

硅的色散和椭圆偏振光谱

莫 党 陈树光 徐 耕

(物理学系)

椭圆偏振光法是通过分析光在样品上反射时偏振状态的变化而进行测量的,是研究薄膜和表面的一种有用工具^(1,2)。改变光的波长,测量椭圆偏振参数 Ψ 、 Δ ,便得到椭圆偏振光谱^(3,4,5)。

Theeten等⁽⁶⁾最近研究了GaAs上氧化层的椭圆偏振光谱,指出有膜层存在时,检测氧化层与衬底之间的过渡层的灵敏度反而会增加。我们进一步发展这个思想,具体分析了有膜与无膜两种情况下,硅折射率变化对椭圆偏振光谱的影响,并且提出了用有膜样品的椭圆偏振光谱来测定硅的色散关系的新方案。我们建立了实验装置,根据上述方案进行实验,测定出可见光范围内硅的色散关系。结果与Meyer等⁽⁷⁾、Philipp等⁽⁸⁾的测量进行了比较。

一、硅色散对椭圆偏振光谱的影响

椭圆偏振光谱的基本公式为^(1,2)

$$\tan\Psi e^{i\Delta} = \frac{R_p}{R_s} \quad (1)$$

这里, Ψ 、 Δ 是椭圆偏振参数, R_p 和 R_s 是P波和S波的总反射系数。有膜样品(如图1)情况下,

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

$$R_s = \frac{r_{1s} + r_{2s}e^{-2i\delta}}{1 + r_{1s}r_{2s}e^{-2i\delta}} \quad (3)$$

其中 2δ 为由于膜所产生的相邻反射光束的位相差, r_{1p} 、 r_{1s} 分别为第1界面的P波、S波反射系数, r_{2p} 、 r_{2s} 分别为第2界面的P波、S波反射系数。再者^(1,2),

$$r_{1p} = \frac{n_2 \cos\varphi_1 - n_1 \cos\varphi_2}{n_2 \cos\varphi_1 + n_1 \cos\varphi_2}, \quad (4)$$

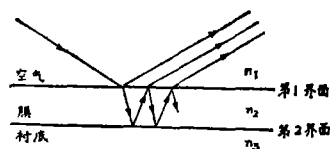


图1 有膜样品上的反射

● 本文曾在第二届全国半导体物理学术会议上(1979, 11)上报告。

$$r_{1s} = \frac{n_1 \cos \varphi_1 - n_2 \cos \varphi_2}{n_1 \cos \varphi_1 + n_2 \cos \varphi_2}, \quad (5)$$

$$r_{2p} = \frac{n_3 \cos \varphi_2 - n_2 \cos \varphi_3}{n_3 \cos \varphi_2 + n_2 \cos \varphi_3}, \quad (6)$$

$$r_{2s} = \frac{n_2 \cos \varphi_2 - n_3 \cos \varphi_3}{n_2 \cos \varphi_2 + n_3 \cos \varphi_3}. \quad (7)$$

下面分别讨论两种特殊条件的样品情况:

(甲)无膜样品。这时令 $\delta = 0$, 由(2)、(3)式, 得

$$R_p = \frac{r_{1p} + r_{2p}}{1 + r_{1p} r_{2p}}, \quad (8)$$

$$R_s = \frac{r_{1s} + r_{2s}}{1 + r_{1s} r_{2s}}. \quad (9)$$

在(6)、(7)式中, 衬底硅的 n_3 是复数折射率, 即有 $n_3 = n_s - ik_s$ 。这里 n_s 是硅折射率, k_s 是硅消光系数。严格讲, k_s 不等于零, 但由于 k_s 值相对 n_s 来说很小, 更主要的是对 Ψ 的影响更小。所以, 在计算中略去 k_s , 只看 n_s 对 Ψ 的影响。根据(1)、(4)–(7)、(8)和(9)式, 可算出无膜样品的 $\Psi_0 - n_s$ 关系。这里 Ψ_0 是 $\delta = 0$ 时的 Ψ 值。

(乙)共振膜样品。这时令 $\delta = \pi/2$, 由(2)、(3)式得,

$$R_p = \frac{r_{1p} - r_{2p}}{1 - r_{1p} r_{2p}}, \quad (10)$$

$$R_s = \frac{r_{1s} - r_{2s}}{1 - r_{1s} r_{2s}}. \quad (11)$$

根据(1)、(4)–(7)、(10)和(11)式, 可算出共振膜样品的 $\Psi_{\pi/2} - n_s$ 关系。这里 $\Psi_{\pi/2}$ 为 $\delta = \pi/2$ 时的 Ψ 值。

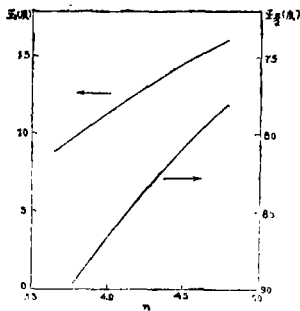


图2 $\Psi_0 - n_s$ 和 $\Psi_{\pi/2} - n_s$ 关系

图2表示所算出的 $\Psi_0 - n_s$ 、 $\Psi_{\pi/2} - n_s$ 曲线。计算中, 膜层折射率 $n_2 = 1.46$ (氧化硅值), 入射角 φ_1 取 70° , φ_2 、 φ_3 与 φ_1 的关系由折射定律决定。

