

Katedra Fizyki Ciała Stałego Uniwersytetu Łódzkiego

Ćwiczenie 10

Badania powierzchni ciała stałego metodą elipsometryczną

Cel ćwiczenia: Celem ćwiczenia jest pomiar grubości cienkich warstw tlenkowych na powierzchni monokryształów Si metodą elipsometrii zerowej oraz pomiary współczynników załamania i ekstynkcji wybranych powierzchni ciała stałego.

Plan prac badawczych

1. Badanie działania wybranych elementów optycznych związanych z polaryzacją światła.
2. Nauka obsługi automatycznego elipsometru zerowego Rudolph Auto EL III.
3. Justowanie i kalibracja elipsometru Rudolph Auto EL III.
4. Pomiar współczynników elipsometrycznych i optycznych powierzchni wybranych materiałów.
5. Pomiary grubości cienkich warstw tlenku krzemu wytworzonych na monokrystalicznym podłożu krzemowym w procesie wygrzewania w atmosferze tlenowej.
6. Pomiary rozrzutu parametrów elipsometrycznych i optycznych w płaszczyźnie warstwy.

Wstęp teoretyczny

Elipsometria jest techniką analityczną służącą do oznaczania właściwości optycznych powierzchni poprzez pomiary zmian stanu polaryzacji światła spolaryzowanego po jego odbiciu od badanej próbki. W przypadku gdy powierzchnia pokryta jest przezroczystą cienką warstwą technika ta pozwala wyznaczyć współczynnik załamania i grubość tej warstwy.

¹Metoda polega na skorelowaniu, opisujących geometrię elipsy polaryzacyjnej, wartości tzw. kątów elipsometrycznych ψ i Δ z fizyko-chemicznymi parametrami materiału badanego.

Kąty elipsometryczne są określane są jako:

$$\tan \Psi = \frac{|R^P|}{|R^S|}$$

$$\Delta = \delta^P - \delta^S$$

gdzie : R^P i R^S są zespolonymi współczynnikami odbicia w płaszczyznach: równoległej i prostopadłej do płaszczyzny padania światła, a δ^P i δ^S kątami przesunięcia fazowego pomiędzy składowymi wektora pola elektrycznego fali świetlnej.

Funkcja elipsometryczna definiowana jako iloczyn kątów elipsometrycznych powiązana jest (poprzez wzory Fresnel'a) z parametrami optycznymi badanej próbki:

$$\tan \psi e^{i\Delta} = f(n_0, n_1, n_2, \Phi, \lambda, d)$$

n_0 – współczynnik załamania ośrodka (w naszym przypadku powietrza)

n_1 – zespolony współczynnik załamania materiału próbki ($n_1 = n - ik$)

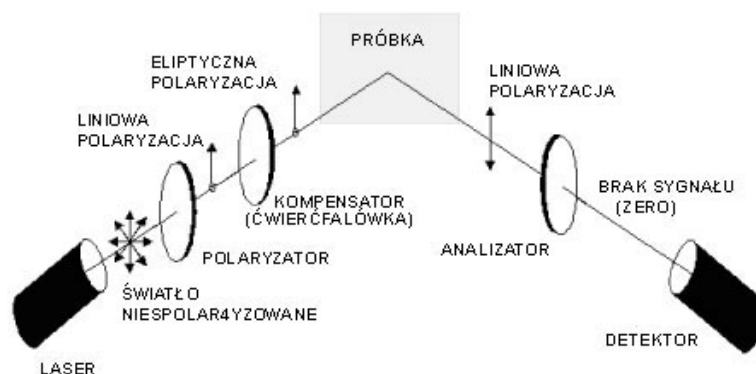
n_2 – współczynnik załamania cienkiej warstwy na próbce (jeśli ona występuje)

Φ – kąt padania fali świetlnej, λ – długość fali światła

d – grubość cienkiej warstwy na próbce (jeśli ona występuje)

