

MBM - opracowanie

Zagadnienia

Love kiss

1. Przewodnictwo elektryczne przewodników, półprzewodników i dielektryków. Wyjaśnić charakter przewodnictwa elektrycznego w dielektrykach.
2. Udowodnić, że rezystywność jest stałą materiałową.
3. Rezystancja skrośna, rezystancja powierzchniowa, rezystywność skrośna, rezystywność powierzchniowa. Definicje, jednostki, metody pomiarów.
4. Porównać i przedyskutować pomiar rezystancji skrośnej i powierzchniowej w układach dwu- i trójelektrodowym. Rola pierścienia ochronnego w badaniach rezystancji.
5. Przedstawić i objąść zależność prądu płynącego przez dielektryk od czasu.
6. Wpływ czynników zewnętrznych na wyniki pomiarów rezystancji.
7. Przenikalność elektryczna względna: definicja. Istota pomiaru pojemności kondensatora z dielektrykiem w układzie 2-elektrodowym i 3-elektrodowym. Przeanalizować wpływ konfiguracji elektrod na pomiar pojemności.
8. Mechanizmy polaryzacji dielektryków. Przedstawić zależność przenikalności elektrycznej względnej od częstotliwości i temperatury. Uzasadnić przebiegi charakterystyk.
9. Układy zastępcze dielektryku stratnego. Wyprowadzić zależność na $\tg(\delta)$. Charakterystyki $\tg(\delta) = f(freq)$.
10. Straty energii w dielektryku. Rodzaje strat, zależność od częstotliwości i temperatury. Straty w dielektrykach polarnych i niepolarnych. Straty w dielektrykach rzeczywistych.
11. Wpływ sposobu nakładania elektrod na pomiar pojemności. Przedstaw zasadę pomiaru C i $\tg(\delta)$ metodą mostkową.
12. Wytrzymałość elektryczna. Wpływ czynników zewnętrznych. Sześciofluorek siarki, właściwości, zastosowania.
13. Co to jest elektret, metody wytwarzania, charakterystyczne parametry, zastosowania.
14. Właściwości magnetyczne ciał stałych. Krzywa magnesowania, przedstawić graficznie charakterystyczne punkty. Materiały magnetycznie miękkie i twarde, porównać. Przykłady.
15. Zjawisko Halla. Podać warunki jakie należy spełnić, aby to zjawisko wystąpiło. Jakie parametry materiałowe można wyznaczyć zajmując stałą Halla?
16. Właściwości mechaniczne ciał stałych i analiza cieplna materiałów.

Wojcieszak

1. Opisz budowę i zasadę działania SEM.
2. Opisz artefakty występujące w SEM i skomentuj z czym związane jest ich występowanie.
3. Scharakteryzuj mody TOPO i COMPO w SEM (do czego służą, jaki jest ich algorytm, jak można rozróżnić obrazy zarejestrowane w tych modach).
4. Scharakteryzuj sygnał EWR w SEM (w odpowiedzi uwzględnij charakterystykę współczynnika wstecznego rozpraszania).
5. Opisz i zilustruj efekty wykorzystywane do obrazowania topografii w SEM.
6. Jakie wymagania powinna spełniać próbka lub w jaki sposób można ją przygotować, aby mogła być obrazowana przy użyciu SEM.
7. Opisz budowę i zasadę działania TEM.
8. W jaki sposób należy przygotować próbkę na potrzeby TEM (opisz preparatykę np. z użyciem FIB).
9. Jakie informacje można uzyskać za pomocą TEM - odpowiedź odnieś do modów: BFTEM, HRTEM, SAED.
10. Opisz budowę i zasadę działania STM (w odpowiedzi zawrzyj informację o modach i rodzaju próbek jakie można badać).
11. Opisz budowę i zasadę działania AFM.
12. Scharakteryzuj mody pracy AFM i napisz do jakich badań służą (zwłaszcza jakich próbek).
13. Jakie artefakty mogą się pojawić na obrazach AFM i z czym ich obecność będzie związana.
14. Na czym polega metoda OBIC i do charakteryzacji jakich materiałów jest ona stosowana.
15. Metoda transmisji światła - na czym polega oraz jakie parametry można wyznaczyć na podstawie zmierzonych charakterystyk.

16. W jaki sposób można określić zwilżalność powierzchni nanomateriałów cienkowarstwowych.

Opracowanie

Love kiss

Przewodnictwo elektryczne przewodników, półprzewodników i dielektryków. Wyjaśnić charakter przewodnictwa elektrycznego w dielektrykach.

Przewodnictwo elektryczne - ruch ładunków elektrycznych w materiale pod wpływem pola elektrycznego.

Nośniki ładunku są w stałym losowym ruchu. Po wprowadzeniu materiału w pole elektryczne, ruch staje się uporządkowany i rozpoczyna się przepływ prądu - prądu przewodnictwa, w dielektrykach zwanym prądem upływu (skrótnym lub powierzchniowym).

W przewodnikach nośnikami ładunku są uwolnione od jąder elektrony w paśmie przewodnictwa.

W półprzewodnikach i dielektrykach pomiędzy pasmem walencyjnym a pasmem przewodnictwa występuje istotna przerwa wzbroniona. Energia elektronów, potrzebna do przejścia elektronu do pasma przewodnictwa zależy od temperatury. W temperaturze pokojowej nie może występować przewodnictwo elektronowe w półprzewodnikach i dielektrykach.

W dielektryku w zasadzie nie ma swobodnych elektronów. Przewodzenie jest więc zawsze związane z ruchem jonów - **charakter przewodnictwa jest jonowy**. Przewodnictwo jest zależne od:

- liczby jonów w jednostce objętości
- ich ruchliwości
- struktury materiału

wielkości te z kolei są zależne od warunków zewnętrznych:

- natężenie pola elektrycznego
- czynników dysocjujących
- czasu działania pola elektrycznego
- liczby i rodzaju zanieczyszczeń

Ogólnie możemy powiedzieć, że przewodnictwo rzeczywistych izolatorów wiąże się z przewodnictwem typu jonowego, zawartością zanieczyszczeń oraz z nieregularnościami struktury krystalicznej.

Udowodnić, że rezystywność jest stałą materiałową.

Współczynniki materiałowe - liczby charakteryzujące materiał niezależnie od wielkości i kształtu próbki. Rezystywność jest właściwością odniesioną do jednostkowych wymiarów materiału więc nie zależy od jego wielkości.

Bardziej en.funky dowód:

Rezystywność, z racji bycia odwrotnością konduktywności, zależy wyłącznie od koncentracji nośników ładunków, wartości ładunków oraz ruchliwości nośników. Wszystkie te wartości nie zależą od wielkości czy kształtu próbki, a więc odwrotność ich iloczynu również od nich nie zależy. $\rho = \frac{1}{\sum n_i q_i u_i}$. Zaniedbano obecność prądu polaryzacyjnego.

Rezystancja skrośna, rezystancja powierzchniowa, rezystywność skrośna, rezystywność powierzchniowa. Definicje, jednostki, metody pomiarów.

- Rezystancja skrośna - R_v - stosunek napięcia stałego doprowadzonego do próbki za pomocą elektrod do ustalonej wartości natężenia prądu płynącego między elektrodami na wskroś próbki bez uwzględnienia prądów powierzchniowych. Wyrażana jest w Omach [Ω]
- Rezystancja powierzchniowa - R_s - stosunek napięcia stałego doprowadzonego do próbki za pomocą elektrod do natężenia prądu płynącego między elektrodami na powierzchni próbki bez uwzględnienia prądów skrośnych. Wyrażana jest w Omach [Ω]
- Rezystywność skrośna - ρ_v - [brzydka definicja] rezystancja skrośna odniesiona do wymiarów jednostkowych; [ładna definicja] stosunek natężenia stałego pola elektrycznego do gęstości ustalonego prądu płynącego

miedzy elektrodami na wskroś próbki bez uwzględnienia gęstości prądów powierzchniowych. Wyrażana jest w omach razy metr $\frac{V/m}{A/m^2} = \Omega m$

- Rezystwność powierzchniowa - ρ_s - [brzydka definicja] rezystancja powierzchniowa odniesiona do wymiarów jednostkowych; [ładna definicja] iloraz natężenia stałego pola elektrycznego i gęstości liniowego prądu w wierzchniej warstwie materiału, $\rho_s = \frac{\rho_0}{d}$, $\rho_s = R_s \cdot \frac{b}{l}$, gdzie l - długość, b - szerokość przewodnika, d - grubość warstwy powierzchniowej. Wyrażana jest w Omach [Ω].

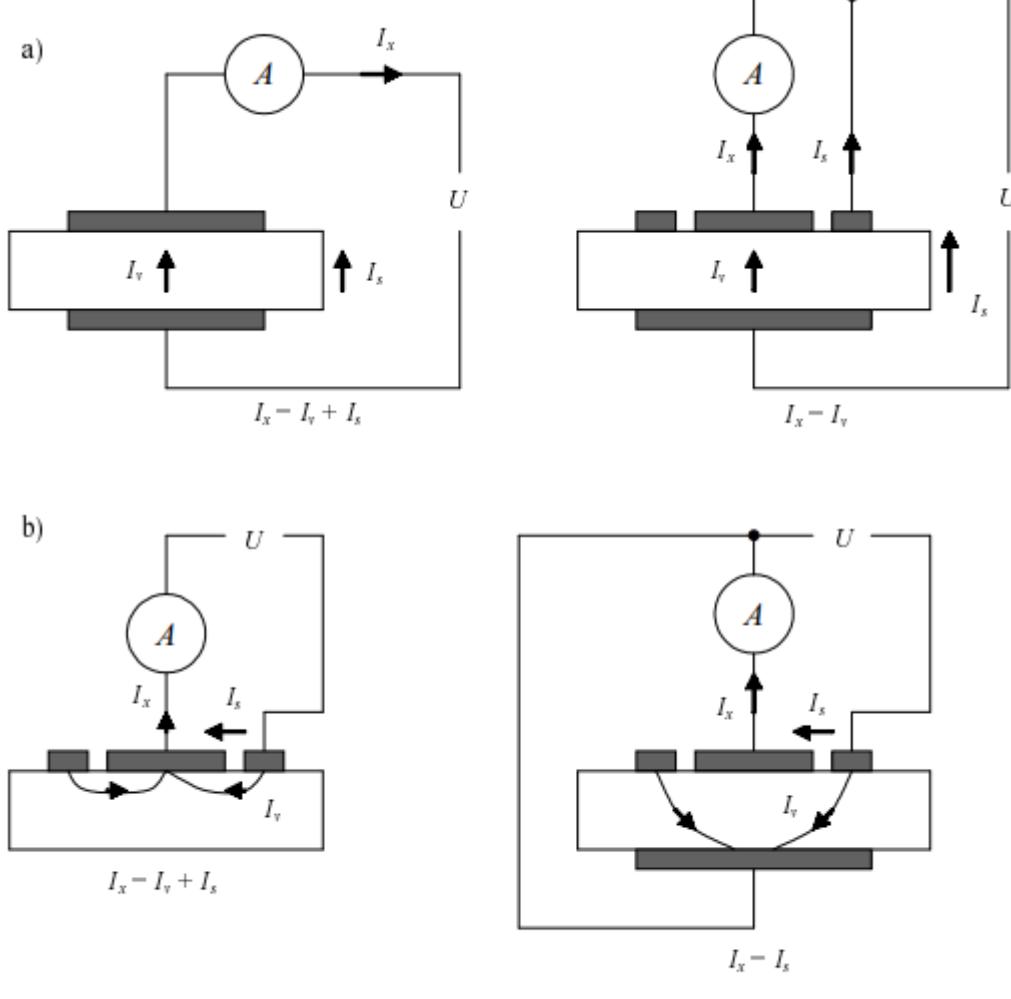
Rezystancje się mierzy, a rezystwności wyznacza

Metody pomiaru rezystancji:

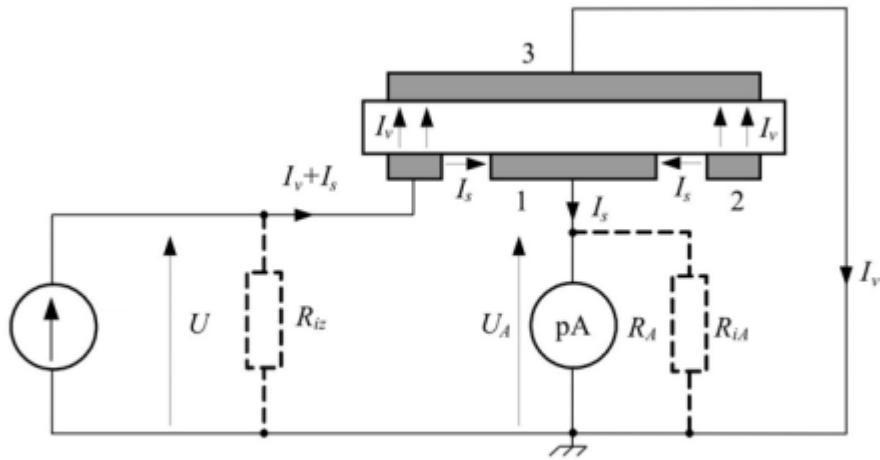
- techniczne
- mostkowe
- porównawcze
- ładowania kondensatora
- elektrometryczne

Szczegółowy opis metod - w Dodatku

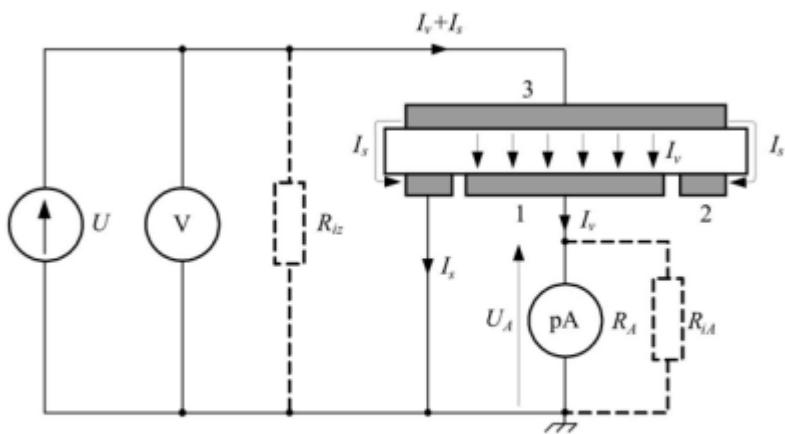
Porównać i przedyskutować pomiar rezystancji skrośnej i powierzchniowej w układach dwu- i trójelektrodowym. Rola pierścienia ochronnego w badaniach rezystancji.



Rys. 1.10. Pomiar rezystancji w układach dwu- i trójelektrodowym:
a – rezystancji skrośnej, b – rezystancji powierzchniowej



Rys. 6.1.2. Schemat układu do pomiaru rezystancji powierzchniowej w układzie trójelektrydowym.
Elektrody: 1 – pomiarowa, 2 – napięciowa, 3 – ochronna



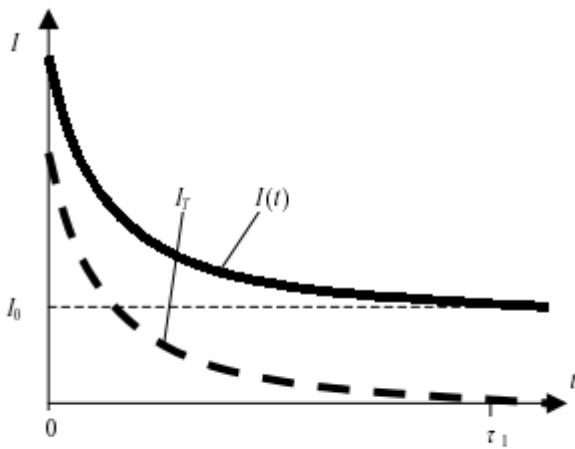
Rys. 5.1.2. Schemat układu do pomiaru rezystywności skrośnej w układzie trójelektrydowym.
Elektrody: 1 – pomiarowa, 2 – ochronna, 3 – napięciowa

Gdy rezystancję skrośną mierzy się w układzie dwielektrydowym, wtedy prąd powierzchniowy zafalszuje wyniki pomiarów, gdyż zmierzony prąd jest sumą prądów skrośnego I_v i powierzchniowego I_s . Zastosowanie elektrody ochronnej połączonej z masą źródła napięcia U powoduje, że prąd powierzchniowy I_s teoretycznie nie płynie przez miernik prądu. Natomiast między elektrodami pomiarową i napięciową płynie tylko prąd skrośny I_v .

