

# 透明膜の光学的膜厚測定法

## - エリプソメーター -

キーワード：偏光、楕円偏波、薄膜の膜厚、屈折率、エリプソメーター

### 概要

現在、種々の薄膜が多くの工業分野で利用されていますが、その膜の厚みを計測、制御することは非常に重要です。一般的な膜厚の計測法は、光学式と接触式に分けることができます。それぞれ、特徴があり、また利用できる膜や基板への制約もあります。ここでは、非接触で測定できる光学的膜厚測定法（エリプソメーター）について述べます。

エリプソメーターは、被測定物質の表面に偏光（楕円偏波）を照射し、反射光の偏光状態の変化を測定することにより、物質の光学的諸定数（膜厚、屈折率など）を解析するものです。以下のような特徴があります。

- ・非接触、非破壊
- ・数千 Å までの厚みを Å オーダーの精度で計測可能
- ・膜の屈折率も同時に計測可能
- ・原理的には多層膜の膜厚も計測可能

また、次のような制約があります。

- ・被測定膜は光をほぼ透過すること。
- ・基板は光を殆ど透過しないこと。
- ・基板の表面が平坦（鏡面）であること。

以下に、エリプソメーターの原理と応用例を記します。

### エリプソメーターの原理

光は、その進行方向に対して垂直な面内で電界と磁界が振動している横波です。ふつうの光にはいろいろな方向に振動している電界が含まれていますが、偏光板や 1/4 波長板を通すと電界の方向が時間とともに回転する光（楕円偏波といいます）を作ることができます。この楕円偏波の光が、表面に薄膜の存在する基板に入射すると、膜中で光は多重反射を起こし、反射光の楕円偏波の状態が変化します。そこで図 1 に示すような、2 枚の偏光板と 1 枚の 1/4 波長板を用いたエリプソメーターを用いることにより、楕円偏波の状態がど

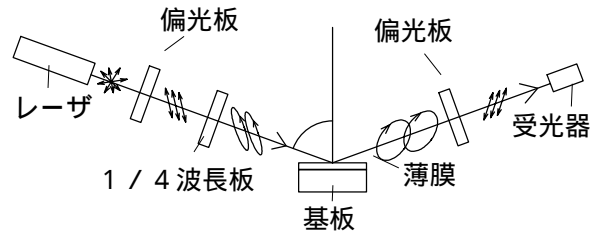


図 1 エリプソメーターの測定系

のように変化したかがわかります。楕円偏波の状態は、振幅比（ $\tan \Psi$ ）と位相差（ $\Delta$ ）と呼ばれる量で規定できますので、エリプソメーターでこの振幅比と位相差を求め、パーソナルコンピュータにより膜厚と屈折率を求めます。

### 応用例 1 - シリコン酸化膜 -

エリプソメーターは、特にシリコン基板上の透明薄膜の膜厚と屈折率の測定によく用いられます。それは、シリコン基板の屈折率などがよくわかっていること、シリコン基板の表面は非常に平坦に磨かれていること、また、シリコンは可視光を透過しないことなどの理由によります。

図 2 に、シリコン基板上の  $\text{SiO}_2$  膜の  $\Delta$  -  $\Psi$  チャートを示します。  $\text{SiO}_2$  膜の屈折率を 1.35

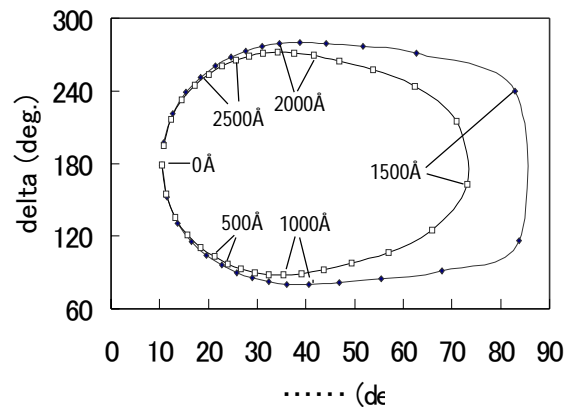


図 2  $\text{SiO}_2$  膜の  $\Delta$  -  $\Psi$  チャートの例

図中の数字は膜厚を示す

入射角：70度、波長 6328Å

( $n_1$  : 屈折率 1.45、 $n_2$  : 屈折率 1.35)

( )と1.45( )とした場合の、膜厚が0から2900Åまでの と を100Åおきにプロットしたものです。膜厚が0Åでは、 が180度で が10度の近くの点にあり、膜厚の増加とともに左回りに動き、3000Å以上では、再び同じチャート上を動きます。従って、測定された と からだけでは、一意に膜厚を決定できません。およその膜厚もわからない場合には、入射角を変えて と を何度か測定する必要があります。

が10度から20度の近くでは2つの屈折率のチャートはお互いに間隔が狭まります。これは、この領域では、 のわずかの測定誤差で屈折率の値が大きく変化する可能性があることを示しています。しかしながら、膜厚は のわずかな変化ではあまり変化しません。従って、エリプソメーターは、膜厚の高精度な測定に本質的に適しています。表1に、シリコン基板を熱酸化してSiO<sub>2</sub>薄膜を形成した場合の酸化条件と測定結果を示します。数10Åの膜厚が測定できていることがわかります。さらに薄い10Å程

表1 SiO<sub>2</sub>膜の膜厚と酸化条件

・ <sub>1</sub> ・サ・フ・……	・「	・オ	……i……
・V・U・O……A・R	・O1	10.04	53.24
・W・O・O……A・R	・O1	53.89	78.73

度の酸化膜も計測が可能で、シリコン表面が室温で自然酸化されていく様子も測定されています。

応用例2 - レジスト膜 -

エリプソメーターは非接触であるため、スピ

ンコート直後のレジスト膜のように、液体に近い非常に軟らかい膜の測定も可能です。このような膜は、段差計のような接触式の膜厚計では決して測定することはできません。表2に、レジスト膜(シプレー社製S1400-17)を4000rpmでスピコートし、熱処理を行った場合の膜厚と屈折率が変化する様子を示します。90 までの熱処理では、溶剤の蒸発により膜が固体化するため、膜厚の若干の減少と屈折率の増加がみられます。120 の熱処理では膜厚が大きく減少し、屈折率も大きくなっています。これは、120 の熱処理により重合反応を起こしていることを示しています。このように、有機膜の膜

表2 レジスト膜の膜厚と屈折率の変化

・M……フ……	……j……j	……ワ・フ
・@・ネ・オ	3256.4	1.625
・@・T・O……P・O・E	3042.1	1.6375
・@・X・O……P・O・E	2734.9	1.6438
・@・P・Q・O……P・O E	2116.9	1.8234

厚や屈折率の変化などの測定にも応用できます。

まとめ

以上のように、エリプソメーターを用いることにより、鏡面基板上の薄膜の厚みを高精度に測定する事ができます。当研究所では、写真1の消光法を用いたエリプソメーターを開放しており、半導体プロセスの研究や金属表面上の透明薄膜、非常に軟らかい有機膜の膜厚測定などに利用されています。



写真1 エリプソメーター