

图 11 橡皮与金属粘结件真空减压实时法(二)



图 12 橡皮与金属粘结件激振法
频率 = 6530HZ

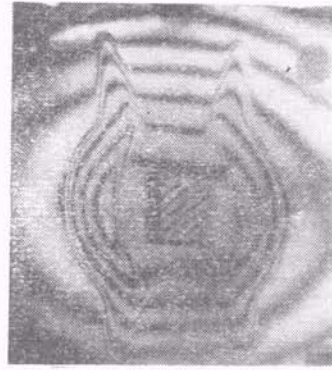


图 13 橡皮与金属粘结件
热应力二次曝光

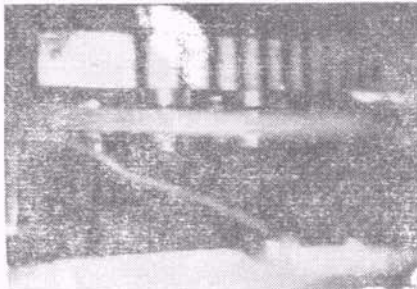


图 14 音叉频率 = 505HZ, 输出电压 = 0.8 伏

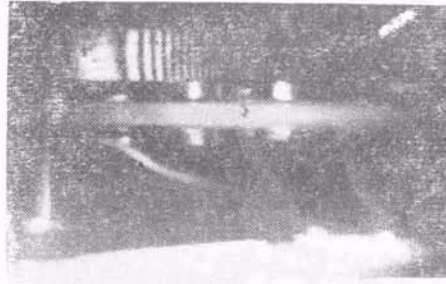


图 15 音叉频率 = 505HZ, 输出电压 = 8 伏

五、结 语

实践表明,激光全息干涉分析在无损检验方面有着多方面的应用价值,对于可以采用全息技术来进行检验的工件,当加载的方法找到规律后,在生产实际使用中可以使仪器专用化。进一步需要考虑提高工效和操作简便。采用非银盐的记录介质或电子存储处理系统来替代目前的银盐记录介质这一工作有待于进一步实践。

参 考 文 献

- [1] Bohn, J. R., Gottenberg, W. G., *International Journal of Non-Destructive Testing*, 4-1 (1972), 1.
- [2] Bruner, R. C. and Krumme, J. B., *Subjects of the Technical Sessions*, 6 ICNT, (1970), 128.
- [3] Collier, R. J., *Optical Holography*, Academic Press, (1971), 438.
- [4] 冶金工业部金属研究所,《全息照相与无损检验》,科学出版社, (1973), 26.

椭偏光仪和薄膜测量*

莫 党 朱雅新

一、薄膜技术的广泛应用对 厚度测量提出的新要求

薄膜技术在近代科学技术中应用很广。在光学部件和仪器中,薄膜的使用是很重要的;特别是在激光技术中,薄膜技术更发展成为制造光学谐振腔等的重要

工艺。在电子器件、金属材料表面保护、摄影、彩色电视、化纤材料、标准计量、物化分析等许多方面,薄膜都得到愈来愈多的应用。在物理、化学、天文、生物学、医药学等学科中,薄膜技术也是一种有用的研究手段。

对于半导体器件和集成电路,当前主要的基础工

* 1976年7月19日收到。

艺是硅平面工艺,就是在硅片上生长和光刻氧化硅膜。大规模 MOS 集成电路中的“O”,就是栅极和半导体之间的氧化层,它对器件的性能很有影响。随着器件表面钝化、自对准及其他新工艺的发展,可利用的薄膜种类愈来愈多,如氮化硅膜、氧化铝膜、磷硅玻璃膜、多层钝化膜、掺杂乳胶膜、氧化铁掩膜等等。与此同时,对薄膜厚度的测量和控制的要求也高了。

测量薄膜的厚度有许多方法,其中光学方法占颇为重要的地位。

以光干涉所产生的光强变化为基础的光干涉法,过去使用较普遍,但对于很薄的膜(如 10 埃的数量级)并不适用。非光学的一些方法一般只适宜于测较厚的膜。对于很薄的膜,虽有一些精密的测量方法,但一般这类方法测量手续较麻烦。根据生产实际的迫切需要,国内有关单位开展社会主义大协作,研制成功椭圆偏光仪,用它来测量薄膜厚度,精度高,效果好。

二、椭圆偏光法与自制椭圆偏光仪

1. 椭圆偏光法优越性多

椭圆偏光法也是一种光学方法,以光反射所产生的偏振状态变化为基础。这种方法能测很薄的膜,测量精度高,是现代膜厚测量限度最薄的几种方法之一,而且,此法还能同时测量膜的折射率,测量过程又不用特殊处理样品,对样品表面没有破坏。

