

常见光学薄膜可见光谱区的色散

张伟 沈红兵 赵恒谦

(哈尔滨工业大学)

在讨论光学薄膜色散模型的基础上,对收集到的八种常见薄膜可见光谱内折射率色散的实测值,用统一的色散简化方程加以拟合,得到方程中各种薄膜的色散系数 \bar{A} 、 \bar{B} ,由此可利用色散简化方程去计算各种薄膜的色散。文中给出了八种薄膜的 \bar{A} 、 \bar{B} 值及色散的理论计算曲线,并与其实测值进行了比较,结果是令人满意的。

Dispersion of the common optical thin films in the
visible spectral rangeZhang wei, Shen Hongbing, Zhao Hengqian
(Harbin Institute of Technology)

Abstract

On the basic of discussing the dispersion model of an optical thin film, an united simplified dispersion equation is chosen to fit the figures measured of the refractive index dispersion of eight common optical thin films collected in the range of visible spectrum, and the coefficients \bar{A} and \bar{B} in the equation are attained for every film. So simplified dispersion equation can be used to calculate the dispersion. The coefficients \bar{A} and \bar{B} of the common eight thin films as well as the dispersion curves calculated theoretically are given in this theses, and compared with the figures measured. The results are satisfactory.

一、引言

确定光学薄膜的色散,在精确地计算薄膜的光谱特性、薄膜微观结构及宏观特性的研究及许多应用上都有着重要的理论意义与实际意义。目前已报导的可见区折射率色散值的薄膜不下十几种^[1~5],然而,由于色散测量的手段不同,测量时使用的模型不同,以及不同的测量者等因素,使得薄膜的色散值不仅很零乱,而且没有一个统一的数学方程来描述各种薄膜的色散,在使用上造成很大不便。本文就此问题,从薄膜的实际结构出发,讨论了薄膜的色散模型,并用简化的色散方程去拟合收集到的常见薄膜的色散测量值,得到这些薄膜的色

散系数，从而可计算这些薄膜的色散值，将可见区薄膜色散统一到一个方程中。

二、光学薄膜的色散模型

我们已经知道：实际薄膜的色散不同于大块材料，其原因是绝大部分的薄膜是由“柱状+空气隙”的结构构成，因此，薄膜的色散不仅与镀膜用的电介质材料有关，也与空气隙中的气体性质有关，其色散将是二者的结合。由于消光系数色散比折射率色散小得多，不考虑消光系数的色散模型如下：

1. 描述电介质材料色散的Lorentz (带间跃迁) 模型

$$n^2(\lambda) = A + \sum_{i=1}^J \frac{B_i \lambda^2 (\lambda^2 - C_i^2)}{(\lambda^2 - C_i^2)^2 + D_i^2 \lambda^2} \quad (1)$$

式中， $n(\lambda)$ 是折射率色散， A 是短波长对折射率的贡献， B_i 、 C_i 和 D_i 与用于描述电介质材料的 J 个电偶极子中相应的第 i 个电偶极子的强度，共振波长及谱线宽度等有关。

2. 描述气体色散的Drude (自由电子气体) 模型

$$n^2(\lambda) = A + \frac{B\lambda^2}{1 + C^2\lambda^2} \quad (2)$$

式中，根据理论， A 为 1， B 和 C 与振子强度和等离子区振动频率的平方乘积成正比，与传导带的电子驰豫时间成反比。

3. Lorentz模型与Drude模型的结合

$$n^2(\lambda) = A + \frac{BA^2}{1 + C^2\lambda^2} + \sum \frac{B_i \lambda^2 (\lambda^2 - C_i^2)}{(\lambda^2 - C_i^2)^2 + D_i^2 \lambda^2} \quad (3)$$

这个方程不仅极其复杂，而且不实用，较实用有Cauchy色散方程

$$n(\lambda_0) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \frac{D}{\lambda^6} + \quad (4)$$

而这里我们采用简化的Sellmeier方程

$$n^2(\lambda) = 1.0 + \frac{A}{1.0 + (B/\lambda)^2} \quad (5)$$

为了方便起见，采用以下形式

$$n^2(\lambda) = 1.0 + \frac{\lambda^2}{A + B\lambda^2} \quad (6)$$

这一方程与常见材料在可见区内吻合很好。

对任何材料的光学薄膜来说，只要已知两组可见区内的 n_1, λ_1 与 n_2, λ_2 值便可确定 A 、 B (色散系数) 值。

$$\begin{aligned} A &= \frac{\lambda_2^2}{n_2^2 - 1} - B\lambda_2^2 \\ B &= \frac{\lambda_1^2 / (n_1^2 - 1) - \lambda_2^2 / (n_2^2 - 1)}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2} \end{aligned} \quad (7)$$

