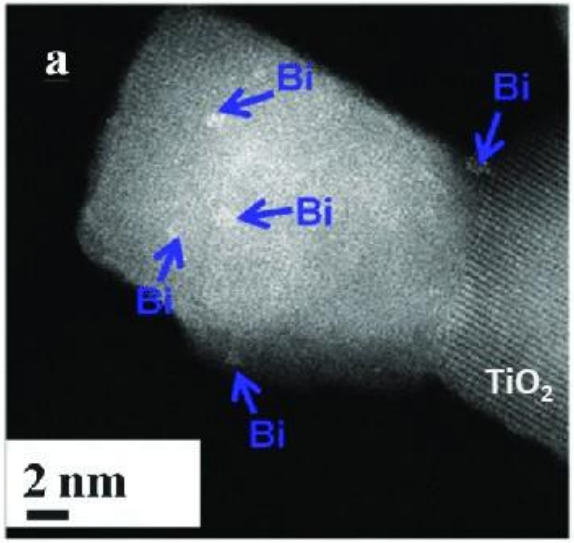
Obrazy mikroskopowe

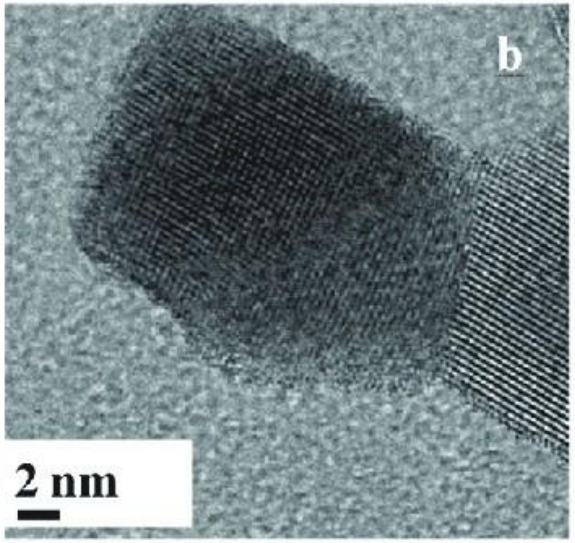
wysokokątowe pierścieniowe ciemne pole - HAADF



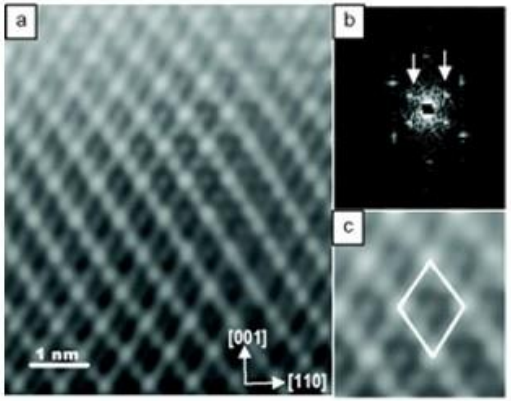
Im większa liczba atomowa „Z” tym jaśniejszy obiekt na obrazie.

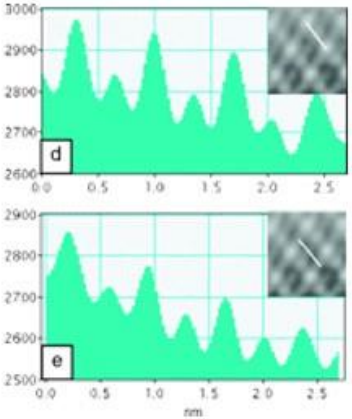


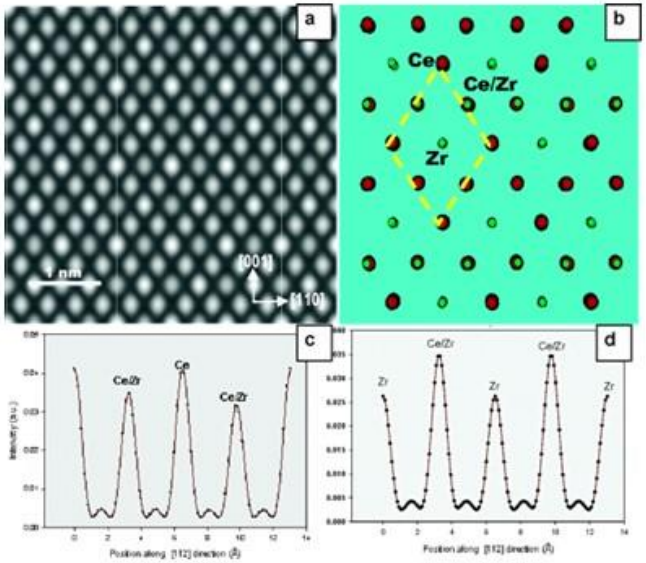




Kontrast ~ Z^2







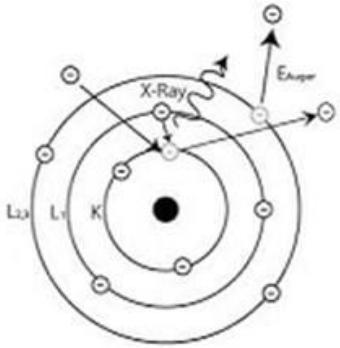
Spektroskopia dyspersji energii

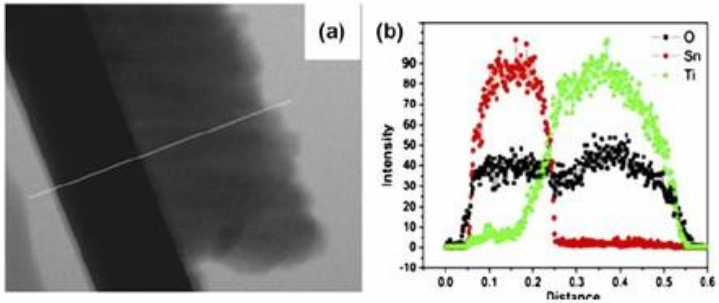
–

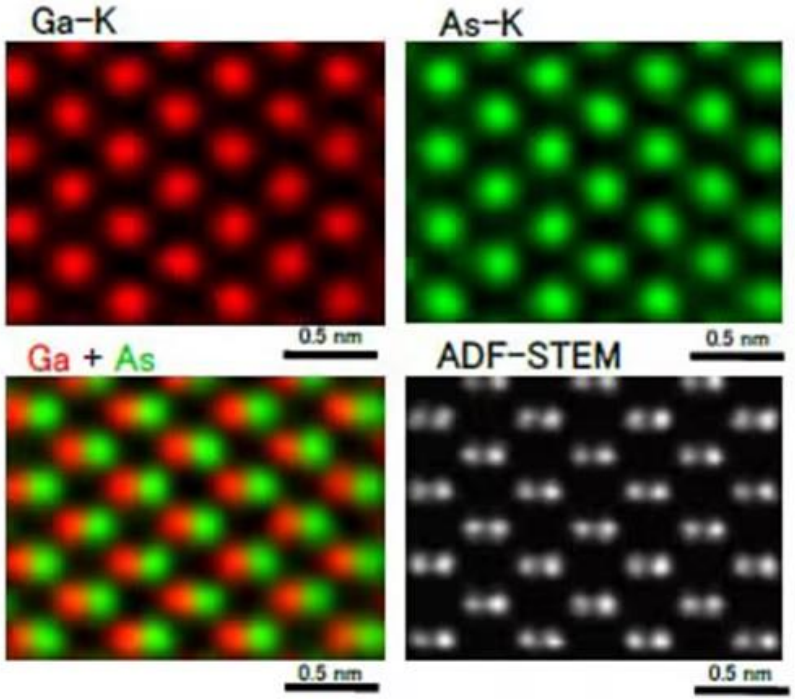
skład pierwiastkowy

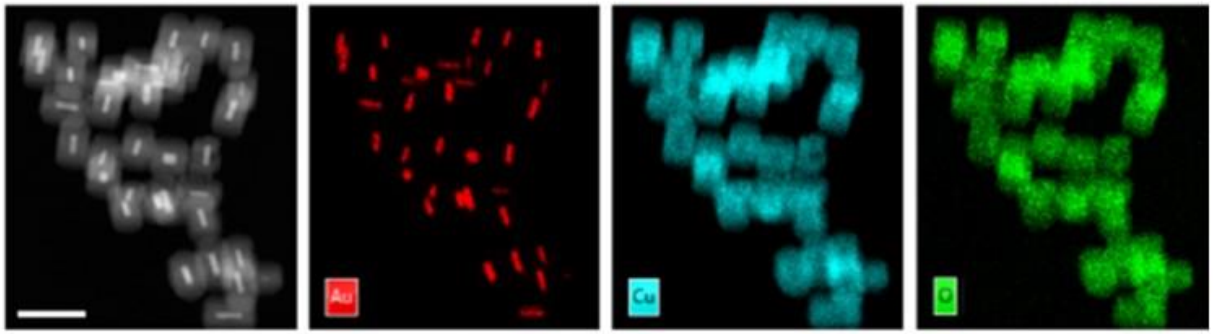
Replacement and emission

X-Ray









Dziękuję za uwagę

ODDZIAŁ
CHEMII
NANOMATERIAŁÓW
I KATALIZY
INTIBS PAN

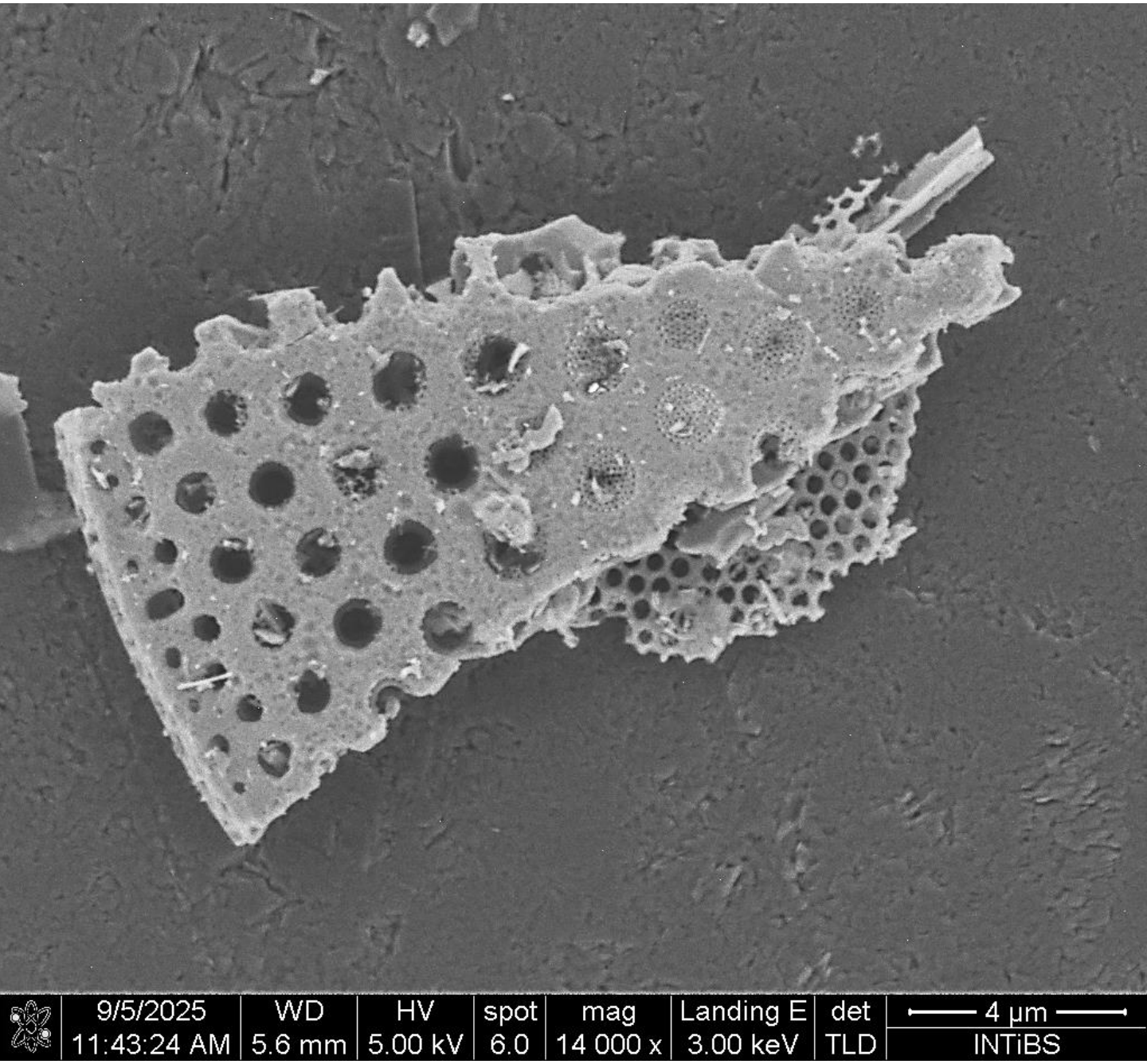
Pracownia Mikroskopii Elektronowej

Pracownia stanowi podstawowe zaplecze aparaturowe Oddziału w zakresie badań mikrostruktury materiałów. Szczególną rolę w badaniach układów silnie zdyspergowanych (w tym katalizatorów) odgrywa wysokorozdzielcza transmisyjna mikroskopia elektronowa, która dostarcza unikalnych informacji o morfologii, i strukturze krystalicznej cząstek o rozmiarach pojedynczych nanometrów.

Ziemia okrzemkowa

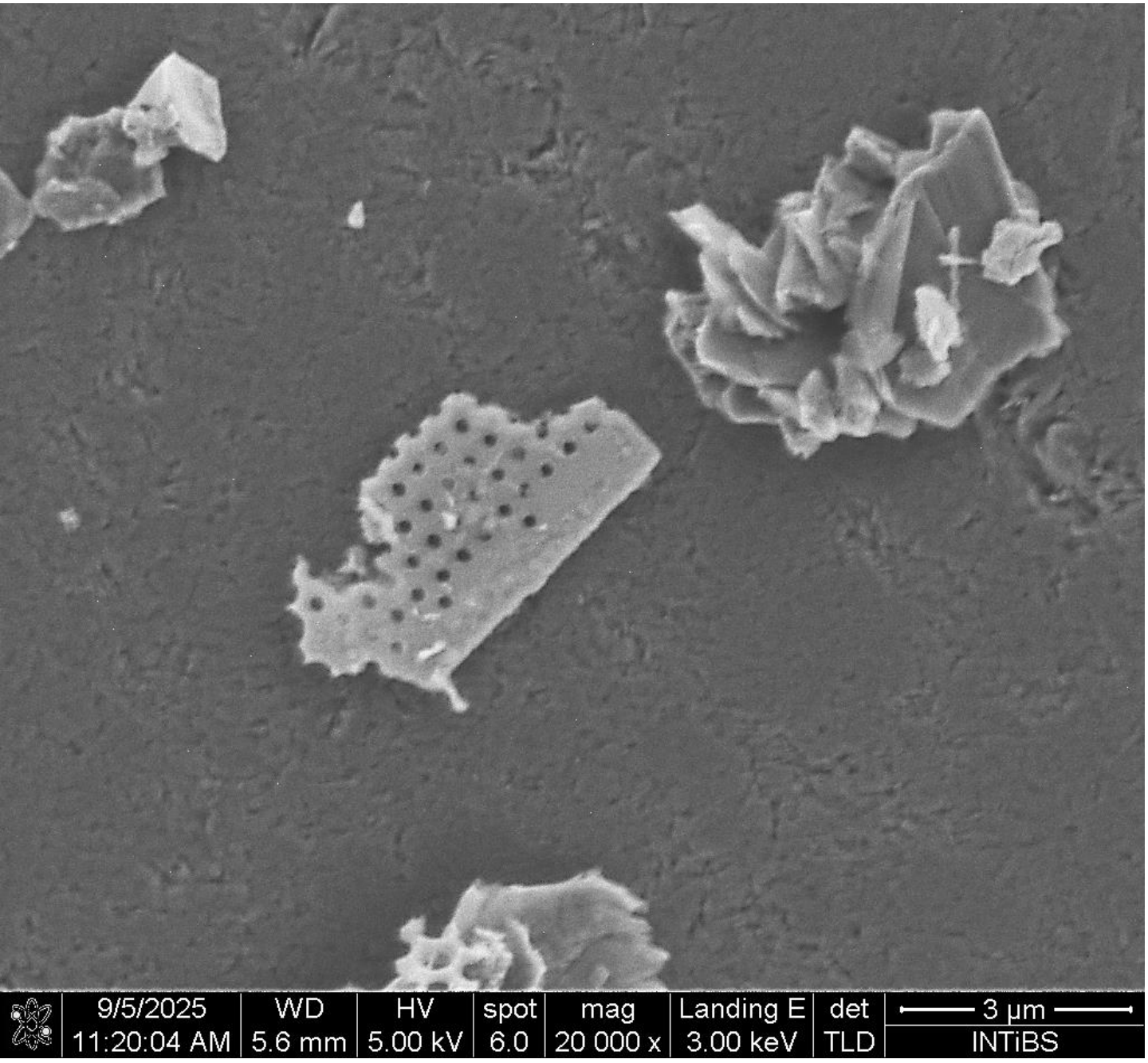
Skały organogeniczne utworzone głównie z pancerzyków okrzemek (glonów jednokomórkowych). Mogą też zawierać szczątki innych organizmów, detrytyczny kwarc oraz kalcyt, glaukonit, substancje ilaste i związki żelaza. Ziemia okrzemkowa jest biała lub żółtawobiała, porowata, lekka, miękka, pylasta (nie jest zwięzła). Powstaje jako osad w zimnych jeziorach i morzach.

