偏光解析モニタのプロセス装置への 組み込みに対する対策*

林 康明**・泉 宏比呂**・松浦 正道**・伊藤 昭夫**

(昭和60年12月25日 受理)

Development of Way of Adjustment for Ellipsometric
Monitor Attached to Process System

Yasuaki HAYASHI, Hirohiko IZUMI,
Masamichi MATSUURA and Akio ITOH

(Institute for Super Materials, ULVAC Co., Tsukuba, Ibaraki)

(Received December 25, 1985)

1. はじめに

偏光解析法による薄膜評価法では、膜厚と光学定数が極めて精確に求められるため、近年の半導体プロセスにおいて特に利用度が高まってきている。しかし、成膜後にプロセス装置より取り出して測定するのが一般的で、成膜プロセス中に測定し、プロセス評価を行ったり、プロセス制御に利用することは、極めてまれである。その理由としては、偏光解析装置が大がかりであるためプロセス装置への組み込みが困難であること、解析計算に時間がかかりすぎること、さらに重要な問題として、プロセス装置に組み込んだままの光学系の調整が極めてむづかしいことが障害となっているためである。

われわれは、偏光解析装置を小型化し、専用のマイクロコンピュータシステムを製作して計算速度を向上させ(膜厚と屈折率の計算までが2秒)、同装置のモニタ化を進めてきた^{1,2)}。本研究では、さらに、同モニタの調整を簡易化するため、その方法と機構の開発を行ない、偏光解析法のプロセスモニタリングへの利用を、より容易なものにした。

2. 調整方法と機構

2.1 方位角の補正

本研究で利用している偏光解析モニターは、検光子を回転して偏光状態を測定する測光型であり、偏光光学素子として、光源部に偏光子と1/4波長板、受光部に検光子が用いられている。これら3つの素子の方位角の正確さには、測定値の正確度に対し一定の相関があるため(後述)、厳密さが必要とされる。方位角は入射面(入射光線と反射光線を含む平面)を基準とし、方位角を調整するときは、それぞれの光学素子の方位をこの面内(又は、90°回転した方向)に置くことになる。当然、プロセス装置に組み込んだ後に、方位角調整を行わなければならないので、その調整は困難を極めることとなる。さらに、プロセス装置の熱や圧力による歪や試料交換に伴って、はじめの調整がずれる可能性もあり、測定に正確度を必要とするときは、その毎に調整をくり返さなければならない。そこで、本研究では、方位角の読みと真の方位角のずれを測定する方法と、その値により測定された偏光解析パラメータ ψ, Δ を補正する方法を開発した。この方法を利用することにより、方位角調整が簡易化し、測定の正確度も向上させることができる。以下では、これについて、式を用いて説明する。

本モニタは、光源部側に1/4波長板を方位角45°にして挿入している¹⁻³⁾(Fig. 1)。このとき、真の偏光解析パラメータ ψ, Δ は、測定された値 ψ', Δ' と次のような近似的な関係があることが計算される⁴⁾。但し、 $\delta P, \delta C, \delta A$ は、それぞれ、偏光子、1/4波長板、検光子の方

* 昭和60年11月8日 第26回真空に関する連合講演会で講演(8Ap-7)

** 日本真空技術(株)超材料研究所(茨城県筑波郡豊里町)

Fig. 1 Configuration of developed ellipsometric monitor.

方位角のずれで、 P は偏光子の方位角である。

$$\begin{cases} \psi = \psi' + \sin 2\psi' \cdot \sin 2P \\ \delta P = \sin (\Delta' + 2P) \cdot \delta A \\ \Delta = \Delta' - 2\delta P + 2\delta C - \frac{2 \cos (\Delta' + 2P)}{\tan 2\psi'} \cdot \delta A \end{cases} \quad (1)$$

方位角調整を行なうとき、光源部側の偏光子と1/4波長板を一体にして回転できるようにしておけば(但し、偏光子と1/4波長板の相対的な方位角は、プロセス装置へ組み込む前に調整しておかなければならない。) $\delta P = \delta C$ となり、(1)式から δC は消去される。そこで、モニタリングを行なう前に δP と δA の値を評価するために、例えば、 $P=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ としてパラメータ $\Delta'_0, \psi'_{45}, \Delta'_{90}, \psi'_{135}$ を測定する。これらの値から、方位角のずれ、 $\delta P, \delta A$ を次のようにして求めることができる。

$$\begin{cases} \delta A = \frac{\tan 2\psi'}{4 \cos \Delta'} (\Delta'_0 - \Delta'_{90}) \\ \delta P = -\frac{(\psi'_{45} - \psi'_{135}) - 2 \cos \Delta' \cdot \delta A}{2 \sin 2\psi'} \end{cases} \quad (2)$$

上の式で、 ψ' には ψ'_{45}, ψ'_{135} のどちらを、 Δ' には Δ'_0, Δ'_{90} のどちらを用いても大差はない。こうして、モニタリング中は、方位角ずれ $\delta P, \delta A$ をまた(1)式に代入して、測定されたパラメータ ψ', Δ' を真の値 ψ, Δ へ補正するようにすればよい。

本モニターでは、偏光子の方位角はコントローラ内のCPUの命令で自動的に設定できるようになっており、上の補正操作は自動的に行なえる (Fig. 2)。

2.2 光軸調整と入射角補正

偏光解析モニタをプロセス装置に組み込んで利用するとき、試料の傾き角がはじめの調整のときと変わると、反射光と受光部の光軸のアラインメントがずれることにも注意をしなければならない。その修正機構を、試料台部に備えておくことも考えられるが、プロセス装置上の制約からそれは不可能に近い。そこで、修正機構は受光部

Fig. 2 Photo of polarizer assembly of ellipsometric monitor.

