

TREŚCI KSZTAŁCENIA
niezbędne do opanowania w trakcie wycieczki badawczej

1. Jak zobaczyć to, co niewidzialne?

W chwili obecnej stosuje się kilka metod i narzędzi badawczych, aby zobaczyć to, co niewidzialne.

Jedną z takich metod jest mikroskopia skaningowa wykorzystująca strumień (wiązkę) elektronów do obrazowania próbek badawczych. W mikroskopii elektronowej stosuje się m.in. dwa mikroskopy elektronowe: SEM i STM.

2. Skaningowy mikroskop elektronowy (ang. Scanning Elektron Microscope) –SEM

Służy do obserwacji i charakteryzacji materiałów organicznych i nieorganicznych w skali od nanometrycznej do mikrometrycznej. Wiązką pierwotną w tej metodzie badawczej jest wiązka elektronów. Głównym zastosowaniem skaningowego mikroskopu elektronowego jest uzyskanie obrazów o wysokiej rozdzielczości kształtów bardzo małych obiektów (do 50 nm) oraz ukazania przestrzennych różnic w składzie chemicznym.



Rysunek 5. Skaningowy mikroskop elektronowy SEM.

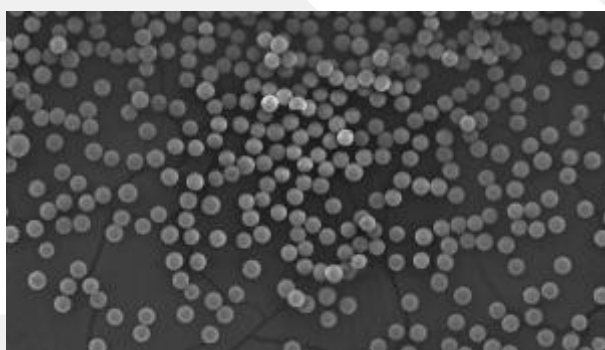
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/95/JEOL_JSM-6340F.jpg/300px-JEOL_JSM-6340F.jpg

SEM - to rodzaj mikroskopu elektronowego, w którym wiązka elektronów, skupiona na powierzchni badanej próbki w plamkę o bardzo małej średnicy (do 0,1 nm), omiata wybrany prostokątny obszar powierzchni ruchem skanującym, linia po linii.

Wiązka elektronów, wytworzona w dziale elektronowym, jest przyspieszana w polu elektrycznym i skupiana przez soczewki elektromagnetyczne. Cewki odchylające nadają jej ruch skanujący. W kolumnie badawczej SEM, przez którą przechodzi wiązka elektronowa, jest utrzymywana próżnia. Elektrony wiązki wnikają w próbkę na niewielką głębokość, ulegając wielokrotnym rozproszeniom. Niewielka część elektronów z powrotem wychodzi z próbki (tzw. elektrony wstecznie rozproszone), a te, które w niej zostają, tracą energię w różnego rodzaju oddziaływaniach, czemu towarzyszy m.in. emisja elektronów wtórnych. Emitowane przez próbkę elektrony wtórne lub wstecznie rozproszone zostają wychwycone przez detektor, a sygnał wychodzący z detektora, po wzmocnieniu, steruje jasnością wiązki elektronów poruszającej się po ekranie monitora obrazowego, synchronicznie z ruchem wiązki skanującej próbkę. Obraz jest zatem tworzony czysto elektronicznie, bez udziału soczewek, jest pewnego rodzaju mapą intensywności emisji elektronów wtórnych lub rozproszonych. Różnice w ilości emitowanych elektronów, związane z lokalnymi różnicami kąta padania wiązki na nierówności powierzchni albo ze zróżnicowanym składem chemicznym, powodują powstanie kontrastów w obrazie.

Zastosowanie do tworzenia obrazu detektora promieniowania rentgenowskiego, sprzężonego z analizatorem energii tego promieniowania (spektrometrem rentgenowskim), umożliwia dokonywanie analiz chemicznych wybranych obszarów, a nawet uzyskanie mapy składu chemicznego fragmentów próbki. W przypadku niektórych rozwiązań można przeprowadzać analizę składu fragmentów próbek o objętości rzędu 1 nm³.