由图2可见, 在可见光所对应的 n_s 范围内, 对于同样的硅的色散值, 共振膜样品的椭圆偏振参数 $\Psi_{\pi/2}$ 的变化, 比无膜样品的 Ψ_0 的变化约大一倍。因此, 采用共振膜样品, 对衬底硅的 n 值的测定灵敏度可提高约一倍。这种样品适宜于用来测定硅衬底的折射率及色散关系。

为了测定共振膜样品, 即是说要寻找 $\delta = \pi/2$ 状态。必须采用可连续改变波长的椭圆偏振光谱。

二、测定硅色散关系的实验

本实验装置,采用分光计获得连续可变波长的可见光,起偏器方位角固定在 45° ,改变检偏器方位角与光波波长进行测量。采用光电倍增管接收通过检偏器的光束,用锁相放大器放大光电流。

对每个具有一定膜厚的样品,光电流是检偏器方位角的正弦函数^[6],改变检偏器方位角,可找出光电流极小值。这光电流极小值随波长改变而变化。改变波长,可找出最小的光电流极小值。读出这时的波长及检偏器方位角,由此得到 $\psi_{\pi/2}$ 值^[6]。本法中,要得到不同波长下的 $\psi_{\pi/2}$ 值,需采用一系列具有不同膜厚的样品。

从 $\psi_{\pi/2}$ 的测定值计算 n_s ,先作一级近似,设氧化硅膜折射率与波长无关,利用图2,求出该波长下 n_s 的一级近似值。然后,根据氧化硅膜的色散关系^[6],加以修正,得到 n_s 值。对不同波长(相应于不同样品)的测量结果进行计算,便得到硅的色散关系。

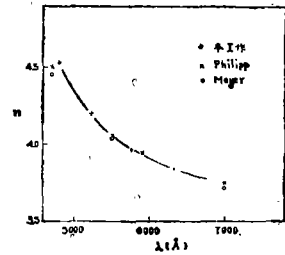


图3 硅的色散关系

实验结果见图3。图中也标出了Meyer等^[7]、Philipp等^[6]用别法测得的数据。

三、讨论

较早期,Philipp等^[6]通过测量光反射率得到色散曲线,这法的精度是不如椭圆偏振法的。由于样品的实际表面总会有一很薄的膜层,这膜层的影响不能从实验结果中消去,故Philipp等采用多次腐蚀法,每次腐蚀样品后进行测量。虽然他们每次测的结果是一致的,但仍不能说明膜层的影响不大。

近年来,Meyer等^[7]用间断的椭圆偏振光谱法,采用具有清洁表面的样品,在高真空状态下测量。我们在本工作中,采用连续的椭圆偏振光谱法,对共振膜样品进行测量。两者均属椭圆偏振法这一大类,但各有特点。其一,正如Meyer等指出,由于表面处原子排列的中断,清洁的理想表面将对体效应有附加的影响。这一点会影响到所测的 n_s 值。实际上,半导体器件常用的是Si-SiO₂系统,对这种情况,把清洁表面的折射率值当作衬底的折射率值,是有一定误差的。而用共振膜样品来进行测量,从物理概念看,更为合理。其二,前面的分析已经指出,共振膜样品的测量灵敏度比清洁表面(即无膜)样品要高。其三,共振膜样品测量比无膜样品测量,多了膜层这个因素,计算中要用到膜折射率值。这就要求该值对工艺是稳定的并已精确测定。对于氧化硅膜,基本上是满足此要求的。对某些膜,这要求若不能满足的话,共振膜样品测量将会遇到困难,甚至失效。

从图3看出,在4800—7000 Å的波长范围内,我们和Meyer等、Philipp等的结果相差不大。这表明在此波长范围内及实验精度条件下,还不足以显示出三种方法测定的

量在物理上的差别。这差别在更广阔的波长范围中,有可能较易显现出来。

本方法(共振膜测量)的应用范围可推广,不仅测定色散关系,还可进一步用于测定和研究硅表面层(包括损伤层、离子注入层等)。

参 考 文 献

- [1] 莫党、朱雅新, 物理, 6(1977), 140.
- [2] 莫党, 电子科学技术, 1979, 2, 33.
- [3] D. E. Aspnes, A. A. Studna, *Appl. Opt.*, 14(1975), 220.
- [4] F. Meyer, *Phys. Rev.*, 89 (1974), 3622.
- [5] 莫党、陈树光、余玉贞、黄炳忠, 物理学报, 29 (1980), 673.
- [6] J. B. Theeten, D. E. Aspnes, R. P. H. Chang, *J. Appl. Phys.*, 49 (1978), 6097.
- [7] F. Meyer, E. E. De Kluizenaar, G. A. Boostma, *Surface Sci.*, 27(1971), 88.
- [8] H. R. Philipp, E. A. Taft, *Phys. Rev.*, 120 (1960), 37.
- [9] A. J. Warnecke, P. J. Lopresti, *IBM J. Res. Develop.*, 17(1973), 256.

Dispersion and Ellipsometric Spectrum of Silicon

Mo Dang Chen Shuguang Xu Geng

Abstract

In this paper, the influence of silicon dispersion (the relation between the refractive index and the wavelength of light) on the ellipsometric spectrum has been investigated. By measuring the ellipsometric spectra of several samples, each of which is covered with an oxide film, the dispersion curve is determined. The result has been compared with the data which were obtained with other methods by Meyer et al. and by Philipp et al.