Fig. 3 Explanation drawing of automatic alignment correction system.

Fig. 4 Photo of analyzer system of ellipsometric monitor.

側に置くことを考えた。この機構は、自動 X-Z ステージを利用し、光軸に対し、垂直な平面内を任意に動く機能しか備えていないが、微小の変動に対しては光軸を傾けなくとも有効であり、構造的に簡易である (Fig. 3, Fig. 4)。反射光を受光部入射口の中心に位置させるの

は、コントローラ内のCPUの命令によって自動的に行なわれる。また、X、Z方向の移動量より入射角の変化量が算出され、入射角値は自動的に補正される。

3. 実験と考察

3.1 補正度の評価

方位角の補正度は次のようにして調べた。はじめに、試料ホルダ上に生のシリコンウェーハをおき、偏光子方位角 $P=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ で ψ, Δ の測定をし、光源部、受光部の方位角誤差 $\delta P, \delta A$ を求めた。この結果、 $\delta P=-0.6^\circ, \delta A=0.7^\circ$ であった。次にシリコンウェーハ上にシリコン酸化膜の堆積した試料について、 ψ', Δ' を測定し、さらに方位角補正をした値 ψ, Δ を求めた。結果は、Fig. 5に示されているとおりであった。 ψ, Δ の値は、偏光子方位角に依存せず一定であるはずであり、方位角誤差がある場合は(1)式で示されるように、 P に対応して変化をする。図でみるとおり、補正していない値 ψ', Δ' は P と共に変化しているが、補正後はそれが小さくなっていることがわかる。

光軸調整、入射角補正の結果はTable 1に示されているとおりである。表の中で、 ϕ_0 は実際の入射角で、 ϕ はX-Zステージの移動量より算出された値である。この誤差は 0.01° 以下であることがわかる。また、試料には、シリコン上にシリコン窒化膜の堆積しているものを用いたが、その測定値 ψ, Δ と ϕ, ψ, Δ より計算された屈折率 n 、膜厚 d も示されている($\phi_0=70.0^\circ$ のとき以外は、 70.0° のときの値に対する誤差で表示)。調整機構を用いずに測定した値は、 ψ', Δ', n', d' で示されているが、受光部入射口内に光が入ったのは、 $\phi_0=69.9^\circ$ のときのみで、また n', d' の誤差は、 n, d の誤差に比較してかなり大きいことがわかる。

3.2 a-Si:H 成長のモニタリング

上に述べた方位角補正方法および光軸調整機構を用いて、a-Si:H 成長のモニタリングを正確に行なった。a-

Fig. 5 Result of correction of ellipsometric parameters psi and delta.

Si:HはプラズマCVD法により作成し、基板にはスライドガラスを用い、成膜条件としては、10% SiH_4/He ガス、圧力13 Pa (0.1 Torr)、基板温度 200°C および 350°C とした。成膜中の ψ, Δ の変化はFig. 6に示すとおりである。a-Si:H薄膜の成長は均質であると仮定して、計算により、実験値に対して最も誤差の少ない $\psi-\Delta$ 曲線に対応する光学定数を捜し出すと、基板温度 200°C のときは、 $3.49-0.11i$ (入射角 $\phi=71.8^\circ$)、 350°C

Table 1 Result of correction of optical alignment and incidence angle

ϕ_0	Automatically aligned					Non-aligned			
	ϕ	ψ	Δ	n	d	ψ'	Δ'	n'	d'
70.0°	$—^\circ$	36.71°	328.9°	2.033	997 Å	$—^\circ$	$—^\circ$	—	— Å
69.9	69.89	36.66	328.7	$\pm .000$	± 0	39.61	326.3	$-.070$	+46
69.8	69.79	36.51	328.4	$+.001$	-1				
69.7	69.70	36.46	327.9	$\pm .000$	+1				
69.6	69.60	36.43	327.5	$-.002$	+3				

Specimen: SiNx/Si

Specimen to Analyzer: 300 mm

Fig. 6 Variation of ellipsometric parameters during a-Si:H film growth.

のとき、 $3.49-0.91i$ ($\phi=71.9^\circ$) となった。計算値と実験値の差が小さいことから、上の仮定の妥当性が結論できる。

Fig. 7 は、基板温度 200°C のときの、放電開始直後の膜厚変化を示す。放電をはじめた直後、数秒間は、成長速度が速く、その後一定になっていることがわかる。このような結果は、多少とも、他の成膜条件においてもみられた。これは、プラズマの初期状態に関係していることも考えられる⁵⁾。

以上のように、偏光解析モニタにおける、方位角およ

Fig. 7 Film thickness variation of a-Si:H just after generating plasma.

び光軸の調整方法と機構の開発により、従来よりも簡易な調整法により正確な測定ができるようになったことが確認された。

〔文 献〕

- 1) 林 康明, 伊藤昭夫: 真空 **26** (1983) 480.
- 2) Y. Hayashi and A. Itoh: Proc. ISIAT'83 & IPAT'83, Kyoto, 1983, p 1469-1474.
- 3) 林 康明, 松沢昭生, 福留理一: 真空 **25** (1982) 106.
- 4) 林 康明, 伊藤昭夫: 未発表.
- 5) 大土哲郎, 中山喜萬, 河村孝夫: 第46回応用物理学会学術講演会予稿集, 1985秋, 4a-ZG-2.