Rozdzielczość najlepszych SEM sięga obecnie 1 nm, a powiększenie – ponad 200 000x.

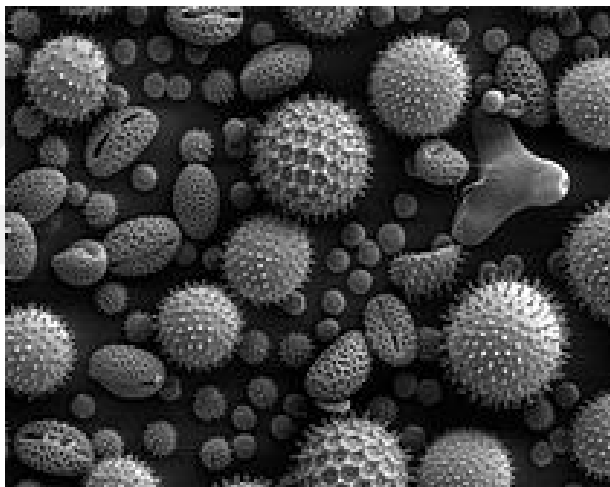


Rysunek 6. Kadr z filmu przedstawiającego zwiększenie powiększenia szklanych kulek od 12x do 12 000x.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/transcoded/1/1f/SEM_Zoom.ogg/SEM_Zoom.ogg.360p.webm

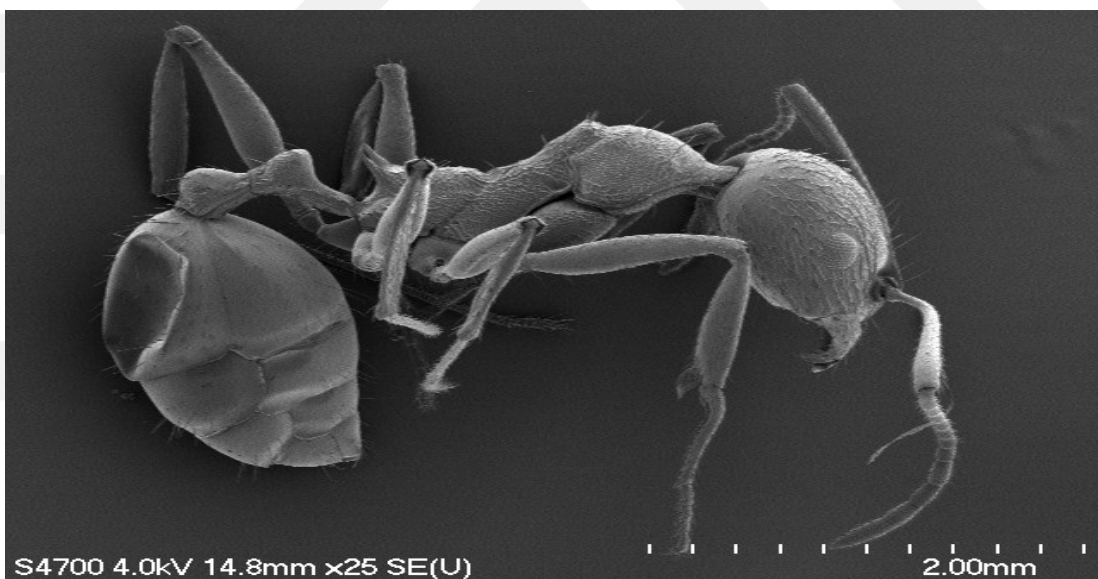


Przykładowe zdjęcia wykonane przy użyciu SEM:



Rysunek 7. Pyłki kwiatowe obserwowane za pomocą SEM.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a4/Misc_pollen.jpg/210px-Misc_pollen.jpg



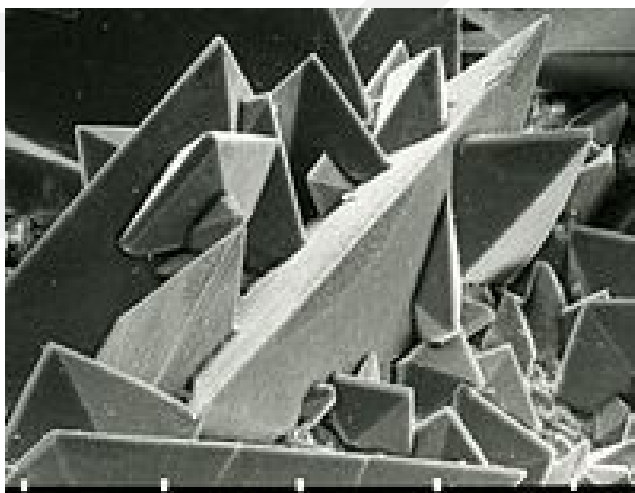
Rysunek 8. Mrówka.