W przypadku, gdy rezystancję powierzchniową mierzy się w układzie dwielektrydowym, prąd skrośny I_v zafalszuje wyniki pomiarów, gdyż prąd mierzony przez pikoamperomierz jest sumą prądu powierzchniowego I_s i skrośnego I_v . Zastosowanie układu trójelektrydowego, w którym elektroda ochronna jest połączona z masą źródła napięcia U , powoduje, że prąd skrośny I_v teoretycznie nie płynie przez miernik prądu. Natomiast między elektrodami pomiarową i 2 napięciową płynie tylko prąd powierzchniowy I_s .

Zadaniem pierścienia jest więc wyeliminowanie prądu powierzchniowego przy pomiarze rezystancji skrośnej i prądu skrośnego przy pomiarze rezystancji powierzchniowej.

Przedstawić i objaśnić zależność prądu płynącego przez dielektryk od czasu.



Rys. 1.3. Zależność prądu płynącego przez dielektryk od czasu

Całkowity prąd $I(t)$ płynący przez dielektryk jest sumą dwóch składowych: składowej stałej I_0 , związanej z przewodnictwem elektrycznym, oraz składowej przejściowej I_T , związanej z efektami polaryzacyjnymi. Po czasie τ_1 prąd przejściowy jest praktycznie równy零u i $I(t) = I_0$.

Wpływ czynników zewnętrznych na wyniki pomiarów rezystancji.

Na wynik pomiarów rezystancji wpływ mają następujące czynniki zewnętrzne:

- napięcie pomiarowe
- temperatura
- czas
- wilgotność

Napięcie pomiarowe

Prawo Ohma jest dobrze spełnione przez metale, gorzej dla półprzewodników i dielektryków. Powyżej pewnego krytycznego/granicznego napięcia U_{kr}/U_{gr} charakterystyka odbiega od liniowości.

W przypadku dielektryków o nieliniowości **tak naprawdę nie świadczy napięcie** tylko natężenie pola elektrycznego. Charakterystyka jest linowa kiedy pole jest jednorodne. Pole jest jednorodne jeżeli dla różnych napięć pomiarowych rezystancja jest taka sama.

Temperatura

Rezystancja dielektryków maleje ze wzrostem temperatury ze względu na wzrastającą jonizację.

Czas

Dla czasów długich: stała, po długim czasie spada (starzenie)

Dla czasów krótkich: rośnie w pierwszych 60s (prąd polaryzacyjny), potem stała

Wilgotność

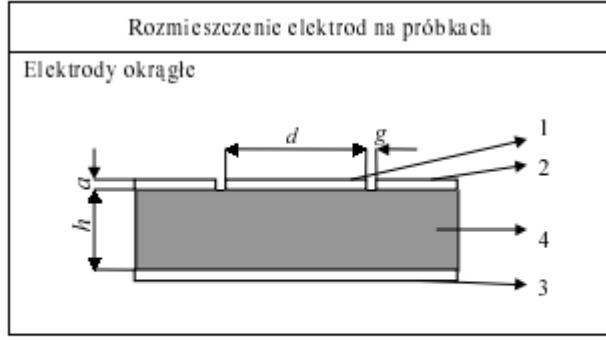
Wpływ wilgotności zależy od rodzaju dielektryka i szczególnie ujawnia się na powierzchniach materiałów hydrofilowych, tworzących błonę wodną.

rodzaj materiału	rezystancja skrośna	rezystancja powierzchniowa
higroskopijne	spada wraz ze wzrostem wilgotności	spada wraz ze wzrostem wilgotności
jonowe i dipolowe	jest stała	spada wraz ze wzrostem wilgotności
neutralne	jest stała	jest stała

Spadki nie są liniowe

Przenikalność elektryczna względna: definicja. Istota pomiaru pojemności kondensatora z dielektrykiem w układzie 2-elektrodowym i 3-elektrodowym. Przeanalizować wpływ konfiguracji elektrod na pomiar pojemności.

Przenikalność elektryczna względna ϵ_r jest to stosunek pojemności C_x kondensatora, w którym przestrzeń pomiędzy okładkami i wokół elektrod jest całkowicie zapełniona badanym materiałem (dielektrykiem), do pojemności C_0 elektrod, rozmieszczonych w ten sam sposób w próżni. $\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0}$.



- 1 – elektroda pomiarowa,
 2 – elektroda ochronna,
 3 – elektroda wysokonapięciowa,

Układ trójelektrodowy stosuje się przede wszystkim do pomiarów metodami mostkowymi przy częstotliwościach do 100kHz. **Zastosowanie elektrody ochronnej obniża wpływ pojemności brzegowej i wyklucza wpływ pojemności powierzchniowej.**

Efektywność pierścienia ochronnego jest tym większa:

- im mniejsza jest szczelina między elektrodą pomiarową i ochronną
- im mniejsza jest różnica potencjałów między elektrodą pomiarową i ochronną
- im mniejsza jest grubość badanej próbki

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0}$$

Układ dwuelektrodowy stosuje się przy częstotliwościach większych niż 10kHz, kiedy zastosowane metody pomiarowe uniemożliwiają przyłączenie elektrod ochronnych, a upływność powierzchniową można pominąć. Podczas obliczania przenikalności elektrycznej trzeba uwzględnić pojemność brzegową C_b oraz pojemność rozproszoną C_r , wyznaczonych ze wzorów empirycznych.

$$\epsilon_r = \frac{C_x - C_b - C_r}{C_0}$$

Wpływ konfiguracji elektrod

Efektywność pierścienia ochronnego jest tym większa

- im mniejsza jest szczelina pomiędzy elektrodą pomiarową i ochronną
- im mniejsza jest różnica potencjałów pomiędzy elektrodą pomiarową i ochronną
- im mniejsza jest grubość badanej próbki

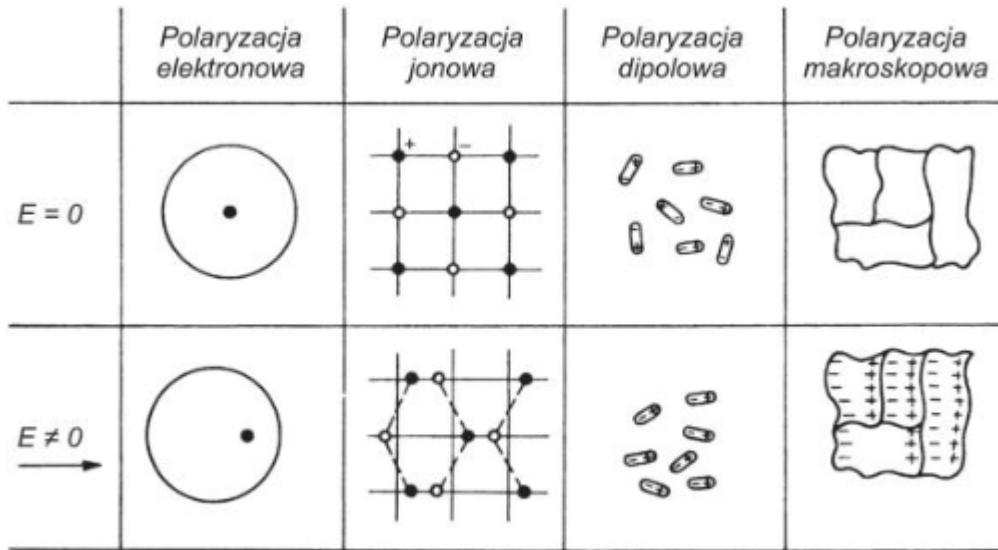
Rozmieszczenie elektrod ma też wpływ na teoretyczną wartość pojemności kondensatora w powietrzu. Szczegóły w *Dodatku*.

Mechanizmy polaryzacji dielektryków. Przedstawić zależność przenikalności elektrycznej względnej od częstotliwości i temperatury. Uzasadnić przebiegi charakterystyk.

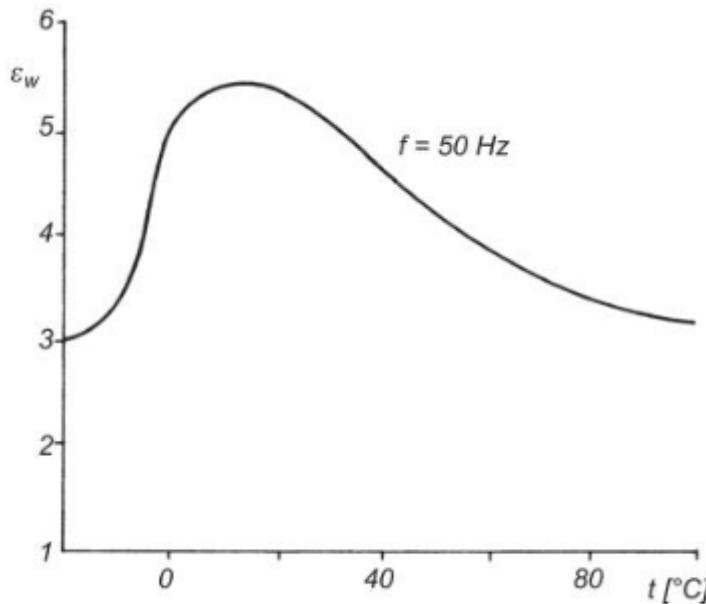
Mechanizmy polaryzacji:

- polaryzacja elektronowa - pole elektryczne wywołuje względne przesunięcie dodatniego i ujemnego ładunku atomu. Atom uzyskuje w ten sposób indukowany elektryczny moment dipolowy
- polaryzacja atomowa (molekularna, cząsteczkowa) - jest rezultatem przesunięcia się względem siebie atomów cząsteczek posiadających różne ładunki. Atomy mają znacznie większe masy niż elektrony, dlatego reakcja na zmianę pola elektrycznego jest wolniejsza. Jej udział w całkowitej polaryzacji jest znacznie mniejszy niż polaryzacji elektronowej, toteż niekiedy bywa ona pomijana
- polaryzacja jonowa - pole wywołuje względne przesunięcie dodatnich i ujemnych jonów w cząsteczkach. Indukowany jest wówczas dodatkowy moment dipolowy
- polaryzacja dipolowa (polaryzacja orientacji) - jeśli w nieobecności pola istnieją w ośrodku stałe momenty dipolowe ustawione w różnych przypadkowych kierunkach. Pole elektryczne powoduje ich obrót i uporządkowanie w kierunku pola.

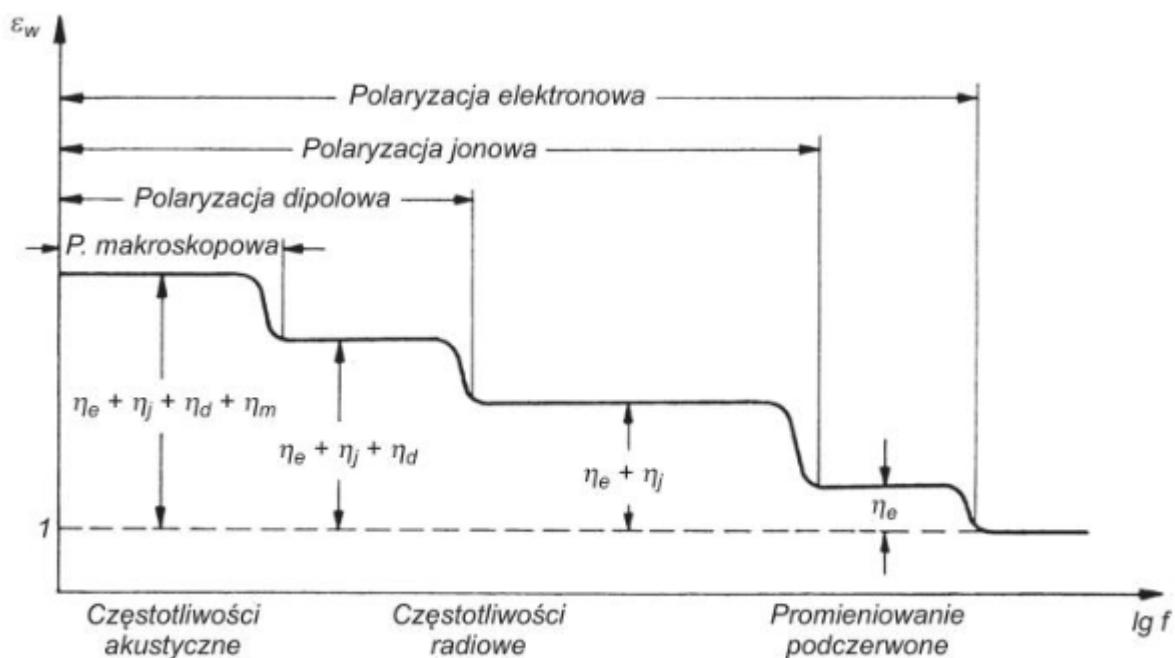
- polaryzacja makroskopowa - związana z ładunkiem przestrzennym. Ładunki swobodne w dielektryku przemieszczają się pod wpływem pola. Zatrzymują się na granicach ziaren lub nieprawidłowościach struktury.



Rys. 4.11–1. Mechanizmy polaryzacji elektrycznej



Rys. 4.15–1. Zależność ϵ_w oleju syntetycznego od temperatury



Rys. 4.15–2. Zależność składowych względnej przenikalności elektrycznej od częstotliwości

ϵ_w jest funkcją temperatury. Zależność nie musi być liniowa ani nawet monotoniczna. Dla wody ϵ_w maleje wraz ze wzrostem temperatury, ale dla oleju syntetycznego jest niemonotoniczna (ma maksimum dla ok. $10^\circ C$). Dla dielektryków jonowych ϵ_w rośnie ze wzrostem temperatury, bo rozluźniają się wiązania jonowe i zwiększa się polaryzacja jonowa. Dla dielektryków dipolowych natomiast maleje, ponieważ zwiększa się chaotyczny ruch dipoli.

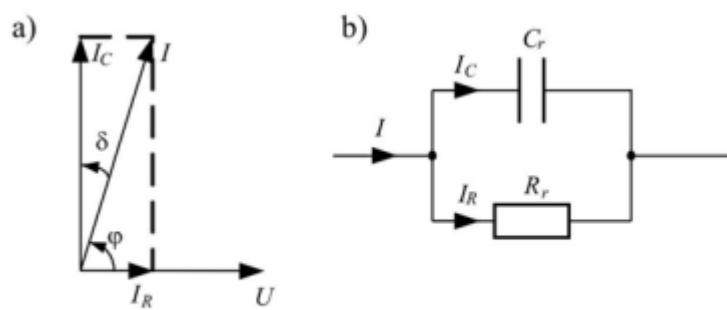
Dla dielektryków, w których występuje tylko polaryzacja elektronowa i jonowa, ϵ_w jest praktycznie niezależny od częstotliwości dla szerokiego zakresu wartości.

ϵ_w zawsze maleje w funkcji częstotliwości, ponieważ niektóre rodzaje polaryzacji "nie nadążają" za częstą zmianą prądu.