Obrazy SEM



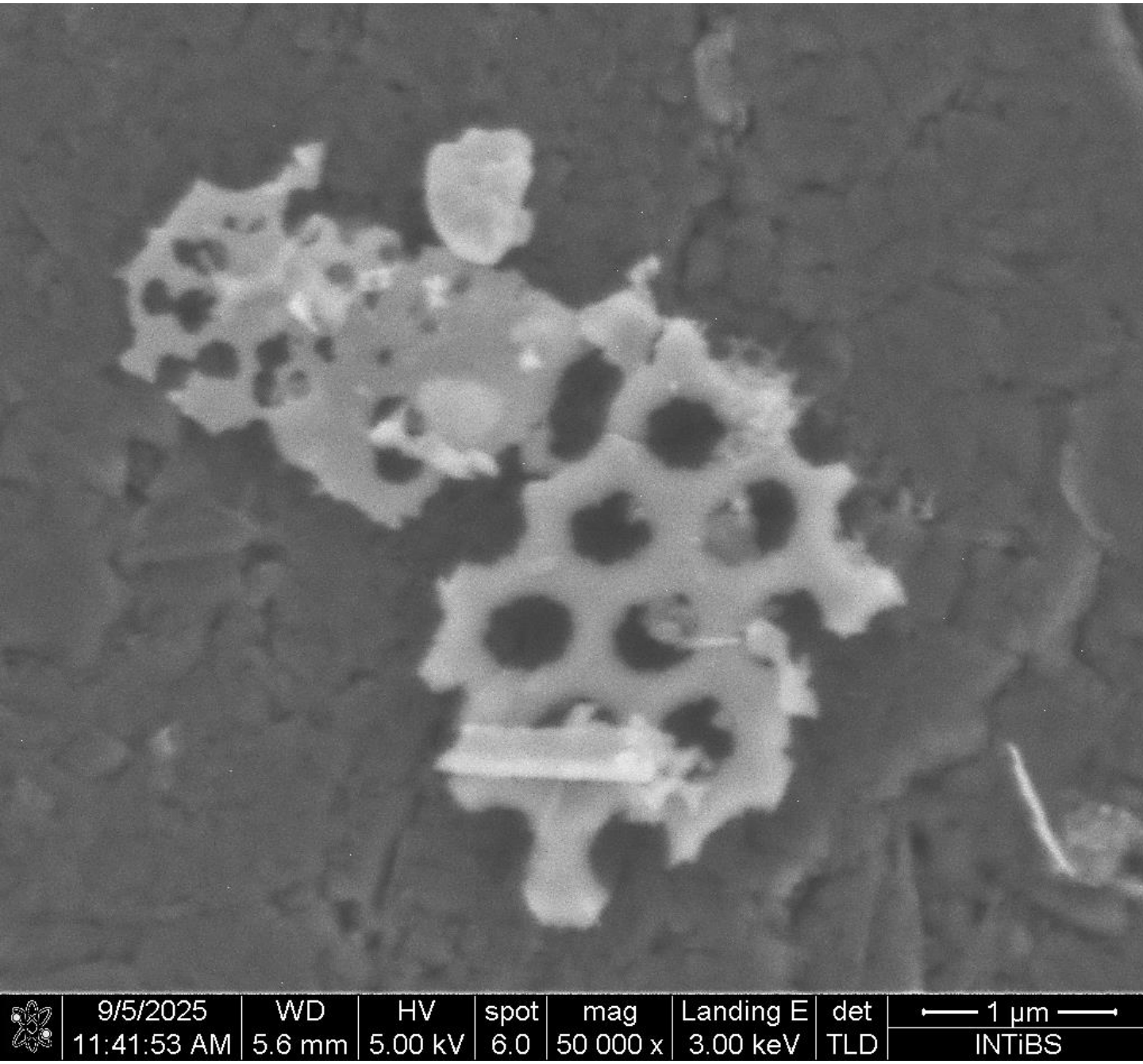
Ziemia okrzemkowa

Obrazy SEM



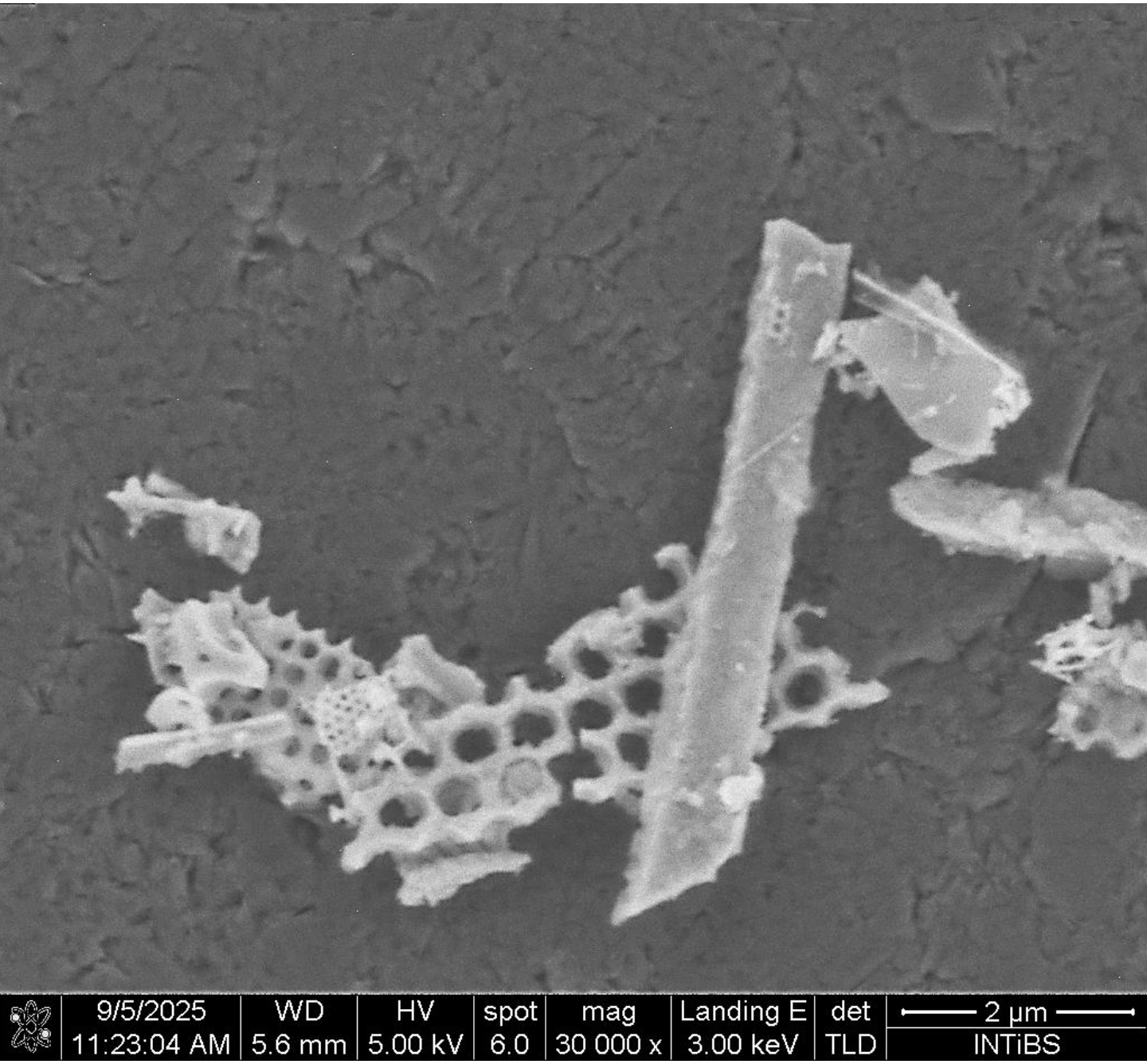
Ziemia okrzemkowa

Obrazy SEM



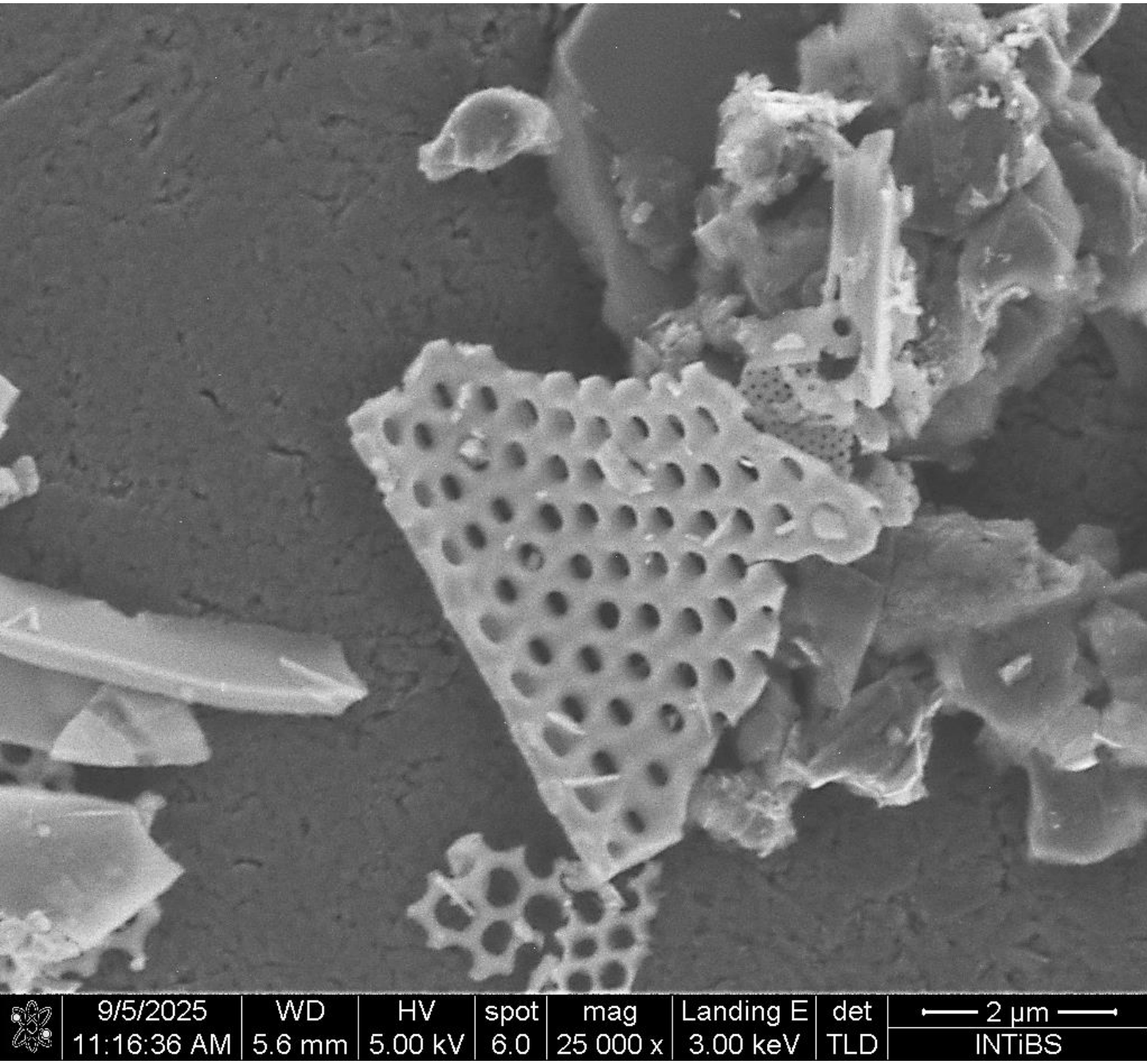
Ziemia okrzemkowa

Obrazy SEM



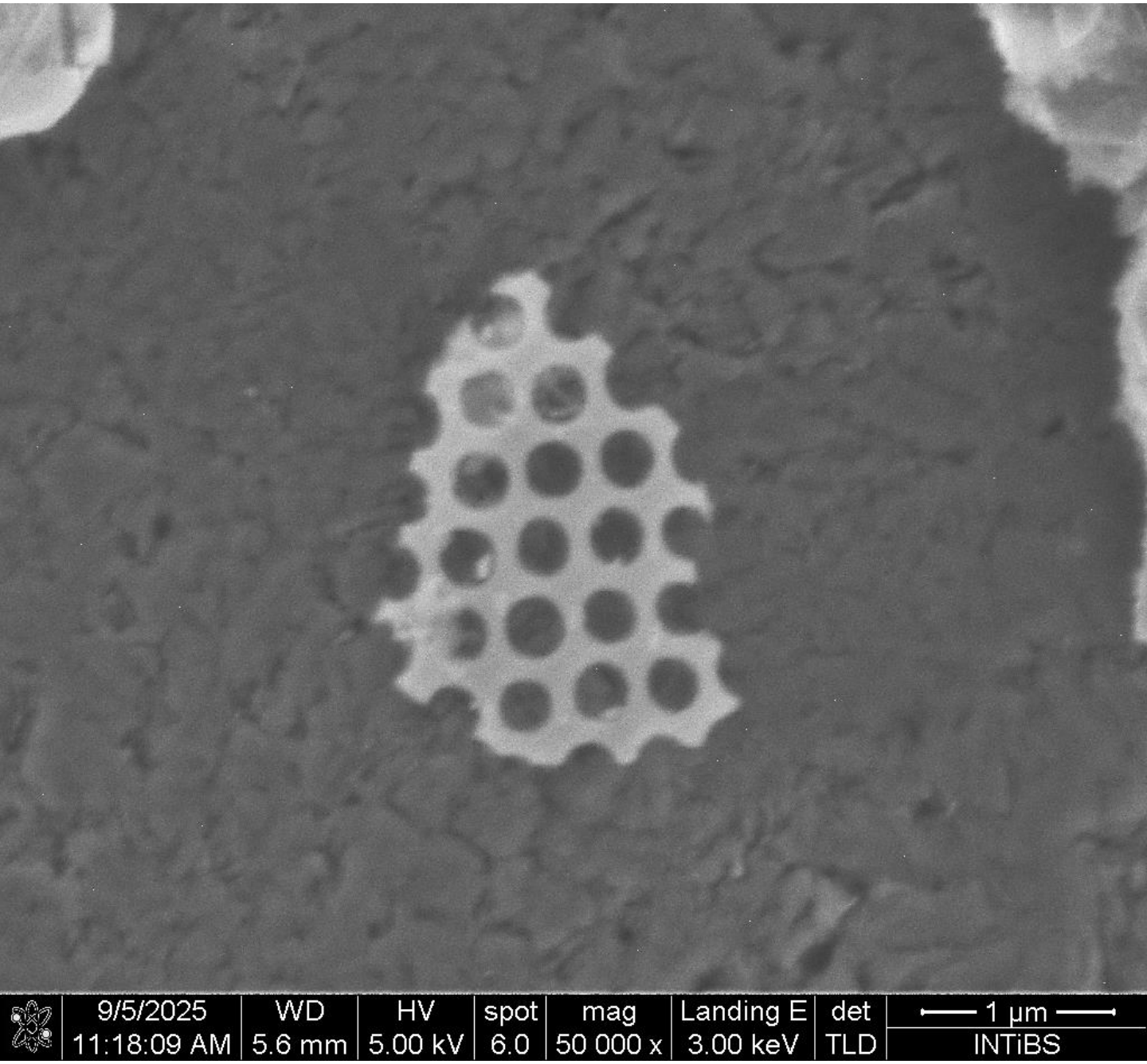
Ziemia okrzemkowa

Obrazy SEM



Ziemia okrzemkowa

Obrazy SEM



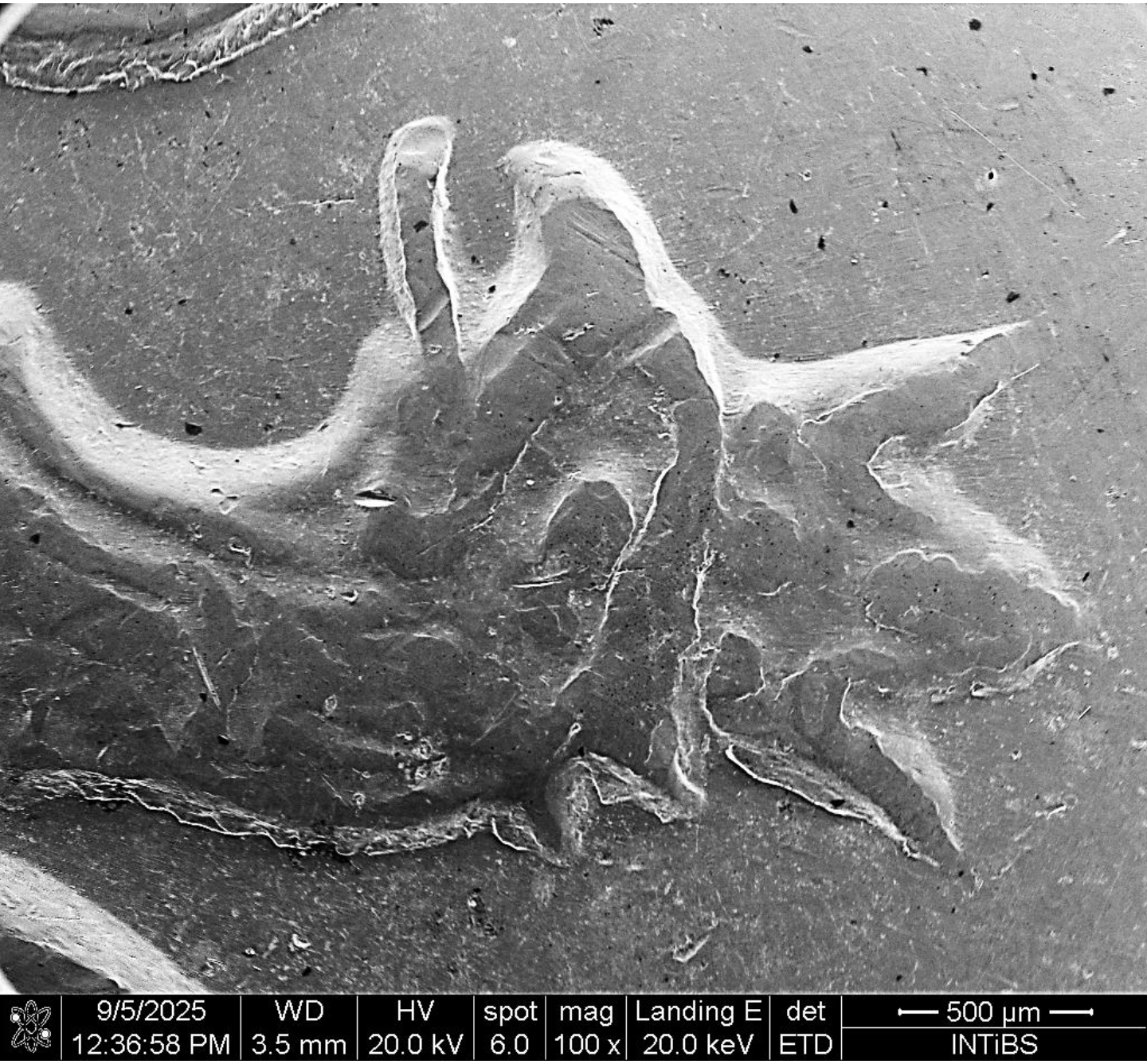
Ziemia okrzemkowa

Moneta

Przeważnie metalowy znak pieniężny o określonej formie, opatrzony znakiem emitenta gwarantującego umowną wartość monety. Pierwotnie zbliżona była ona do rynkowej wartości kruszcu zawartego w monecie.