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/90/Aphaenogaster.tif/lossy-page1-640px-Aphaenogaster.tif.jpg>



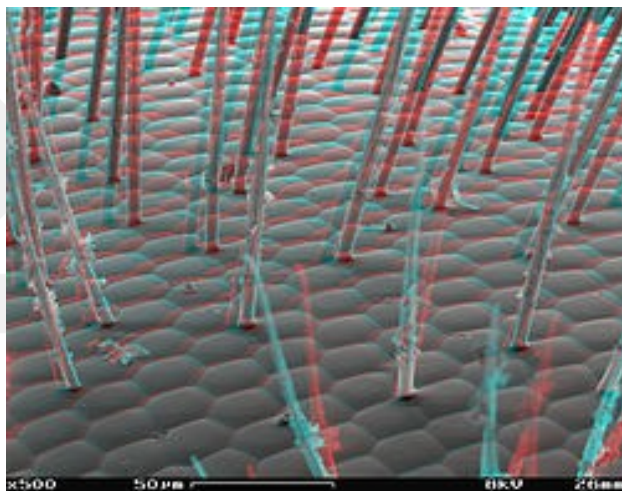
Rysunek 9. Głowa mrówki.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Ant_SEM.jpg



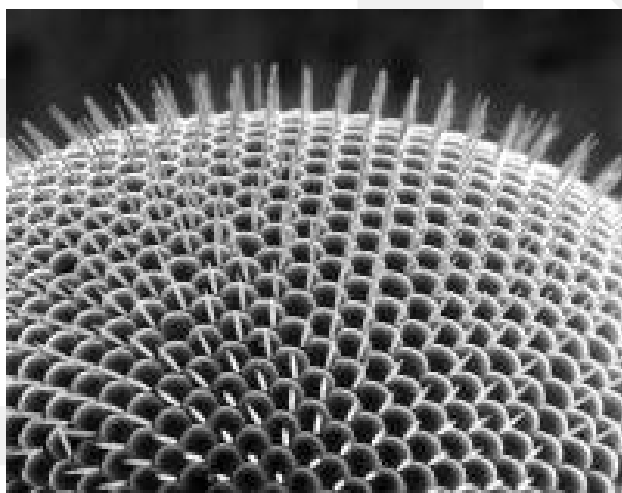
Rysunek 10. Kryształy szczawianu wapnia.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/51/Rasterelektronenmikroskopische_Abbildung_der_Oberfl%C3%A4che_eines_Nierensteins.jpg/200px-Rasterelektronenmikroskopische_Abbildung_der_Oberfl%C3%A4che_eines_Nierensteins.jpg



