

薄膜材料的椭圆偏振数据分析方法

李威^① 金承钰

(上海交通大学分析测试中心 上海闵行区东川路 800 号 200240)

摘 要 椭圆偏振的数据处理一直存在很多困难, 本文是作者从事椭圆偏振数据分析工作的经验总结。介绍了椭圆偏振分析中光谱选择范围的依据, 提出了初步判别材料性质的方法, 研究了一些常用模型及其应用范围, 阐述了针对不同类型样品的数据分析方法, 并分析了初始参数对分析结果的影响, 为椭圆偏振的数据分析提供了快速易行的方法。

关键词 椭圆偏振; 椭圆偏振仪; 模型; 薄膜; 光学常数

中图分类号: O657.39

文献标识码: A

文章编号: 1004-8138(2010)-0066-0011

1 引言

椭圆偏振法测量的原理很早就已提出, 相应的测试设备也不断地被改进和创新。椭圆偏振仪已成为测量薄膜厚度、折射率和消光系数最有力的手段之一, 被广泛地应用在光学、材料、生物等多个领域。尽管椭圆偏振仪已十分成熟, 但膜厚和光学常数并不能由椭圆偏振仪直接给出, 后期需要经过一系列的拟合计算, 因此在椭圆偏振分析中数据的处理非常重要。目前, 对于许多材料, 由于其特性并不符合理想模型, 所以对其数据处理存在很多困难。本文以美国 J. A. Woollam 公司的 WVA SE32 型椭圆偏振仪为例, 介绍一些不同材料的椭圆偏振分析方法和不同模型的应用, 为各类材料的椭圆偏振分析提供了参考。

2 椭圆偏振仪的基本原理

根据椭圆偏振光谱反射光度法理论^[1], 入射光由环境媒质入射到薄膜上, 并在环境媒质-薄膜-衬底的两个界面上发生多次的折射和反射, 得到的椭圆偏振数据 Ψ 和 Δ 如下式描述^[2]:

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

其中: $R_p = [r_p + r_p \exp(-2i\beta)] / [1 + r_p r_p \exp(-2i\beta)]$;

$$R_s = [r_s + r_s \exp(-2i\beta)] / [1 + r_s r_s \exp(-2i\beta)]; \beta = 2\pi \left(\frac{d}{\lambda} \right) n_1 \cos\theta; d \text{ —— 膜厚。}$$

一般可在多个入射角下用多组波长进行测试, 从而得到薄膜材料的光学常数。但在实际运用中, 由于椭圆偏振从原理上是一种间接测量法, 无法由(1)式通过椭圆偏振数据直接解出光学常数, 只能通过数据拟合/回归分析得出光学常数。经过几十年的努力, 不论是模型的有效性还是算法的复杂性, 现有的各种参数模型已经能较好的解决了椭圆偏振数据处理问题, 但是由于椭圆偏振数据处理没有形成标准通用的规则, 模型、参数的任意性以及变量的相关性, 使得数据分析过程很复杂, 并取决于人的判

① 联系人, 电话: (021) 34206173; 手机: (0) 13817794378; E-mail: singlee@sjtu.edu.cn

作者简介: 李威(1981—), 男(回族), 江苏省镇江市人, 研究实习员, 主要从事椭圆偏振的测试和研究工作。

收稿日期: 2009-06-01; 接受日期: 2009-06-09

断, 因此椭偏的数据处理依然是一个难题。

3 椭偏数据分析方法

研究了椭偏分析中光谱范围的选择, 以及如何根据椭偏数据初步判别样品的特性, 详细介绍了各类样品的数据分析方法, 多种模型的适用范围, 和一些拟合参数的设置技巧。

3.1 椭偏分析数据范围的选择

经研究发现, 根据样品及研究内容的不同, 可以选择不同波长范围的数据进行分析, 从而简化分析过程, 提高准确性。为得到膜厚数据, 适合选择薄膜的透明区域; 研究薄膜的组成比、结晶度和导电性之类的性质, 适合选择包含吸收的区域。

3.2 通过椭偏数据 Ψ 和 Δ 判别材料的特性

材料多种多样, 且性能各异, 不同类型的材料有相应的分析方法。首先要对椭圆偏振仪直接得到的 Ψ 和 Δ 进行分析, 根据 Ψ 和 Δ 来判别材料属于何种类型, 然后选择合适的分析方法和模型。

3.2.1 电介质材料

研究发现, 椭偏测到的电介质材料的 Ψ 和 Δ 有如下特性(图 1):

- (1) Ψ 随波长的变化的曲线和折射率随波长的变化曲线都很平滑;
- (2) Δ 接近 0° 或 180° 。

3.2.2 半导体材料

研究发现, 半导体材料的 Ψ 和 Δ 有如下特性(图 2):

- (1) Ψ 随波长变化的曲线和吸收曲线的形状相似;
- (2) Δ 在吸收区域远离 0° 或 180° 。

3.2.3 金属材料

研究发现, 金属材料的 Ψ 和 Δ 有如下特性(图 3):

- (1) Ψ 始终接近于 45° ;
- (2) Δ 远离 0° 或 180° 。

3.3 不同材料的分析方法和常用模型

椭偏数据分析中经常遇到的样品类型有基底材料、透明薄膜、吸收薄膜、混合材料薄膜、梯度变化薄膜、各向异性薄膜几种, 下文分别对这几种类型的材料的椭偏分析方法做出了研究。