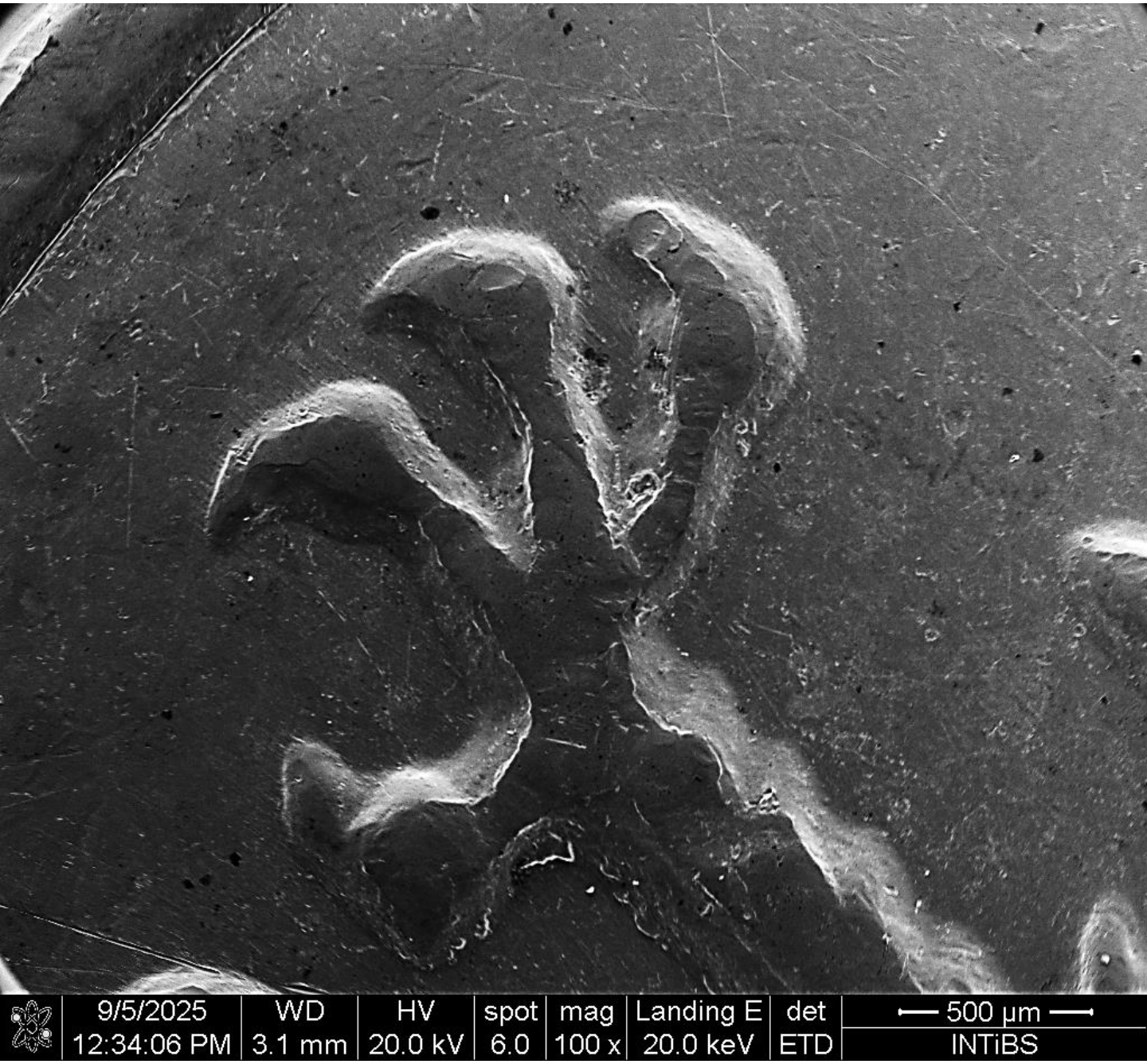
MENNICA POLSKA

Obrazy SEM



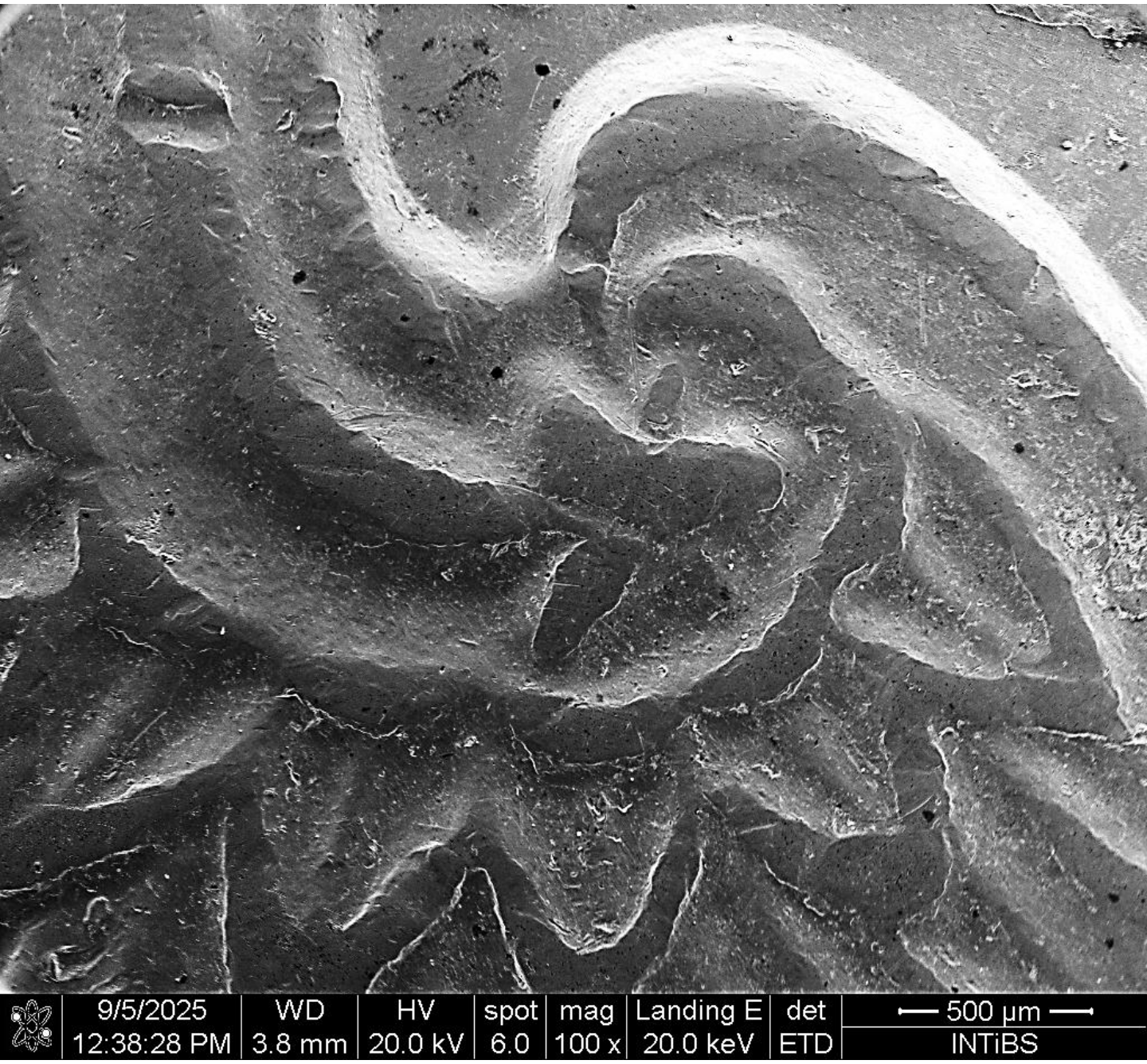
Moneta – głowa orła

Obrazy SEM



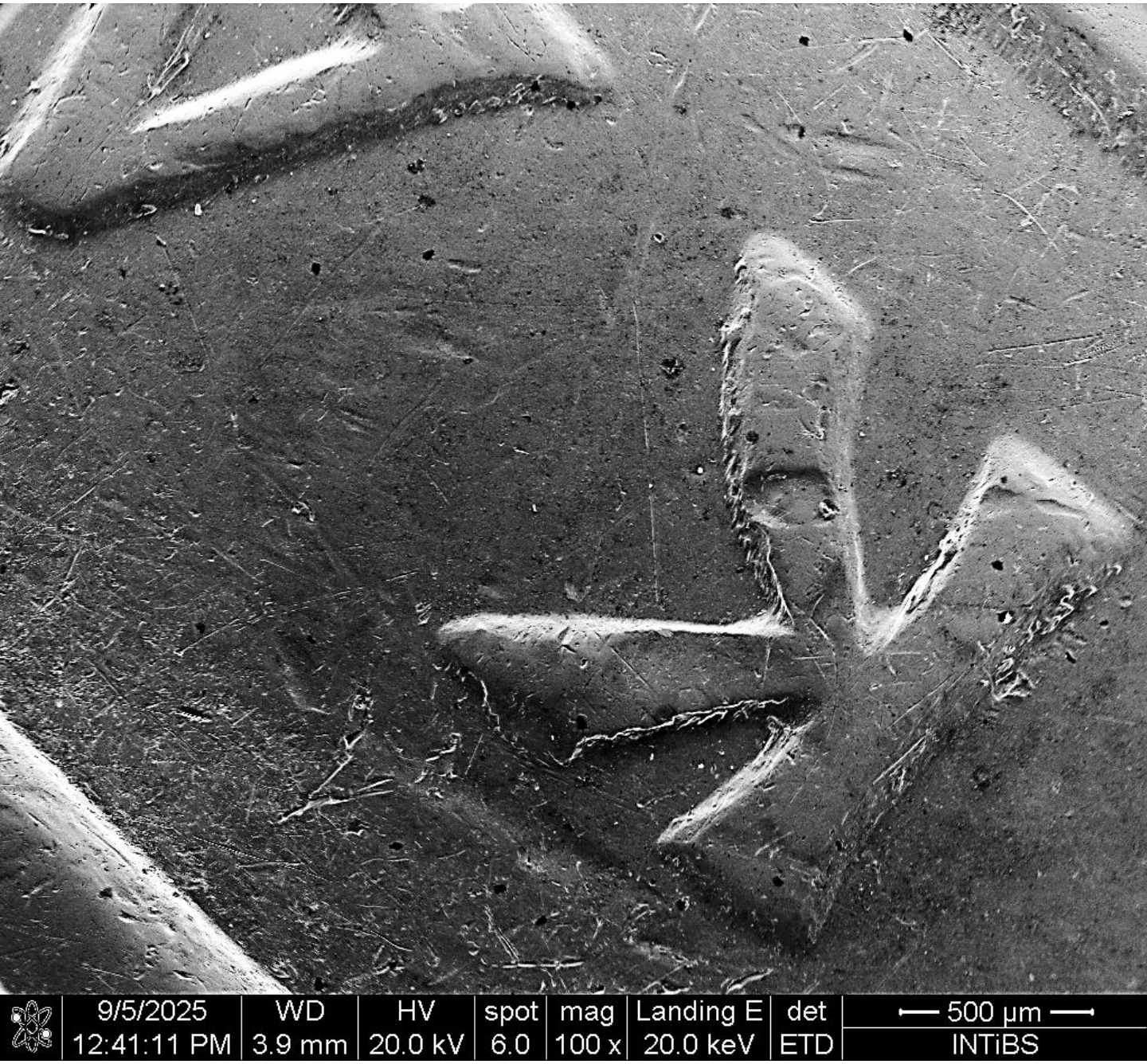
Moneta – noga orła

Obrazy SEM



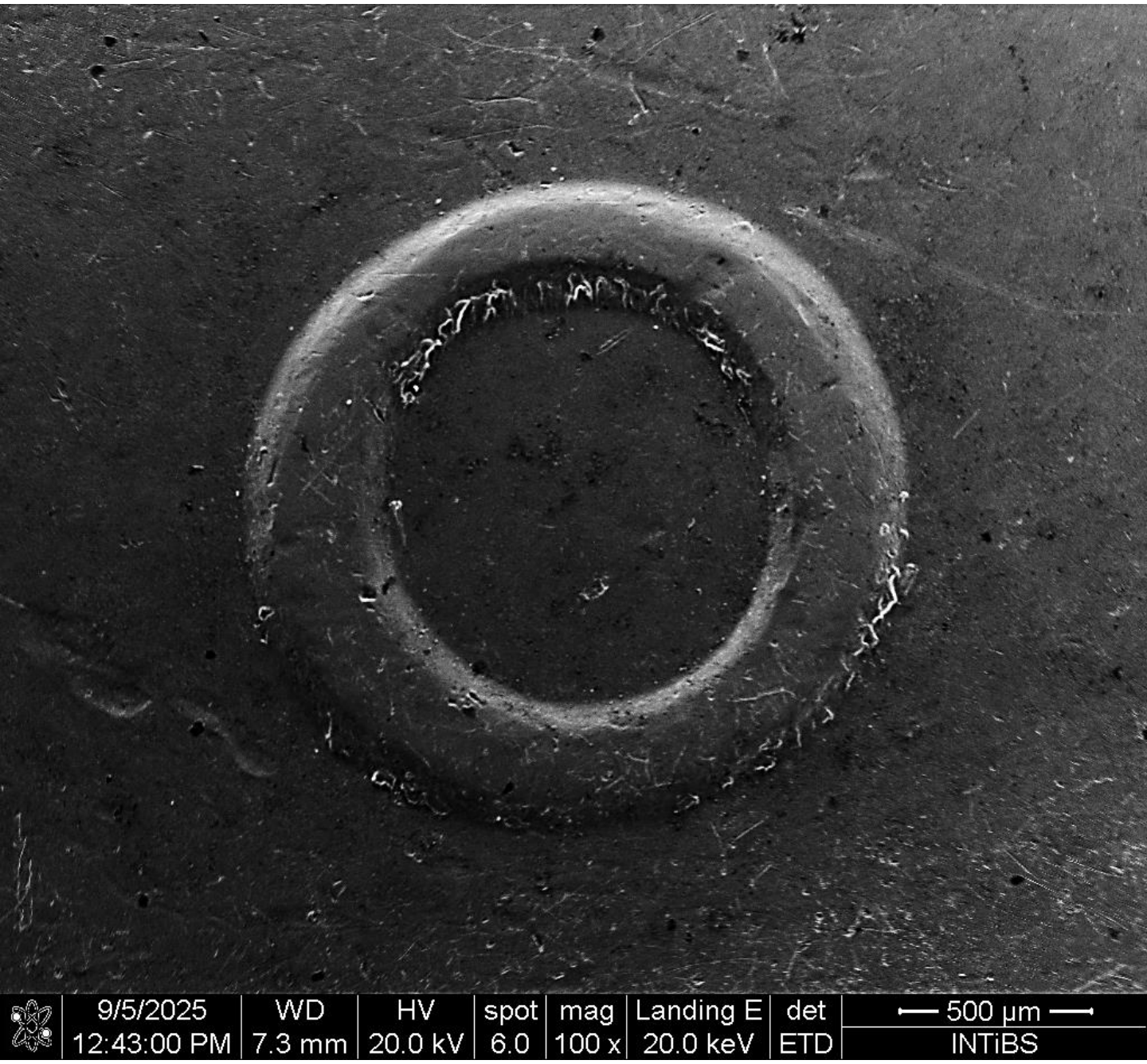
Moneta – skrzydło orła

Obrazy SEM



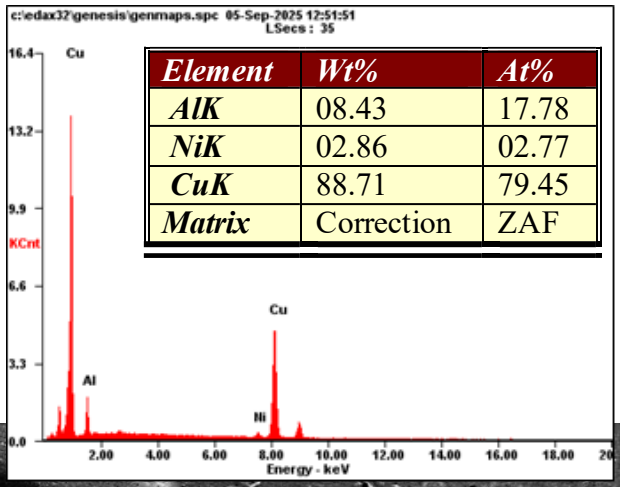
Moneta – fragment napisu

Obrazy SEM