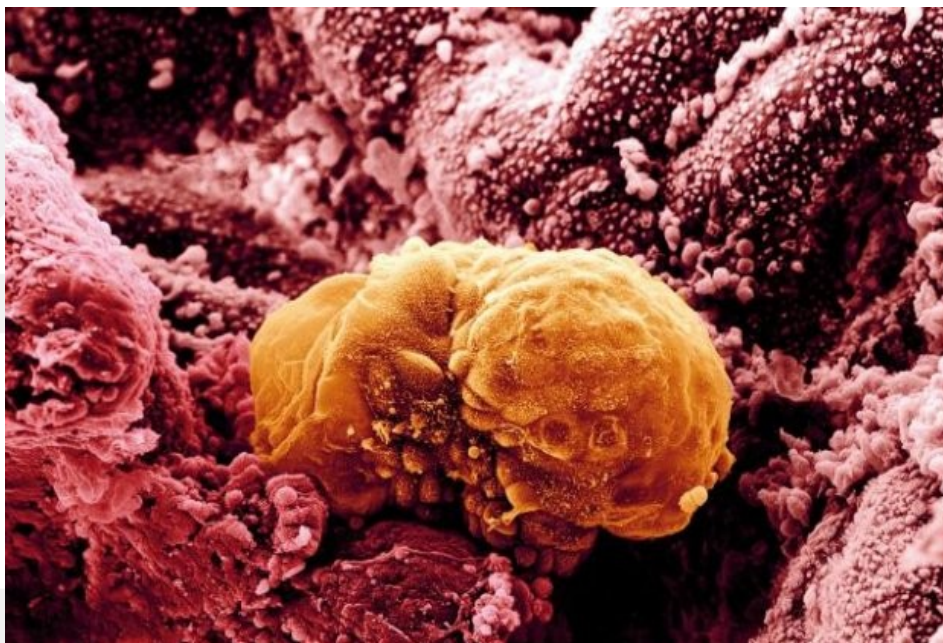
Rysunek 11. Oko pszczoły obrazowane trójwymiarowo.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/46/Bee%C2%B4s_eye_SEM_anaglyph.JPG/250px-Bee%C2%B4s_eye_SEM_anaglyph.JPG



Rysunek 12. Oko owada z rodziny wywilźnowatych.

http://www.biolog.pl/picture/elektronowy_mikroskop/owady/zwierz53.jpg



Rysunek 13. Sześciodniowy ludzki embrion, który rozpoczyna implantację na ścianie macicy.
<http://bi.gazeta.pl/im/5/9230/z9230215Q,Implant--Zdjecie-ze-skaningowego-mikroskopu-elekt.pdf>

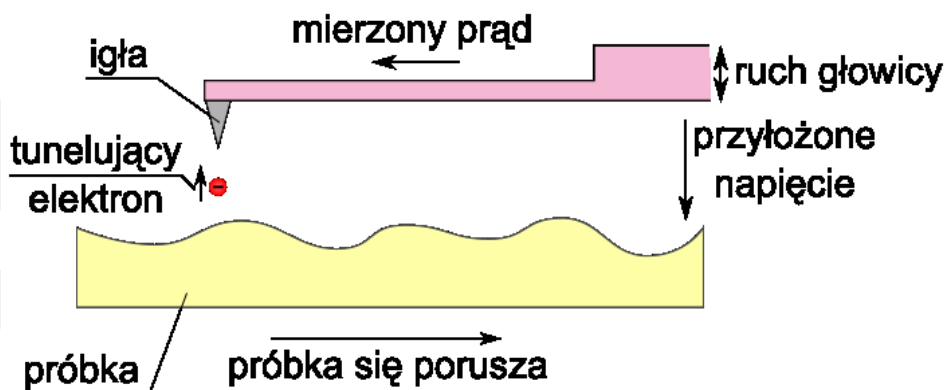
3. Skaningowy mikroskop tunelowy (ang. *Scanning Tunneling Microscope*) – STM

Jest to mikroskop elektronowy ze skanującą sondą. Umożliwia uzyskanie obrazu powierzchni materiałów przewodzących ze zdolnością rozdzielczą rzędu pojedynczego atomu. Uzyskanie obrazu powierzchni jest możliwe dzięki wykorzystaniu zjawiska tunelowego.

Nad powierzchnią próbki, która może być wykonana tylko z materiału przewodzącego prąd elektryczny lub być pokryta atomami metalu (przez tzw. napylenie metalem), umieszczona jest sonda (igła), którą można poruszać w sposób kontrolowany.

Sonda (druć wolframowy lub platynowo irydowy o średnicy 0,2–0,5 mm) zawiera na końcu kryształ ustawiony wierzchołkiem w stronę ostrza – dzięki temu zakończeniem sondy jest dokładnie jeden atom.