我国科学技术的迅速发展,已要求精确地薄膜测量技术。我们认为,椭圆偏光法是一种值得推广使用和进一步研究提高的方法。



图 1 TP75 型椭圆偏光仪

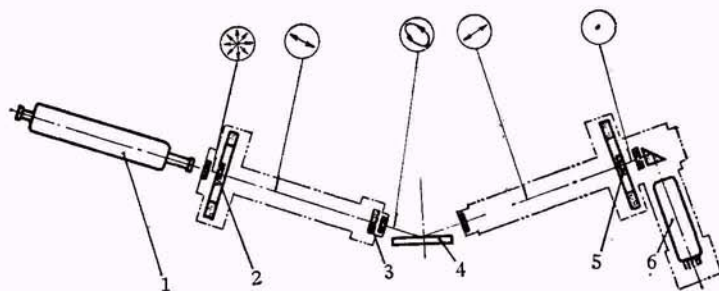


图 2 TP75 型椭圆偏光仪的主要光路图

1——激光管; 2——起偏器; 3——1/4 波长片; 4——样品;
5——检偏器; 6——光电倍增管。

2. 椭圆偏光仪原理

TP75 型椭圆偏光仪,是按照自力更生精神,根据我国情况自行设计的,是社会主义大协作的产物。图 1 是该仪器的外观。它包括激光光源、光学-机械系统、光电倍增管接收系统。该仪器,从读数显微镜通过光学度盘读偏振器的方位角,精度可达到 0.01° 。可测膜厚度薄至 10 埃。TP75 型椭圆偏光仪使用方便,读数较精确,适宜于器件工作中薄膜测量用。

椭圆偏光法是用偏振光束投影样品表面,观测反射光束偏振状态的改变,从而定出样品上膜层的厚度和折射率。

光是一种电磁波,有非偏振光(自然光)与偏振光之分。偏振光又分为线偏振光和椭圆偏振光。

椭圆偏光仪的主要光路图如图 2。内腔式氦氖激光管发出波长 6328 埃的激光束,这是非偏振光。光束经起偏器后变为线偏振光,线偏振光的偏振方向由起偏器的方位角决定,转动起偏器可改变光束的偏振方向。线偏振光经 1/4 波长片后,由于晶体双折射现象,

寻常光和非寻常光产生 90° 位相差,两者的偏振方向又互相垂直,所以一般变为椭圆偏振光。椭圆偏光的椭圆长短轴沿着 1/4 波长片的快慢轴,但椭圆形状(椭圆率)由射入 1/4 波长片的线偏振光的偏振方向决定。因此,转动起偏器,即改变椭圆偏光的椭圆形状。椭圆偏振光经过样品反射后,偏振状态发生改变,一般仍为椭圆偏振光,但椭圆的方位和形状已与入射光不同了。定量关系由费涅耳反射公式给出。电矢量在入射面上的光波叫 p 波,垂直入射面的叫 s 波。每一光束可分为 p 分量和 s 分量来进行分析。这时,带有膜层的样品的表面上的反射和折射情况,如图 3 所示。在第 1 界面(空气-膜)处,反射系数

$$r_{1p} = \frac{n_2 \cos \varphi_1 - n_1 \cos \varphi_2}{n_2 \cos \varphi_1 + n_1 \cos \varphi_2}, \quad (1)$$

$$r_{1s} = \frac{n_1 \cos \varphi_1 - n_2 \cos \varphi_2}{n_1 \cos \varphi_1 + n_2 \cos \varphi_2}. \quad (2)$$

在第 2 界面(膜-衬底)处,反射系数

$$r_{2p} = \frac{n_3 \cos \varphi_2 - n_2 \cos \varphi_3}{n_3 \cos \varphi_2 + n_2 \cos \varphi_3}, \quad (3)$$

$$r_{2s} = \frac{n_2 \cos \varphi_2 - n_3 \cos \varphi_3}{n_2 \cos \varphi_2 + n_3 \cos \varphi_3}. \quad (4)$$

其中 n_1 为空气折射率 ($n_1 = 1.000$), n_2 为膜折射率, n_3 为衬底复数折射率(由于衬底包括能吸收光的介质,如硅,所以采用包含有消光系数的复数折射率), φ_1 为入射角, φ_2 和 φ_3 与 φ_1 有如下关系:

$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2 = n_3 \sin \varphi_3. \quad (5)$$