Układy zastępcze dielektryku stratnego. Wyprowadzić zależność na $\operatorname{tg}(\delta)$.

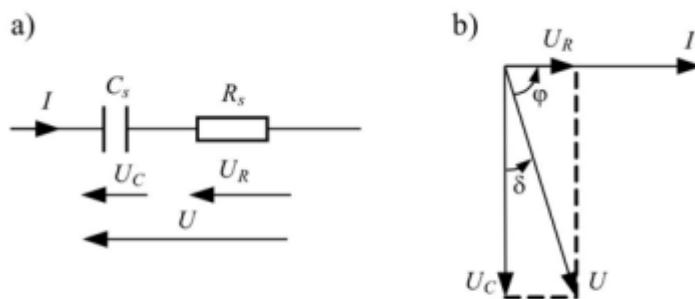
Charakterystyki $\operatorname{tg}(\delta) = f(freq)$.

(W dielektryku niepolarnym modelowanym równoległy układem zastępczym wartość oporu określa tylko rezystywność skrośną. $[R_v = \rho_v \cdot \frac{l}{S}]$ - zdanie dane trochę od Boga.)



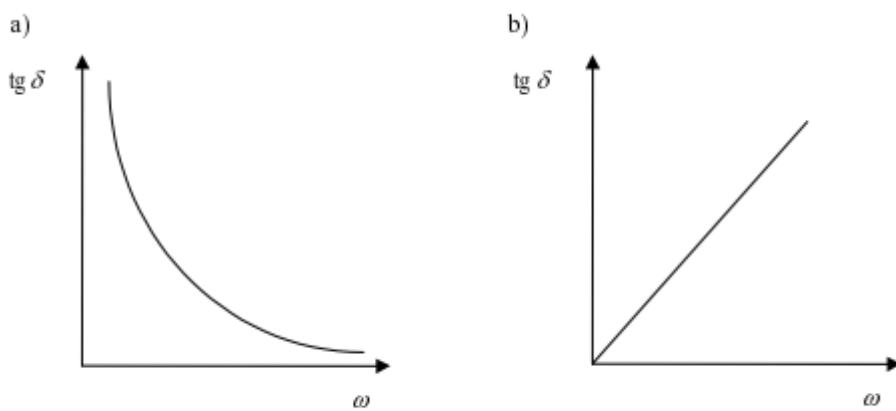
Rys. 3.1. Wykres wskazowy prądów kondensatora z dielektrykiem rzeczywistym między okładkami (a) i odpowiadający mu równoległy układ zastępczy (b)

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\frac{U}{R}}{U\omega C} = \frac{1}{\omega RC} = \frac{1}{2\pi fRC} = \frac{1}{2\pi f\rho_v\epsilon}$$



Rys. 3.2. Szeregowy układ zastępczy kondensatora z dielektrykiem stratnym (a) i jego wykres wskazowy (b)

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{U_c}{U_R} = \frac{IR}{\frac{I}{\omega c}} = \omega RC = 2\pi fRC$$



Rys. 3.4. Zależność $\operatorname{tg} \delta$ od częstotliwości dla układów zastępczych:
a) równoleglego, b) szeregowego

Straty energii w dielektryku. Rodzaje strat, zależność od częstotliwości i temperatury. Straty w dielektrykach polarnych i niepolarnych. Straty w dielektrykach rzeczywistych.

Straty energii w dielektryku wywołane są polaryzacją i prądami upływu

$$I = I_c + I_a + I_u$$

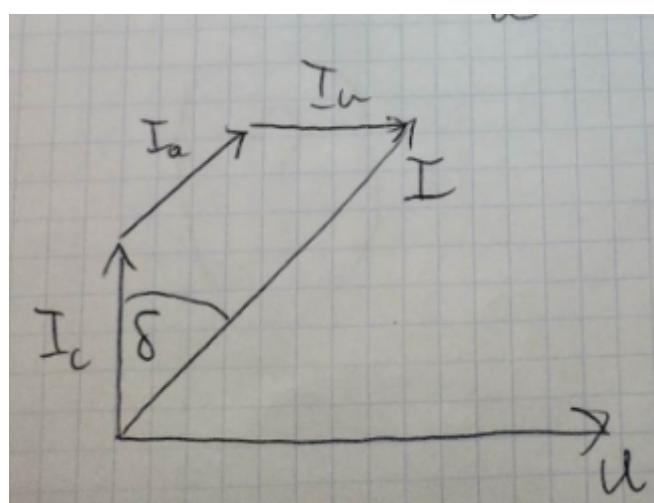
$$I_c + I_a = I_p$$

I_c - prąd ładowania związany z polaryzacją elektronową i jonową, nie wywołuje strat energii

I_a - prąd absorpcyjny związany z polaryzacją dipolową. Jego energia zamieniana jest częściowo w energię potencjalną odkształceń sprężystych dipoli, a częściowo zużywana na pokonanie oporów stawianych przez ośrodek obrotom cząstek dipoli. Ta część energii zużywana jest nieodwracalnie na ciepło

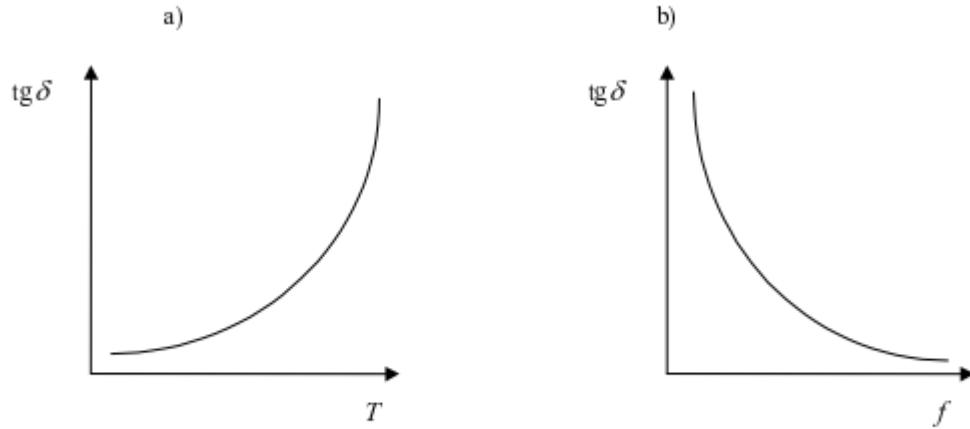
I_u - prąd upływu wywołany konduktywnością skrośną dielektryka. Przepływowi tego prądu towarzyszą straty energii elektrycznej na ciepło.

I_p - prąd polaryzacyjny



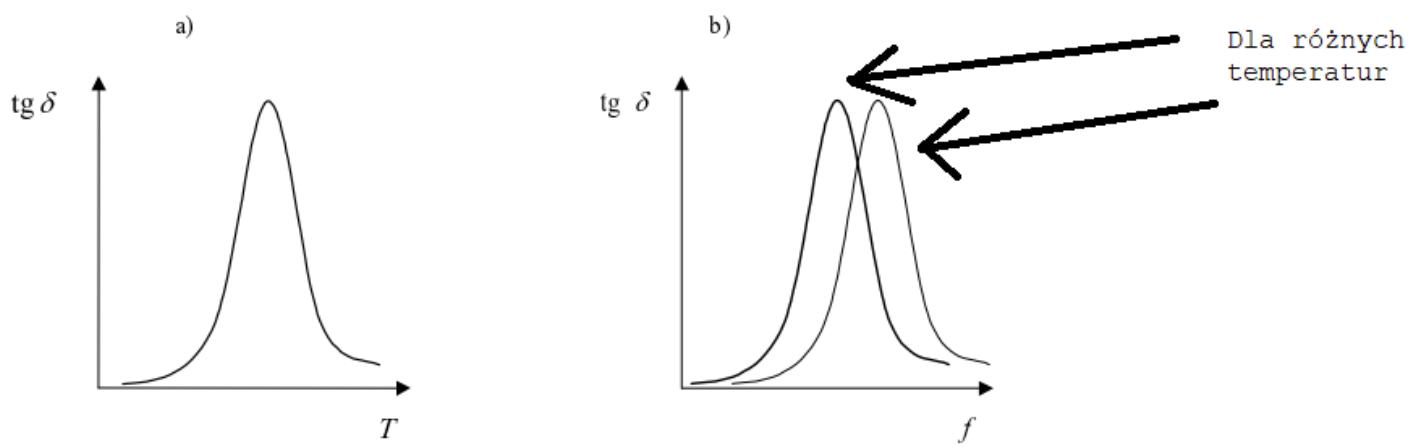
W dielektrykach występują straty:

- przewodniczościowe - w dielektrykach niepolarnych
- relaksacyjne (polaryzacyjne) - w dielektrykach polarnych
- jonizacyjne - występują w dielektrykach niejednorodnych zawierających wtrącenia gazowe, np. ceramice.
Występują w przemiennym polu elektrycznym.



Rys. 3.6. Przebieg $\operatorname{tg} \delta$ dla strat typu przewodnictwego:
a) w funkcji temperatury, b) w funkcji częstotliwości

Ze wzrostem temperatury maleje rezystywność - więc (dla układu równoległego i dielektryków niepolarnych) - $\operatorname{tg} \delta$ maleje wraz ze wzrostem częstotliwości i rośnie ze wzrostem temperatury ($\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{2\pi f RC}$).



Rys. 3.5. Przebieg $\operatorname{tg} \delta$ dla strat typu relaksacyjnego:
a) w funkcji temperatury, b) w funkcji częstotliwości

Dla dielektryków polarnych - tangens w funkcji częstotliwości na początku rośnie bo rośnie energia tracona na obrót dipoli, potem maleje bo obrót dipoli nie nadąża za zmianami pola elektrycznego - zanika składowa dipolowa polaryzacji.

W funkcji temperatury - przy niskiej temperaturze duża lepkość więc ruch dipoli niewielki i obserwujemy małe straty (nie ma ruchu nie ma na czym tracić). Potem lepkość maleje na tyle aby ruch był możliwy ale generuje on stary energii, więc tangens rośnie. Przy najwyższej temperaturze dipole mogą poruszać się bez strat energii - tangens maleje.

W dielektrykach i układach rzeczywistych występuje zwykle jednocześnie straty kilku rodzajów. Stosunek wzajemny strat różnych rodzajów, związany jest z budową i jakością dielektryku, zmienia się wraz ze zmianą częstotliwości i temperatury.

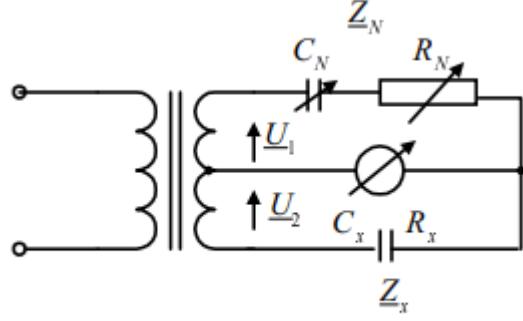
Wpływ sposobu nakładania elektrod na pomiar pojemności. Przedstaw zasadę pomiaru C i $\operatorname{tg}(\delta)$ metodą mostkową.

Wpływ sposobu nakładania elektrod na pomiar pojemności:

największy uchyb jest spowodowany przez cienką warstwę powietrza między elektrodą a powierzchnią próbki. Jest on szczególnie duży, gdy badany materiał ma małą grubość lub gdy jego przenikalność elektryczna jest bardzo duża.

- im większa szczelina, tym większy błąd pomiaru
- istnienie szczeliny powietrznej jest w tym bardziej krytyczne, im większa przenikalność elektryczna materiału - dla materiałów o dużej przenikalności elektrycznej przyleganie musi być bardzo dobre

Do pomiaru pojemności przy częstotliwościach do 100kHz oraz do pomiaru współczynnika strat w paśmie od 20 Hz do 1MHz powszechnie stosuje się mostki różnicowe lub czteroramienne (np. mostek Scheringa)



Rys. 2.4. Schemat mostka różnicowego

$$|U_1| = |U_2|$$

więc, z prawa Ohma, aby mostek był w równowadze, tzn. żeby $I_1 = I_2$

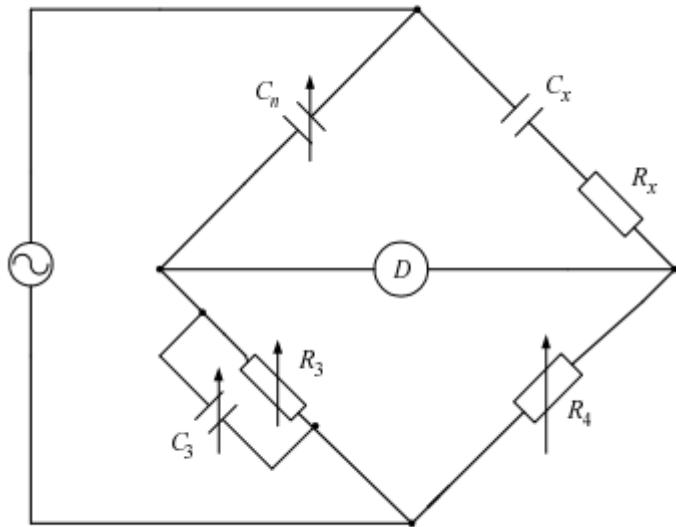
$$Z_x = Z_N$$

wtedy dla szeregowego układu zastępczego

$$R_x = R_N$$

$$C_x = C_N$$

$$\operatorname{tg}\delta = \omega R_x C_x$$



Rys. 3.9. Podstawowy schemat mostka Scheringa

Warunek równowagi mostka Scheringa:

$$Z_x Z_3 = Z_n Z_4$$

$$(R_x + \frac{1}{j\omega C_x})(\frac{1}{R_3} + j\omega C_3) = \frac{1}{j\omega C_n} R_4$$

Wymnożyć i porównać części rzeczywiste i urojone

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\omega R_x C_x}$$

Wytrzymałość elektryczna. Wpływ czynników zewnętrznych. Sześciofluorek siarki, właściwości, zastosowania.

Podwyższając napięcie przyłożone do okładzin kondensatora z dielektrykiem osiąga się napięcie krytyczne zwane napięciem przebicia U_p , przy którym następuje przebicie elektryczne dielektryka.

Natężenie pola elektryczne E_p , odpowiadające napięciu przebicia, nazywa się **wytrzymałością elektryczną dielektryka**.

Określa się je dla kondensatora płaskiego jako:

$$E_p = \frac{U_p}{l} \left[\frac{V}{m} \right]$$

gdzie l to odległość między okładkami kondensatora.

Wytrzymałość elektryczna zależy od:

- kształtu elektrod - wpływa on silnie na wartość natężenia lokalnego pola elektrycznego. Dla elektrod płaskich pole jest równomierne. Dla elektrod ostrzowych pole jest silnie nierównomierne (lokalne wyładowania, niszczenie izolacji w pobliżu elektrody) Wytrzymałość elektryczna ostrzowego układu jest znacznie niższa niż układu płaskiego.
- stanu zawilgocenia izolacji - silnie obniża wytrzymałość elektryczną. (spada ponad dwukrotnie dla wilgotności 0.02%)
- temperatury - wzrost prowadzi do zmniejszenia wytrzymałości
- grubości warstwy izolacji - zależność nieliniowa, zależy od rodzaju dielektryka
- rodzaju napięcia - stałe, przemienne, udarowe. Wartości wytrzymałości największe dla udarowych a najniższa dla stałego (kwestia czasu).

4.54. Sześciofluorek siarki SF_6 , zwany również **elegazem**, jest syntetycznym gazem elektroujemnym, bezbarwnym, bezwonnym, nietoksycznym, chemicznie obojętnym, niepalnym, trwałym do temperatury ok. 500°C i niewyrokującym korozji. Charakteryzuje się dużą gęstością – pięciokrotnie większą niż powietrza tak, że można nim niemal jak ciecza napełniać zbiorniki aparatów elektrycznych.

