

**POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA**



**URZĄD
PATENTOWY
PRL**

O P I S P A T E N T O W Y PATENTU TYMCZASOWEGO

74799

Patent tymczasowy dodatkowy
do patentu nr _____

Kl. 42b,12/06

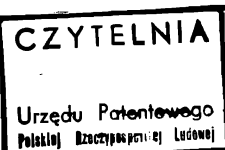
Zgłoszono: 27.01.1972 (P. 153129)

Pierwszeństwo: _____

MKP G01b 11/00

Zgłoszenie ogłoszono: 30.05.1973

Opis patentowy opublikowano: 20.02.1975



Twórca wynalazku: Kazimierz Brudzewski

Uprawniony z patentu tymczasowego: Politechnika Warszawska,
Warszawa (Polska)

Fotoelektryczny elipsometr różnicowy

1

Przedmiotem wynalazku jest fotoelektryczny elipsometr różnicowy.

Znane układy fotoelektrycznych elipsometrów różnicowych zbudowane są w oparciu o wykorzystanie metody jednoczesnego pomiaru amplitud sygnałów z dwóch fotodetektorów. Fotodetektory są sterowane przez wiązki światła o polaryzacjach wzajemnie ortogonalnych, które powstają w wyniku rozszczepienia analizowanej wiązki światła przez pryzmat polaryzacyjno-dzielący typu Wollastona czy Rochona. Metoda ta wymaga jednoczesnej rejestracji dwóch sygnałów odpowiadających dwóm wzajemnie ortogonalnym stanom polaryzacji, oraz rejestracji azymutu pryzmatu polaryzacyjno-dzielącego przy którym sygnały z fotodetektorów są jednakowe. Wiąże się z tym konieczność znacznej rozbudowy układu elektronicznego, który winien być liniowym w całym zakresie zmian amplitud sygnałów wejściowych, to jest w zakresie sześciu rzędów wielkości. Osiągana dokładność pomiarów w tego typu elipsometrach jest ściśle uwarunkowana liniowością układu detekcji. Na osiąganą dokładność rzutuje również fakt, że stosowana tutaj metoda pomiaru nie jest w pełni metodą różnicową, bowiem wymaga mierzenia bezwzględnych wartości amplitud sygnałów. Dlatego też, dokładność pomiarów przeprowadzanych przy pomocy tego typu elipsometru jest znacznie ograniczona i na ogół nie przewyższa pojedynczych minut jeśli chodzi o wyznaczenie podstawowych parametrów elipsometrycz-

2

nych. Silna rozbudowa układu elektronicznego i stosowanie w układzie optycznym pryzmatów polaryzacyjno-dzielących sprawia, że koszty budowy takiego elipsometru są wysokie.

5 Celem wynalazku jest opracowanie prostego układu fotoelektrycznego elipsometru różnicowego bazującego na standardowej konstrukcji produkowanych seryjnie wizualnych elipsometrów, który by usuwał powyższe niedogodności czyli zwiększał dokładność pomiarów i nie wymagał stosowania rozbudowanego układu elektronicznego.

10 Cel ten został osiągnięty, przez zbudowanie elipsometru w którym na drodze wiązki światła doprowadzonej z niezależnego źródła np. z lasera, umieszczono: polaryzator a za nim na drodze wychodzącej z niego wiązki światła umieszczono kolejno kompensator oraz próbkę, zaś na drodze wiązki światła odbitej od próbki umieszczono układ światłodzielnicy, korzystnie w postaci pryzmatu a na drodze każdej z dwóch rozdzielonych tym pryzmatem wiązek światła umieszczono kolejno jeden za drugim, przystawny zespół fazowy, analizator i fotodetektor, współpracujący ze wzmacniaczem różnicowym i wskaźnikiem zera.

25 Fotoelektryczny elipsometr różnicowy będący przedmiotem wynalazku pozwala w prosty sposób mierzyć z bardzo wysoką dokładnością dowolne stany polaryzacji światła całkowicie spolaryzowanego. Dzięki zastosowaniu optycznego układu różnicowego osiągnięto dokładność pomiarów eliptycz-

ności światła rzędu 10^{-6} — 10^{-5} . Ponadto układ różnicowy jest tak pomyślany, że może być łatwo stosowany jako różnicowa przystawka do seryjnie produkowanych np. przez firmę Gaertner wizualnych elipsometrów. Zastosowanie różnicowego układu optycznego umożliwia zredukowanie współpracującej z nim części elektronicznej jedynie do wzmacniacza różnicowego i wskaźnika zera, dzięki czemu koszty wykonania tego układu są stosunkowo niewysokie.

Przedmiot wynalazku jest wyjaśniony bliżej za pomocą rysunku, na którym przedstawiony jest jego schemat ideowy. Na fig. 1 jest uwidoczniony schemat układu elipsometru, a na fig. 2 schemat układu różnicowego, zastosowanego w elipsometrze.