3.3.1 基底材料

对于没有表面覆盖层的整块基底材料, 其光学

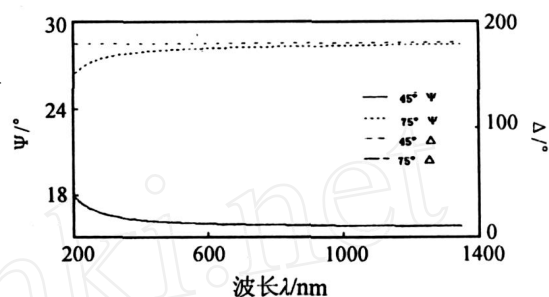


图 1 SiO_2 基底的 Ψ 和 Δ

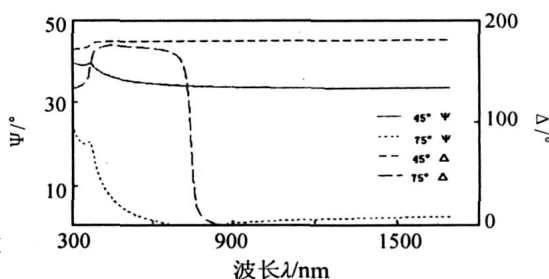


图 2 Si 基底的 Ψ 和 Δ

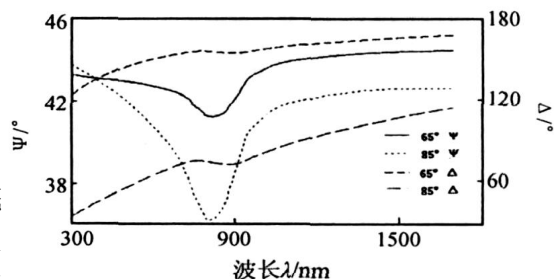


图 3 金属铝的 Ψ 和 Δ

常数 n 和 k 可以从椭偏数据中利用公式 (2) 直接计算出来^[3]。

$$\epsilon = (n + ik)^2 = \sin^2(\Theta) \cdot [1 + \tan^2(\Theta) \cdot (\frac{1-\rho}{1+\rho})^2] \quad (2)$$

不过直接计算得到的结果会把椭偏数据中的噪声也体现出来, 这样的结果不能很好地应用。而选用合适的模型进行拟合计算, 能得到较好的结果。

例: 对某种玻璃基底材料, 用直接计算的方法进行分析, 虽然得到的理论拟合曲线和实验曲线很吻合, 但是得到的光学常数有很大的噪声, 如图 4。而采用建立模型拟合的方法之后, 得到的结果则要平滑很多, 如图 5 所示。

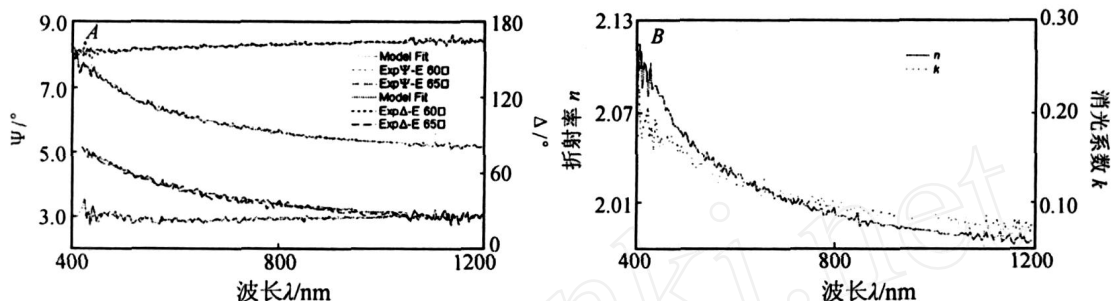


图 4 直接计算得到的结果

A —— 实验曲线和拟合曲线 B —— 光学常数。

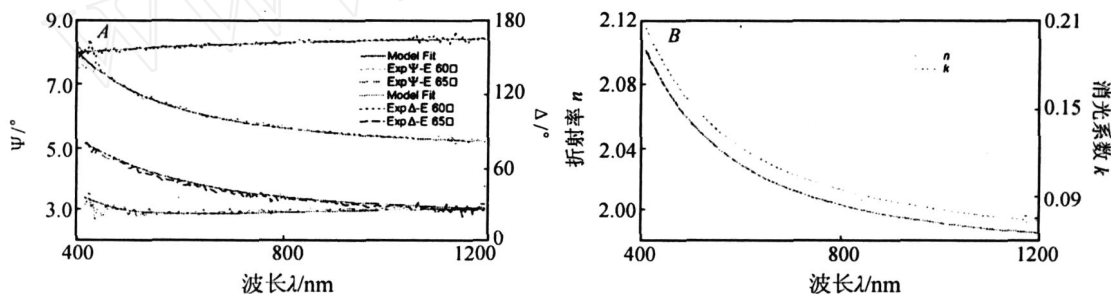


图 5 采用模型拟合得到的结果

A —— 实验曲线和拟合曲线 B —— 光学常数。

3.3.2 均质薄膜材料

对于薄膜材料不存在直接的转换方程, 需要用回归分析。目前已经有很多种理论模型, 这是椭偏分析的有力工具。这些模型通常建立在材料的本质特性上, 有的是经验性的色散公式, 有的则是各类吸收振子。应用物理模型的目的是为了更全面和准确地反映薄膜材料的特性, 同时也帮助和简化了椭偏的数据分析。常见的模型有 Cauchy、Sellmeier、Lorentz、Tauc-Lorentz 等, 每种模型都有相应的适用范围^[4], 而对有些材料, 又可以使用不同模型进行拟合。

3.3.2.1 透明薄膜(低吸收膜)

已经有实验表明^[5]: 凡在可见光范围内无色透明的物质, 它们的色散曲线相似, 并且有许多共性, 如 n 随 λ 的增加而单调下降, 并且下降率在短波一端更大, 这种色散也被称为正常色散。正常色散有经验公式, 即 Cauchy 公式

$$n = A + B/\lambda^2 + C/\lambda^4 \quad (3)$$

式中: A, B, C —— 与物质有关的常数。Cauchy 色散关系主要用于研究介电材料的折射率与波长的

关系。

虽然各种物质的色散曲线各不相同,但是考察它们在广阔范围内的色散曲线,发现在相邻两个吸收带之间 n 单调下降,每次经过一个吸收带 n 急剧加大,总的趋势是曲线随 λ 的增加而抬高。