Jego wytrzymałość elektryczna przewyższa kilkakrotnie wytrzymałość powietrza. Często stosowany pod ciśnieniem (ok. 0,4 MPa (4 atm)), wykazuje wtedy lepsze właściwości izolacyjne niż olej mineralny. Zastąpienie oleju mineralnego elegazem pozwala na znaczne zmniejszenie ciężaru urządzeń elektrycznych.

Elegaz można stosować w urządzeniach napowietrznych (temp. skraplania ok. -63°C). Korzystną cechą SF_6 jest mała zależność ciśnienia od temperatury, co pozwala uniknąć niebezpieczeństw eksplozji w przypadkach zwarć w urządzeniach elektrycznych, zamkniętych w zbiornikach wypełnionych elegazem (wyłączniki, transformatory).

Elektroujemne właściwości elegazu (zdolność wiązania swobodnych elektronów i tworzenia ciężkich i powolnych jonów ujemnych) wpływają korzystnie na jego zdolność gaszenia łuku elektrycznego.

Wadami elegazu są: stosunkowo niewielka przewodność cieplna (wynosząca ok. 48% przewodności cieplnej powietrza), niskie ciepło właściwe oraz pewna toksyczność produktów jego rozpadu, zachodzącego w obecności wyładowań elektrycznych.

Elegaz jest dzisiaj szeroko stosowany jako ośrodek elektroizolacyjny w rozdzielnicach wysokiego napięcia, wyłącznikach i transformatorach.

Można się też go nawdychać i mówić jak Darth Vader.

Co to jest elektret, metody wytwarzania, charakterystyczne parametry, zastosowania.

Elektretem nazywamy dielektryk, który wytwarza w swoim otoczeniu trwałe, zewnętrzne pole elektryczne. Źródłem w elektrecie są nagromadzone w nim ładunki elektryczne lub wytworzony w dielektryku i "zamrożony" stan polaryzacji.

Metody wytwarzania elektretów

- metoda termoelektryczna
- metoda ulotowa
- metoda cieczowa
- metoda elektronowiązkowa

Charakterystyczne parametry:

- średnie położenie ładunku elektrycznego
- gęstość powierzchniowa ładunku - wyznaczana metodą głowicy wibracyjnej lub pośrednio z napięcia metodą indukcji elektrostatycznej
- czas życia elektretu - czas relaksacji homoladunku w temperaturze pokojowej

Szczegółowe omówienie w *Dodatku*

Zastosowania elektretów:

- przetworniki elektroakustyczne:
 - mikrofony elektretowe
 - słuchawki i głośniki elektretowe
- przetworniki elektromechaniczne
- elektrografia
- aerozolowe filtry elektretowe
- zastosowania biomedyczne
 - materiały do bezpośredniego kontaktu z krwią

Właściwości magnetyczne ciał stałych. Krzywa magnesowania, przedstawić graficznie charakterystyczne punkty. Materiały magnetycznie miękkie i twardie, porównać.
Przykłady.

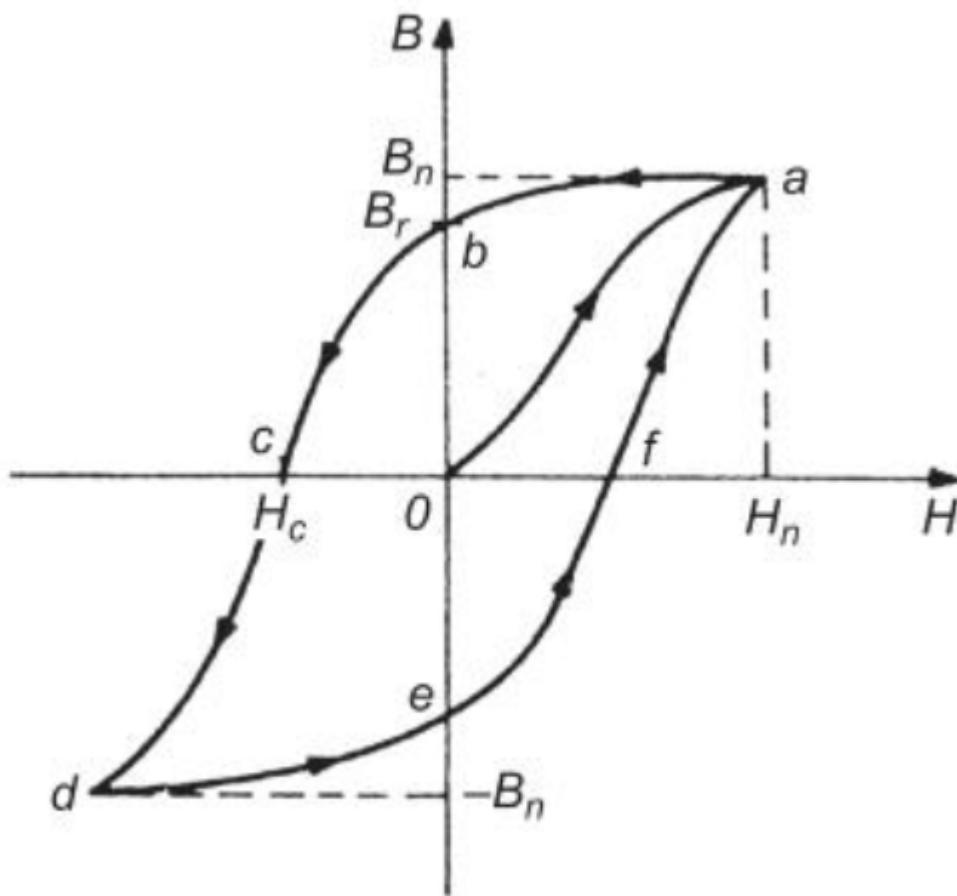
Właściwości magnetyczne materiału charakteryzuje podatność magnetyczna, która określa związek między namagnesowaniem i natężeniem pola magnetycznego (namagnesowanie to moment magnetyczny przypadający na jednostkę objętości).

$$\vec{M} = \chi \vec{H}$$

Zależnie od podatności magnetycznej, wszystkie materiały można podzielić na trzy rodzaje:

- diamagnetyki - mała, ujemne wartość podatności magnetycznej $\chi \in (0.1, 10) \cdot 10^{-6}$, przykłady - gazy szlachetne, złoto, rtęć, alkohole
- paramagnetyki $\chi \in (0, 1)$, przykłady - gлина, platyna, powietrze, gazowy tlenek azotu
- ferromagnetyki $\chi > 1$ - żelazo, nikiel, kobalt i ich stopy.

Pętla histerezy magnetycznej - krzywa magnesowania materiału kilkukrotnie magnesowanego i rozmagnesowanego



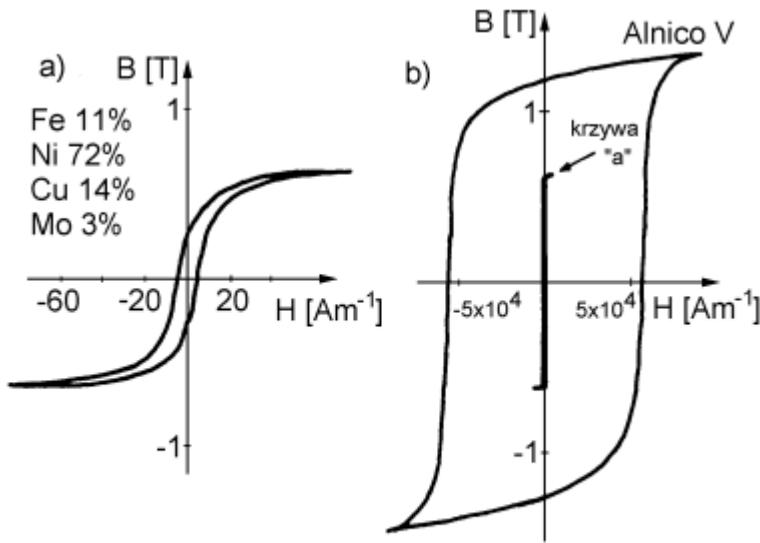
Rys. 5.35–1. Pętla histerezy magnetycznej

B_r - pozostałość magnetyczna

H_c - natężenie powściągające

H_n - natężenie pola magnetycznego

B_n - indukcja nasycenia



Rys. 5.3. Pętla histerezy $B(H)$ dla materiału:
a) magnetycznie miękkiego, b) magnetycznie twardego

Materiały miękkie - natężenie koercji (powściągające) $H_c < 1000 A/m$

Materiały twardze - $H_c > 10000 A/m$

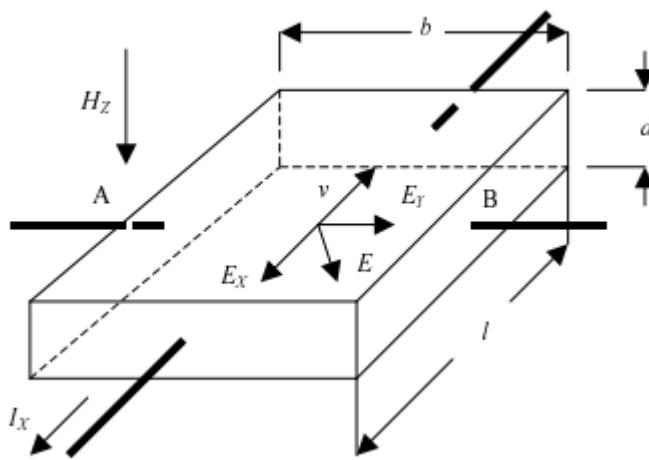
Przykłady

miękkie	twarde
żelazo	stal węglowa

miękkie	twardze
stale krzemowe	stal wolframowa
stopy żelaza z niklem	stal chromowa
niektóre ferryty	stal kobaltowa
	stopy Fe-Ni-Al
	związki tlenkowa

Zjawisko Halla. Podać warunki jakie należy spełnić, aby to zjawisko wystąpiło. Jakie parametry materiałowe można wyznaczyć znając stałą Halla?

Zjawisko Halla - powstawanie pola elektrycznego w objętości materiału w kierunku prostopadłym do płaszczyzny określonej wektorami pól wymuszających.



H_z - wektor pola magnetycznego

E_x - wektor pola elektrycznego

E_g - wektor pola powstającego na skutek efektu Halla

E - wypadkowe pole elektryczne

Warunki wystąpienia zjawiska Halla:

- obecność swobodnych nośników ładunku
- obecność pola elektrycznego
- obecność pola magnetycznego, działającego prostopadle do pola elektrycznego

Interpretacja stałej Halla

$$R_H = \frac{A}{e} \frac{u_e^2 p - u_h^2 n}{(u_e p + u_h n)^2}$$

gdzie: R_H - stała Halla, A - bezwymiarowy współczynnik charakteryzujący mechanizm rozpraszania nośników ładunku, p - koncentracja dziur, n - koncentracja elektronów, u_h - ruchliwość dziur, u_e - ruchliwość elektronów, e - ładunek elektronu

Właściwości mechaniczne ciał stałych i analiza cieplna materiałów.

Właściwości mechaniczne:

Udarność - stosunek pracy zużytej na udarowe zniszczenie próbki do jej przekroju poprzecznego. $U = \frac{A}{bh}$. Badanie za pomocą młota Charpy'ego lub dynstata (mikropróbki).

Wytrzymałość na zginanie - stosunek momentu zginającego, przy którym następuje złamanie próbki, do jej wskaźnika przekroju poprzecznego. $\sigma_{zg} = \frac{6M}{bh^2}$ Badanie mikropróbek za pomocą dynstata.

Wytrzymałość na zerwanie - stosunek siły zrywającej do przekroju poprzecznego próbki. $R = \frac{P}{D\ell}$. Dla papierów pomiary wykonuje się na zrywarce.

Wydłużalność względna na rozciąganie (rozciągliwość) - stosunek przyrostu długości próbki w chwili zerwania do długości początkowej. Badanie papierów na zrywarce.

Opór przedarcia papieru - opór (siła) jaki stawia wyrób papierniczy podczas darcia nadciętej próbki. Mierzony w aparacie Elmendorfa. Wartość siły odczytana ze skali, przemnożona przez stosunek liczby arkuszy dla której kalibrowano aparat do liczby arkuszy przedartych równocześnie. Ewentualnie podzielona przez gramaturę papieru.

Właściwości cieplne:

Wytrzymałość cieplna według Martensa - odkształcenie próbki przy jednoczesnym działaniu mechanicznym i termicznym. Badanie metodą Martensa - wynikiem jest temperatura, przy której wolne ramię dźwigni, podpieranej przez próbkę i obciążonej przesuwnym ciężarkiem, obniży się o $6 \pm 0.1\text{mm}$.

Temperatura mięknięcia oznaczana metodą Vicata - temperatura (w $^{\circ}\text{C}$), w której stalowa igła o kołowym przekroju o powierzchni 1mm^2 , przy określonej normą stałej szybkości wzrostu temperatury (50 lub $120\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$) i ustalonym obciążeniu (10 lub 50 N), zagłębi się w powierzchnię badanej próbki na głębokość 1mm .

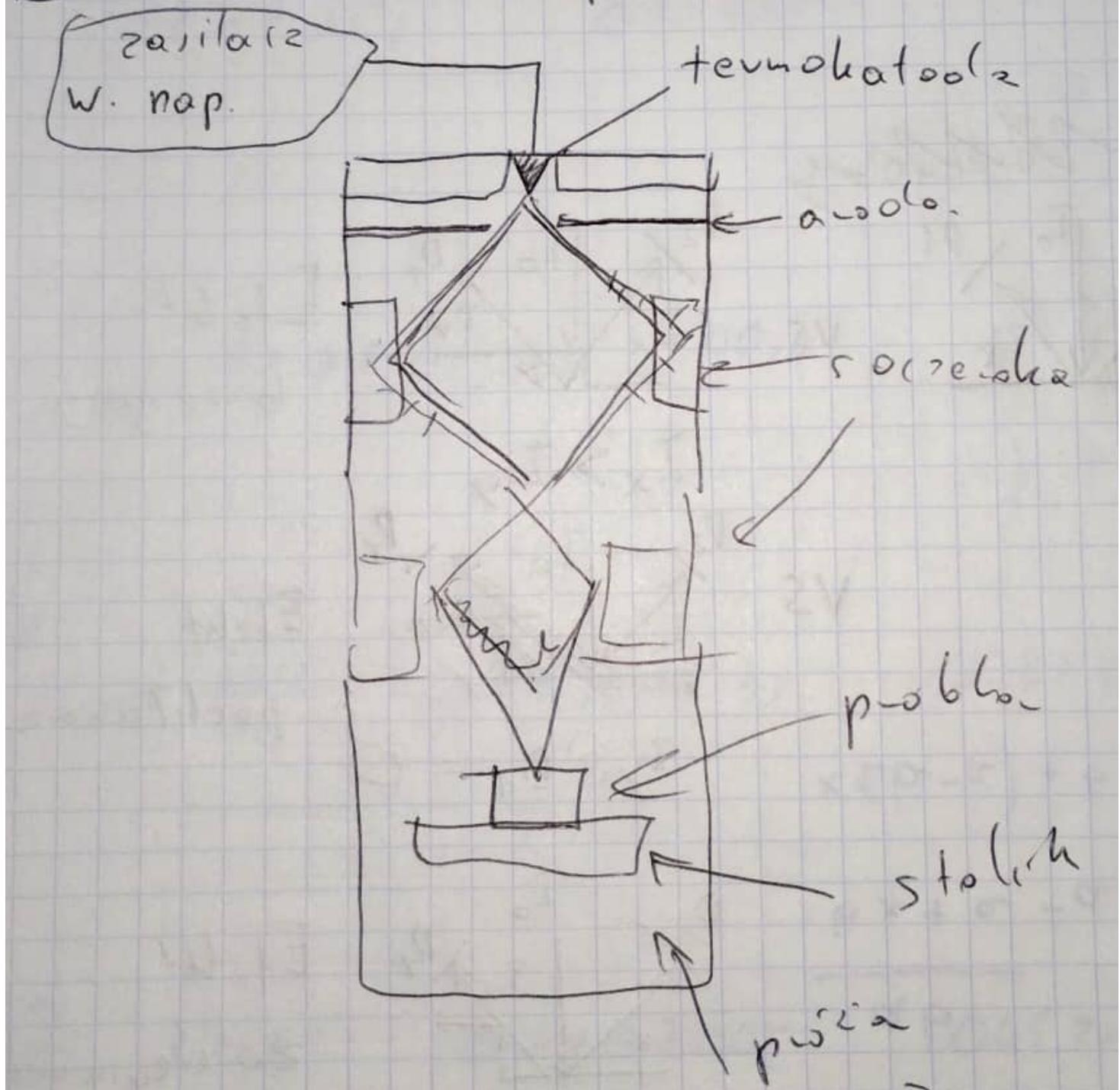
Temperatura zapłonu - najniższa temperatura, w jakiej pary badanego produktu, ogrzewane w określony sposób ($5\text{-}6\text{ }^{\circ}\text{c}/\text{min}$), tworzą z powietrzem mieszaninę zapalającą się przy zbliżeniu płomienia. Pomiar metodą Martensa-Pensky'ego.

