

# 介质薄膜折射率和厚度的同时测定

俞 祖 和

(中国科学院物理研究所)

椭圆仪在测量介质薄膜和研究表面方面得到了广泛的应用。其主要优点是精度较高，而且是一种非破坏性测量。目前使用椭圆仪时，一般都是给定介质薄膜的折射率，再由椭圆仪的测量值来计算出膜的厚度。但在实际情况中，介质薄膜的折射率往往也是一个待测的参数。所以，如何用椭圆仪来同时测定介质薄膜的折射率和厚度，是一个很有实际意义的问题。

## 一、原 理

椭圆仪的工作原理和在已知薄膜折射率的情况下如何测定薄膜的厚度，在一些文章中已有介绍，本文着重讨论如何同时测定薄膜的折射率和厚度(见图1)。

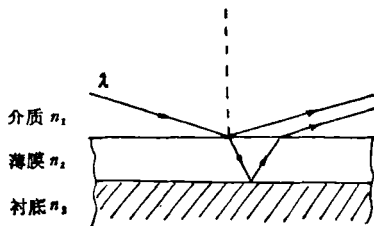


图 1

用椭圆仪来测定薄膜的厚度时，如果已知薄膜的折射率，那么就可以根据椭圆仪消光时起偏器的方位角  $P$  和检偏器的方位角  $A$  来计算出薄膜的厚度  $d$ 。计算的结果是一个复数。薄膜的厚度应该是一个实数，虚数部分只是反映了测量过程中误差的大小及给各参量赋值时与真实数值的偏差。

为简单起见，假定薄膜的折射率是实数。首先根据介质薄膜的性质，估计一个折射率的下限值  $n_2'$  和上限值  $n_2''$ ，然后计算出其相应的厚度

$d_2'$  和  $d_2''$ 。如果薄膜的真正折射率为  $n_2$ ，那么由  $n_2$  计算出来的厚度  $d_2$  应该是实数，即其虚数部分为零。所以，如果  $n_2'$  和  $n_2''$  取得合适，使  $n_2' < n_2 < n_2''$ ，那么  $d_2'$  和  $d_2''$  的虚数部分应该不同号。反之，如果  $d_2'$  和  $d_2''$  的虚数部分同号，这说明在区间  $[n_2', n_2'']$  内没有解存在。

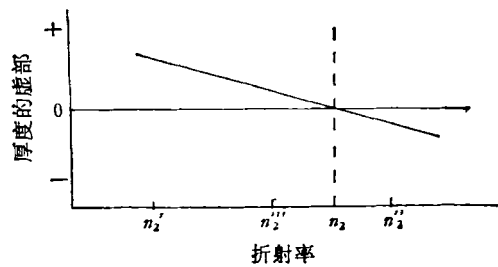


图 2

我们先看  $d_2'$  和  $d_2''$  的虚部不同号的情形(见图2)。真正的解  $n_2$  处于  $n_2'$  和  $n_2''$  之间。这时，我们将区间  $[n_2', n_2'']$  分割成两个小区间  $[n_2', n_2'']$  和  $[n_2'', n_2'']$ 。取  $n_2'' = \frac{1}{2}(n_2' + n_2'')$  并计算与  $n_2''$  相应的厚度  $d_2''$ 。如图2所示， $d_2'$ 、 $d_2''$  和  $d_2'$  的虚部的符号分别为 +, +, -，因而可以认为  $n_2$  处于区间  $[n_2'', n_2'']$  之间。为了判断一下  $n_2''$  的数值是否足够精确，先算出与  $n_2''$  相应的厚度  $d_2''$  的数值，再计算  $\Delta$  和  $\psi$  [ $\rho$  是椭圆偏振光入射到介质膜上的反射系数， $\rho = \tan \psi \cdot \exp(i\Delta)$ ]。如果用  $d_2''$  的复数值来计算，那么所得的  $\Delta$  和  $\psi$  就应该是椭圆仪的实际测量值；但如果用  $d_2''$  的实部来计算  $\Delta$  和  $\psi$ ，那么它们就会与椭圆仪的实际测量值有所偏离。我们就用这偏离来作为  $n_2''$  的数值是否足够精确的标准。这最大允许的偏离值可以在程序运算前按需要来给定。如果  $n_2''$  的数值已足够精确，那