对于透明薄膜或者低吸收膜,可采用 Cauchy 公式来表达 n 。但是一般的材料都不可能完全没有吸收,可用 U rbach 吸收公式来表达消光系数 k :

$$k(\lambda) = A_k \exp \{ B_k [1.24(1/\lambda - 1/C_k)] \} \quad (4)$$

但是 Cauchy 色散+ U rbach 吸收模型有一定的适用范围,它只能适用于吸收较低,或者吸收刚刚开始,折射率还没有出现“翻转”的情况,即图 6 中 B 区域。

对于低吸收的薄膜,一般得到的椭偏数据一般是关于 λ 的干涉振荡,如图 7 中 B 区域。但是如果薄膜出现吸收的话,椭偏数据则会呈现出类似基底的性质,如图 7 中 A 区域,此时可以根据 3.2 所述判别薄膜呈现何种类型材料的性质。通过这个特性大致判断出薄膜材料的吸收区域和透明区域,从而选择合适的波段进行数据分析。

在使用 Cauchy 模型的时候,初始参数的设置有一定的规律可循。研究发现透明膜的椭偏数据存在厚度效应和折射率效应。

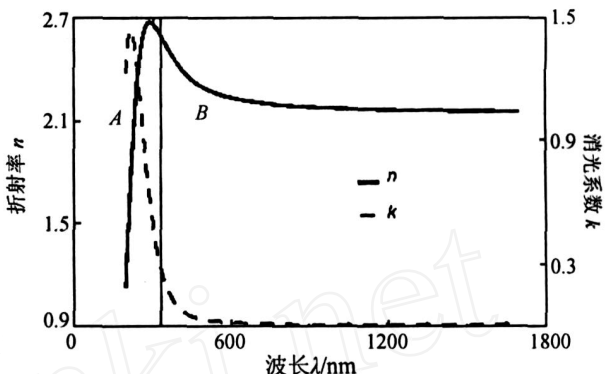


图 6 Cauchy+ U rbach 模型的适用范围

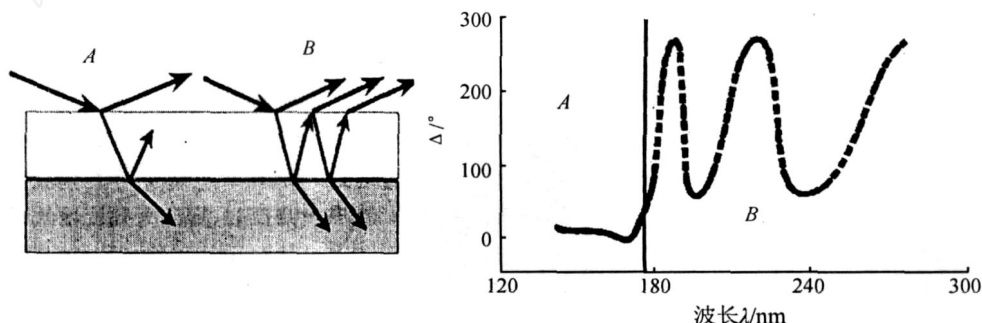


图 7 吸收区域和透明区域的椭偏数据的差异以及光路示意图

厚度效应: 膜越厚, 椭偏数据的干涉振荡越强, 并且随着膜厚的增加, 干涉峰向红外方向偏移, 而且出现更多的干涉峰, 如图 8 所示。

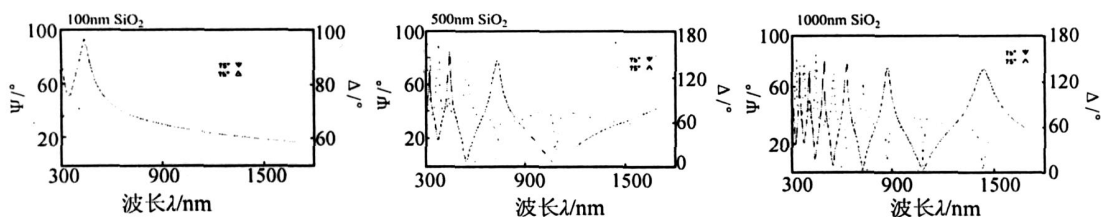


图 8 厚度效应

折射率效应: 振荡的强度取决于薄膜和基底折射率的差异。

根据厚度效应和折射率效应可以初步调整初始参数, 这样拟合的结果更可靠。

例: 用 Cauchy 模型来拟合 SD_2 薄膜, 理论拟合曲线和实验曲线非常吻合, 得到 Cauchy 色散中的各个参数和薄膜的光学常数, 如图 9。

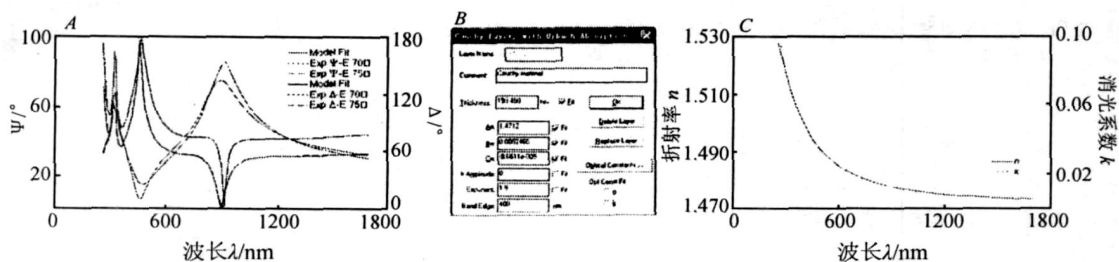


图 9 Cauchy 模型拟合 SD_2 薄膜

A —— 拟合曲线和实验曲线; B —— 拟合参数; C —— 光学常数。

3.3.2.2 吸收膜

吸收膜的数据分析比较复杂, 有几个不同的处理方法。

3.3.2.2.1 逐点拟合 (Point by Point)