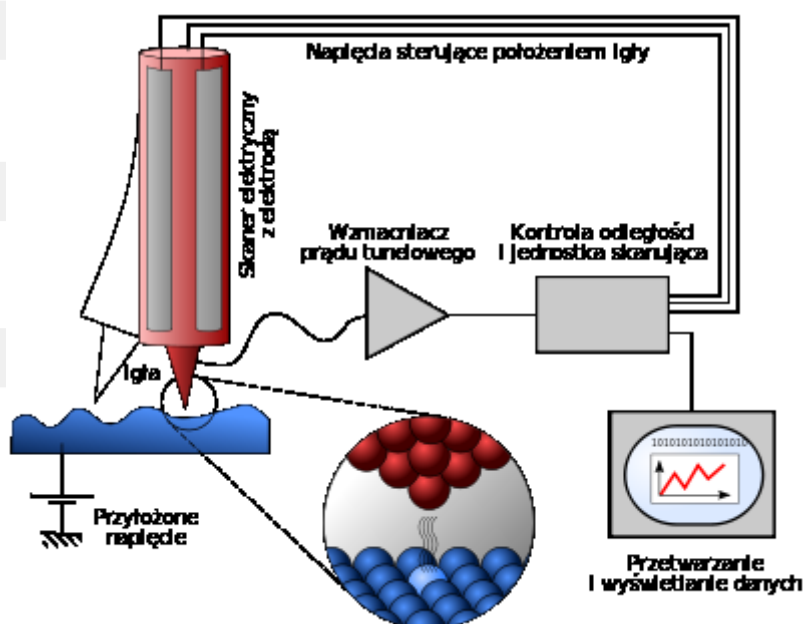
Odległość sondy od powierzchni próbki jest rzędu kilku angstrémów (do 1 nm).



Rysunek 14. Schemat działania sondy STM.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3a/Scanning_tunneling_microscope_-_scheme.svg/705px-Scanning_tunneling_microscope_-_scheme.svg.png

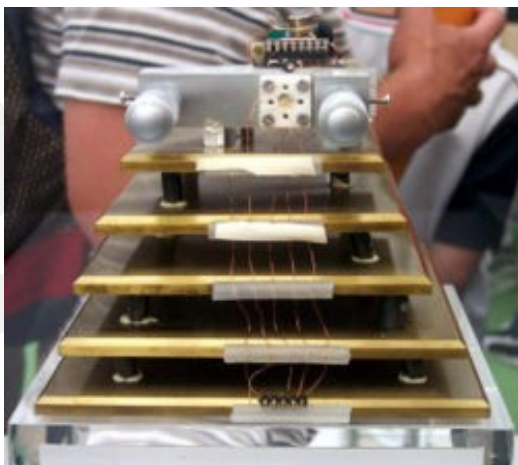
Elektrony tunelują z ostrza przez próżnię do próbki lub odwrotnie w zależności od kierunku przyłożonego napięcia. Komputer analizuje i zapamiętuje mapę prądów tunelowych dla każdego punktu próbki i na tej podstawie tworzony jest później obraz próbki.



Rysunek 15. Zasada działania mikroskopu STM.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e2/Skaningowy_mikroskop_tunelowy_-_schemat.svg/400px-Skaningowy_mikroskop_tunelowy_-_schemat.svg.png

Jednym z największych problemów urządzeń STM i AFM jest czułość na drgania zewnętrzne. Drgania te mają amplitudę rzędu μm , czyli są co najmniej 1000 razy większe niż odległość sondy od powierzchni próbki. Aby nie dochodziło do niekontrolowanych zderzeń sondy z powierzchnią próbki potrzebne są dodatkowe systemy tłumiące drgania.



Rysunek 16. Skaningowy mikroskop tunelowy na zestawie do tłumienia drgań.

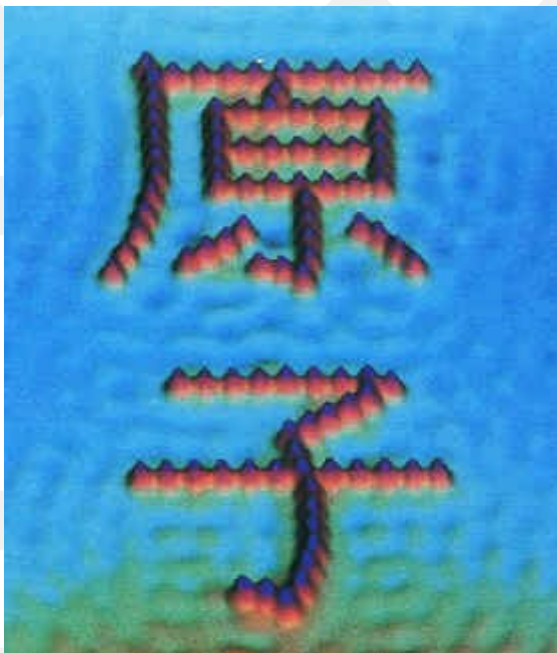
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Rastertunnelmikroskop_2004_01.jpg