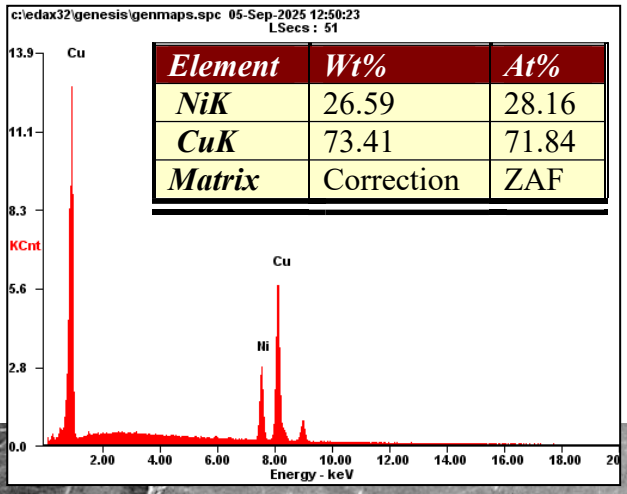


Moneta – fragment napisu

Badania składu chemicznego - EDS



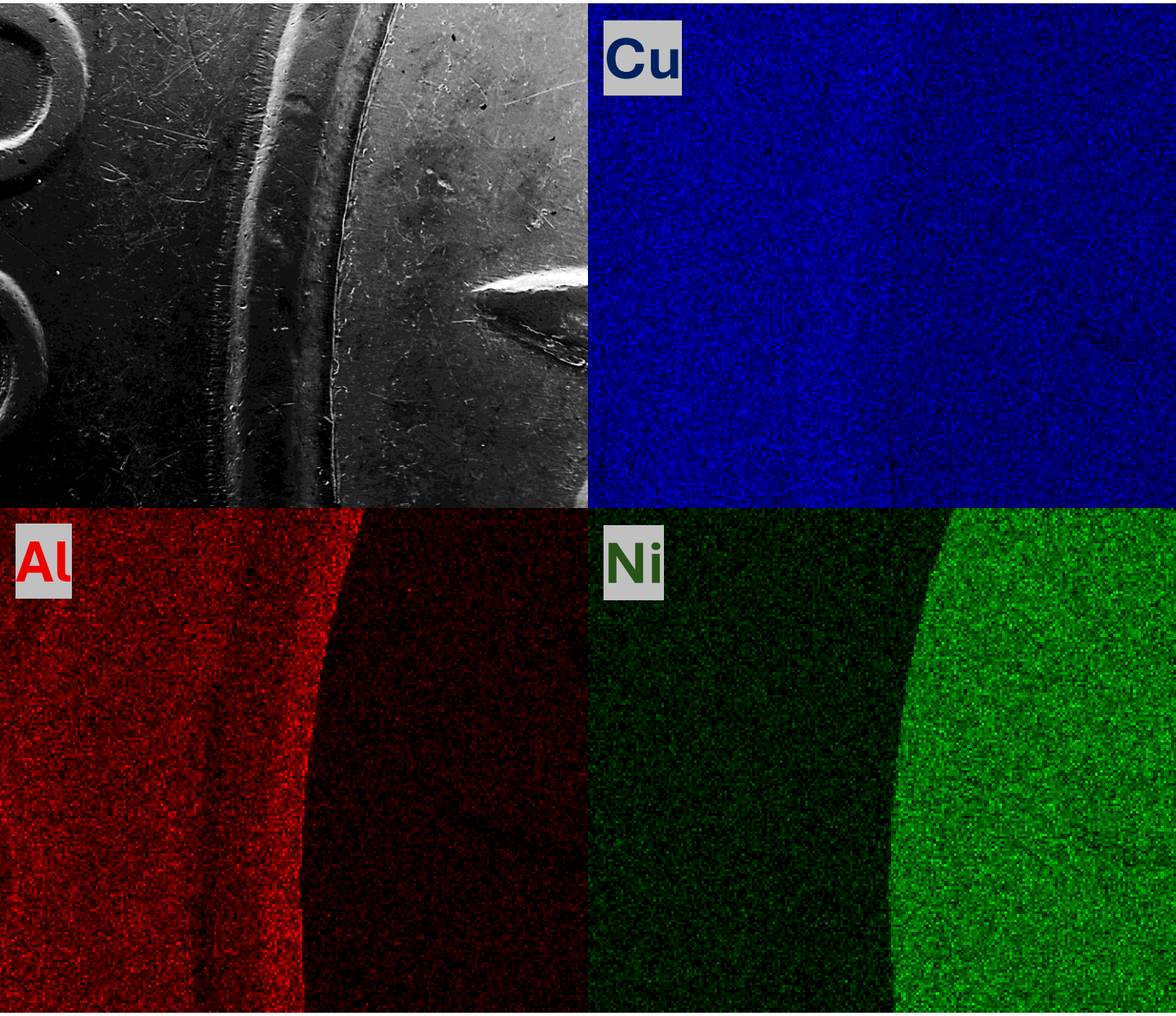
Element	Wt%	At%
AlK	08.43	17.78
NiK	02.86	02.77
CuK	88.71	79.45
Matrix	Correction	ZAF



Element	Wt%	At%
NiK	26.59	28.16
CuK	73.41	71.84
Matrix	Correction	ZAF

9/5/2025 12:47:56 PM	WD 7.1 mm	HV 20.0 kV	spot 6.0	mag 100 x	Landing E 20.0 keV	det ETD	500 µm INTiBS