先找出一段透明区域, 用 3.3.2.1 中的方法拟合出膜厚 d , 和透明区域的 n_0, k_0 , 然后用透明区域中最邻近吸收区域的 n_0, k_0, d 计算出吸收区域中最邻近波长的 n_1 和 k_1 , 再用 n_1 和 k_1 再次计算出邻近的 n_2 和 k_2 , 从而逐点拟合整个吸收区域的光学常数。逐点拟合快速而简单, 不会遗漏任何小的特征峰, 但是也有缺点。它要求正确的光学模型, 并且不遵循 $K-K$ 守恒关系, 所以拟合出来的结果可能不合理, 而且椭圆数据中的噪声也会在拟合结果中体现出来。

例: 先在透明区域用 Cauchy 模型拟合 Si_3N_4 薄膜的厚度和光学常数, 再用逐点拟合出吸收区域的光学常数, 不过显然原始数据的噪声在光学常数上也体现了出来, 如图 10。

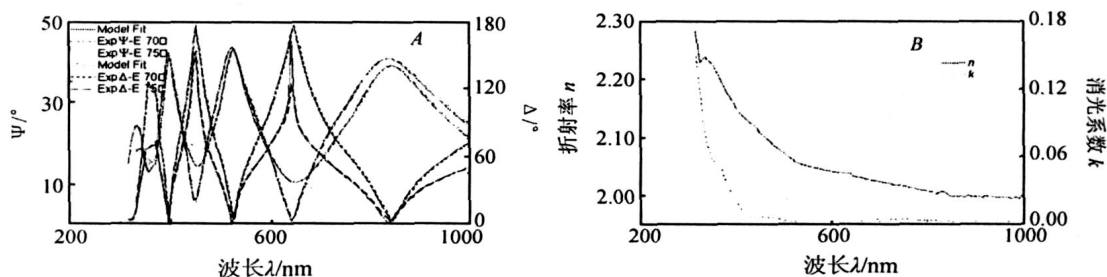


图 10 逐点拟合 Si_3N_4 薄膜的吸收区域

A —— 椭圆数据; B —— 光学常数。

3.3.2.2.2 振荡子模型

薄膜的吸收有自由载子吸收、晶格或分子振动、电子能级跃迁等多种类型, 对于不同的吸收, 可用相应的振荡子模型来描述。振荡子模型的优点在于更准确地反映了材料的特性, 减少了参数的数目, 保持 $K-K$ 关系, 而且不需要透明区域。

(1) Lorentz 振荡子模型^[4, 6, 7]:

Lorentz 振荡子模型是在 Drude 经典金属自由电子模型^[3]的基础上, 更具普遍性的自由分子模型。绝缘薄膜的 ϵ 可用一定数量的 Lorentz 振子的和近似表示为:

$$\epsilon(E) = 1 + \sum_{j=1}^m A_j \left(\frac{1}{E + E_j + i\Gamma_j} - \frac{1}{E - E_j + i\Gamma_j} \right) \quad (5)$$

式中: A_j —— 第 j 个振子的振幅; E_j —— 相应振子的特征能量 ($E_j = h\nu_j$); Γ_j —— 由弛豫引起的相应振子的线宽参数。

振子的概念是较普遍的, 它可以是电子, 也可以是原子、原子团等。Lorentz 振子是经典的谐振子, 它的吸收末梢长, 如图 11, 不但适用于晶体非导体等材料, 同样适用于金属。对于未知薄膜材料的特征时, 也可使用 Lorentz 模型。

例: 用 Lorentz 振子模型拟合 SnO_2 透明导电薄膜, 实验曲线和理论拟合曲线非常吻合, 得到比较理想的拟合结果, 光学常数也能满足 $K-K$ 关系, 如图 12。

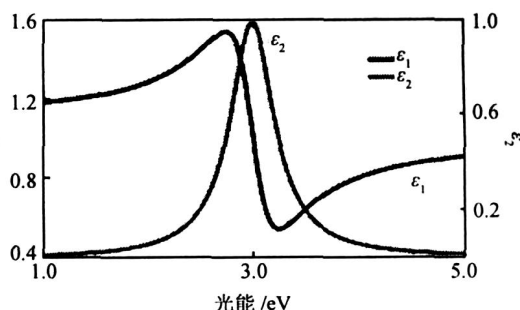
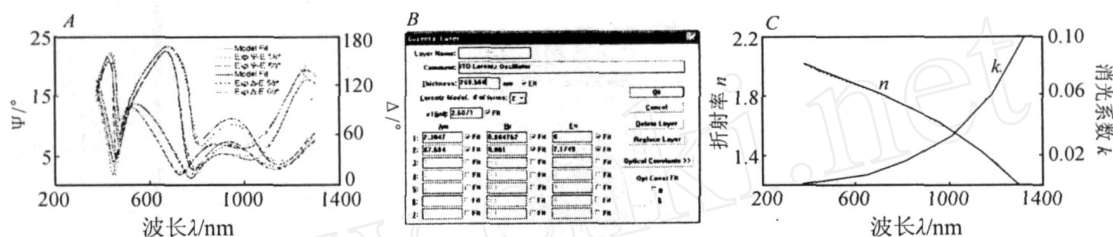


图 11 Lorentz 振子

图 12 Lorentz 振子模型拟合 SnO_2 膜

A —— 实验曲线和拟合曲线; B —— 拟合参数; C —— 光学常数。

(2) Tauc-Lorentz 振子模型^[7-10]:

Tauc-Lorentz 振子包含带隙能量 (E_g)。光波能量在带隙能以下时没有任何吸收, 如图 13。它的具体表达式如下:

$$\begin{aligned}\epsilon_1(\omega) &= \epsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + \gamma^2} \\ \epsilon_2(\omega) &= \frac{\gamma}{\omega} \cdot \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + \gamma^2}\end{aligned}\quad (6)$$