Wojcieszak

Opisz budowę i zasadę działania SEM.

Budowa mikroskopu:

- źródło elektronów
 - działa elektronowe z emisją polową (FEG) - tworzy silne pole elektryczne, aby odciągnąć elektrony od atomu
 - ostra igła wolframowa, średnica wiązki wychodzącej z działa - 5nm
 - działa elektronowe z emisją polową Schottky'ego - podobne jak wyżej; ostrze pokryte ZrO_2
 - termiczne działa elektronowe - termoemisja
 - wolfram
 - LaB_6
- układ formowania wiązki - układ soczewek, przed próbką
- komora próżniowa i układ montowania próbki
- detektory - nad/przed próbką
 - najczęściej stosowane typy detektorów:
 - scyntylacyjne
 - półprzewodnikowe
 - konwertery EWR/EW



Zasada działania:

Wiązka elektronów przyspieszanych np. silnym napięciem elektrycznym (1-30kV), skanuje linia po linii obszar $10\mu m \times 10\mu m$ do $50nm$ pod powierzchnią. Sygnał mierzony na detektorach pochodzi od elektronów wtórnych lub elektronów wstecznie rozproszonych (BSE - back-scattered electrons). Elektrony, których akurat nie mierzymy odfiltrowujemy siatkami, napelektryzowanymi tak aby odpychały elektrony o mniejszych energiach (np. gdy mierzymy sygnał EWR to odfiltrowujemy EW, których $E < 50eV$). Formowanie obrazu odbywa się przy użyciu komputera, na podstawie liczby elektronów zliczanych przez detektory.

Opisz artefakty występujące w SEM i skomentuj z czym związane jest ich występowanie.

Artefakty - powstają na drodze tworzenie obrazu w SEM, ale nie mają nic wspólnego z rzeczywistymi właściwościami próbki.

Rozróżniamy artefakty związane z:

- układem detekcyjnym - dla układu dwóch detektorów nie widzimy zmian powierzchni występujących równolegle do osi łączącej detektory, dla układu o większej liczbie detektorów też nie widzimy zmian w niektórych kierunkach (związane z podstawowym algorytmem mieszania)
- energią wiązki elektronowej (większa energia, głębszy obszar oddziaływania) - granice ziaren w gębi materiału można pomylić z nierównościami powierzchni

- niedoskonałą separacją informacji o topografii i kompozycji - można coś co jest zmianą składu zinterpretować jako zmianę powierzchni

Scharakteryzuj mody TOPO i COMPO w SEM (do czego służą, jaki jest ich algorytm, jak można rozróżnić obrazy zarejestrowane w tych modach).

TOPO - topografia

COMPO - kompozycja (skład materiału)

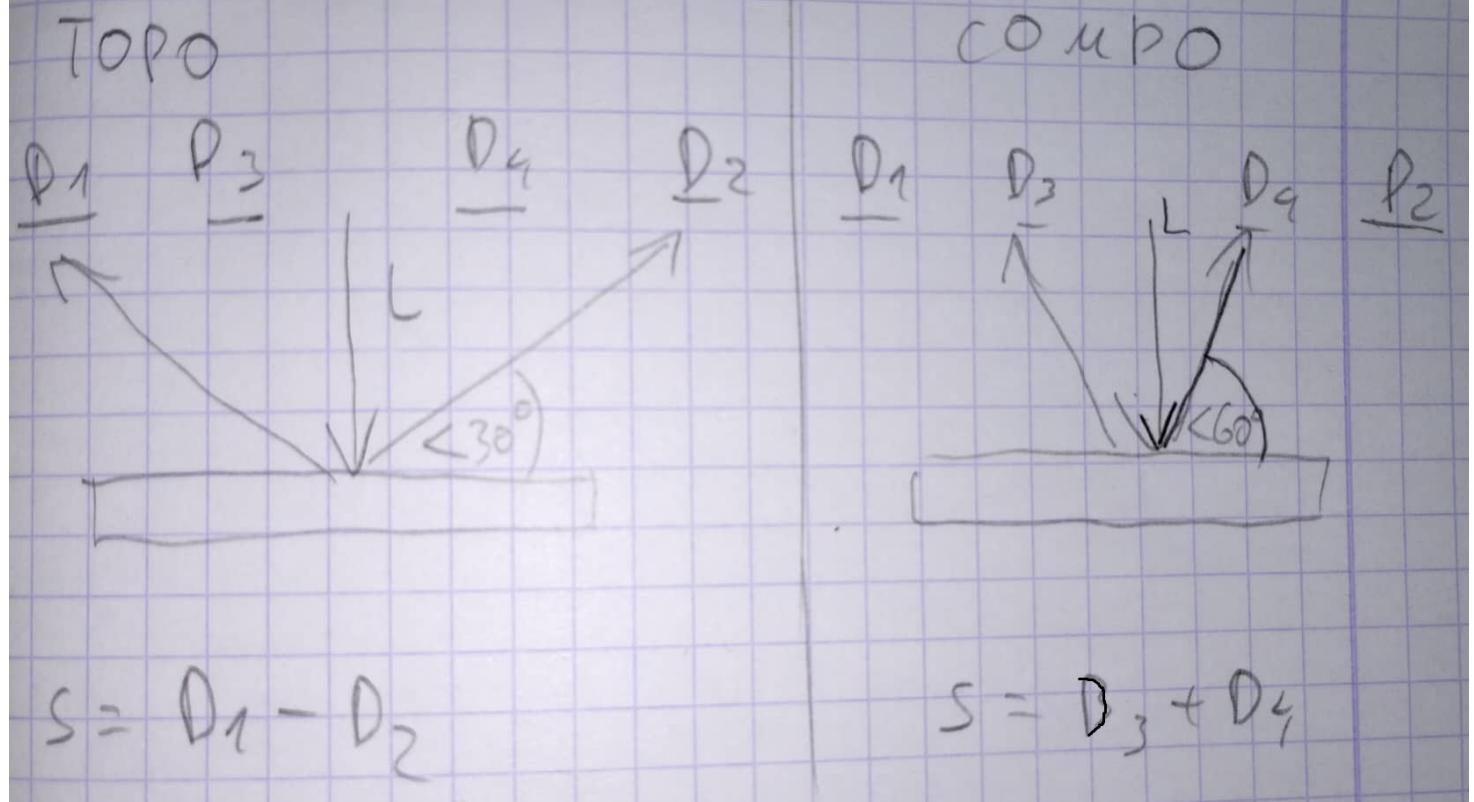
Algorytmy:

W modzie TOPO detektory ustawiane nisko nad próbką, pod kątem $< 30^\circ$ do podłoża.

W modzie COMPO ustawiane wysoko, pod kątem $> 60^\circ$

$$\bullet \text{ TOPO} = D_1 - D_2$$

$$\bullet \text{ COMPO} = D_3 + D_4$$



W rzeczywistości algorytmy są dużo bardziej skomplikowane.

Separacja modów

- COMPO
 - metoda linearyzacji
 - metoda symulacji kolorów - taka mapa, różnym przedziałom wartości sygnału przypisujemy różne kolory
- TOPO
 - trójwymiarowa rekonstrukcja

Generacja obrazu w TOPO dla dwóch detektorów:

Dla pewnej wartości $\text{TOPO} = D_a - D_b$ malujemy średnią szarość. Dla większych TOPO malujemy na jaśniej a dla mniejszych ciemniej.

Rekonstrukcja obrazu powierzchni próbki jest możliwa, gdy stosunek sygnału do szumu jest większy od 5.

$$\frac{S}{N} > 5$$

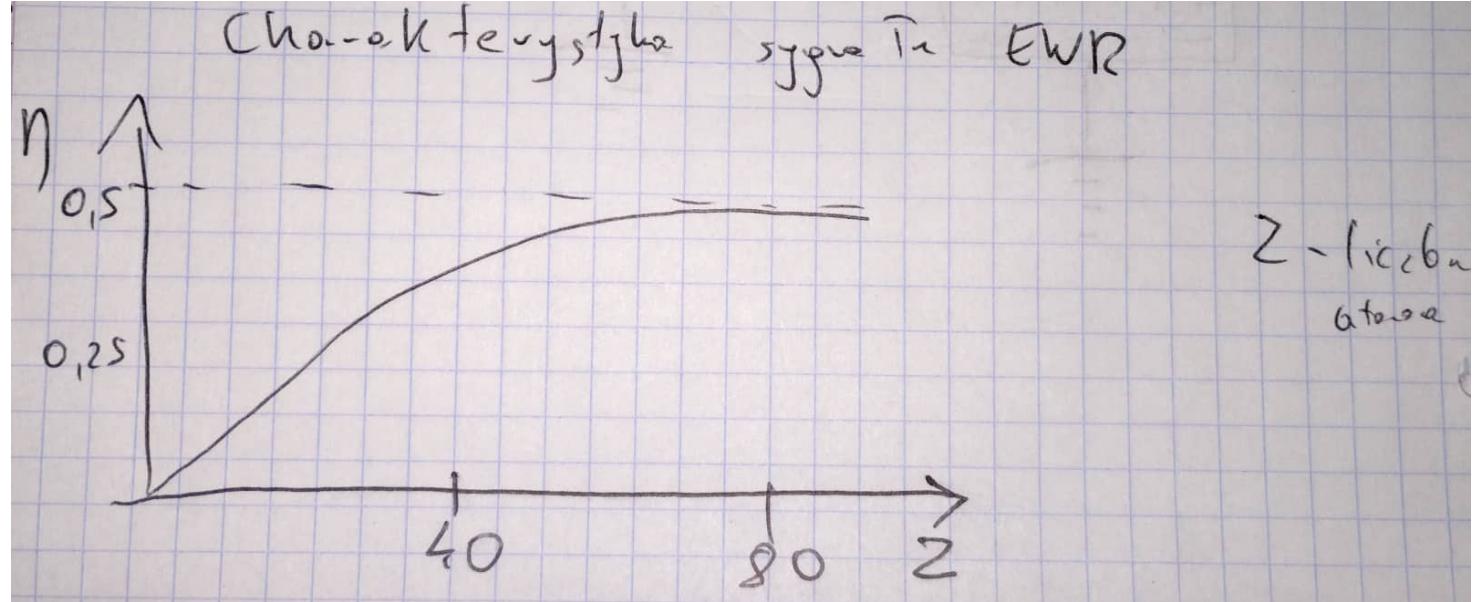
Scharakteryzuj sygnał EWR w SEM (w odpowiedzi uwzględnij charakterystykę współczynnika wstecznego rozpraszania).

$$\eta = \frac{I_{EWR}}{I_0} - \text{współczynnik wstecznego rozpraszania, zazwyczaj } < 0.6$$

I_0 , I_{EWR} - natężenia: wiązki pierwotnej i wiązki elektronów wstecznie rozproszonych

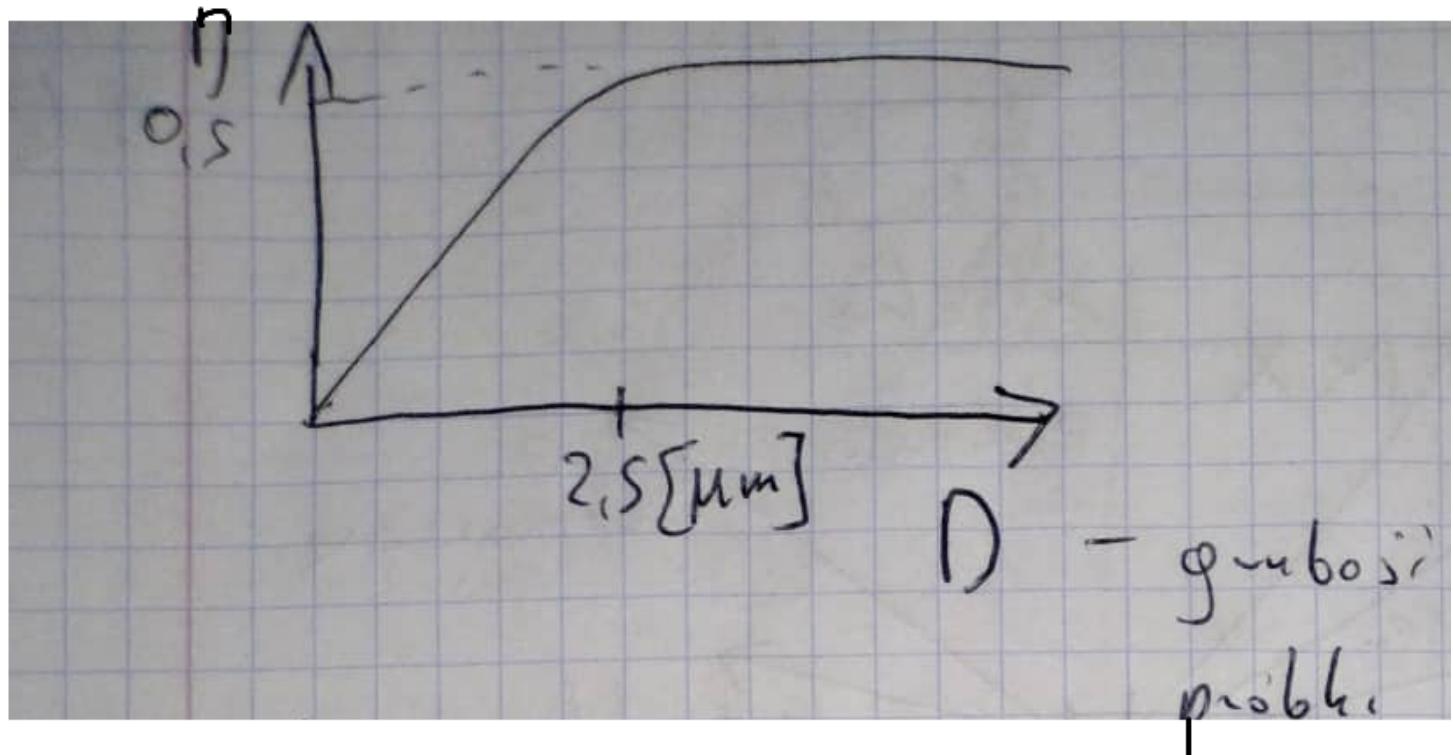
Do liczby atomowej 40, współczynnik η zależy liniowo od liczby atomowej. Można dzięki temu rozróżniać atomy.