Badania składu chemicznego - EDS



„mapowanie” – kolorowa wizualizacja składu chemicznego

Próbki biologiczne

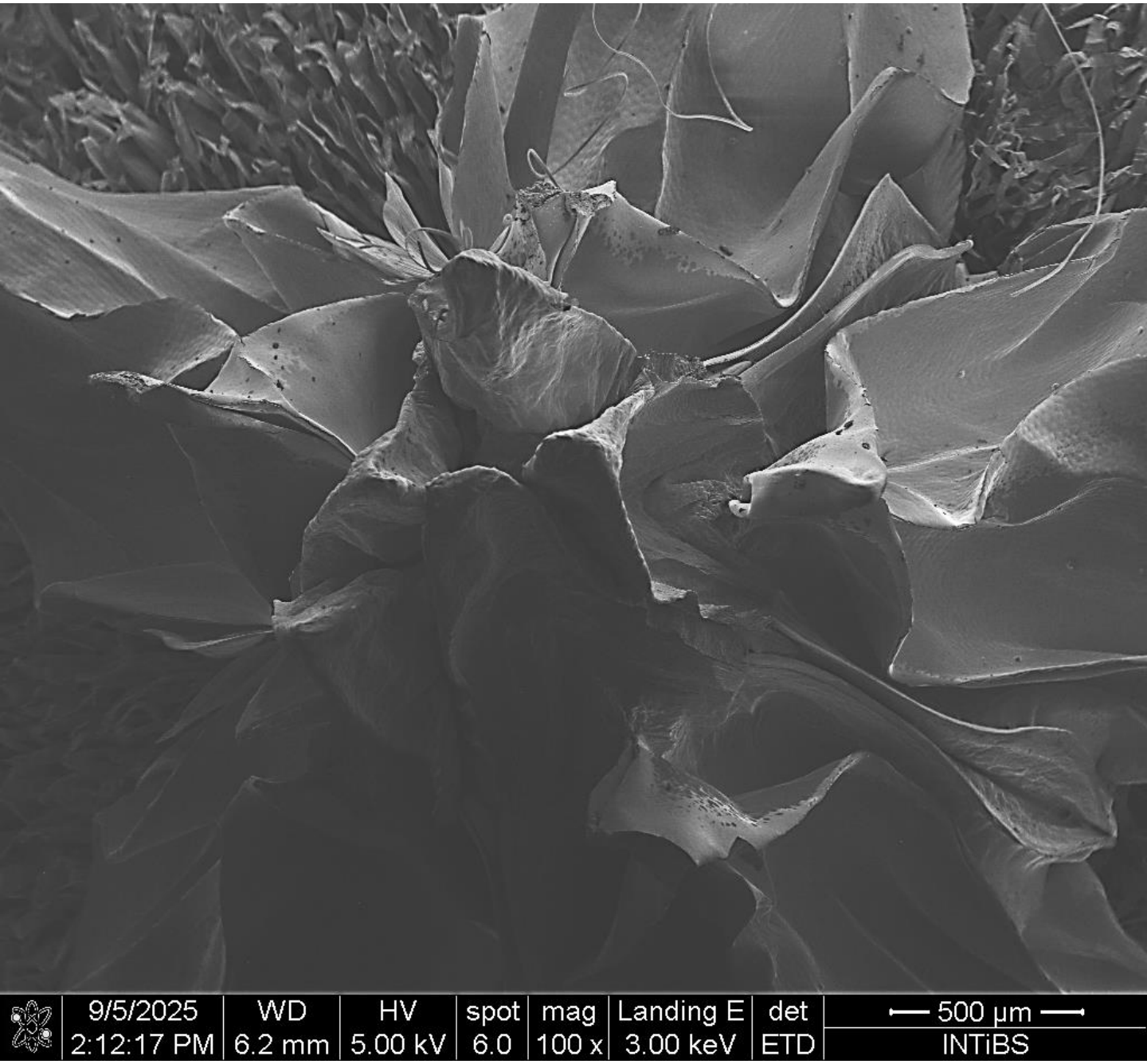
Kwiat Hoi

Mucha

Trzmiel

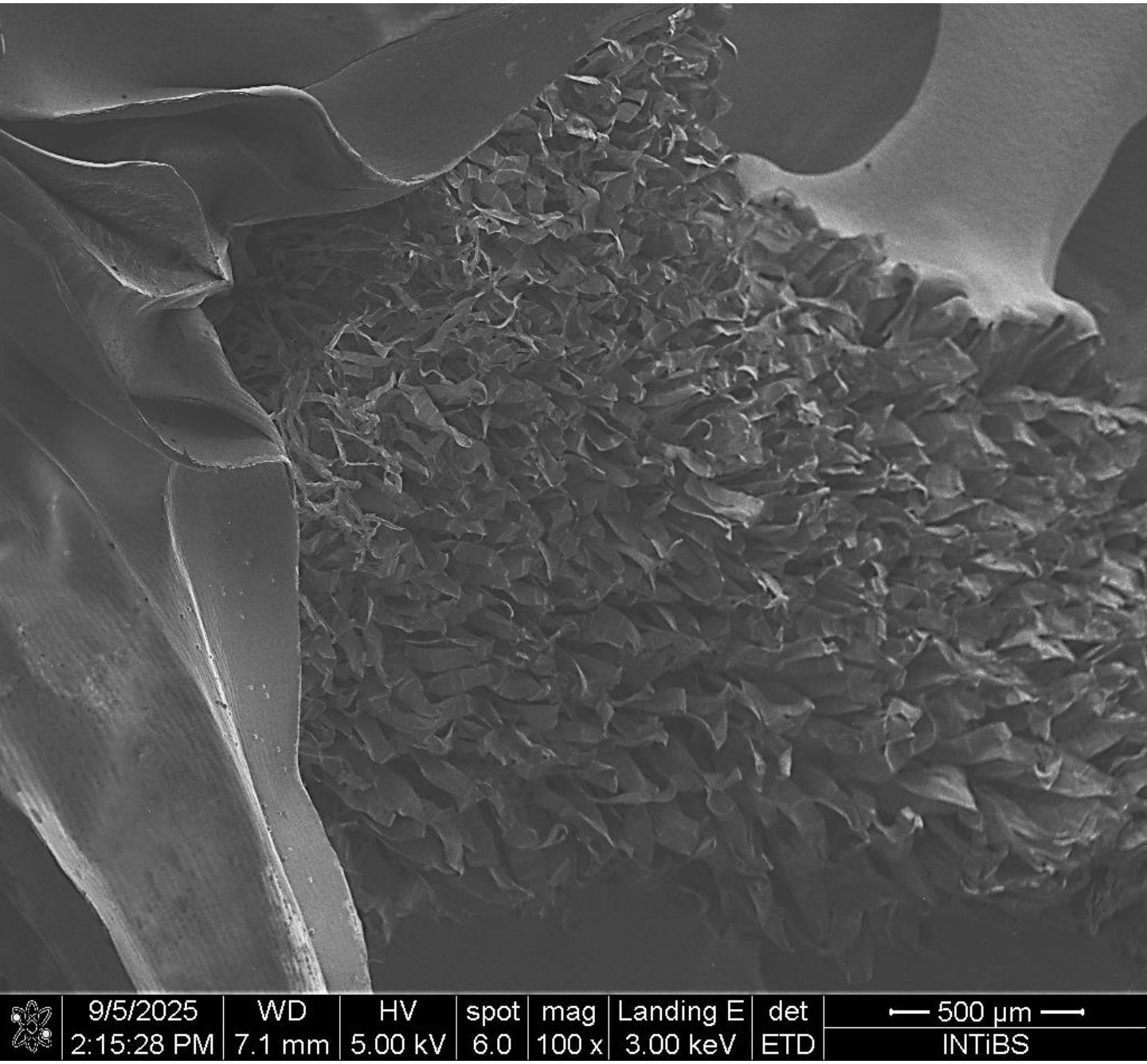
Osa

Obrazy SEM



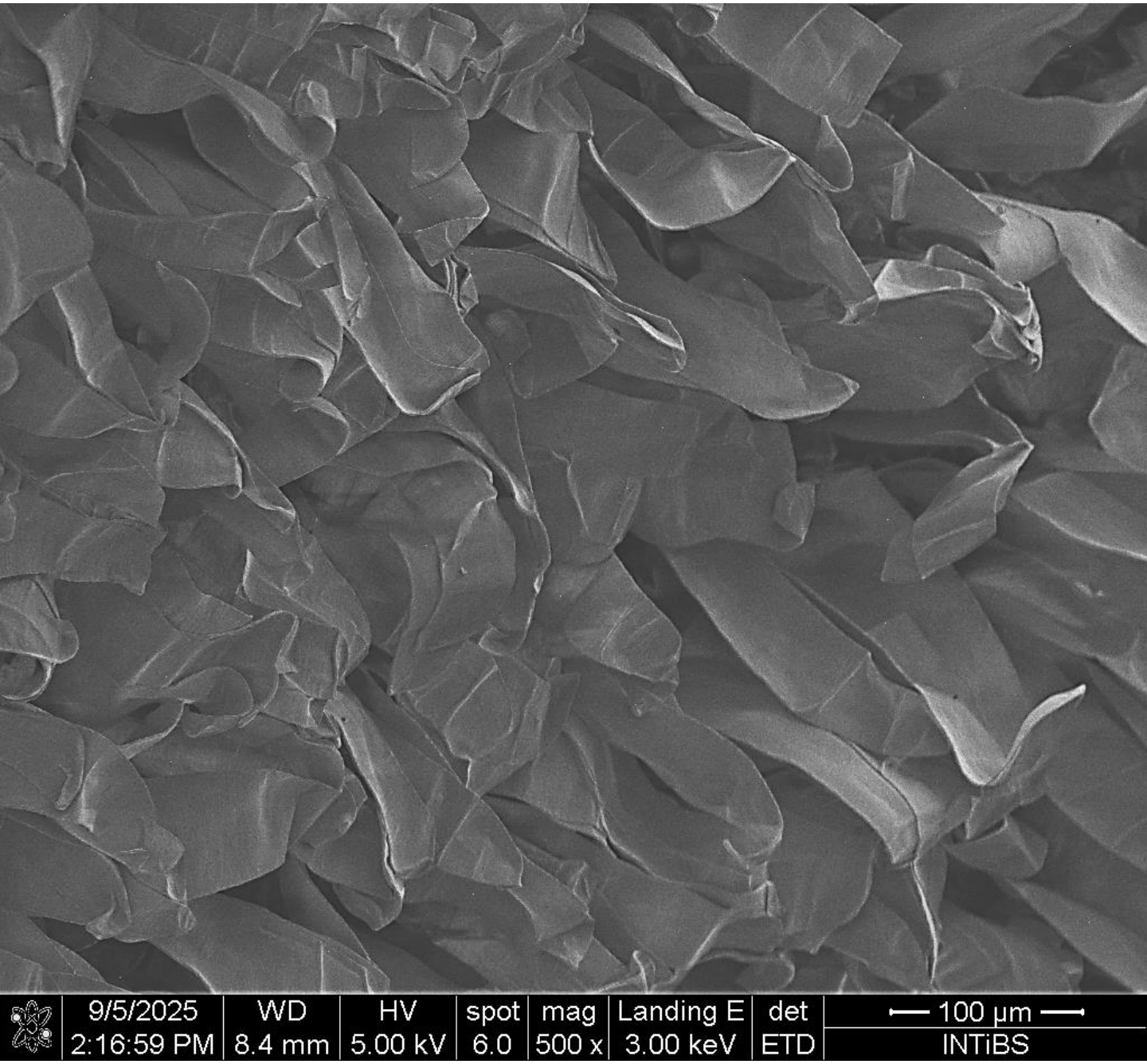
Kwiat Hoi – płatki wewnętrzne

Obrazy SEM



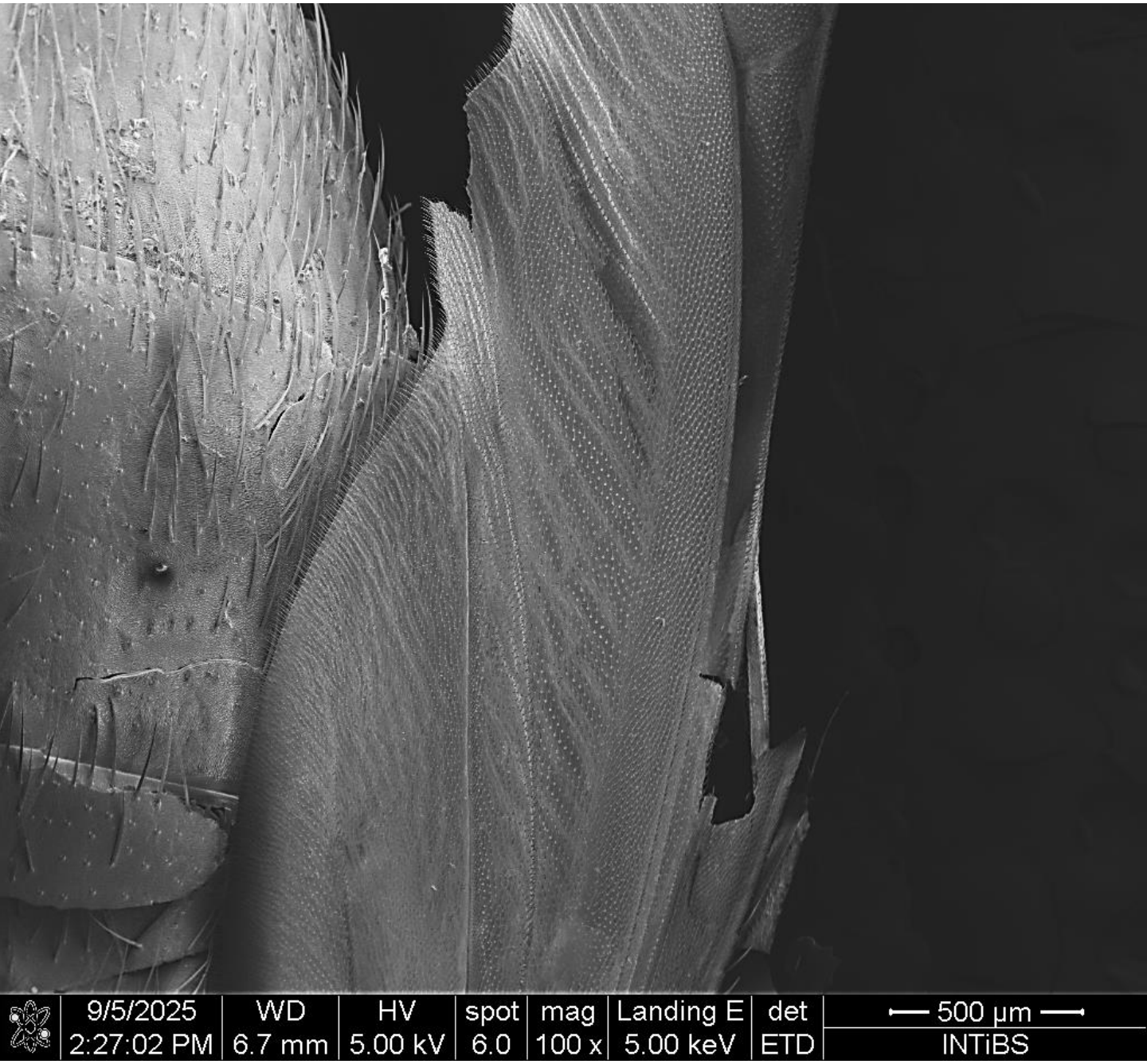
Kwiat Hoi – płatki zewnętrzne

Obrazy SEM