其中: ϵ_∞ —— 高频介电常量; ω_p —— 等离子体振动频率; γ —— 弛豫频率; ω —— 光子频率。

Tauc-Lorentz 模型特别适用于无定形半导体材

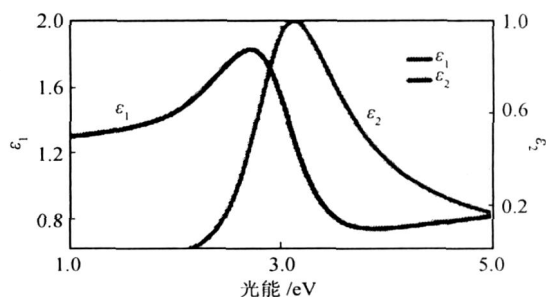


图 13 Tauc-Lorentz 振子

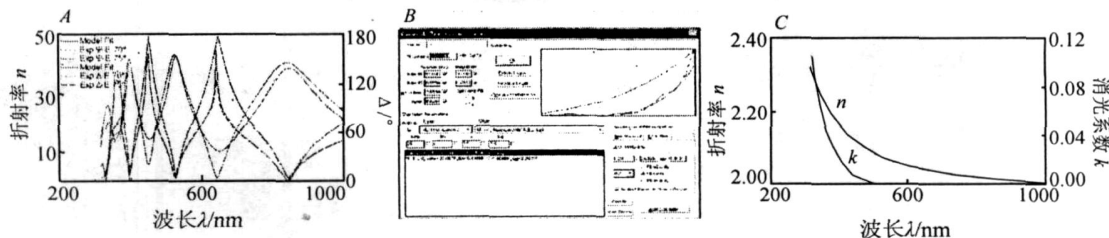


图 14 Tauc-Lorentz 振子模型拟合 Si_3N_4 膜 (A 为实验曲线和拟合曲线, B 为拟合参数, C 为光学常数)

料以及其它在 UV 区有吸收的材料。

例如, 用 Tauc-Lorentz 模型逐点拟合中举例的 Si_3N_4 薄膜, 实验曲线和拟合非常吻合, 得到了

理想的拟合结果, 避免了数据噪声的影响, 还能直观地看出材料的能带隙, 如图 14。

(3) Sellmeier 振子模型^[4, 6, 7]:

Sellmeier 方程是描述媒质色散的重要公式之一。Cauchy 色散公式只能描述介质的正常色散规律, 而 Sellmeier 色散公式还能描述介质在吸收区域内的反常色散情况。也可用 Sellmeier 模型代替 Cauchy 模型, Sellmeier 公式如下:

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_{j=1}^m \frac{S_j^2}{E_j^2 - E^2} \quad (7)$$

式中: S_j —— 与吸收能带有关的常数; E_j —— 响应振子的特征能量。

例如, 用 Sellmeier 模型拟合 TD_2 薄膜, 实验曲线和理论拟合曲线非常吻合, 得到了理想的拟合结果, 见图 15。

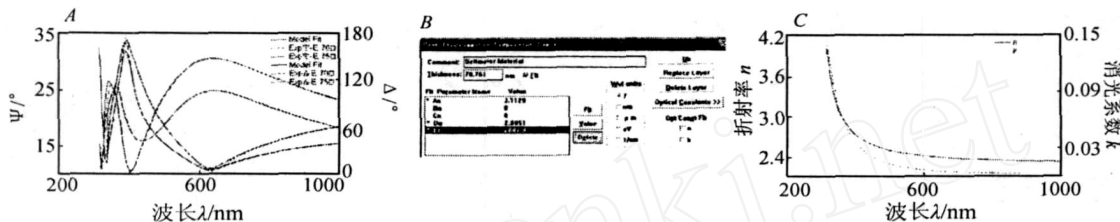


图 15 Sellmeier 振子模型拟合 TD_2 薄膜

A —— 实验曲线和拟合曲线; B —— 拟合参数; C —— 光学常数。

除此之外, 还有 Forouhi-Bloomer、Gaussian、Hamonic、Pole、Egap TaudLorentz、Cody-Lorentz、Gauss-Lorentz、Tanguy、Egap Tanguy 等多种振子模型^[11]。每种振子模型都有各自的物理特性、吸收形状以及适用范围, 合理利用这些振子模型可以解决各类复杂的吸收情况。

3.3.3 混合薄膜材料

椭偏仪不仅能分析成分单一的薄膜材料, 对混合材料也适用。有效介质近似理论(EMA)是一种简单直观的介电函数模型。该模型将复杂结构的薄膜材料视为多种组分的混合物, 组分介质的介电函数可通过光学常数手册或者是振荡子模型得到, 混合结构薄膜的介电常数可以通过组分介质的介电常数等效的计算。有效介质模型有三种不同的类型。

(1) Lorentz-Lorenz 有效介质模型(LL)

该有效介质模型是针对不同成分的异构介质, n 种介质随机混合在一起, 其有效介电常数 ϵ_L 可由下式计算:

$$\frac{\epsilon_L - 1}{\epsilon_L + 2} = \sum_{j=1}^n f_j \frac{\epsilon_j - 1}{\epsilon_j + 2} \quad (8)$$

其中: ϵ_j —— 第 j 种介质的介电常数; f_j —— 第 j 种介质的体积分数, 且满足 $\sum_{j=1}^n f_j = 1$ 。

(2) Maxwell-Garnett 有效近似模型(MG)^[4]

该模型假定薄膜是由次要成分的介质分散于主介质而形成的, 薄膜的有效介电常数 ϵ_G 可由下式计算:

$$\frac{\epsilon_G - \epsilon}{\epsilon_G + 2\epsilon} = \sum_{j=1}^n f_j \frac{\epsilon_j - \epsilon}{\epsilon_j + 2\epsilon} \quad (9)$$

其中: ϵ —— 主介质的介电常数; f_j —— 第 j 种介质的体积分数, 且满足 $\sum_{j=1}^n f_j = 1$ 。该模型主要用于

微粒金属薄膜的光学特性描述。随着膜厚的不断增加,金属微粒的形状将发生变化,由球形逐渐变为椭球形或长条形的迷津结构。

(3) Bruggeman 有效近似模型^[4]

如果各种介质混在一起无法区分主介质,则可以使用 Bruggeman 有效近似模型。薄膜的有效介电常数 ϵ_{eff} 可由下式计算:

$$\sum_{j=1}^n f_j \frac{\epsilon_j - \epsilon_{\text{eff}}}{\epsilon_j + 2\epsilon_{\text{eff}}} = 0 \quad (10)$$