Zdolność rozdzielcza mikroskopu pozwala dostrzec poszczególne atomy. Wadą mikroskopu STM jest ograniczenie możliwości obserwacji tylko do próbek wykonanych z przewodników.

Poza obrazowaniem struktury atomowej i profilu powierzchni skanowanej próbki, skaningowy mikroskop tunelowy znajduje inne zastosowania. Eksperymenty z mikroskopem STM doprowadziły do ważnego odkrycia. Jeżeli do igły przyłoży się większe napięcie niż przy skanowaniu, to może ona oderwać pojedynczy atom z powierzchni próbki i przenieść go w inne miejsce. W ten sposób możliwa jest obróbka materiału na poziomie atomowym. Mikroskop STM stał się pierwszym prawdziwym narzędziem nanotechnologii.



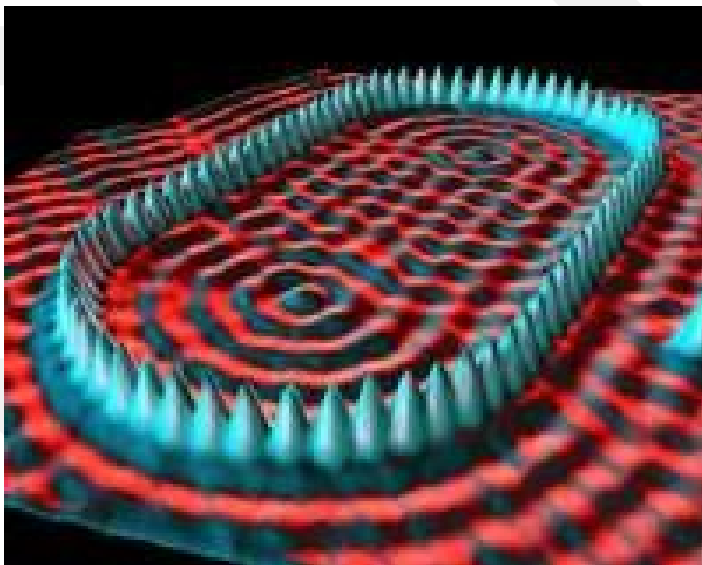
Na poniższym zdjęciu atomy zostały tak przesunięte na powierzchni metalu, że tworzą napis w języku japońskim.



Rysunek 17. Przesunięcie atomów na powierzchni metalu.

<http://sygryda.freehost.pl/images/jonowy5.jpg>.