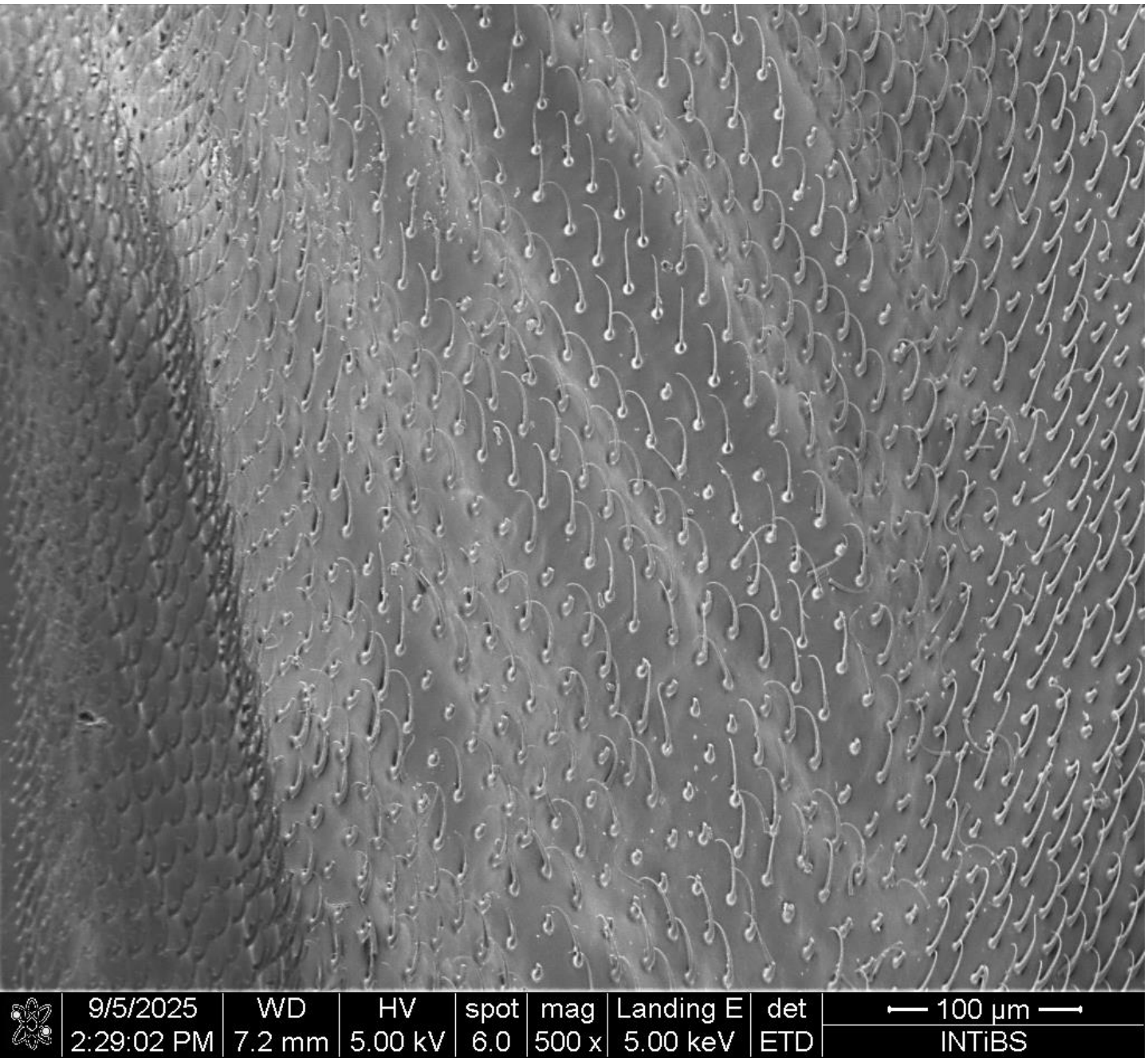
Kwiat Hoi – płatki zewnętrzne

Obrazy SEM



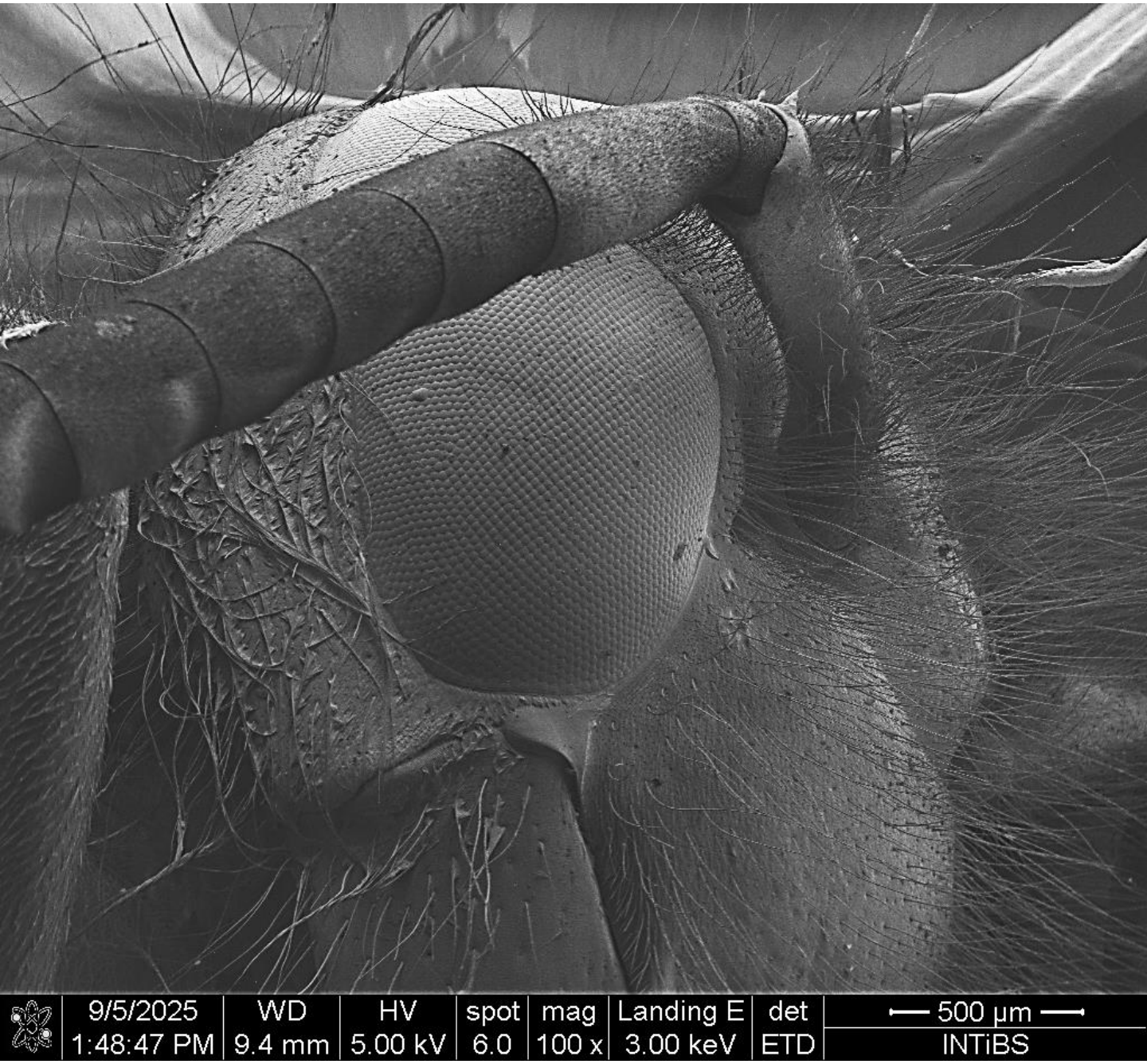
Mucha – tułów i skrzydło

Obrazy SEM



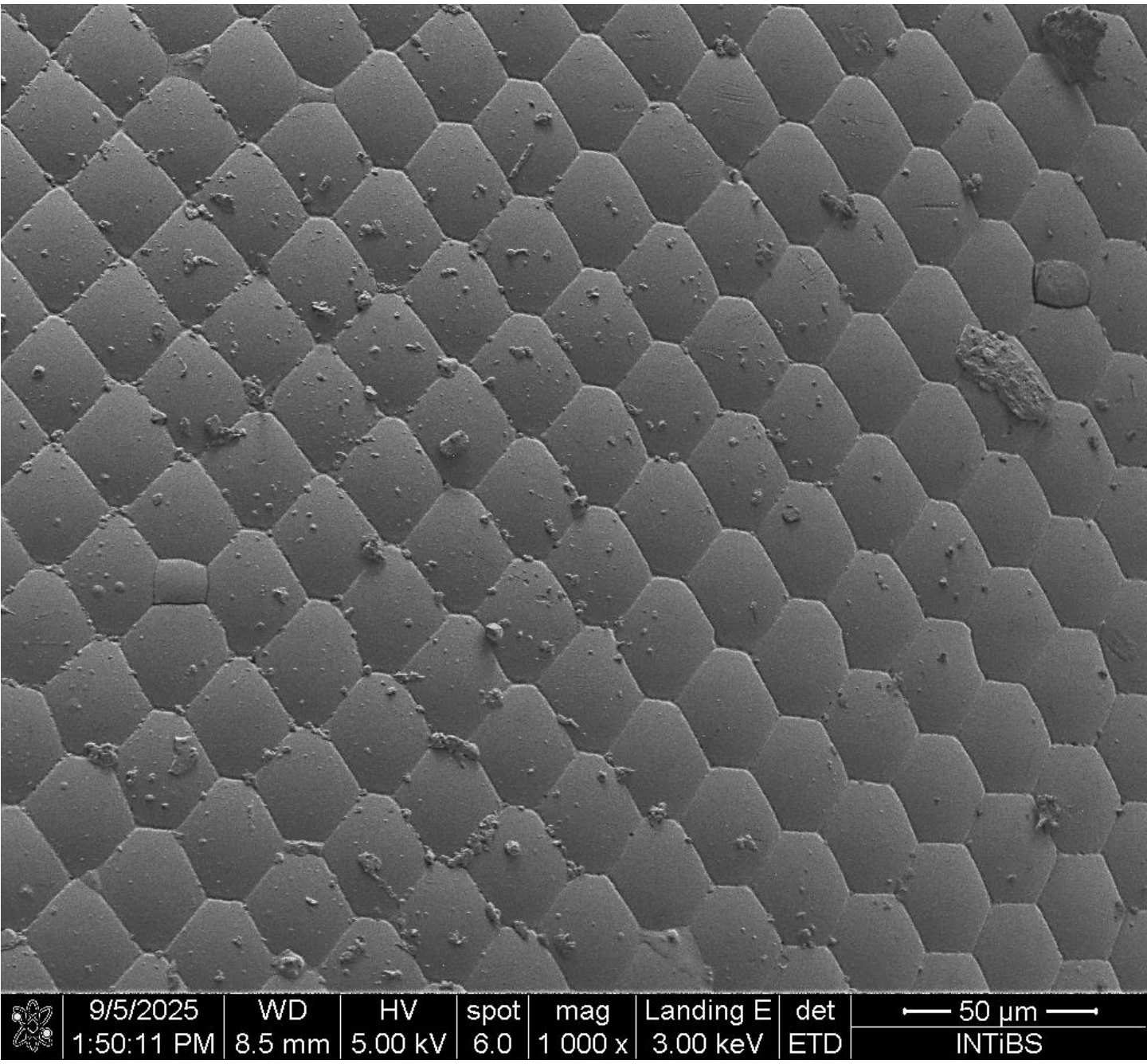
Mucha – skrzydło

Obrazy SEM



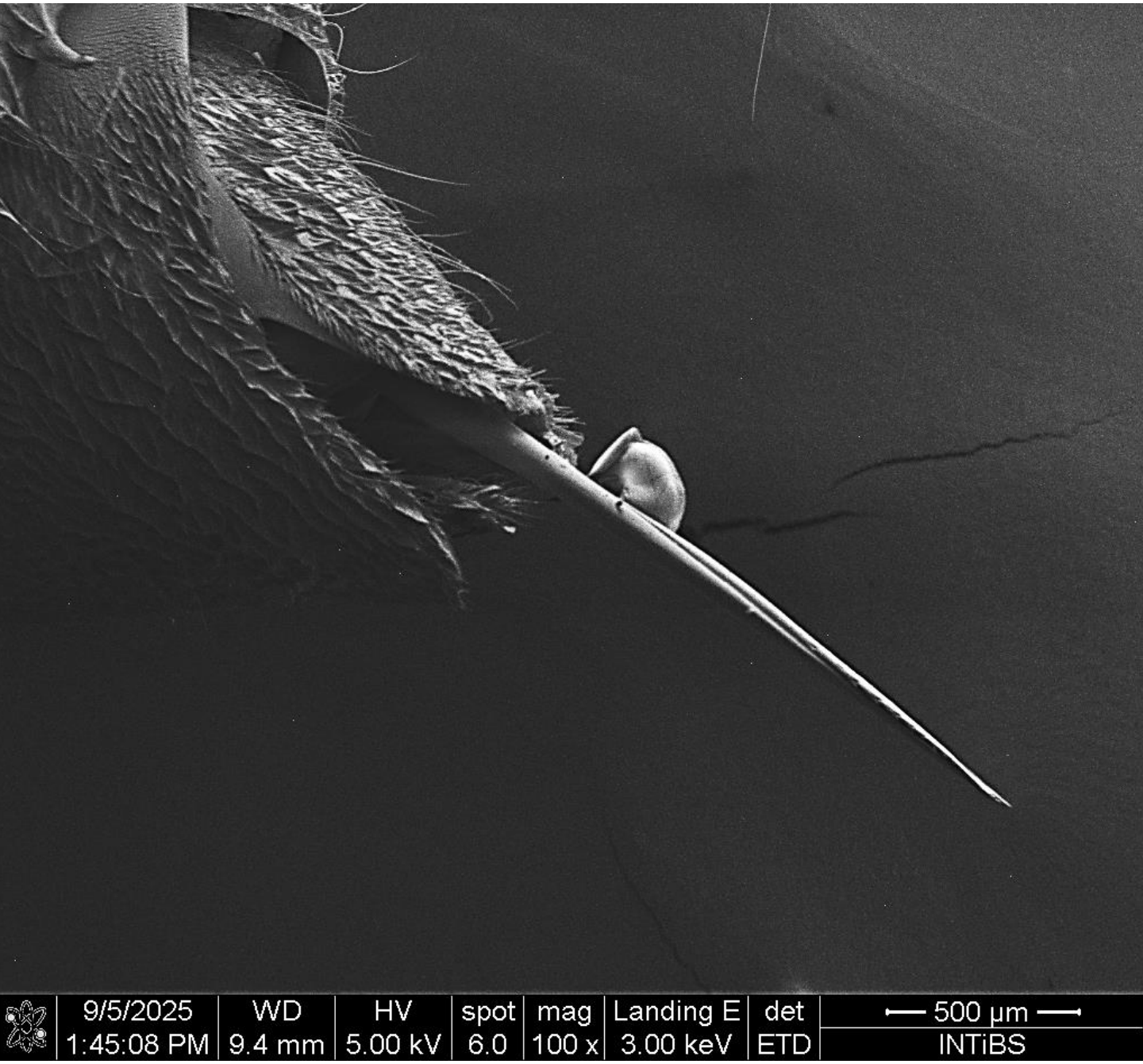
Osa – głowa

Obrazy SEM



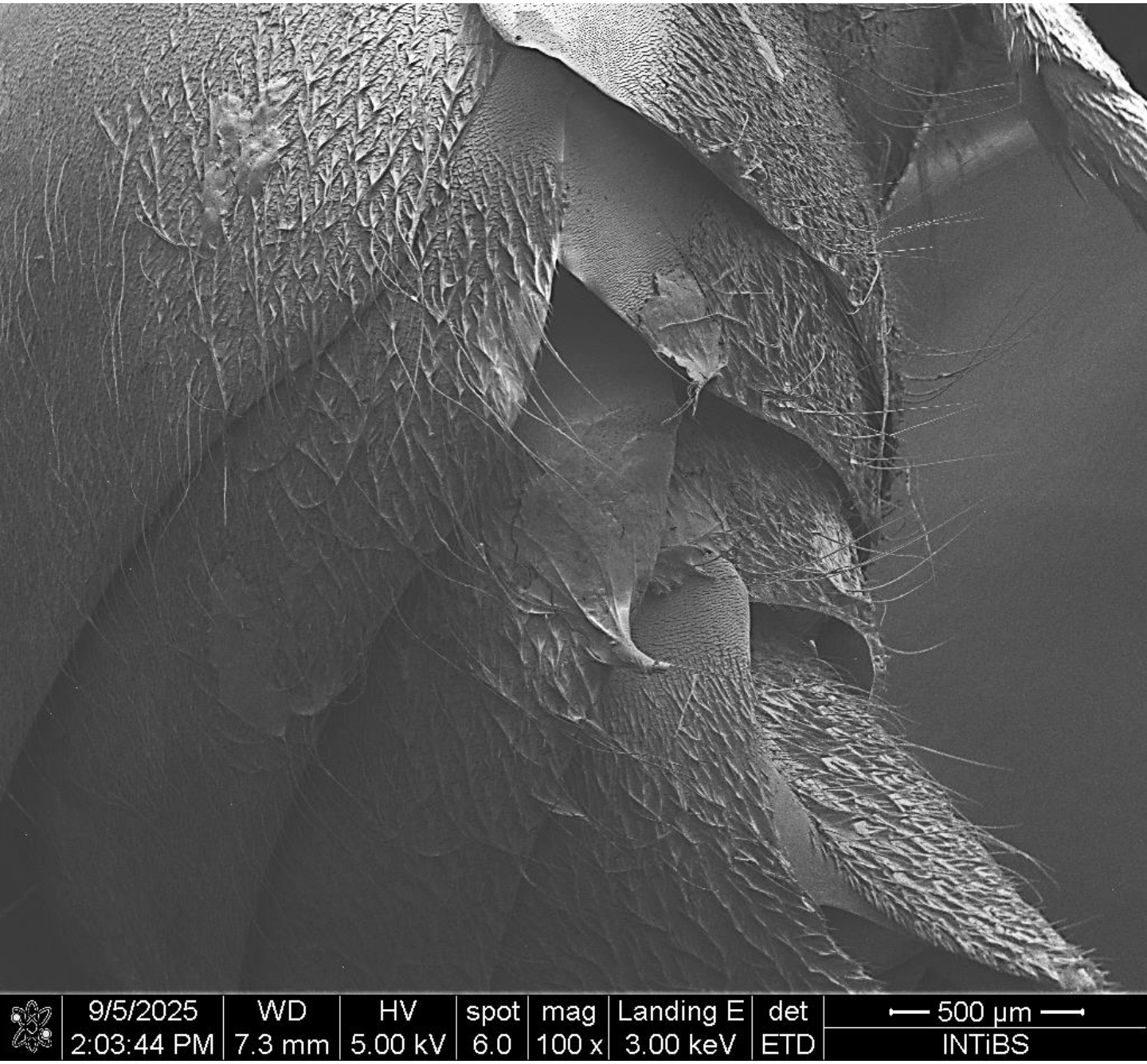
Osa – oko

Obrazy SEM



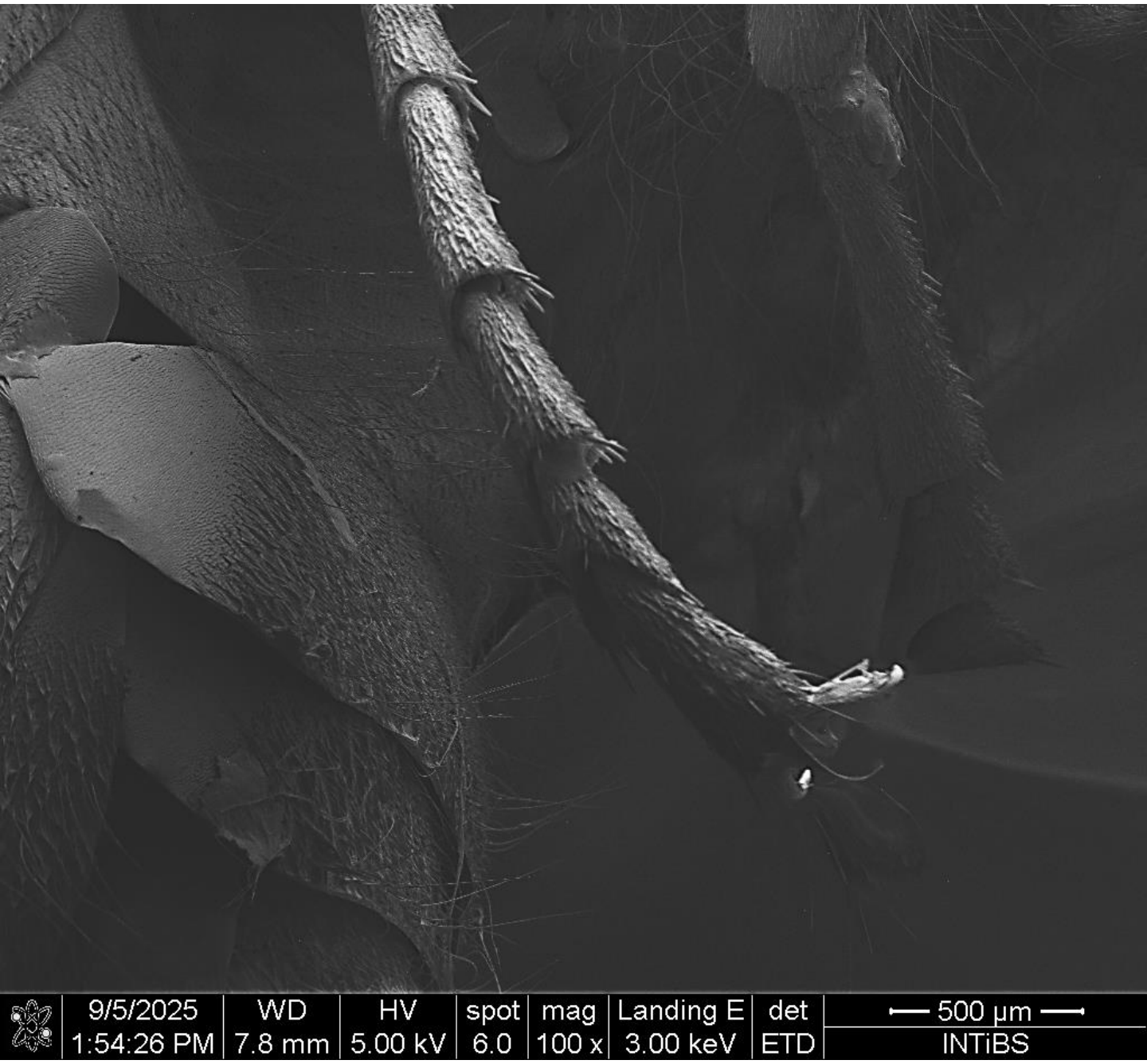
Osa – żądło