其中: ϵ_j ——第 j 种介质的介电常数; f_j ——第 j 种介质的体积分数,且满足 $\sum_{j=1}^n f_j = 1$ 。若在数据拟合中出现 $f_i < 0$ 或 $f_j > 1$ 的情形,则表明 EMA 不合适,或物质材料的组成模型与实际情况差异较大。上述三种 EMA 近似中,Bruggeman 模型是较常采用的一种形式,被认为是非均匀薄膜的重要工具。

等效介质模型 EMA 可以广泛应用于薄膜的表面粗糙度、界面层、孔隙率及结晶度的研究中^[12],特别是对于多孔材料的数据分析,使用 EMA 模型十分有效。在椭圆偏振数据分析中,由于分析样品的未知性,有时即使使用了正确的色散或吸收模型,依然得不到很好的拟合结果。此时,可以增加 EMA 模型来考虑薄膜表面的不平整情况,或者层与层之间的过渡情况,往往能提高拟合效果,增加结果的可靠性。

例如:利用 Bruggeman 有效近似模型分析多孔碳硅氧薄膜,认为薄膜材料由满足 Cauchy 色散的介质和真空 Void 混合而成。实验曲线和拟合曲线基本重合,得到理想的拟合结果,此外还能得到各个组分分数等信息,如图 16 所示。

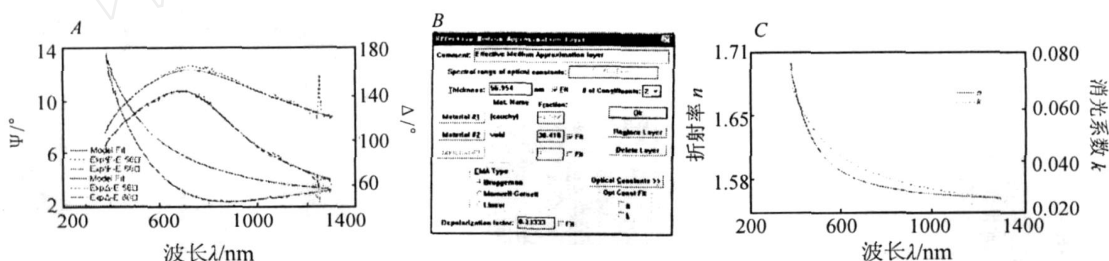


图 16 EMA 模型拟合多孔碳硅氧薄膜

A —— 实验曲线和拟合曲线; B —— 拟合参数; C —— 光学常数。

3.3.4 非均质薄膜材料

有些介质材料,由于其自身的特性,在沿膜厚方向的光学参数不均匀而呈梯度变化,因而有了 Grade 模型^[13]。

在 Grade 模型中,将薄膜划分成多层极薄膜,在这种厚度下视介质光学参数为不变,或者将不均匀介质层划分成稍厚的薄层,假定光学常数沿厚度方向变化,并描述其变化规律。除了光学常数外,还能对描述色散方程或者吸收公式中的某些参数成随厚度的变化规律,从而对薄膜做出更细致的分析。

有时在薄膜的制备过程中由于某些条件发生变化,导致薄膜实际上形成了从基底到表面的梯度变化,这往往是意料之外。在这样的情况下,如用一般的均质材料的模型则不能得到很好地拟合结果,此时如果加上 Grade 模型考虑薄膜存在梯度变化,往往能对原模型做出很好的修正,得到较好的拟合结果。

例: 玻璃上的 FeO 薄膜, 仅用 Cauchy 模型, 实验曲线和拟合曲线吻合度不是很好。此时, 考虑薄膜在制备过程中因为某些未知因素而出现了梯度变化, 加上 Grade 模型修正之后, 吻合度有了很大的改善, 得到很好的结果, 如图 17。此外, 还能得到薄膜光学常数随厚度的变化规律, 如图 18。

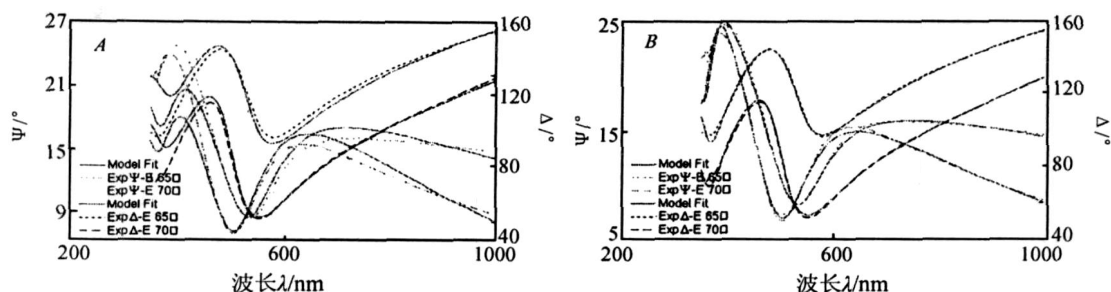


图 17 Grade 模型修正前后的实验曲线和拟合曲线

A —— 修正前; B —— 修正后。

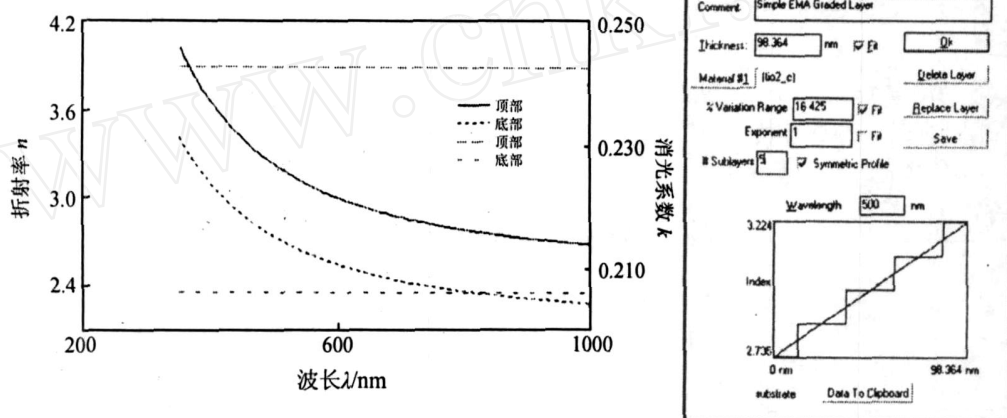


图 18 光学常数随厚度的变化规律

3.3.5 各向异性薄膜材料

对于各向异性的材料的数据分析, 通常引入 Biaxial 模型。该模型可以独立的描述材料的光学常数在 3 个正交方向上的变化, 从而对材料的各向异性做出一定的研究。