么  $d_2''$  及  $n_2''$  就是我们所要求的介质薄膜的厚度和折射率。如果  $n_2''$  的数值还不够精确, 则可将区间  $[n_2'', n_2']$  进一步分成两个小区间并重复上述过程, 直至符合事先给定的精度要求。

如果  $n_2'$  和  $n_2''$  的数值给得不合适, 与  $n_2'$  和  $n_2''$  相应的厚度的虚部就可能有同号。这时, 计算机就认为没有解存在。而实际情况可能是解  $n_2$  存在于区间  $[n_2', n_2'']$  之外, 也就是说, 只要将该区间取得大一些, 就可以找到解  $n_2$ 。

## 二、计算框图和结果

我们在 IBM-370 计算机上编排了一个 FORTRAN 程序。按照上面所讨论的方法, 用这个程序可同时计算出介质薄膜的折射率及厚度。光源的波长、入射角、衬底的折射率、所需的精度等参数可以根据情况加以改变。计算框图如图 3 所示。在给定介质薄膜折射率的下限  $n_2'$  和上限  $n_2''$  后, 我们取步长为  $\Delta n_2$ , 即先计算小区间  $[n_2', n_2' + \Delta n_2]$ , 然后计算小区间  $[n_2' + \Delta n_2, n_2' + 2\Delta n_2]$ , 一直计算到区间  $[n_2'' - \Delta n_2, n_2'']$ 。将计算结果与标准数值进行比较, 其符合的程度是令人满意的。

在前面的讨论中, 我们曾假定薄膜的折射率是实数。如果折射率是复数, 但其虚部(吸收)的大小已知, 那么前述所有的讨论仍都适用。但如果除了测定薄膜的折射率和厚度外, 还需要同时测定其吸收的大小(即复折射率的虚部), 显然, 从一组  $P$  和  $A$  的数值是无法同时定出三个参量的大小的。这时, 还需要有另一组  $P$  和  $A$  的数值。改变入射角或改变介质  $n_1$  就可以做到这一点。这方面的工作正在进行中。

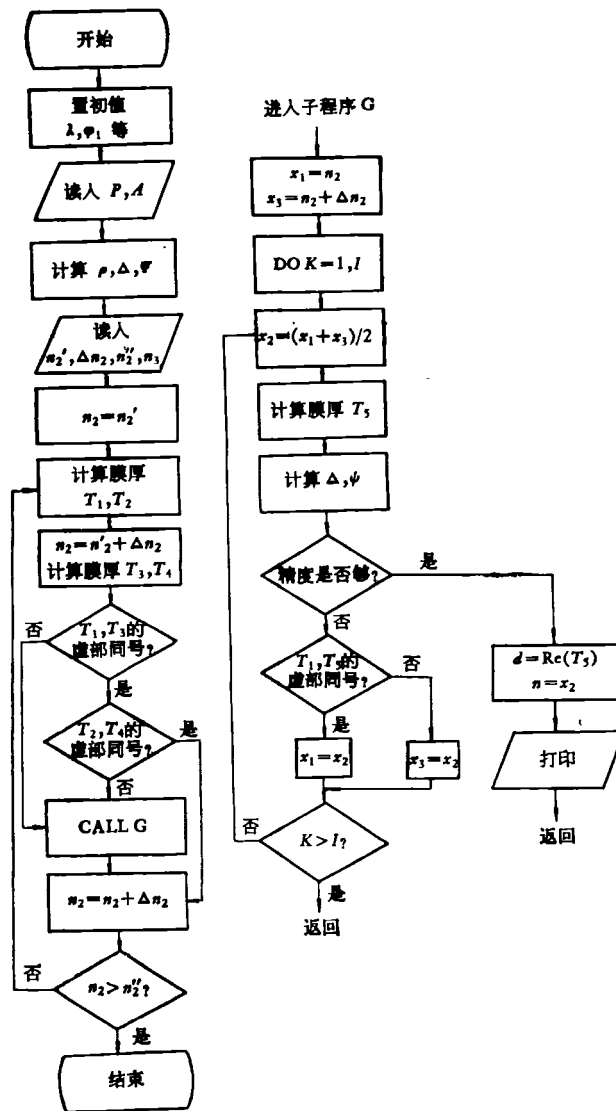


图 3

## 参 考 文 献

- [1] D. A. Holmes and D. L. Feucht, *J. Opt. Soc. Am.*, 57(1967), 466.
- [2] M. Malin and K. Vedam, *Surface Science*, 56(1976), 49.
- [3] 莫党等, *物理*, 6(1977), 104.