Układ elipsometru jak uwidoczniono na fig. 1 składa się z trzech bloków, z których znany blok pierwszy I zawiera umieszczony na drodze wiązki światła wychodzącej z niezależnego źródła np. z lasera, polaryzator P, a za nim na tej drodze kompensator C, dalej próbkę S zamocowaną na obrotowym stoliku. Blok pierwszy I stanowi sztywny układ wizualnego elipsometru w którym wymontowano analizator. Blok drugi II zawiera umieszczony na drodze wiązki światła odbitej od próbki pryzmat światłodzielną R, a na drodze każdej z dwóch rozdzielonych tym pryzmatem wiązek światła 1 lub 2 umieszczony jest kolejno jeden z drugim przestawny zespół fazowy F1 lub F2 i analizator A1 lub A2. Zespoły fazowe F1 i F2 mają wspólny układ nastawczy dostosowany do równoczesnego przestawiania obrotowego lub przesuwne- go tych zespołów względem przebiegających przez nie wiązek światła 1, 2. W skład zespołu fazowego F1 lub F2 wchodzi liniowa płytka opóźniająca L1 lub L2 oraz kołowa płytka opóźniająca K1 lub K2. Liniowe płytki opóźniające L1 i L2 w zespołach fazowych F1 i F2 mają wspólny układ nastawczy, dostosowany do równoczesnego ich obracania w tych zespołach. Blok drugi II stanowi właściwy optyczny układ różnicowy i jest istotą wynalazku.

Blok trzeci III zawiera odpowiednio umieszczone na drodze wiązek światła wychodzących z analizatorów A1 i A2 fotodetektory D1 i D2 współpracujące ze wzmacniaczem różnicowym W i wskaźnikiem zera G.

Metoda analizowania stanu polaryzacji wiązki światła polega tutaj podobnie jak w elipsometrach wizualnych na wyznaczaniu dwóch niezależnych parametrów, które w sposób jednoznaczny określają stan polaryzacji eliptycznej. Tymi parametrami są dwa azymuty mierzone względem płaszczyzny padania, jeden to azymut polaryzatora P, drugi to azymut sprzężonych analizatorów A1 i A2 przy których otrzymujemy minimum natężenia światła padającego na fotodetektory D1 i D2. Minimum natężenia światła padającego na fotodetektory odpowiada przypadkowi gdy stan polaryzacji wiązki światła po przejściu przez polaryzator P, kompensator C i odbiciu od powierzchni próbki S jest stanem liniowej polaryzacji.

W związku z powyższym blok drugi II został skonstruowany w ten sposób, aby z ekstremalnie wysoką czułością można było określać stan liniowej

polaryzacji, to znaczy, aby układ był zdolny do wykrywania eliptyczności światła już rzędu 10^{-6} — 10^{-5} oraz aby z dokładnością lepszą od jednej minuty można było wyznaczać azymut liniowej polaryzacji.

Analizowana wiązka światła jak uwidoczniono na fig. 2 pada na pryzmat dzielący R ulegając podzieleniu na dwie wiązki 1 i 2. Natężenia światła obu tych rozdzielonych wiązek są w przybliżeniu jednakowe. Rozdzielone wiązki padają odpowiednio: pierwsza na liniową płytkę opóźniającą L1 zespołu fazowego F1, druga na liniową płytkę opóźniającą L2 zespołu fazowego F2. Płytką L1 wnosi przesunięcie fazowe — 90° , natomiast płytka L2 wnosi przesunięcie fazowe $+90^\circ$. Rozdzielone wiązki 1 i 2 po przejściu odpowiednio przez liniową płytkę opóźniającą L1, L2 i przez analizator A1, A2 padają każda z nich na fotodetektor D1, D2. Równość natężeń światła padającego na fotodetektory D1 i D2 zachodzi jedynie dla dwóch przypadków. Przypadek pierwszy ma miejsce wtedy, gdy wiązki 1 i 2 są liniowo spolaryzowane, drugi gdy azymuty liniowych płytek opóźniających L1 i L2 pokrywają się z kierunkiem płaszczyzny polaryzacji przepuszczanej przez sprzężone mechanicznie analizatory A1 i A2.

Przypadek drugi jest łatwy do wykluczenia jeśli zauważyć, że przez synchroniczny obrót płytek L1 i L2 można zawsze wykluczyć sytuację, że azymuty płytek pokrywają się z azymutem sprzężonych analizatorów. Jednocześnie przez synchroniczny obrót płytek L1 i L2 można znaleźć takie ich ustawienie przy którym różnicowe działanie płytek jest ekstremalne. Zatem stan liniowej polaryzacji wiązek 1 i 2 powoduje, że sygnały z fotodetektorów D1 i D2 są jednakowe, a więc zasilany poprzez wzmacniacz różnicowy W wskaźnik wychyłowy G wskaże położenie zera. Azymut polaryzatora P odpowiadający wskazaniu zerowemu wskaźnika W określa jednoznacznie takie położenie polaryzatora P przy którym stan polaryzacji wiązki światła przechodzącej przez polaryzator P, kompensator C i odbitej od próbki S jest stanem liniowej polaryzacji.