3.4 拟合结果的判断与评价

对拟合结果的分析讨论分为两个方面。首先, 要看拟合结果是否符合材料本身的特性, 是否满足拟合所用的色散关系和吸收公式。其次, 看拟合数据与实验数据的差异, 这个差异可以通过均方差 MSE 的值来量化。MSE 越小, 表示拟合得越好。

MSE 一般不可能为零, 在 MSE 随拟合参数的变化中, MSE 除了有最小值外还有其他极小值,

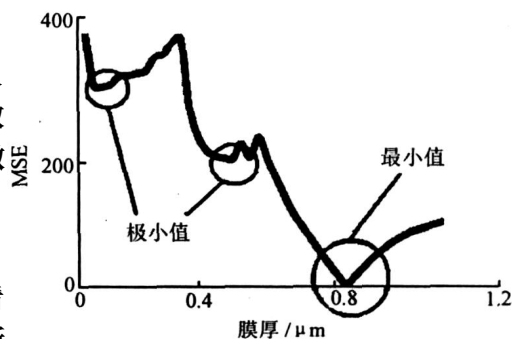


图 19 寻求最好的 MSE

如图 19。最理想的拟合结果是能得到 MSE 的最小值。但是拟合参数并不能在整个实数范围拟合, 它只能在初始参数附近的一定范围进行拟合。所以初始参数就显得格外重要。如果初始值选取不合适, 最后得到的往往是 MSE 的某个极小值而不是最小值, 这样并不能得到正确的结果。所以在进行初始参数的设置时, 要尽可能地对初始参数进行调节, 使得初始状态下的 MSE 尽可能小。

有时还会遇到薄膜本身厚度不均的情况, 可通过假设一膜厚的几率函数来解决。很多薄膜分析软件中已有类似的功能。例如: 在 $WVASE$ 软件中加入一些“Thickness Non-uniformity”参数可在一定程度上解决膜厚不均的影响, 使得拟合结果能获得更小的 MSE 。

对有些样品, 可以使用的模型有多种, 这也需要进行比较和判断, 找出符合实际物理情况, 并且收敛速度快, MSE 最小的模型。

4 结论

椭圆偏振仪的数据分析对研究薄膜材料的光学性能和膜厚显得十分重要。现在针对椭偏数据分析已经出了一些常规的模型, 本文针对这些模型以及不同材料的分析方法做了一定的介绍和研究, 总结为流程图 20。