从图 3 可以看出,总反射光是许多反射光干涉的结果.用多束光干涉公式,总反射系数

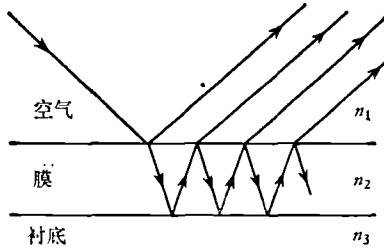


图 3 带膜样品上的反射

$$R_p = \frac{r_{1p} + r_{2p} e^{-2i\delta}}{1 + r_{1p} r_{2p} e^{-2i\delta}}, \quad (6)$$

$$R_s = \frac{r_{1s} + r_{2s} e^{-2i\delta}}{1 + r_{1s} r_{2s} e^{-2i\delta}}. \quad (7)$$

其中

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \cdot n_2 \cos \varphi_2. \quad (8)$$

这里, λ 是光在真空中的波长, d 为膜厚. 2δ 是相邻两束反射光的位相差,这是由于一束光比另一束光多往返膜一次而引起的.

描述光的偏振状态,不仅要考虑振幅,还要考虑位相.在椭圆偏光法中,采用 ψ 和 Δ 来描述反射时偏振状态的变化.定义如下:

$$\tan \psi e^{i\Delta} = \frac{R_p}{R_s}. \quad (9)$$

$\tan \psi$ 的意义是相对振幅衰减, Δ 则是位相移动之差.

由上所述,在波长、入射角、衬底等一定的条件下, ψ 和 Δ 是膜厚 d 和膜折射率 $n(=n_2)$ 的函数,即 $\psi = \psi(d, n)$, $\Delta = \Delta(d, n)$.

因此,反射后光的偏振状态与入射前的不同,一般为另一种椭圆偏光;但对一定膜厚的某膜,总有某起偏器方位角,使得反射光变为线偏振光(这时椭圆偏光退化成线偏振光).这线偏振光再经检偏器,转动检偏

器可得到消光状态.消光时,激光束在光路各处的偏振状态,示意地表示在图 2 之中.

消光时, Δ 和 ψ 分别由起偏器方位角 P 和检偏器方位角 A 决定,关系如下:

$$\psi = A, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Delta &= 270^\circ - 2P \quad (\text{当 } 0^\circ \leq P \leq 135^\circ), \\ &= 630^\circ - 2P \quad (\text{当 } P > 135^\circ). \end{aligned} \quad (11)$$

这里规定读数范围, $A: 0^\circ - 90^\circ$, $P: 0^\circ - 180^\circ$.

综上所述,消光时, d 和 n 是 P 和 A 的函数,即 $d = d(P, A)$, $n = n(P, A)$.由于不能解析地解出这两函数的具体形式,所以用电子计算机来处理,根据公式(1)-(11),算出 $(P, A) - (d, n)$ 关系表.于是,测出消光时 P 和 A 值,由 $(P, A) - (d, n)$ 表,便可定出膜厚 d 和折射率 n .

图 4 是根据电子计算机数据画出的、硅衬底, $n = 1.46$ (对应氧化硅膜)的 $(P, A) - d$ 关系图.从图可见, P 和 A 是 d 的周期函数,所以,当膜厚超过 1 周期时,需另外判断周期.

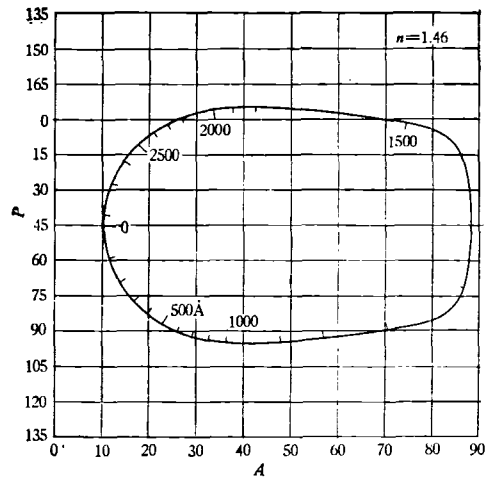


图 4 $(P, A) - d$ 关系图

一般需测出二个消光状态的 P 和 A 值,经换算后求平均.

三、椭圆偏光仪在薄膜测量中的应用

椭圆偏光仪用途是比较广的,可用来测量各种透明或半透明膜层的厚度及折射率(和吸收系数),检验膜层的均匀性,帮助鉴别膜层组分,测量物质的折射率和消光系数,研究各种表面层和表面过程,诸如氧化、腐蚀、吸附、润滑、催化等.因此,椭圆偏光仪在许多工业部门和基本研究中都可应用.