Zależność η od liczby atomowej



Dla bardzo cienkich warstw większa część elektronów przejdzie przez próbkę. Od pewnej grubości nie przechodzi już nic. Chcemy, żeby próbka była grubsza, żeby mieć pełny zakres sygnału.

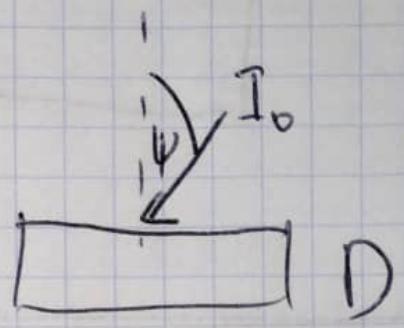
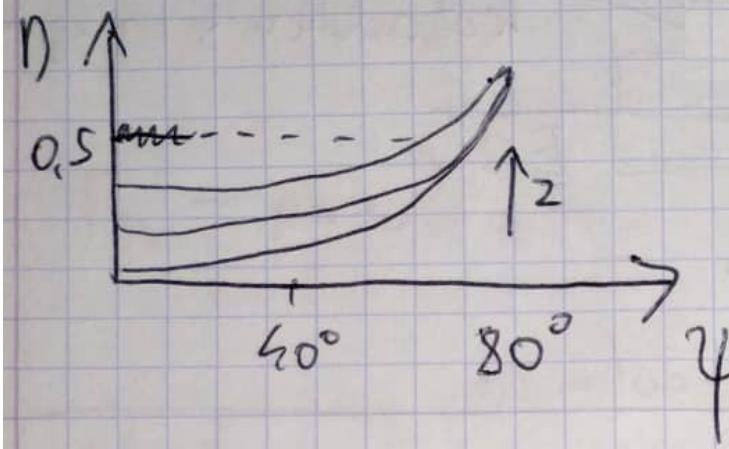
Zależność η od grubości próbki



Współczynnik η nie zależy od energii elektronów

wykres byłby poziomą linią prostą

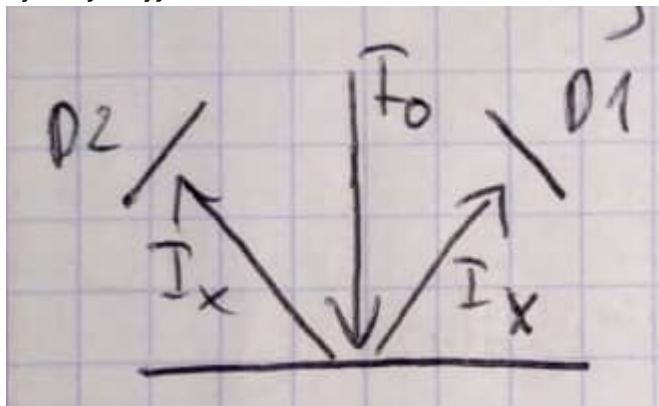
Zależność η od kąta padania wiązki



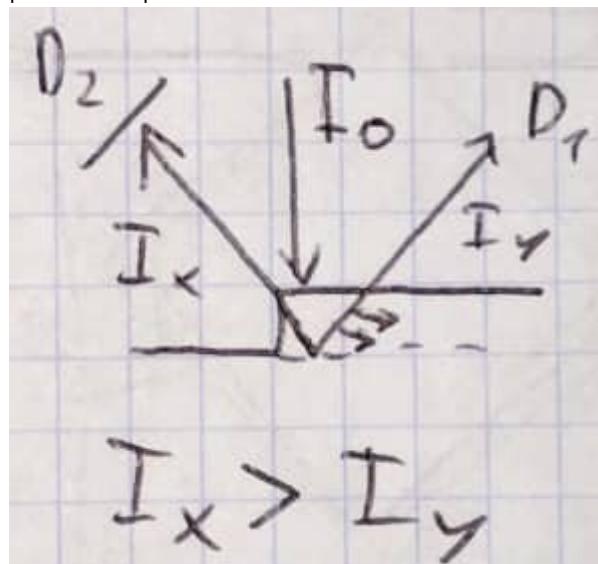
Opisz i zilustruj efekty wykorzystywane do obrazowania topografii w SEM.

Efekty dzięki którym powstaje kontrast topograficzny w SEM

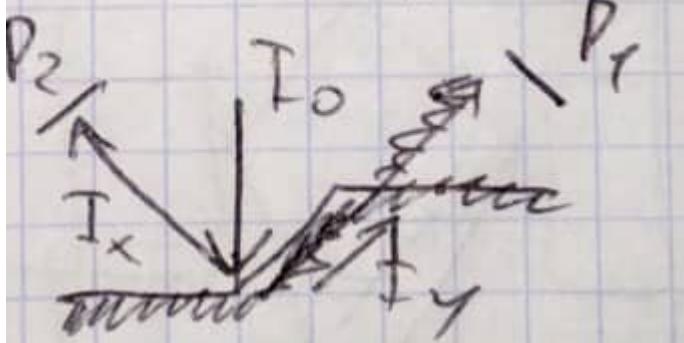
Sytuacja wyjściowa:



- efekt brzegowy - przy krawędzi, jeden detektor dostaje więcej bo wiązka nagle nie musi przechodzić z powrotem przez materiał

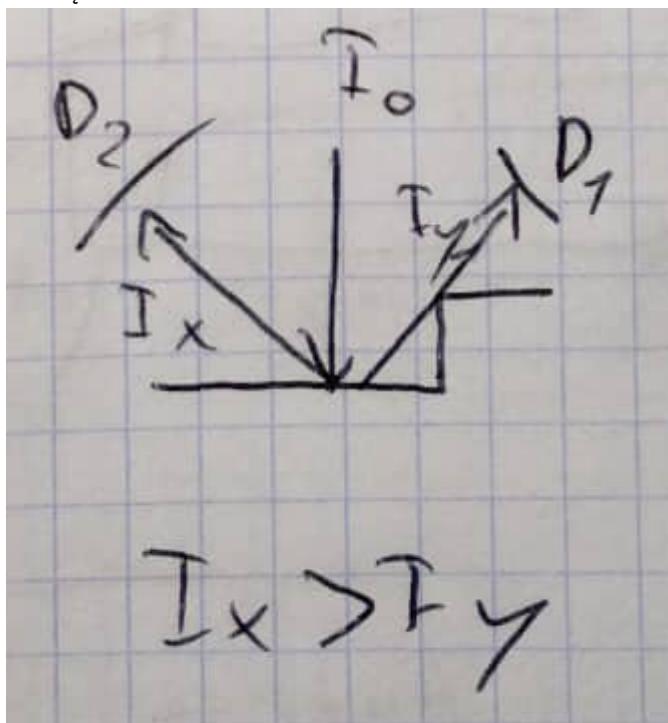


- efekt pochłaniania - za uskokiem, jeden detektor nie dostaje sygnału bo cały jest rozpraszony na wzniesieniu



$$I_y @ D_1 = 0$$

- efekt zacieniania - za uskokiem ale dalej, jeden detektor dostaje mniej sygnału bo część jest rozprasza na krawędzi wznieśienia



Jakie wymagania powinna spełniać próbka lub w jaki sposób można ją przygotować, aby mogła być obrazowana przy użyciu SEM.

Badana próbka musi spełniać następujące warunki:

- musi mieć odpowiednią konduktywność elektryczną - dielektryki dają dupy
- powinna mieć wysoki współczynnik emisji wtórnej - nie rozpraszać wiązki
- musi dać się dobrze zamocować na stoliku - proszkom i preparatom biologicznym przeszkadza próżnia.

Gdy próbka jest nieprzewodząca, należy ją pokryć cienką warstwą (do 90nm) metalu - Au, Pt lub warstwą węgla, historycznie również Cu.

Próbki biologiczne (mokre) zamraża się albo zalewa żywicą

Przytwierdzenie próbki też musi przewodzić prąd (taśma węglowa, farba/taśma przewodząca), albo zaciski/imadełka

Opisz budowę i zasadę działania TEM.

Budowa TEM (od góry do dołu):

- Działo elektronowe - na szczycie kolumny, z wolframu
- soczewki elektromagnetyczne
- próbka - cienka

- dalszy układ optyczny - dostrajamy wiązkę
- ekran fluorescencyjny

Wiązka elektronów przyspieszanych napięciem 60-300kV, przechodzi przez próbkę, której grubość nie może przekraczać 150nm i pada na ekran fluorescencyjny. Otrzymujemy bezpośrednią projekcję - czarno biały obraz 2D. Pole widzenia i rozmiar próbki są mocno ograniczone. Powiększenie i rozdzielcość obrazu dużo większa niż obrazu SEM. Próbki wymagają czasochłonnego przygotowania - muszą być przezroczyste dla elektronów i bardzo cienkie.

W jaki sposób należy przygotować próbki na potrzeby TEM (opisz preparatykę np. z użyciem FIB).

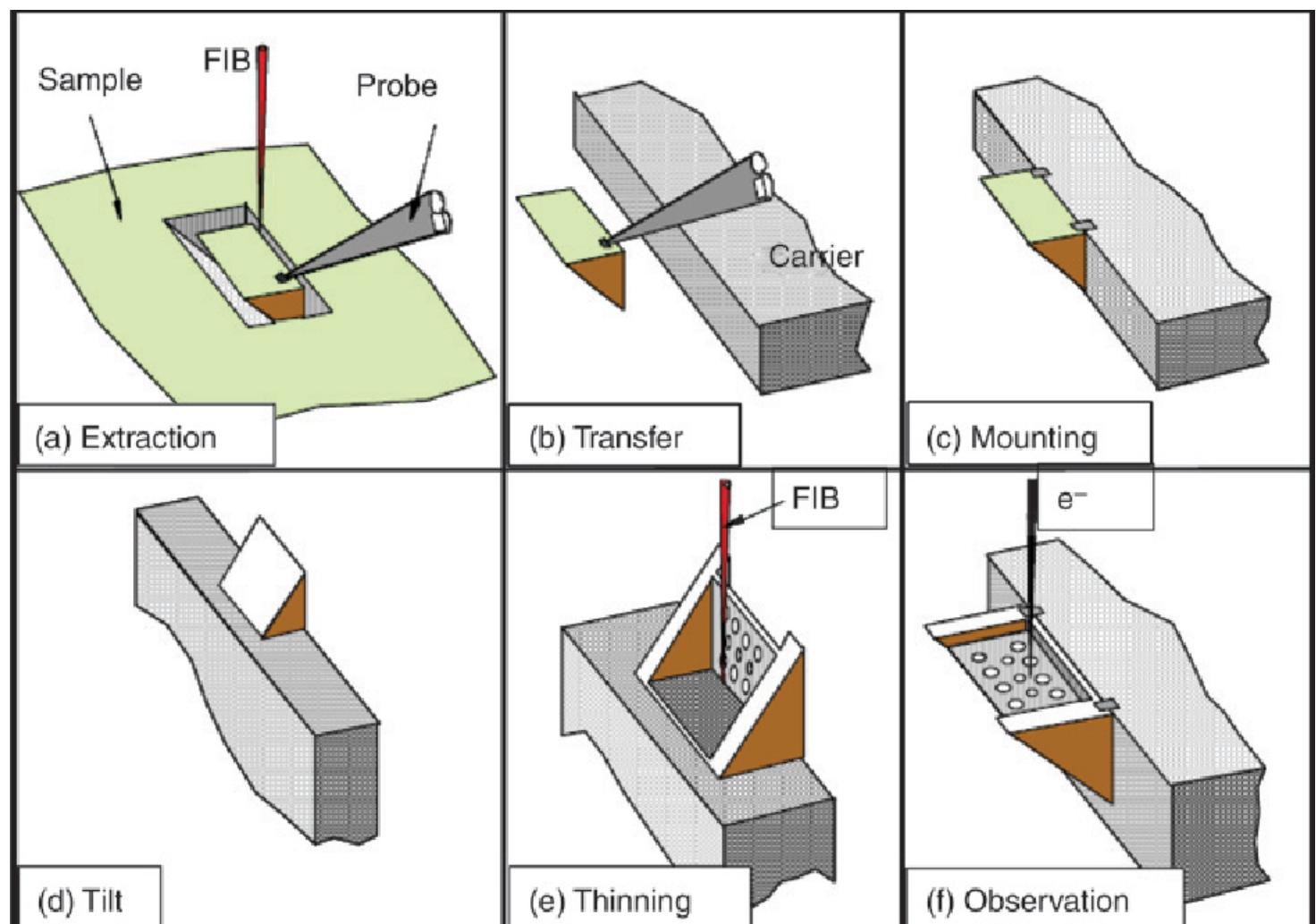
Przygotowanie próbek TEM:

- mechaniczne
 - ultramikrotomia - cięcie diamentowym ostrzem
 - łamanie, kruszenie, polerowanie mechaniczne
- mechaniczno-chemiczne
 - skoncentrowana wiązka jonów (FIB)
 - trawienie chemiczne
 - polerowanie elektrochemiczne

Cienkie próbki często nanosimy na siatki miedziane (rzadziej Mo, Au, Pt) pokryte jakąś tam żywicą. Nie można nanosić na nie plazmą.

Proces FIB (focused ion beam):

- wycięcie klinu
- wbicie "gwoździa", żeby mieć za co trzymać
- pocienienie klinu do próbki



Jakie informacje można uzyskać za pomocą TEM - odpowiedź odnieś do modów: BFTEM, HRTEM, SAED.

Możemy uzyskać informacje o skuterze, składzie materiałowym, sieci krystalicznej.