Azymut polaryzatora P odpowiadający wskazaniu zerowemu wskaźnika G stanowi pierwszy parametr wyznaczany pomiarem elipsometrycznym. Następnie wykorzystując wspólny układ nastawczy zespołów fazowych F1 i F2 wprowadza się w tory rozdzielonych wiązek światła 1, 2 kołowe płytki opóźniające K1, K2 z jednoczesnym usunięciem z nich liniowych płytek opóźniających L1, L2.

Zrównanie natężeń światła padającego na fotodetektory D1 i D2 odpowiada dwóm możliwym położeniom mechanicznie sprzężonych analizatorów A1 i A2. W położeniu pierwszym natężenia światła wiązek 1, 2 po przejściu odpowiednio przez kołową płytkę opóźniającą K1, K2 i przez analizator A1, A2 są jednakowe i mają wartość minimalną, w drugim położeniu są jednakowe i osiągają maksymalną wartość. W zależności od typu użytych fotodetektorów wykorzystuje się położenie pierwsze lub drugie. Zrównanie natężeń światła padającego na fotodetektory D1 i D2 przez kołowe płytki opóźniające K1 i K2 i przez odpowiednio zorientowane i sprzężone analizatory A1 i A2 sprawia, że sygna-

ły wyjściowe z fotodetektorów są jednakowe i wskaźnik G wskazuje wychylenie zerowe. Azymut określający orientację sprzężonych mechanicznie analizatorów A1 i A2 odpowiadający zerowemu wskazaniu wskaźnika G stanowi drugi parametr wyznaczany pomiarem elipsometrycznym. Zespół dwóch niezależnych parametrów to jest azymut polaryzatora P oraz azymut sprzężonych analizatorów A1 i A2 określa w sposób jednoznaczny stan elipsoidalnej polaryzacji analizowanej wiązki światła, co stanowi przedmiot pomiarów elipsometrycznych.

Układ według wynalazku znajduje zastosowanie przede wszystkim jako bardzo dokładny elipsometr służący do pomiarów grubości cienkich warstw dielektrycznych, półprzewodzących, czy metalicznych. Układ znajduje również zastosowanie przy kontroli czystości i jakości powierzchni, co ma zasadnicze znaczenie w technologii wytwarzania cienkowarstwowych układów scalonych, elementów półprzewodnikowych, czy wreszcie przy produkcji zwierciadeł laserowych.

Zastrzeżenia patentowe

1. Fotoelektryczny elipsometr różnicowy wyposażony w polaryzator a za nim, na drodze wychodzącej z niego wiązki światła doprowadzonej z niezależnego źródła światła, na przykład z lasera, umieszczone są, kompensator, a za nim badana próbka,

znamienny tym, że na drodze wiązki światła odbitej od badanej próbki (S) umieszczony jest układ światłodzielnący, korzystnie w postaci pryzmatu (R), a na drodze każdej z dwóch, rozdzielonych tym pryzmatem wiązek światła (1), (2) umieszczony jest kolejno jeden za drugim, przestawny zespół fazowy (F1), (F2), analizator (A1), (A2) i fotodetektor (D1), (D2).

2. Fotoelektryczny elipsometr według zastrz. 1, znamienny tym, że każdy z zespołów fazowych (F1) i (F2) składa się z liniowej płytki opóźniającej (L1), (L2) i połączonej z nią kołowej płytki opóźniającej (K1), (K2), przy czym w jednym z tych zespołów liniowa płytka opóźniająca powoduje przesunięcie fazowe — 90° a kołowa płytka opóźniająca przesunięcie fazowe — 6° , zaś w drugim zespole fazowym płytki opóźniające powodują przesunięcia fazowe odpowiednio $+90^\circ$ i $+6^\circ$.

3. Fotoelektryczny elipsometr według zastrz. 1 i 2, znamienny tym, że zespoły fazowe (F1) i (F2) mają wspólny układ nastawczy dostosowany do równoczesnego przestawiania obrotowego lub przesuwne- go, tych zespołów względem przebiegających przez nie wiązek światła (1), (2).

4. Fotoelektryczny elipsometr według zastrz. 1, 2, 3, znamienny tym, że liniowe płytki opóźniające (L1) i (L2) w zespołach fazowych (F1) i (F2) mają wspólny układ nastawczy, dostosowany do równoczesnego ich obracania w zespołach fazowych.