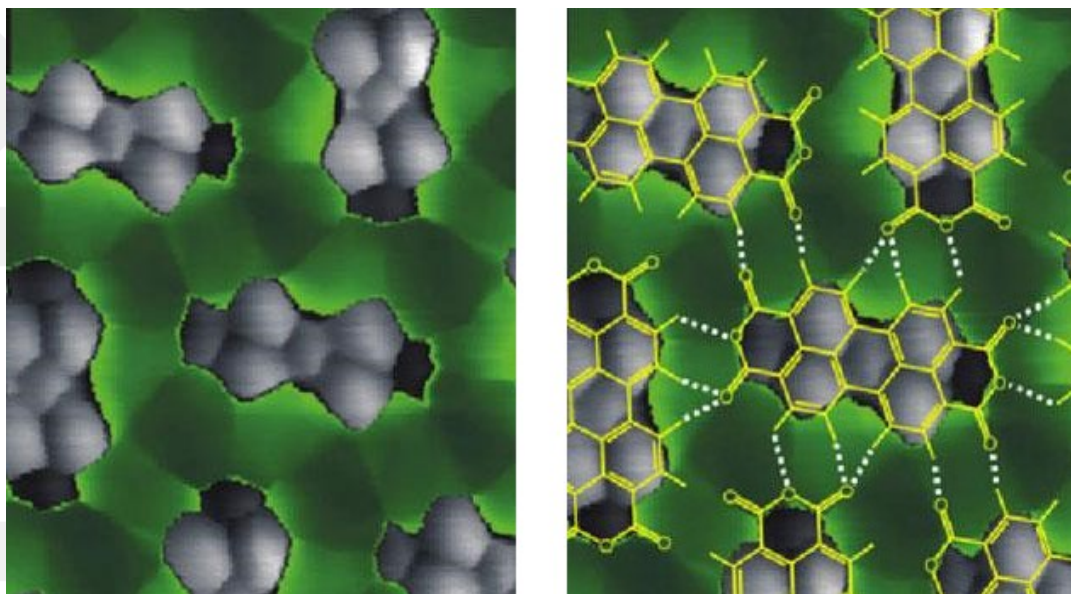
Poniższy rysunek przedstawia obraz z STM tak zwanego „kwantowego stadionu”. Stadion powstał w wyniku nałożenia 48 atomów żelaza na podłożu z czystej miedzi. Atomy żelaza rozmieszczono za pomocą ostrza mikroskopu tunelowego. Na powierzchni miedzi znajdują się swobodne elektrony tworzące dwuwymiarowy gaz elektronowy.



Rysunek 18. „Stadion kwantowy”.

http://zasoby1.open.agh.edu.pl/dydaktyka/fizyka/c_od_atomu_do_atomu/fizyka/atom_schroedingera/stm15_s.jpg

Dzięki mikroskopowi STM udało się zobrazować wiązania wodorowe pomiędzy cząsteczkami.

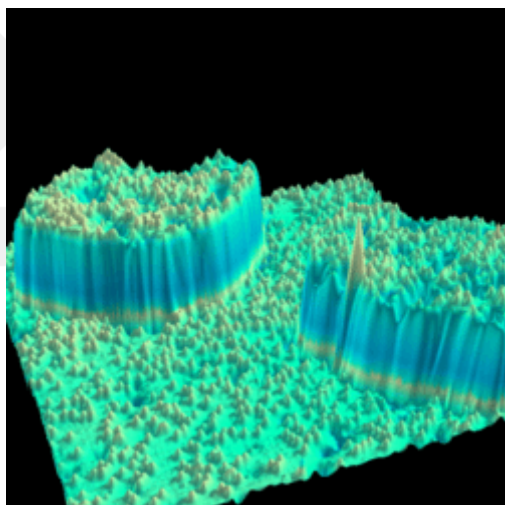


Rysunek 19. Wiązania wodorowe (linie przerywane) pomiędzy cząsteczkami substancji organicznej (kolor szary).

http://interaktywnie.com/public/upload/img/orginal/03/48/34843_wizaniawodorowedue.png

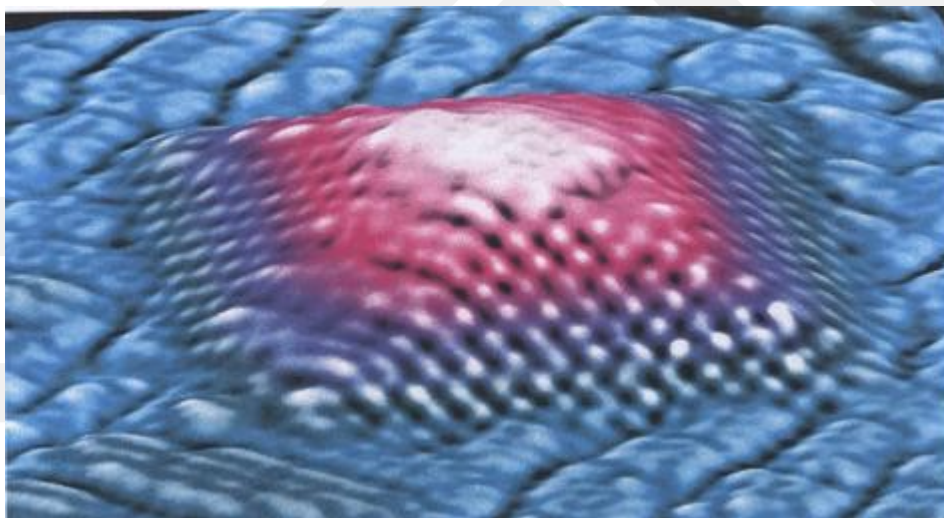


Przykładowe zdjęcia wykonane przy użyciu STM:



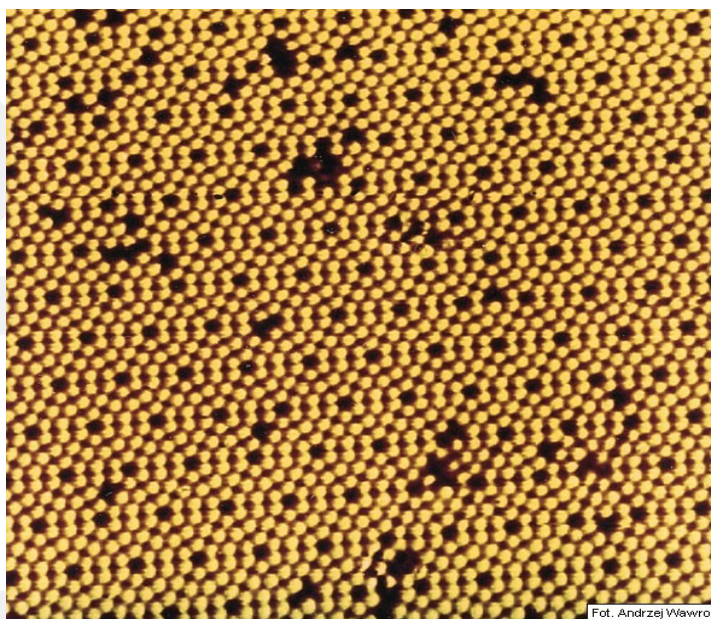
Rysunek 20. Obraz zanieczyszczeń (chrom) na powierzchni żelaza.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/St2930_gail.gif



Rysunek 21. Piramida złożona z atomów germanu na podłożu krzemowym.

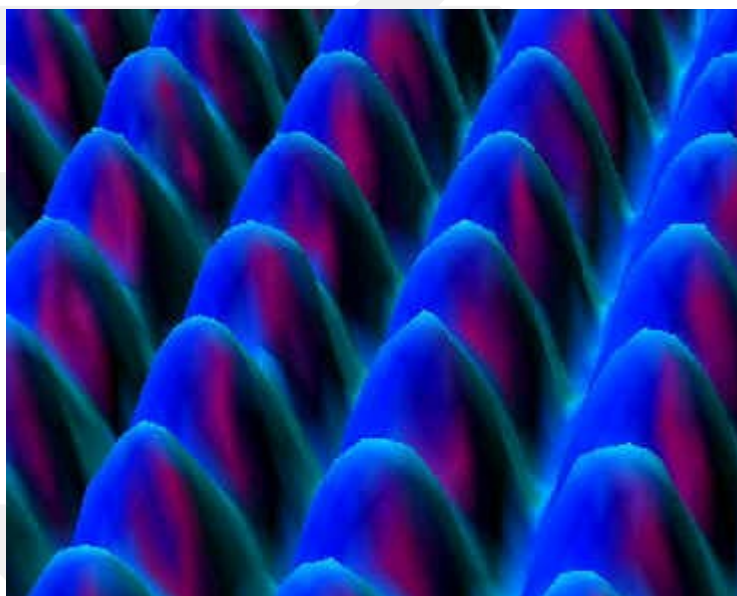
http://www.fuw.edu.pl/~mirkoz/fizyczne_v2_pliki/image006.jpg



Rysunek 22. Powierzchnia krzemu.

<http://archiwum.wiz.pl/images/duze/1999/09/99092505.JPG>

Rozmiar analizowanego obszaru wynosi $30 \times 21 \text{ nm}^2$. Żółte kółka są obrazami atomów krzemu ułożonych w najwyższej warstwie. Każda komórka elementarna o kształcie rombu zawiera 12 takich atomów.



Rysunek 23. Powierzchnia niklu.

http://users.uj.edu.pl/~ufpostaw/2_Pracownia/D1/images/powier19.jpg