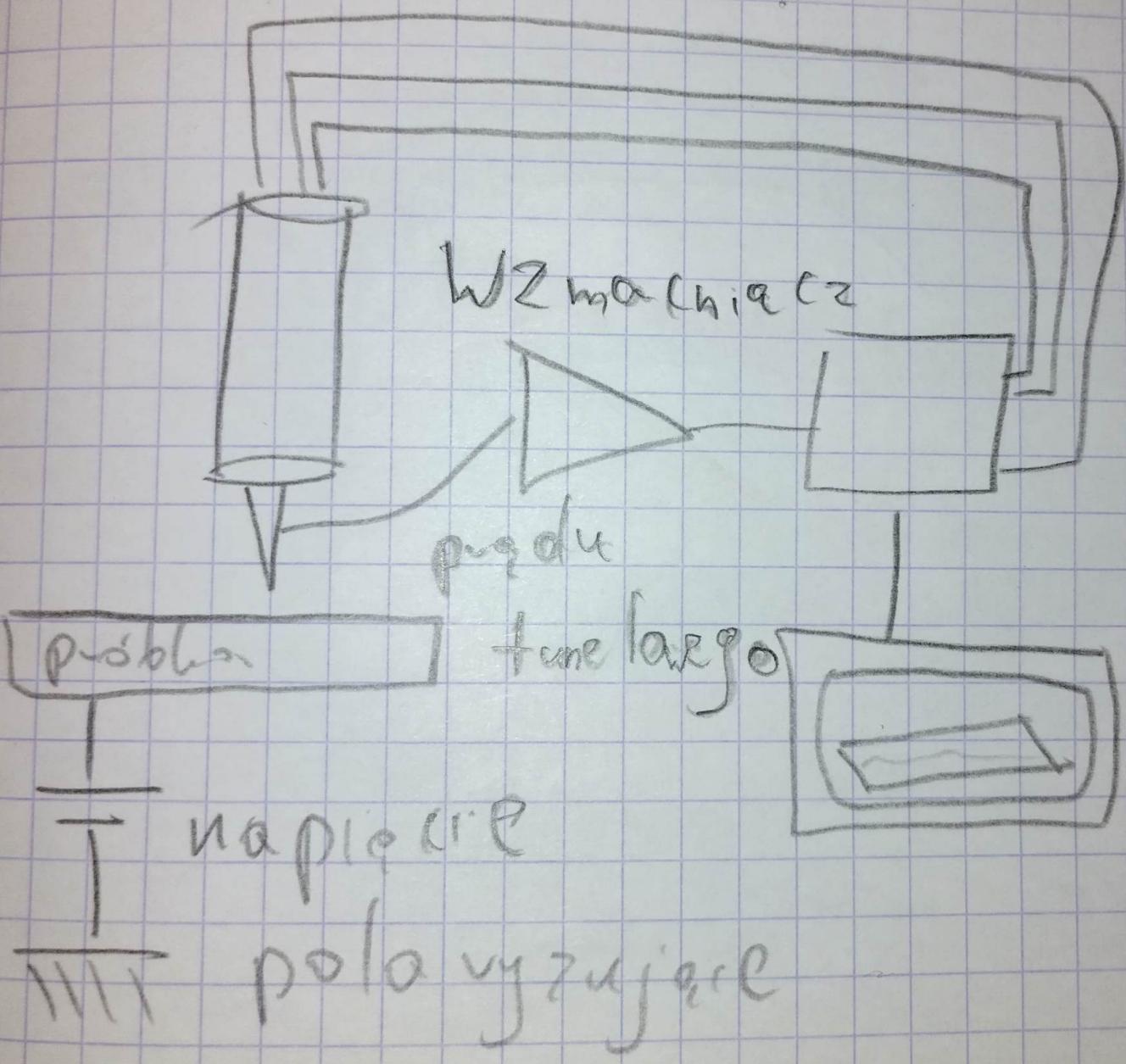
Mody/tryby obrazowanie w TEM:

- jasnego pola (BF, bright field) - ciemny na obrazku oznacza, że coś jest, a jasny, że nie ma.
Najpopularniejszy tryb. Grubsze obszary próbki wyjdą ciemne.
- ciemnego pola (DF)
- wysokorozdzielczy (HR) - widać atomy (jako kulki), dokładność 0.05nm, można wyznaczać płaszczyzny krystalograficzne
- SAED - selected area electron diffraction - wzór dyfrakcyjny, pozwala na wyznaczenie składu i struktury (krystaliczna vs amorficzna)

Opisz budowę i zasadę działania STM (w odpowiedzi zawrzyj informację o modach i rodzaju próbek jakie można badać).

STM - skaningowy mikroskop tunelowy. Służy do badania materiałów przewodzących w nanoskali. Wykorzystuje zjawisko tunelowania elektronów między igłą pomiarową a próbką, po przyłożeniu napięcia rzędu kilku woltów. Igła pomiarowa powinna mieć koniec średnicy rzędu nanometrów (idealnie by było jeden atom ale tak nigdy nie jest). Gdy odległość między igłą a próbką wynosi od 0.4 do 0.7 nm, to elektron przeskakuje przez barierę potencjału w wyniku tunelowania (emisji polowej).

~~AFM~~ STM



W STM stosowane są dwa mody pomiarowe:

- mod stałej odległości - stała odległość sondy podczas ruchu w płaszczyźnie XY - rejestruje się zmiany prądu tunelowego między sondą a próbką, który pozwala odwzorować kształt powierzchni. Stosowany jest do płaskiej powierzchni. Daje wysoką rozdzielcość obrazu. Pozwala na dużą szybkość skanowania.
- mod stałego prądu - stały prąd między sondą a próbką - odległość między igłą próbką regulowana jest tak, aby zachować stałą wartość prądu - obraz powierzchni próbki powstaje na podstawie zarejestrowanych wychyleń igły skanującej. Pozwala na dobre odwzorowanie topografii powierzchni. Daje małą rozdzielcość poziomą obrazu.

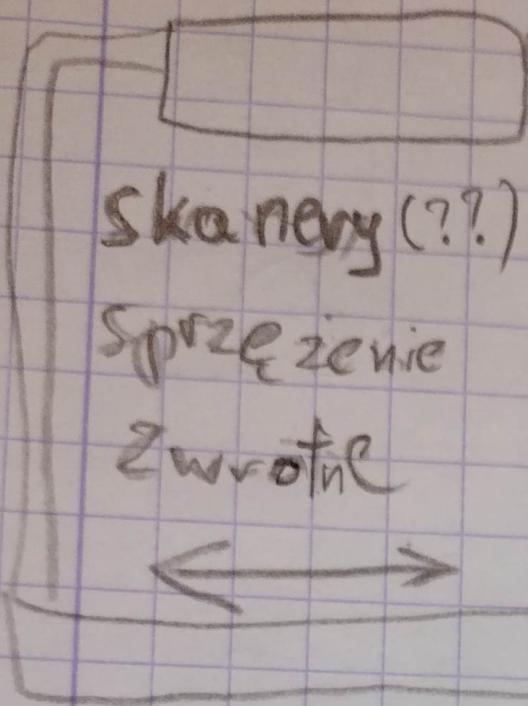
Można badać wyłącznie materiały przewodzące.

Opisz budowę i zasadę działania AFM.

AFM - mikroskop sił atomowych. Ostrze o wyglądzie piramidy z kwadratem w podstawie, zbudowane z krzemu. Czubek o promieniu rzędu nanometrów.

AFM

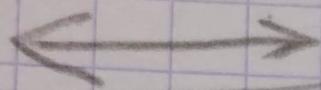
próbka



skanery(??)

sporęzienie

zwrotnie



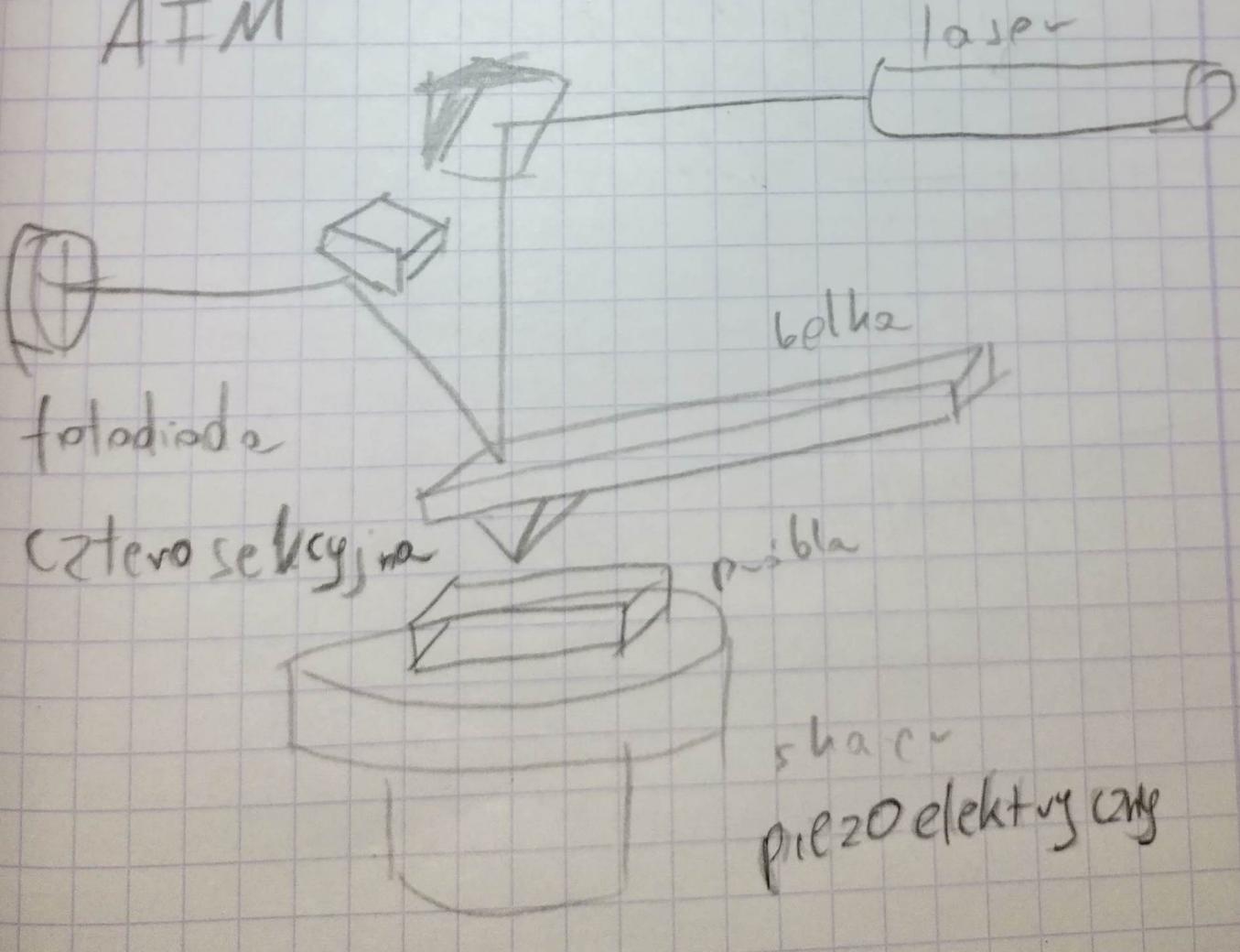
piezoelek.

belka

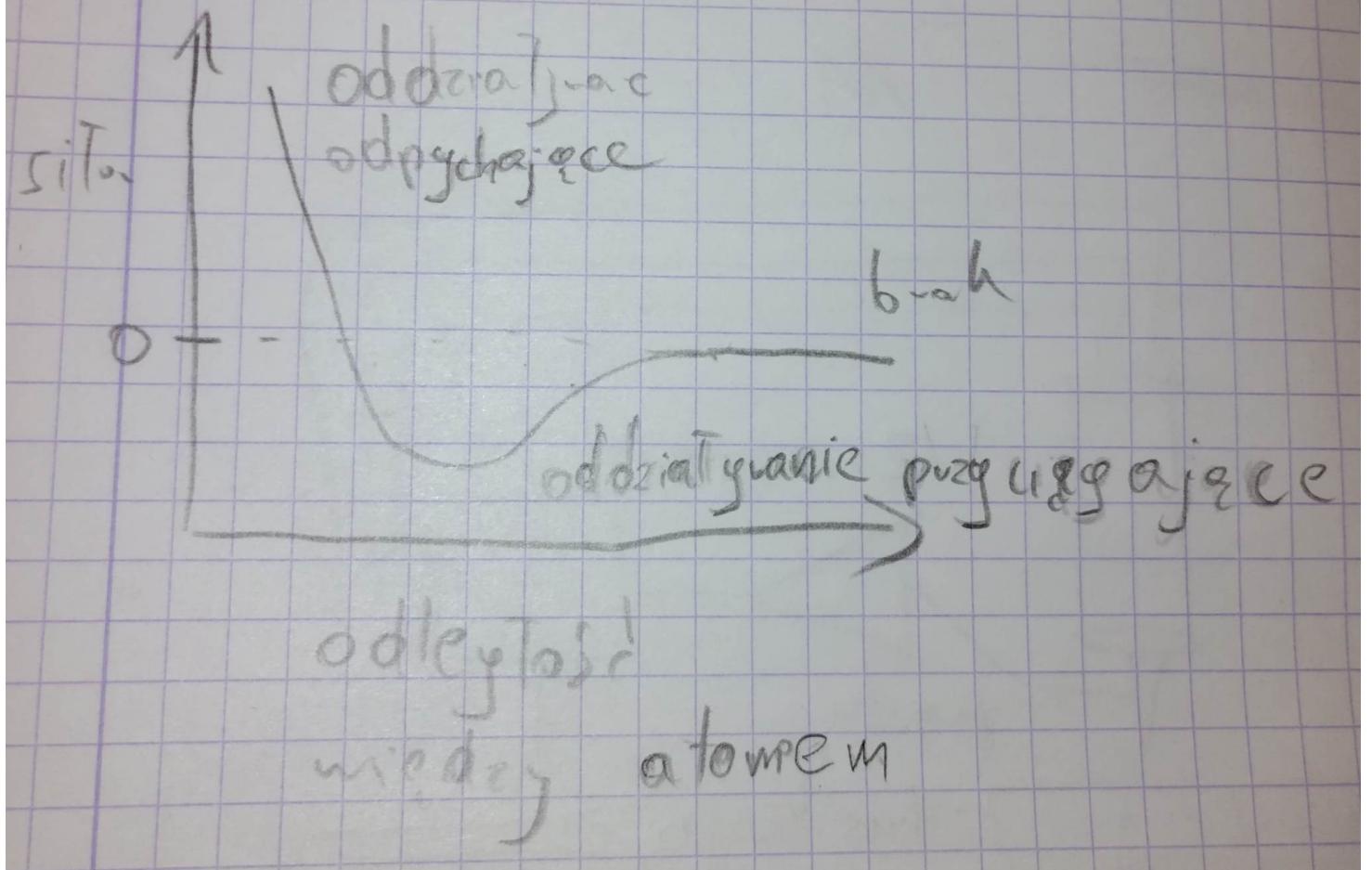
element

piezoelektryczny

AFM



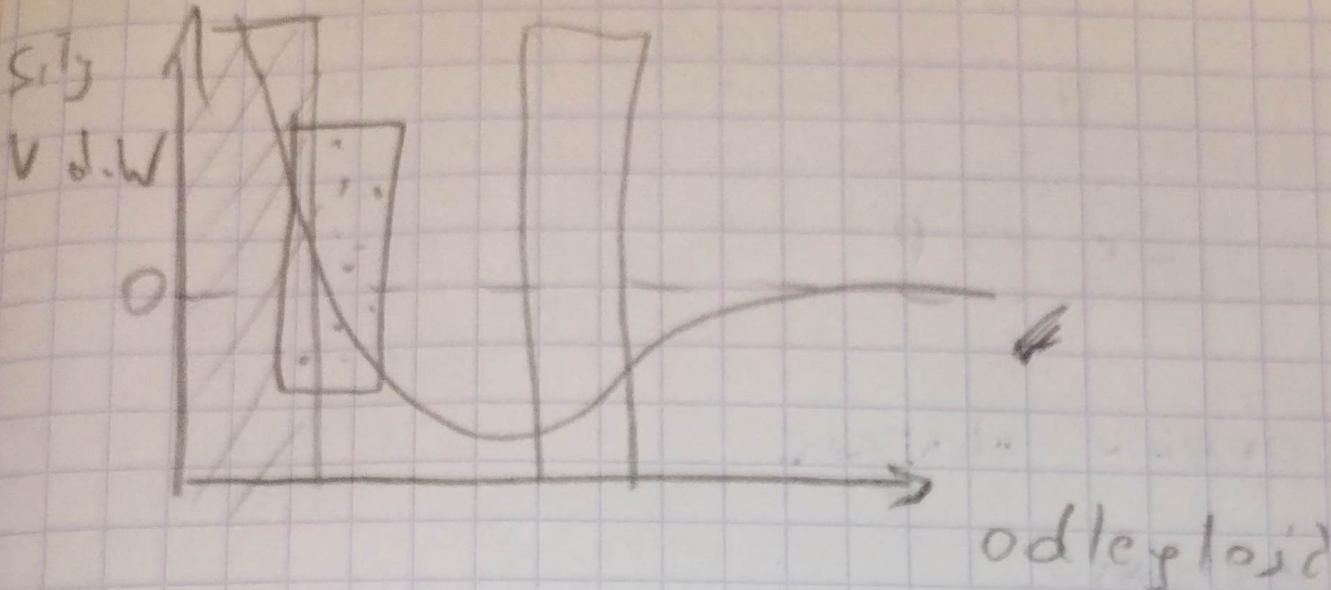
Między igłą a próbką działają siły, m.in. van der Waalsa, które w zależności od odległości igły od badanej powierzchni odpychają lub przyciągają ją. W momencie stałoprądowym siły te wyginają belkę a w momencie stałoprądowych wpływają na częstotliwość jej drgań. Te zmiany zachowania belki są mierzone (na przykład w układzie z laserem) i na ich podstawie generowany jest obraz.