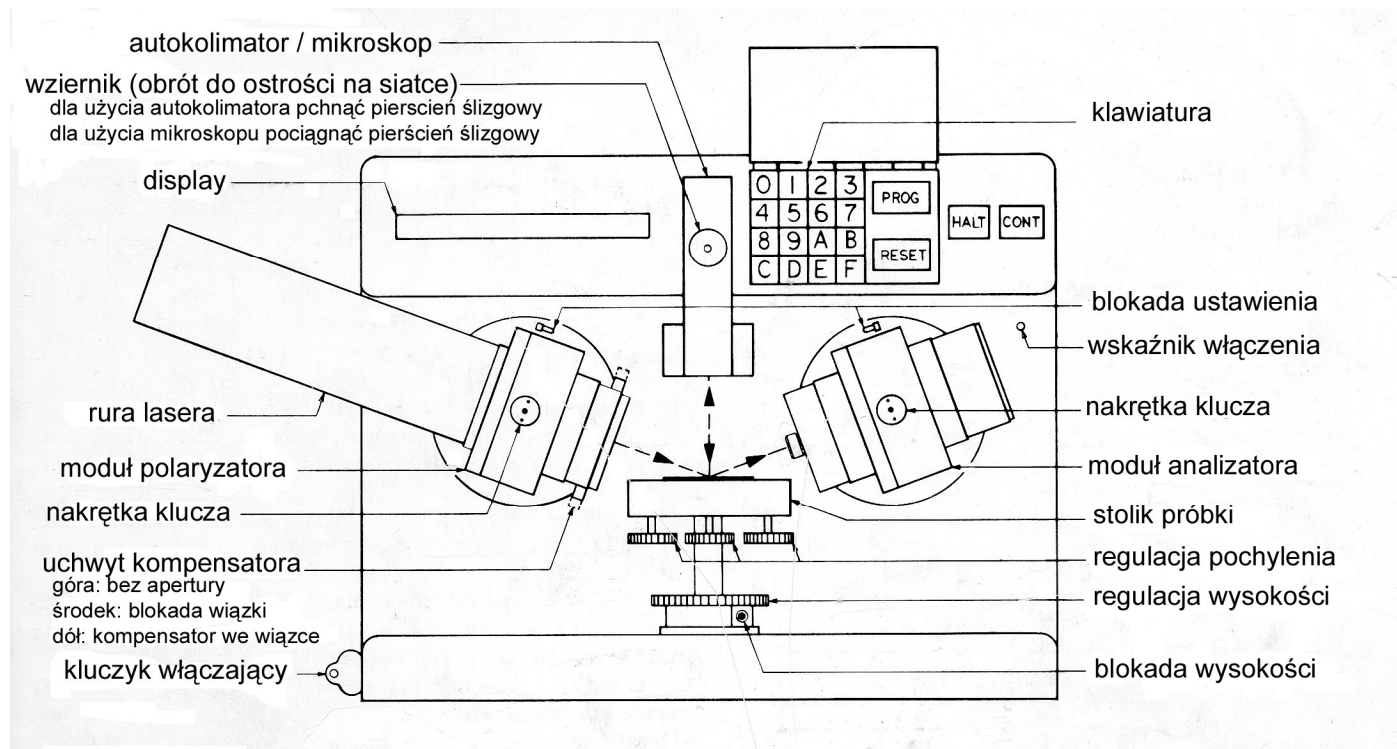
Metodyka pomiarowa

Wykorzystywana w ćwiczeniu tzw. zerowa metoda elipsometryczna polega na oświetleniu próbki wiązką światła laserowego o zadanej polaryzacji eliptycznej pod ustalonym kątem Φ . Następnie po odbiciu tej wiązki od badanej powierzchni doprowadza się przy pomocy obrotu analizatora do całkowitego wygaszenia wiązki. Zasadę działania takiego elipsometru przedstawiono na poniższym rysunku.



W ćwiczeniu pomiary prowadzone są na automatycznym elipsometrze zerowym firmy *Rudolph Auto EL-III*. Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy dokładnie zapoznać się z instrukcją obsługi elipsometru.

INSTRUKCJA OBSŁUGI ELIPSOMETRU RUDOLPH AUTO EL III



START

- A. Jeśli jest wyłączony ("off")** obrócić klucz przełącznika w pozycję "on". Wskaźnik załączenia zaświeci się, a po 30 sek na display'u wyświetli się **UP COMP-INSERT SAMPLE-PRESS CONT**. Odczekać 15 min przed pracą aż się nagrzej. Jeśli drukarka jest wyłączona to ją włączyć.

B. Jeśli jest wyłączony ("on") nacisnąć RESET i dalej jak powyżej (nie trzeba czekać 15 min – przyrząd jest już nagrany).