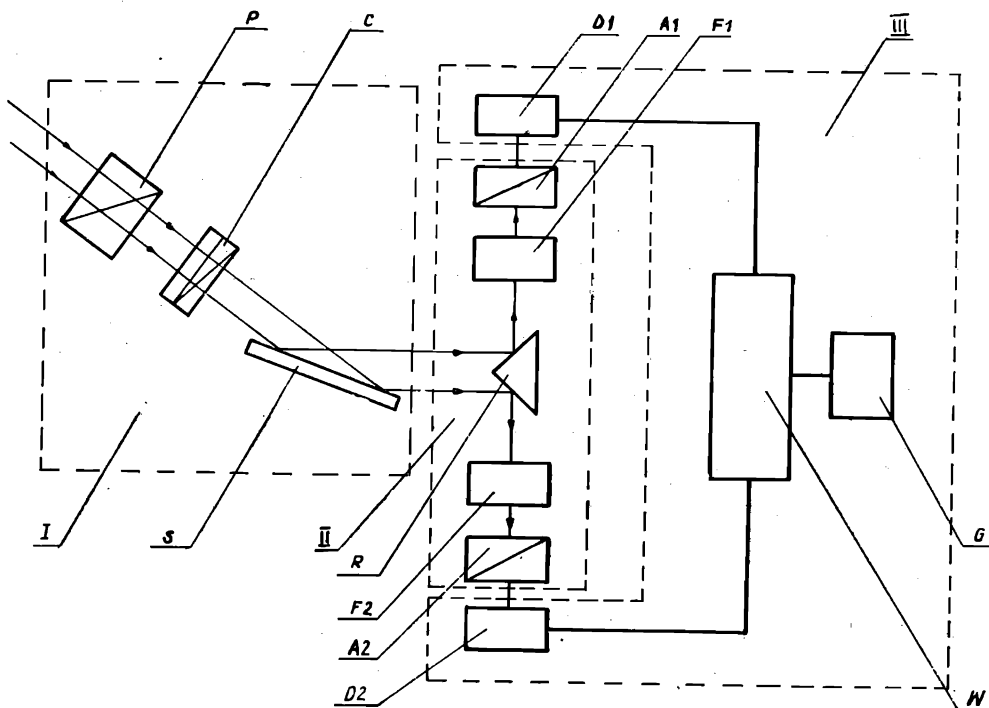
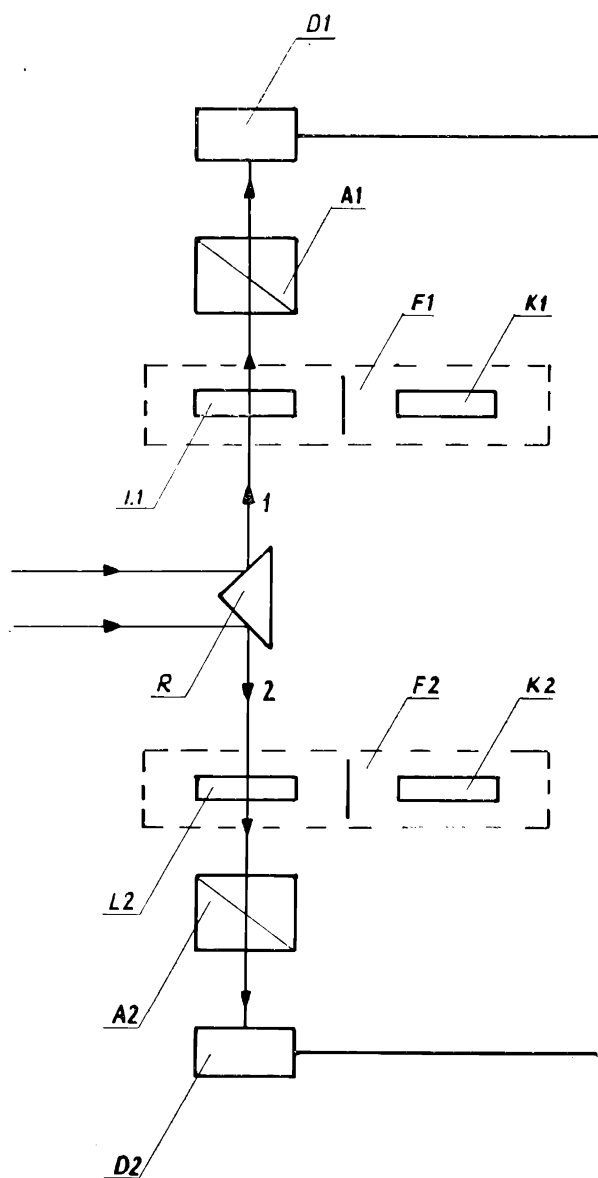


Fig 1

*Fig 2*