Scharakteryzuj mody pracy AFM i napisz do jakich badań służą (zwłaszcza jakich próbek).

Mody pracy:

- stałoprądowy - belka nie jest wprowadzona w wibracje
 - mod kontaktowy - stosowany jest do powierzchni atomowo gładkich oraz chropowatych a jego wadą jest możliwość uszkodzenia powierzchni próbki.
- zmiennoprądowe - belka wibruje z określoną częstotliwością
 - mod przerywanego kontaktu (chwilowokontaktowy) - małe jest ryzyko uszkodzenia powierzchni próbki i może być stosowany do tak delikatnych próbek, jak np. białka
 - mod bezkontaktowy - korzystamy kiedy próbka jest silnie reaktywna i może reagować z krzemem w igle



- mod kontakto-y

- mod przewijanego kontaktu

- mod bez kontaktu

Zastosowania AFM w ogóle:

- do badania **żywych preparatów biologicznych w środowisku zbliżonym do naturalnego** (np. w wodzie)
- do pomiarów topograficznych
- do badania właściwości mechanicznych próbki takich jak: elastyczność, siła adhezji, tarcie
- można badać przewodniki, półprzewodniki i **izolatory**

Jakie artefakty mogą się pojawić na obrazach AFM i z czym ich obecność będzie związana.

Artefakty w AFM:

- zmiany geometrii ostrza
 - urwanie ostrza
 - pochwycenie - przyklejenie materiału do ostrza
 - stępione ostrze
- odwzorowanie kształtu ostrza
 - Zbyt duże ostrze - np. jak jest wąski pik to się robi szeroka piramida
- jakiś tam dryf. Nie powiedział o nim za wiele
- kierunek skanowania - jak zmieniamy kierunek skanowania to możemy zobaczyć czy mamy np. artefakt związany ze zbyt dużym ostrzem
- zakrzywienie ruchu ostrza
- adsorpcja wody na powierzchni próbki

Na czym polega metoda OBIC i do charakteryzacji jakich materiałów jest ona stosowana.

OBIC - optical beam induced current - prąd generowany wiązką optyczną

LBIC - light beam induced current - prąd generowany wiązką świetlną

Metoda OBIC opiera się na absorpcji promieniowania

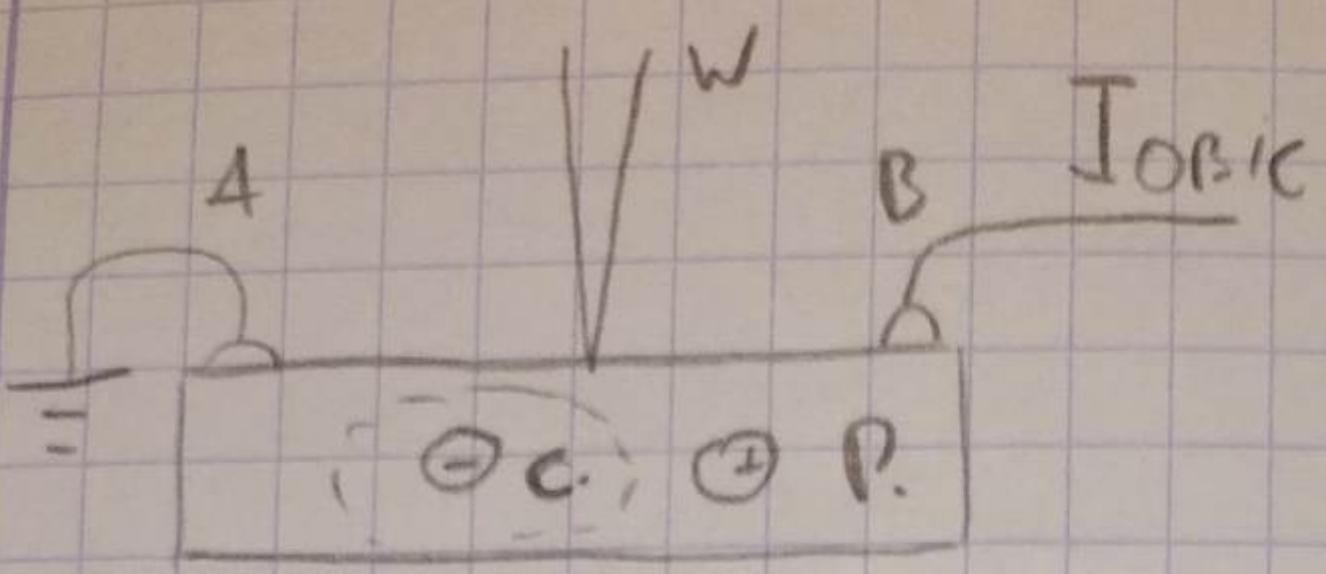
W metodzie OBIC zogniskowana i zmodulowana wiązka światła o długości fali λ skanuje od punktu do punktu powierzchnię próbki, powodując generację par elektron-dziura. Generacja ma charakter lokalny, gdyż związana jest ze średnicą padającej wiązki światła. Indukowanie prądu zachodzi w wyniku separacji swobodnych nośników ładunku generowanych pod wpływem bombardowania próbki fotonami Separacja nośników zachodzi na granicy ośrodków aktywnych

Obszarami elektrycznie aktywnymi są np.:

- obce wtrącenia
- naprężenia
- uszkodzenia sieci
- dyslokacje
- błędy ułożenia
- granice ziaren

Dostarczane informacje:

- jakościowe
 - rozkład prądu (kolorowa mapa)
 - rozkład defektów
 - sprawność kwantowa
- ilościowe
 - długość drogi dyfuzji (jak głęboko są nośniki)
 - czas życia nośników
 - prędkość rekombinacji nośników



C - obszar elekttywne
aktywny

A, B - elektrody

n - półprzewodnik

w - wizyka

Rodzaje badanych materiałów:

- generalnie (dramatyczna pauza) **półprzewodniki**
- wszystko inne co reaguje na światło

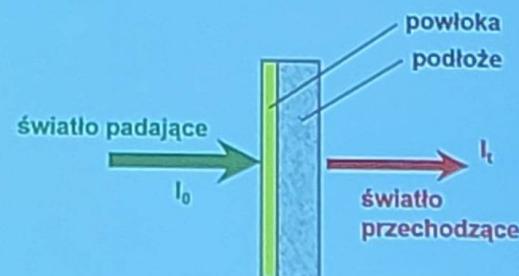
Metoda transmisji światła - na czym polega oraz jakie parametry można wyznaczyć na podstawie zmierzonych charakterystyk.



2. Pomiary charakterystyk transmisji światła

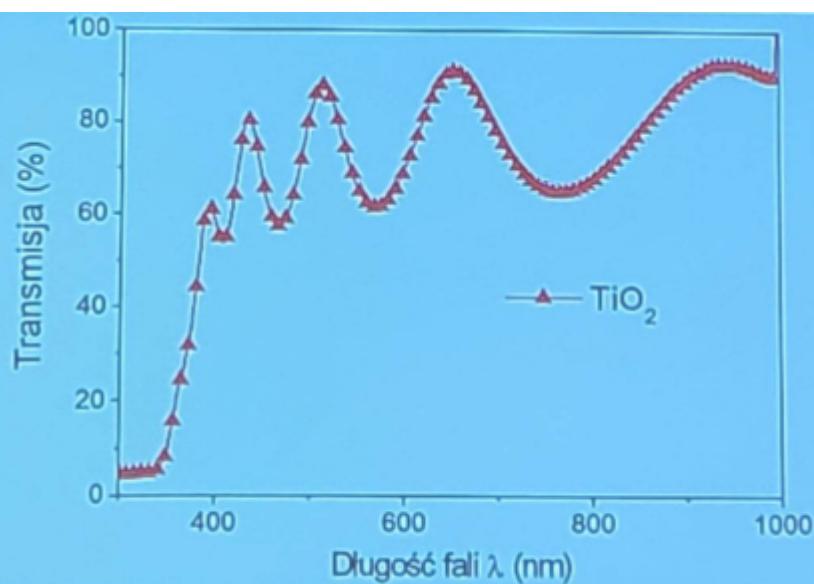
Współczynnik transmisji światła, eksperymentalnie można wyznaczyć jako:

$$T_\lambda(\%) = \frac{I_t}{I_o} * 100 \%$$



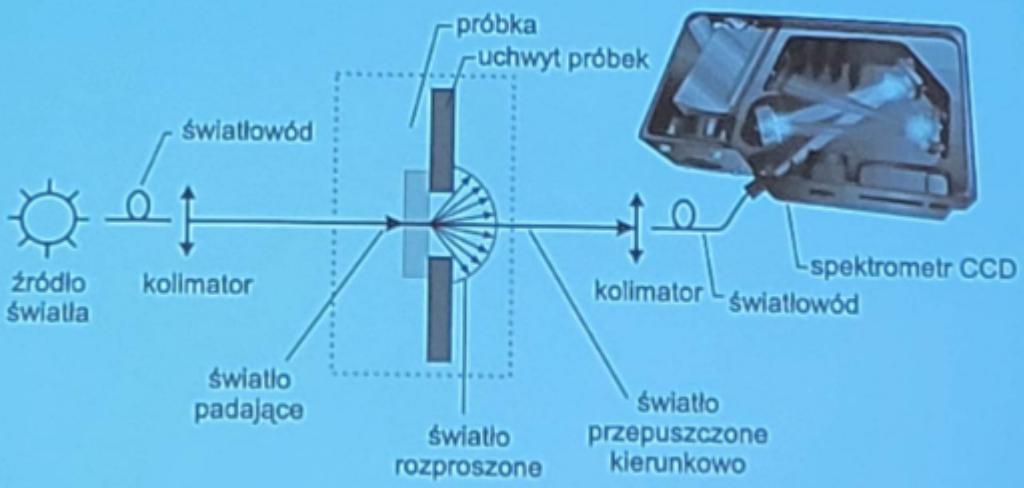
gdzie: I_t , I_o - natężenie strumienia światła przechodzącego przez badaną powłokę oraz natężenie strumienia światła odniesienia.

Widmo transmisji:

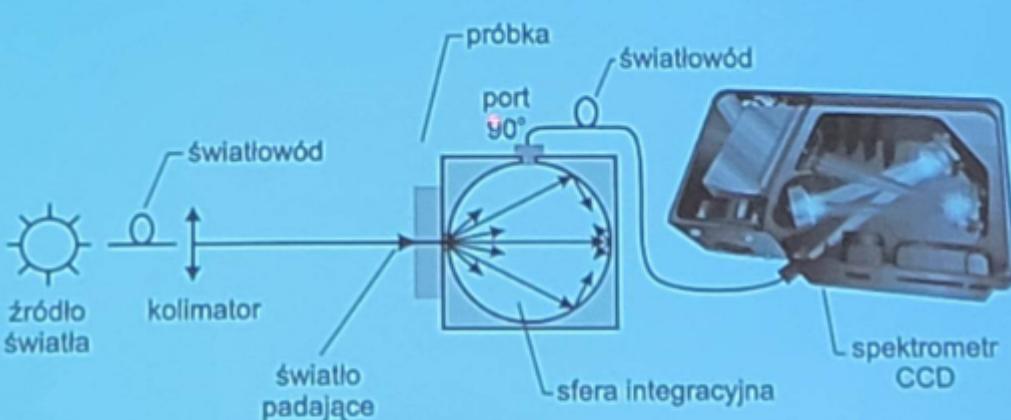


Charakterystyka transmisji światła cienkiej warstwy TiO_2

Układy pomiarowe:



Konfiguracja pomiarowa stosowana do wyznaczania charakterystyk transmisji światła - układ do pomiaru składowej kierunkowej



Konfiguracja pomiarowa stosowana do wyznaczania charakterystyk transmisji światła - układ do pomiaru całkowitego światła przechodzącego przez próbkę

Parametry wyznaczane na podstawie charakterystyk transmisji i odbicia światła:

- Wyznaczanie średniego poziomu transmisji metodą obwiedni
- Wyznaczanie położenie krawędzi optycznej absorpcji (λ_{cutoff})
- Współczynnik załamania światła - można sobie wyznaczyć charakterystykę z widma transmisji (dla cienkiej warstwy - jak są interferencje)
- współczynnik ekstynkcji światła k
- Współczynnik absorpcji α
- Grubość fizyczna d (dla cienkiej warstwy - jak są interferencje)
- Szerokość optycznej przerwy energetycznej (E_g^{opt})

W jaki sposób można określić zwilżalność powierzchni nanomateriałów cienkowarstwowych.

Zwilżalność określona jest przez stosunek sił kohezji i adhezji działających na styku ciała stałego oraz cieczy.

Miarą zwilżalności jest kąt zwilżania

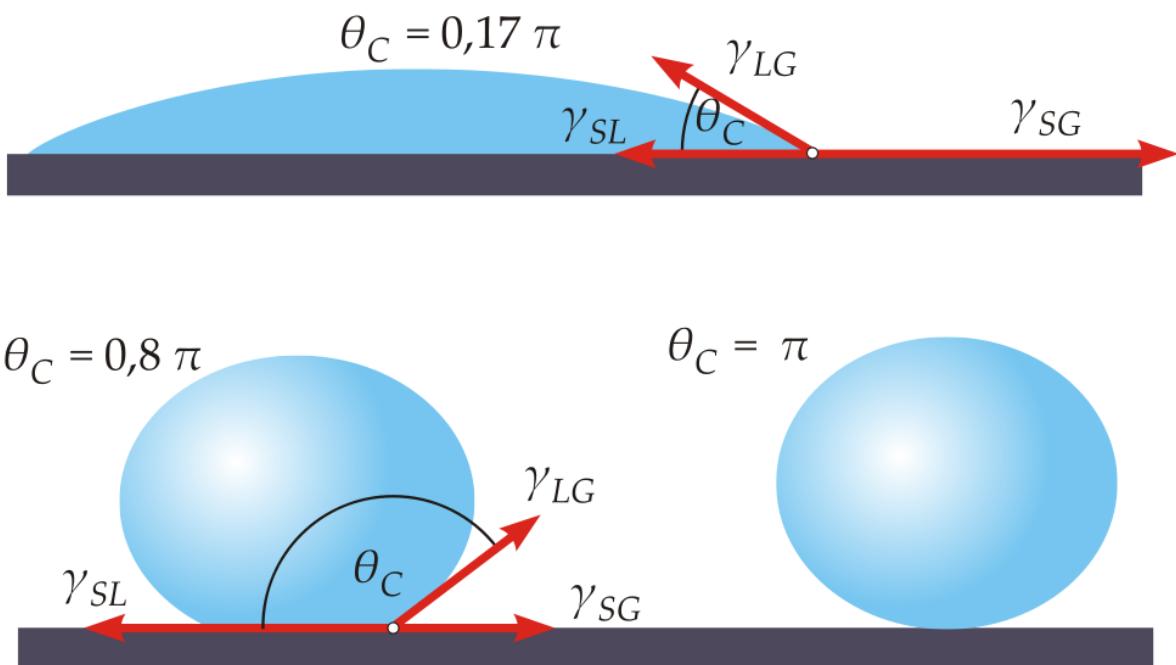
Kąt zwilżania

$$\cos \theta_c = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}}$$

superhydrofilowe - $\theta < 30^\circ$

hydrofilowe - $\theta < 90^\circ$

hydrofobowe - $\theta > 90^\circ$
superhydrofobowe - $\theta > 150^\circ$



Podstawowe elementy układu pomiarów zwilżania:

- system zrzucania kropli
- źródło światła
- powierzchnia na stoliku
- aparat fotograficzny