Obrazy SEM



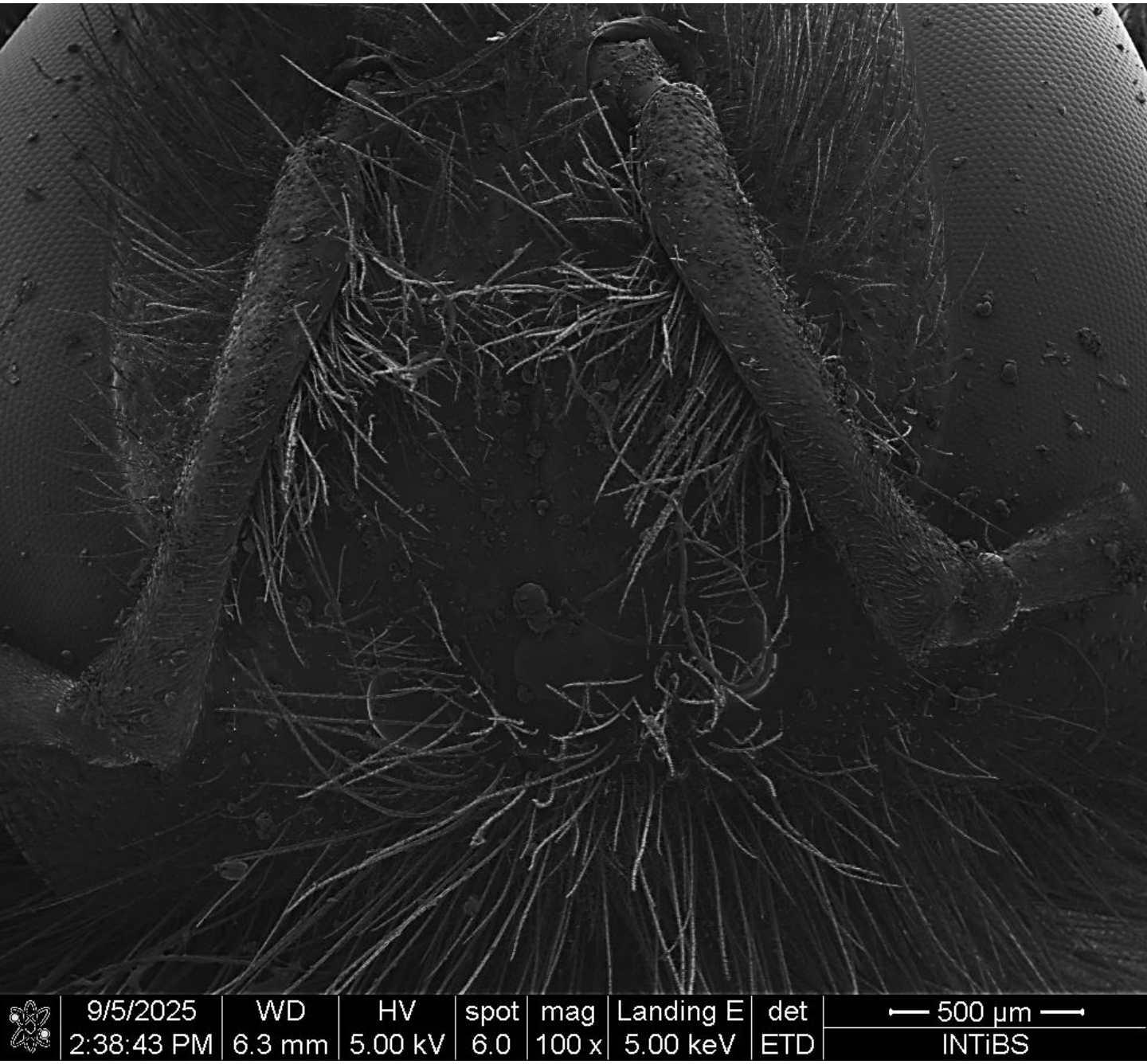
Osa – odwłok

Obrazy SEM



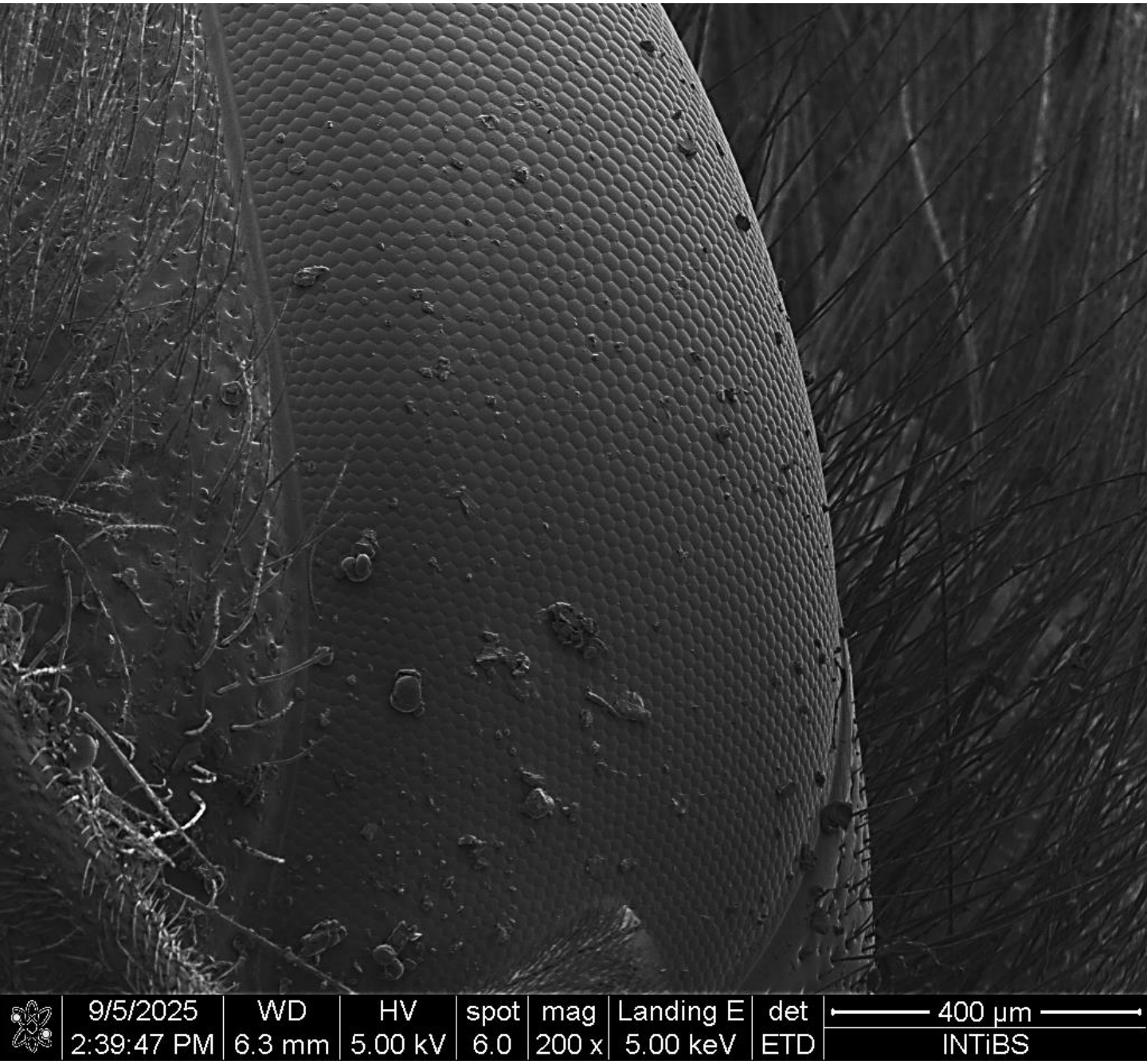
Osa – odwłok i noga

Obrazy SEM



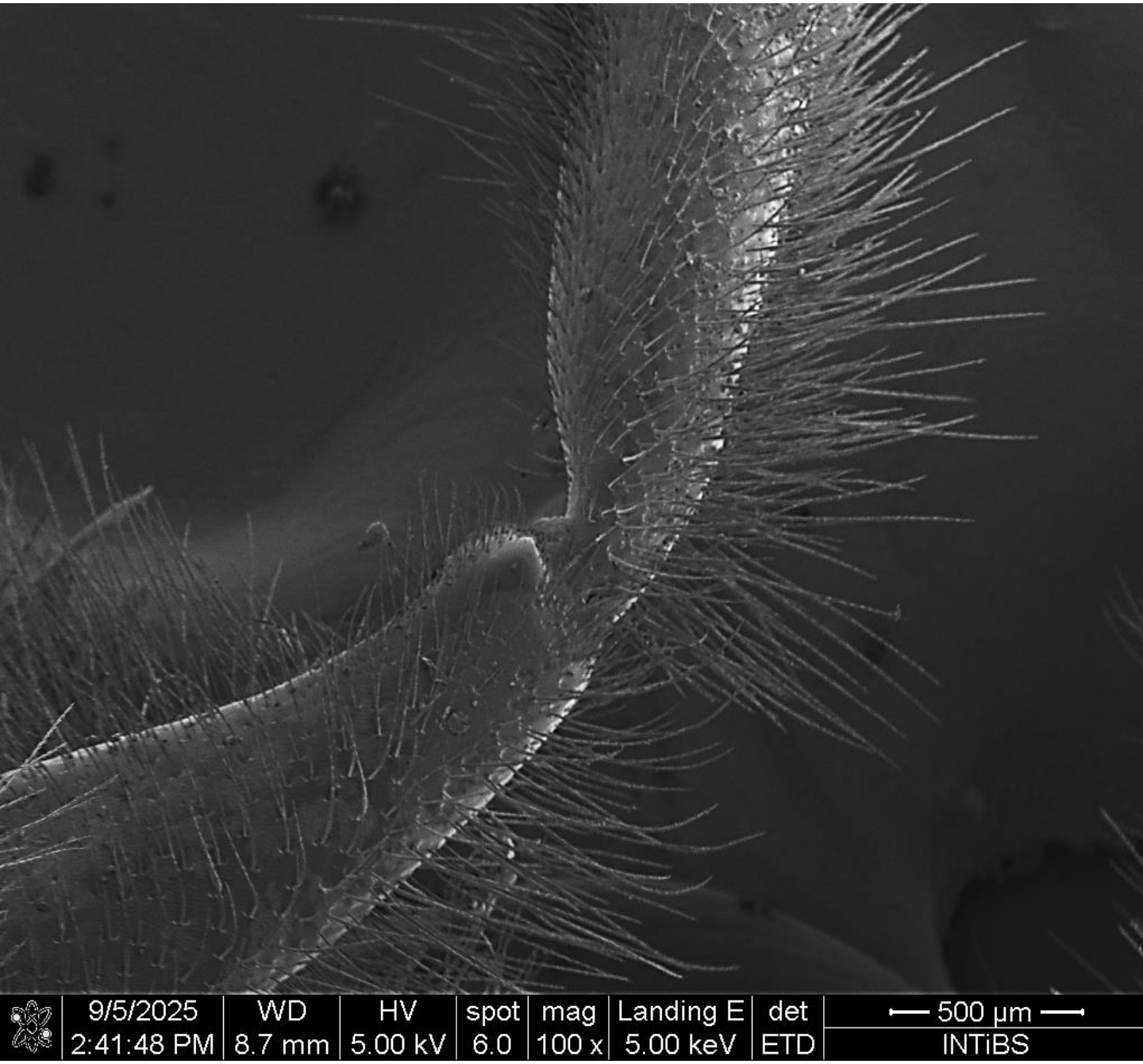
Trzmiel – głowa

Obrazy SEM



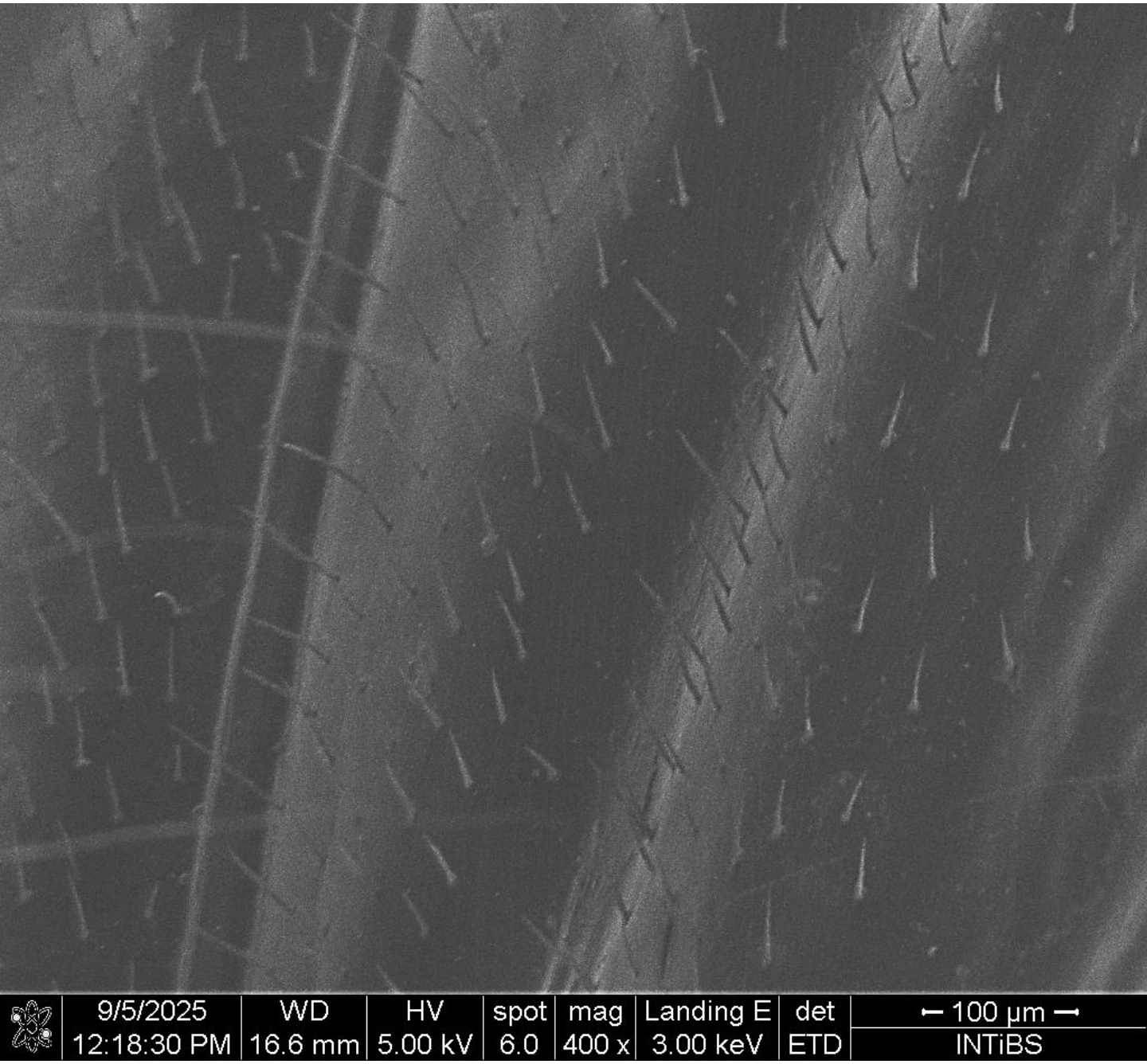
Trzmiel – oko

Obrazy SEM



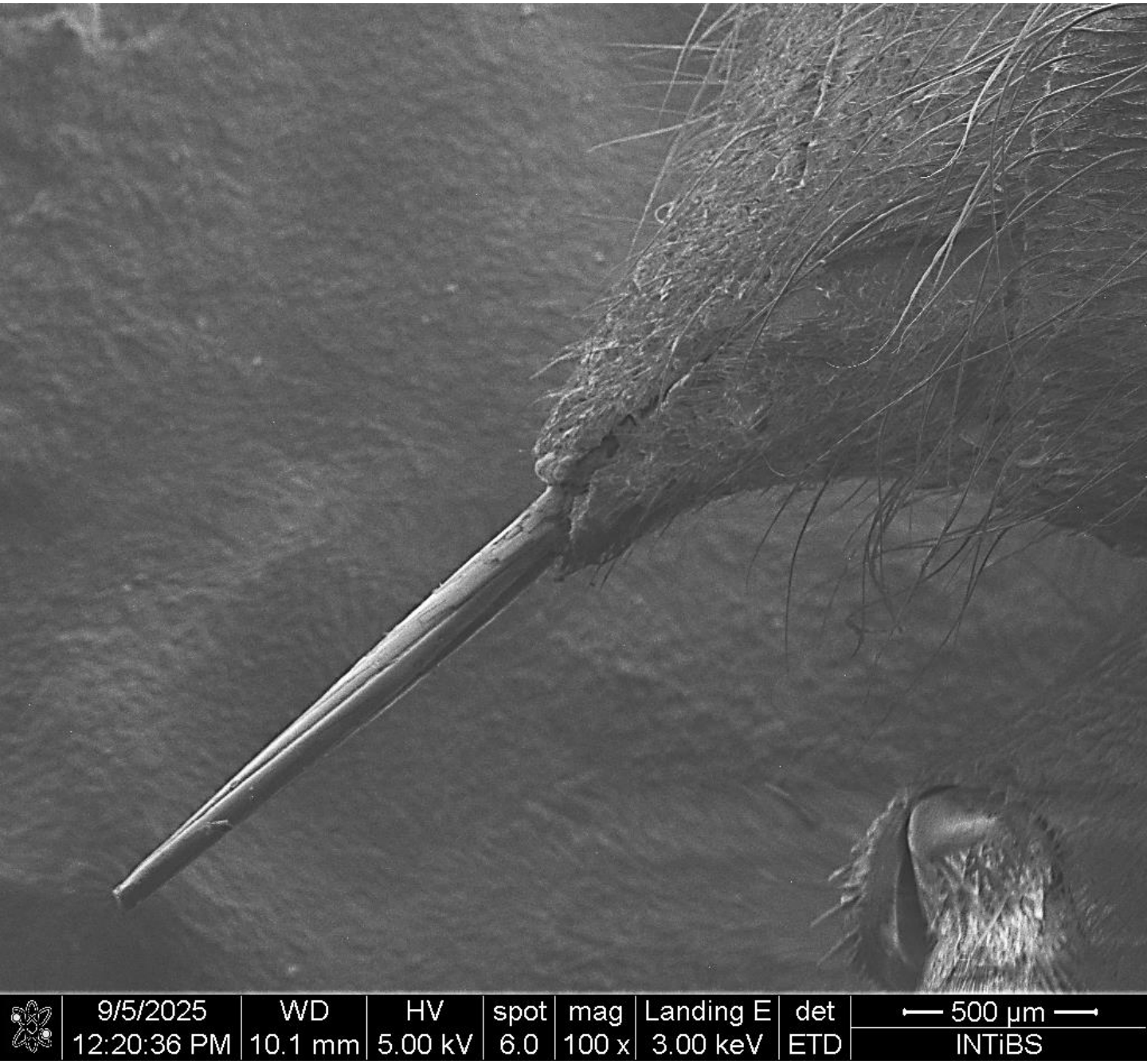
Trzmiel – noga

Obrazy SEM

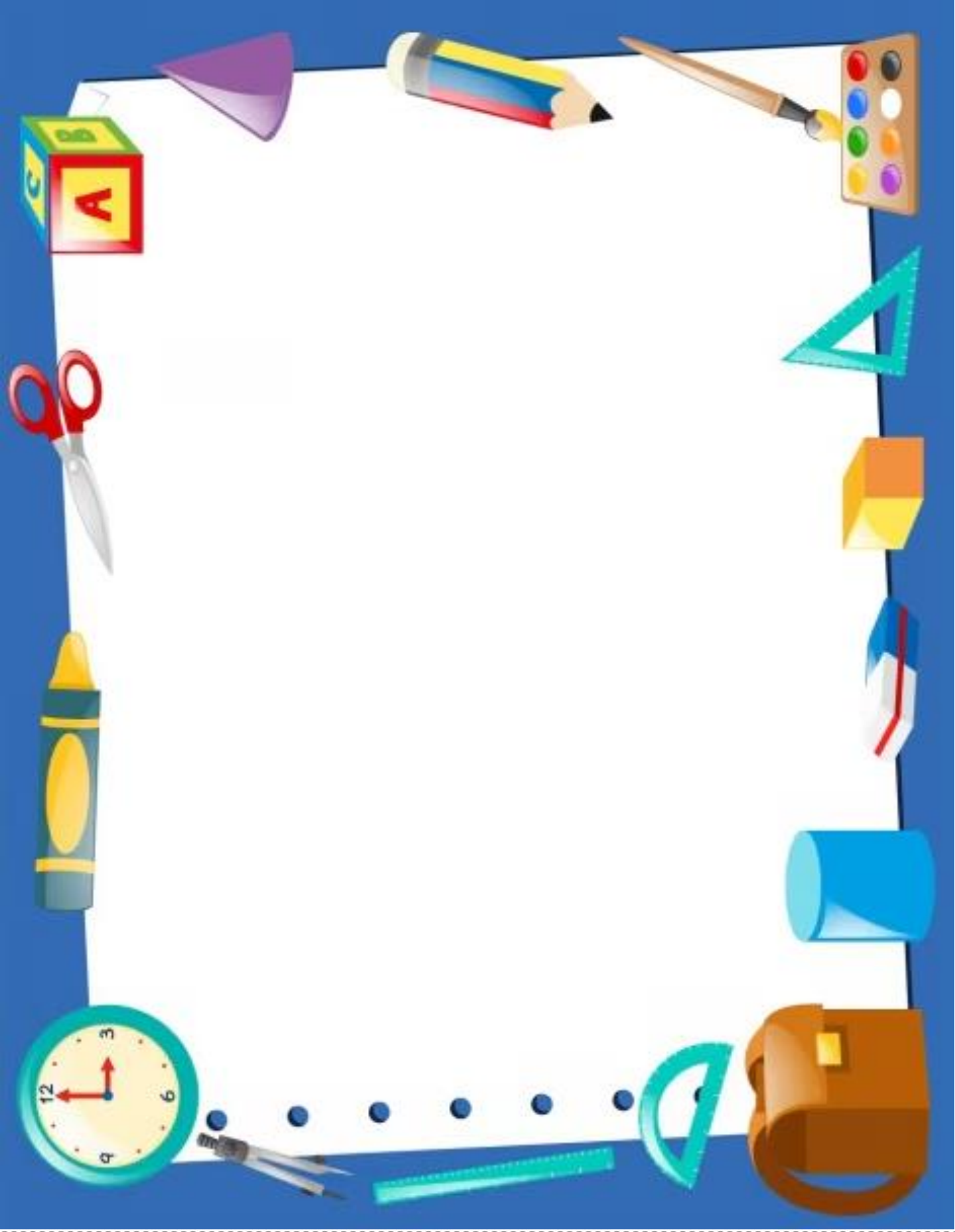


szerszeń – skrzydło