实际上对 m 组有效的测量值 n_i, λ_i ，由上式便可求得

$$\bar{A} = \frac{1}{C_m^2} \sum_{i=1}^{C_m^2} A_i$$

$$\bar{B} = \frac{1}{C_m^2} \sum_{i=1}^{C_m^2} B_i$$
(8)

式中, i 表示在 m 组数值中任取2组 $n_i \lambda$ 的次数, A_i 、 B_i 表示相应的 A 、 B 值, 由(7)式确定。由此可计算相应的色散 $n(\lambda)$

$$n(\lambda) = \left(1.0 + \frac{\lambda^2}{A + B\lambda^2} \right)^{1/2}$$
(9)

三、薄膜色散的计算

应用公式(7),(8)对 MgF_2 、 ZnS 、 ZrO_2 等八种常见薄膜^[2,3]的拟合结果 \bar{A} 、 \bar{B} 如表I所示:

表 I 八种常见薄膜的色散系数 \bar{A} 、 \bar{B}

| | | | | |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 薄膜 | Al_2O_3 | MgO | ZrO_2 | ThO_2 |
| \bar{A} | -0.6470×10^6 | -1.1113×10^6 | -0.6516×10^6 | -0.6533×10^6 |
| \bar{B} | 0.5790 | 0.6032 | 0.3779 | 0.4424 |
| 薄膜 | MgF_2 | NdF_3 | ZnS | Si |
| \bar{A} | -1.1445×10^6 | -0.7571×10^6 | -0.7214×10^6 | -0.2105×10^6 |
| \bar{B} | 1.0800 | 0.6959 | 0.2402 | 0.1192 |

应用方程(9)对以上八种薄膜的色散计算结果如图1~8所示, 从图中可见, 由方程(9)计算的理论与实测值的吻合程度是非常令人满意的。

四、结论与讨论

1. 方程(9)只适合可见光谱区光学薄膜的色散, 偏离可见区, 此方程误差较大, 从图1~8中可见, 在接近紫外区及红外区处已开始出现较大误差区;
2. 方程(9)对高折射率薄膜误差较大, 参见图8;
3. 方程(9)在小的光谱范围内的精度更高, 见图1、4、6 (光谱范围为 $0.4\mu m \sim 0.63\mu m$);