TP75 型椭圆偏光仪主要为半导体器件工作而设计的,也能供别的方面使用.在半导体器件工作中可以

测定各种不同工艺条件下生长的薄膜厚度图5是氧化硅膜与生长时间的关系的测量结果。可以在测量杂质扩散或离子注入后硅中的杂质分布中应用。

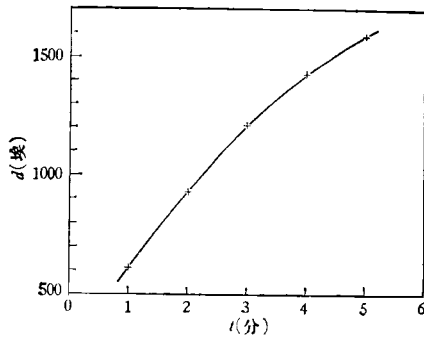


图5 氧化硅膜的生长实验曲线

测量氧化、溅射、蒸发和化学淀积的各种膜，既可测量膜厚，又可测定其折射率，因此可用来辨别组分，检验工艺条件是否合适。下面给出一些实验结果：

表1 不同工艺条件下的膜折射率

	热生长氧化硅	溅射氧化铝	化学淀积氮化硅
n(膜折射率)值	1.46	~1.6	~2.0

测量光刻掩膜板和光刻胶膜的膜厚和均匀性，有助于提高制板和光刻的工艺水平。

参 考 文 献

- [1] Archer, R. J., *J. Opt. Am.*, **52** (1962), 970.
- [2] McCrackin, F. L. et al., *J. Res. Natl. Bur. Std.*, **67A** (1963), 363.
- [3] Zaininger, K. H. et al., *RCA Rev.*, **25** (1964), 85.
- [4] Passaglia, E. et al., *Ellipsometry in the Measurement of Surfaces and Thin Films*, (1963).
- [5] 小宫祥男、坂本统德、垂井康夫, 《应用物理》, **14** (1972), 589.

椭偏光仪在半导体工艺中的应用

莫 党 卢 因 诚

椭偏光仪是一种根据物理光学原理测量薄膜厚度和折射率的仪器。它的特点是能测很薄的膜(可达10埃),测量精度高(误差小于±10埃),测量过程是非破坏性的,并能同时测定膜的厚度和折射率。据报导,椭偏光仪可广泛用于电子、光学、金属、化学等工业以及物理学、化学、生物学、医药学的研究。例如,物体光学常数的测定,各种薄膜的测定和控制,表面层和表面过程(氧化、腐蚀、吸附、润滑、催化)的研究等等。

1975年,由北京无线电器件厂、北京大学等有关单位协作,试制成功TP75型椭偏光仪。我们将该设备应用于硅集成电路的研制过程中,测量了氧化硅、氮化硅、氧化铝、光刻胶等多种薄膜的厚度和折射率,用它协助选择氮化硅淀积工艺条件,研究光刻胶的使用问题,测定离子注入的杂质分布等等,收到了良好的效果。

TP75型椭偏光仪的原理在本文发表的《椭偏光仪和薄膜测量》一文中已作介绍,本文重点叙述应用。

一、测量硅上各种薄膜的厚度和折射率

我们测量过裸硅上的氧化硅(SiO_2)、氧化铝

(Al_2O_3)、氮化硅(Si_3N_4)、光刻胶等各种薄膜。其中,氧化硅膜是用多种方法形成的,包括湿氧氧化生长、干氧氧化生长、阳极氧化生长、四乙氧基硅烷[$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$]热分解真空淀积生长、硅烷(SiH_4)和氧(O_2)化学气相淀积生长等。测过的膜厚从几十埃至几千埃,各种二氧化硅膜的折射率都接近1.46。

测量了硅烷和氨(NH_3)化学气相淀积生长的不同厚度的氮化硅膜,测得的折射率接近2.00。

测量了高频溅射和直流溅射的不同厚度的氧化铝膜,折射率接近1.60。

测量了聚乙烯醇肉桂酸酯型不同厚度的KPR光刻胶膜,折射率范围为1.60—1.70。

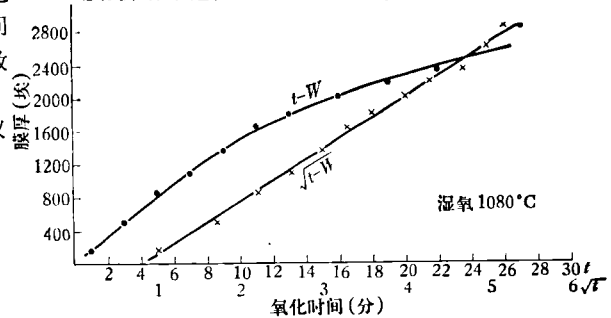


图1 氧化硅膜厚与氧化时间的关系