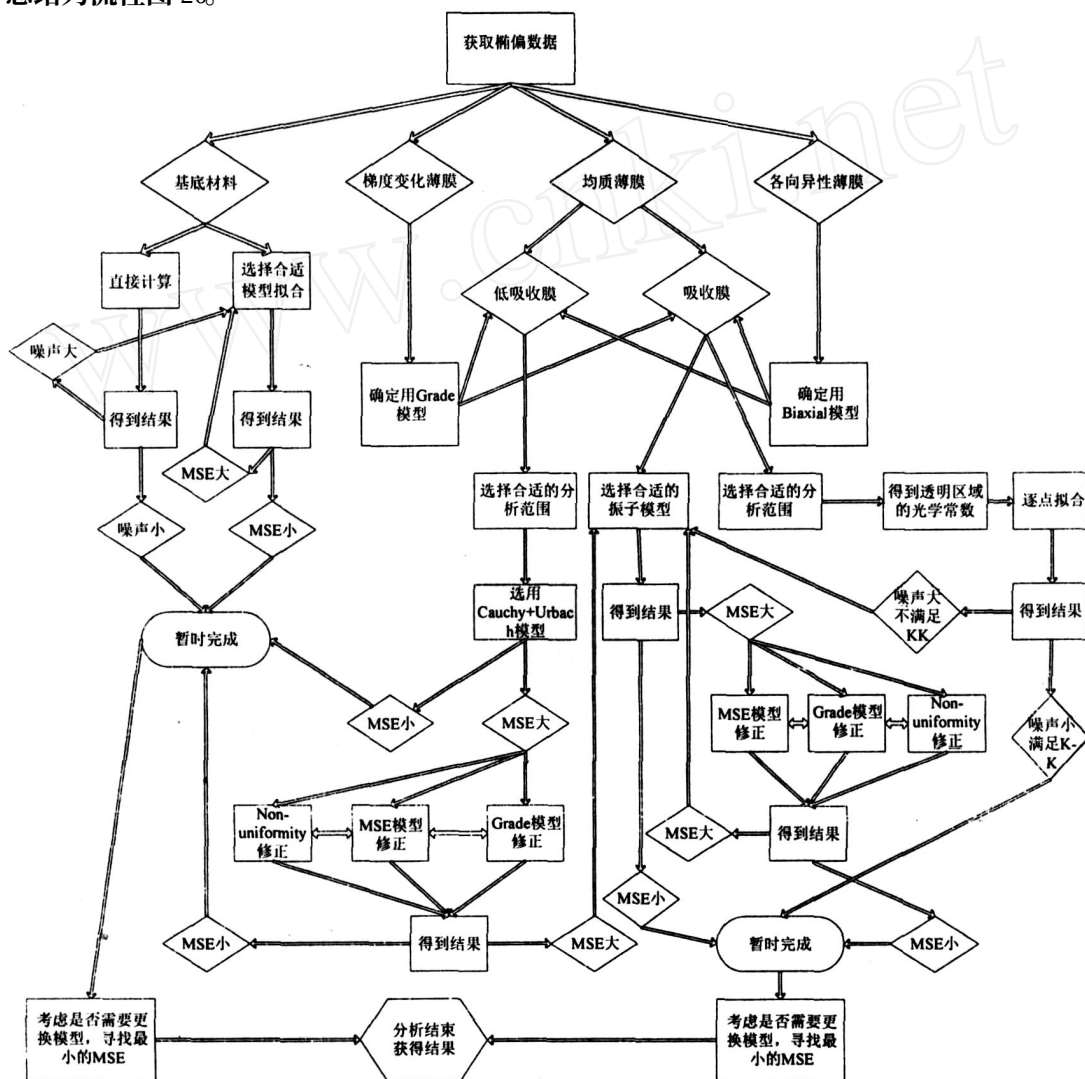


图 20 椭圆偏振数据分析流程图

但在椭圆偏振数据分析过程中, 模型有适用范围, 模型的选择有不确定性, 拟合参数之间有相关性, 以及材料本身有很多未知因素, 所以数据分析会很复杂, 最终结果取决于分析人员的判断, 而目前

没有其它较好的方法进行佐证,这也是椭圆偏振分析法的局限性。能否找到比较通行和标准的分析方法,还需要进一步地研究和探索。

参考文献

- [1] V edam K. Spectroscopic Ellipsometry: A Historical Overview [J]. *Thin Solid Films*, 1998, **313**: 1—9.
- [2] R. M. A. 阿查姆, N. M. 巴夏拉 椭圆偏振测量术和偏振光[M]. 梁民基译 北京: 科学出版社, 1986 103—113.
- [3] Saxena A N. Changes in the Phase and Amplitude of Polarized Light Reflected from a Film-Covered Surface and Their Relations with the Film Thickness[J]. *J. Opt Soc Am.*, 1965, **55**(9): 1061—1072.
- [4] 陈篮, 莫党 薄膜材料光学特性研究的椭圆偏振光谱数据处理[J]. *压电与声光*, 1999, **21**(4): 267—271.
- [5] 赵凯华, 钟锡华 光学(下册)[M]. 北京: 北京大学出版社, 1984 234—244.
- [6] Poelman D, Smet P F. Methods for the Determination of the Optical Constants of Thin Films from Single Transmission Measurements: A Critical Review [J]. *J. Phys D: Appl Phys*, 2003, **36**: 1850—1857.
- [7] 章睿荣 通过全光谱拟合法确定薄膜光学常数和厚度[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [8] Jellison Jr G E, Modine F A. Parameterization of the Optical Functions of Amorphous Materials in the Interband Region[J]. *Appl Phys Lett*, 1996, **69**(3): 371.
- [9] Herzinger C M, Johs B, McGahan W A et al Ellipsometric Determination of Optical Constants for Silicon and Thermally Grown Silicon Dioxide Via a Multi-Sample, Multi-Wavelength, Multi-Angle Investigation[J]. *Journal of Applied Physics*, 1998, **83**(6): 3323—3336.
- [10] Von Blanckenhagen B, Tonova D, Uhlmann J. Application of the Tauc-Lorentz Formulation to the Interband Absorption of Optical Coating Materials[J]. *Applied Optics*, 2002, **41**(16): 3137—3141.
- [11] Wemple S H, DiDomenico Jr M. Behavior of the Electronic Dielectric Constant in Covalent and Ionic Materials[J]. *Physical Review B*, 1971, **3**(4): 1338—1351.
- [12] 杨定宇, 蒋孟衡 Si 薄膜介电函数的椭圆偏振光谱分析[J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2008, **29**(2): 226—230.
- [13] 金承钰 椭圆偏振仪在纳米测量技术中的应用[J]. *现代科学仪器*, 2003, (2): 32.

Analytical Approach and Methods for Ellipsometry on Thin Film

LI Wei JN Cheng-Yu

(Instrumental Analysis Center of Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, P. R. China)

Abstract There are many problems in data analysis for ellipsometry. This paper is a summary on my experience in data analysis for ellipsometry, mostly including the research on frequently adopted model and its application scope, the solutions for various samples, which hopefully provide an approach to data analysis for ellipsometry.

Key words Ellipsometry; Ellipsometer; Model; Thin Film; Optical Constants

关于赠送样刊和发放稿酬的说明

各有关作者:

从 2007 年第 1 期起,本刊赠送给作者发表自己论文的当期刊物(样刊),均按每篇赠送 2 本样刊,用普通印刷品方式邮寄给作者联系人,遗失不再补赠。

以上办法施行两年来,发现普通印刷品送达时间不稳定,时而还发生丢失现象,这与邮费已付、有关邮递员和收发室人员责任心欠缺有关。考虑到,一篇真正的论文是作者从事创造性劳动,经过辛苦“十月怀胎”所得成果的写照,闪耀着作者智慧的光芒,以致许多作者都把论文视为自己一生可以引为自豪的“亲生儿女”,倍加珍惜(非“亲生”者,应付“评职称”、“拿文凭”者,难以包括在内)。因此,本刊从 2009 年第 6 期起^①,将载有作者“亲生儿女”的样刊改用“货到付款邮资”的特快专递寄达。这样做,必然有利于作者早日、稳妥地拿到样刊,因为邮递公司和邮递员若想早日拿到钱,就得早日、稳妥地送达。

对“货到付款邮资”不同意的作者,本刊仍可用普通印刷品邮寄方式办理,但请预先声明,否则视为默认。

另外,给作者发放的稿酬均邮寄给联系人,请各位联系人接到邮局通知后,务必及时到邮局领取。若 2 个月未领而被邮局退回,或者因作者提供给本刊的地址不详、姓名有误(包括作者姓名地址变更后没有及时通知),也被邮局退回的,本刊不再补发。

特此通知

《光谱实验室》编辑部

2010 年

① 本来这期是准备走邮局寄送的,但碰上了邮局“盘点”,宣布停业 3 天,着急请去总局寄。无奈只好寻求其他邮寄方式。