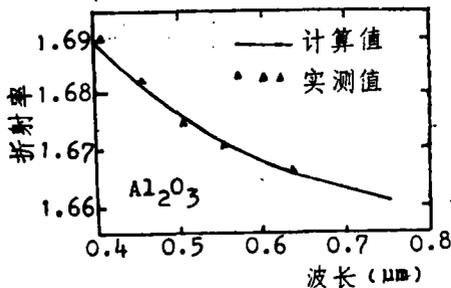


图1 Al_2O_3 薄膜的折射率色散

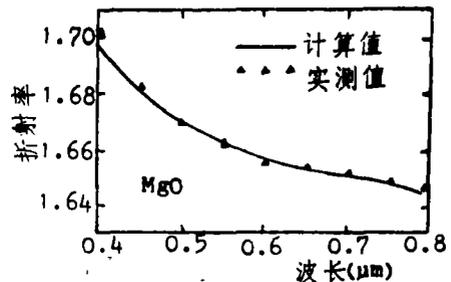


图2 MgO 薄膜的折射率色散

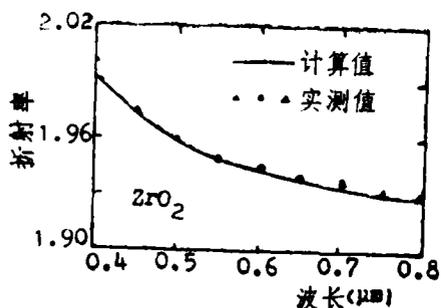


图3 ZrO_2 薄膜的折射率色散

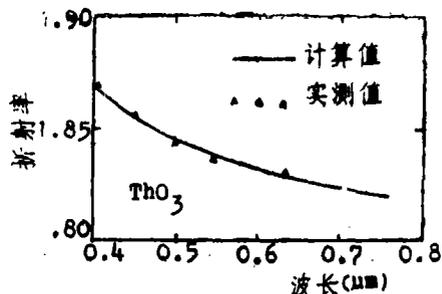


图4 ThO_3 薄膜的折射率色散

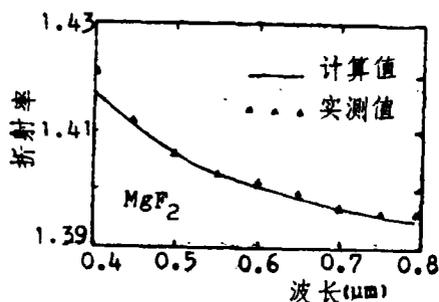


图5 MgF_2 薄膜的折射率色散

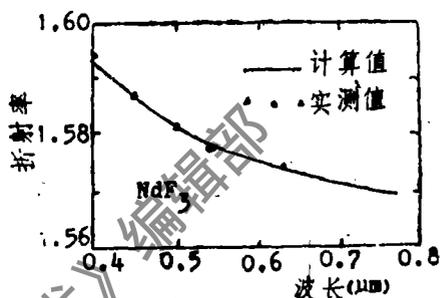


图6 NdF_3 薄膜的折射率色散

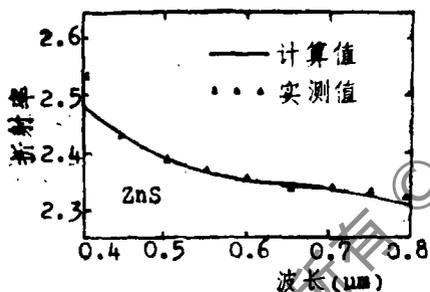


图7 ZnS 薄膜的折射率色散

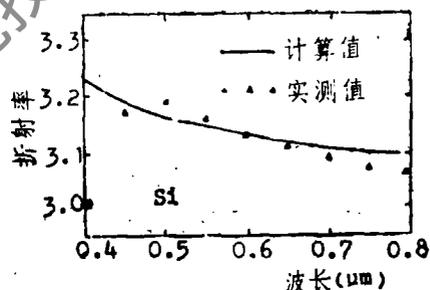


图8 Si 薄膜的折射率色散

4. 光学薄膜的折射率色散与工艺因素有关, 具有不同填充密度 (定义为大块膜料体积与薄膜实际体积之比) 及不同厚度的薄膜, 其色散 (系数 A 、 B) 是不同的, 但在特定的条件 (如蒸镀方式、真空度、薄膜厚度等等) 下, 薄膜的填充密度是稳定的, 因此, 其色散 (系数 A 、 B) 也是相对稳定的。所以, 利用 (7)、(8) 和 (9) 式计算是有意义的,

5. 本文仅对八种常见薄膜进行了色散的计算, 表 I 及公式 (9) 对实际工作是非常方便和有参考价值的, 但所包含的薄膜是很不完全的, 有待做进一步的工作。

参 考 文 献

- (1) D. Smith, P. Baumeister, Appl. Opt., 1979, Vol. 18, No. 1, P. 111~115.
- (2) J. A. Dobrowolski, et al., Appl. Opt., 1983, Vol. 22, No. 20, P. 3191~3200.

用热离子二极管测量铷原子高里德伯态

翁祖琪 雷体仁 贺克西

(中国科学院武汉物理研究所)

为了开展里德伯原子实验研究,我们首先研制了热离子二极管,利用无多普勒双光子激光光谱方法,测量了铷原子 nD 和 nS 高里德伯态。

The measurement of Rubidium rydberg states by thermionic diode

Weng Zuqi, Lei Tiren, He Kexi

(Wuhan Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract

A thermionic diode has been developed for experimental research of Rydberg atoms, Rb nD and nS high Rydberg states were measured with Doppler-free two-photon spectroscopy.

近十多年来随着激光技术和高分辨激光光谱技术的进展,里德伯原子及其环境(包括电场、磁场、辐射场和碰撞等)效应的实验研究蓬勃开展,获得了许多新结果,特别是氢原子里德伯态、单原子激射、圆态等研究受到人们注视,中性原子囚禁成功所提供的新前景更令人鼓舞,预期里德伯原子的实验研究,特别是在辐射理论和精密测量等方面,将取得更大的进展。

为了开展里德伯原子实验研究,我们首先研制了热离子二极管,利用无多普勒双光子激

- [3] H.M.Liddel, Computer-aided Techniques for the Design of Multilayer Filters, Adam Hilger Ltd., Bristol, 1981.
- [4] K.Sasaki et al., Appl.Opt., 1382, Vol.21, No.19, P.355~3554.
- [5] J.P.Borgono et al., Appl.Opt.1982, Vol.21, No.22, P.4020~4029.

作者简介:张玮,男,1961年出生。硕士,教师。现从事薄膜光学理论与技术的教学与研究。

沈红兵,研究生。

赵恒谦,讲师。现从事薄膜技术理论与教学与研究。

收稿日期:1987年9月26日。