Obrazy SEM



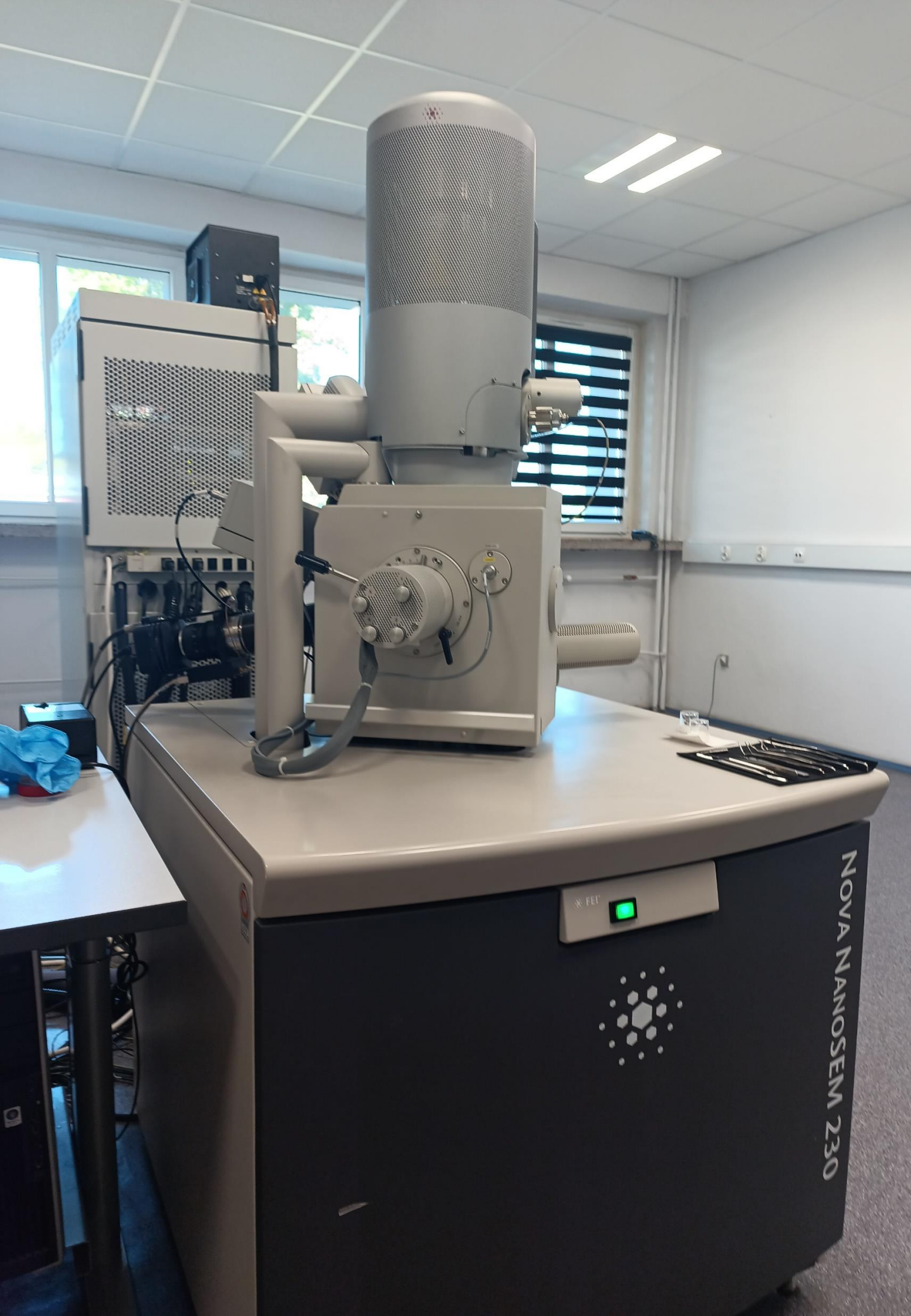
szerszeń – żądło



Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych
im. Włodzimierza Trzebiatowskiego Polskiej Akademii Nauk

Institute of Low Temperature and Structure Research
Polish Academy of Sciences

• ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław | Poland • tel. +48 71 343 5021 • intibs@intibs.pl • www.intibs.pl


NOVA NANOSEM 230