PROCEDURA URUCHAMIANIA

2. Ustawić (jeśli trzeba) kąt padania
3. Ułożyć próbkę na stoliku w przybliżeniu centralnie odbijającą stroną do góry. Próbką rozpoczynającą może być płytka Si z warstwą od 1100Å do 1300Å SiO₂
4. Ustawić wysokość próbki by odbita wiązka znalazła się na wejściu apertury analizatora i zablokować to położenie odpowiednim zaciskiem.
5. Ustawić w następujący sposób nachylenie próbki: pchnąć plastikowy pierścień na bębnie zoomu okularu autokolimatora do jego końca posuwu (tj. w kierunku od operatora) i obracając śrubami justującymi nachylenie sprowadzić do środka biały punkt widziany przez okular autokolimatora. Wszystkie śruby justujące nachylenie muszą być *ciasno dokręcone*, kiedy regulowanie jest ukończone.
6. Pchnąć uchwyt kompensatora w górę i nacisnąć przycisk **CONT**. Kiedy wyświetli się napis **DOWN COMP-PRESS CONT OR PROG**, pchnąć uchwyt kompensatora w dół.

POMIARY NA PRÓBKACH KONTROLNYCH

7. Jeśli użyte początkowe próbki nie były próbkami kontrolnymi to usuwamy te próbki i kładziemy na środku stolika kontrolne próbki **SiO₂/Si**.
8. Justujemy je, co do wysokości i pochylenia jak w pkt. od 4 do 5.
9. Wybieramy program **210000** (dla 2-zone pomiar. próbek SiO₂ na Si) kolejno naciskając przycisk **PROG**, oraz 2, 1, 0, 0, 0, 0 lub 2, 1 i **E** (automatycznie wstawia się brakujące zera) (*E pełni w tym przypadku rolę przycisku enter*)
10. Wyświetlane uwagi i druk wyników.
 - A. Jeśli będzie wyświetlona podczas pracy wiadomość o jakimś błędzie, patrz **Appendix G** instrukcji głównej **AutoEL-III** dla objaśnienia i korekcji. Sygnalizowany błąd może być wykorzystany do diagnozy czy przyczyną awarii był błąd operatora, słabe wyjustowanie próbki, niezadawalające własności próbki, niepoprawne dane, złe wyliczenia lub złe działanie aparatu.
 - B., Jeśli wynik pomiaru istotnie różni się od oczekiwanego to (choćbyż żaden błąd nie był sygnalizowany) możemy mieć do czynienia z pomyłką operatora, która nie uwidoczni się w wyświetlanych informacjach o błędach. Należy wówczas nacisnąć **RESET**, odczekać 30 sekund, powrócić do kroku 2 i powtórzyć cały wstęp oraz sprawdzić zastosowane dotychczas do próbki procedury pomiarowe. DALSZE POMIARY

11. Usuń uprzednią próbkę i połóż w to miejsce na stoliku kolejną, nieznaną. Sprawdź wysokość i kąt, a jeśli trzeba wyjustuj tak jak w krokach od 4 do 5.
12. Uruchom żądany program jak następuje:
 - A. Użyj przechowywanego programu z wykazu C, naciśnij **CONT**.
 - B. Wykonaj recall entry wyszczególnionego programu z pamięci C, D, E i F, naciśnij **PROG**, później naciśnij przycisk C, D, E lub F
 - C. Wykonaj direct entry wyszczególnionego programu, naciśnij **PROG**, wybierz żądany wyszczególniony program z listy, wprowadź sześciocyfrową liczbę wyszczególnionego programu poprzez klawiaturę później naciśnij przycisk E.
 - D. Wykonaj prompted entry wyszczególnionego programu, naciśnij przycisk B, później odpowiadaj od razu na pojawiające się, wyświetlane pytania.
 - E. Powtórz wyszczególniony program w krokach 12: A, B, C lub D naciskając **CONT**.

Literatura

- [1] K.Brudzewski "Wstęp do elipsometrii", Wyd. Politechniki Warszawskiej, W-wa, 1983.
 - [2] A.Szaynok, S.Kuźmiński "Podstawy fizyki powierzchni półprzewodników" Wyd. Nauk. Techn, Warszawa, 2000.
 - [3] R.Azzam, N.Bashara "Ellipsometry and polarized light" , Nord-Holland Phys.Publ. Amsterdam, 1987.
 - [4] A.Oleś "Metody doświadczalne fizyki ciała stałego", (wyd. II) Wyd. Nauk. Techn., Warszawa, 1998.
 - [5] „Metody doświadczalne w fizyce ciała stałego” pod red. M.Subotowicza, Wyd. UMCS,
-