

文章编号: 1005-5630(2004)02-0115-03

# 新型减反膜的设计与制备\*

李 芳<sup>1</sup>, 林永昌<sup>2</sup>, 刘育梁<sup>1</sup>

(1. 中国科学院半导体研究所集成光学国家重点实验室, 北京 100083;

2. 北京理工大学光电工程系, 北京 100081)

**摘要:** 根据近年来实际应用中对减反膜的新的需求和指标要求, 利用光学薄膜设计软件进行模拟和理论分析, 采用常规的薄膜工艺和设备进行大量实验, 设计并制备出三种新型的减反膜: 含金属膜的减反膜(包括窄带金属减反膜, 宽带金属减反膜, 减反防静电抗电磁辐射膜), 超低反射率减反膜和大角度减反膜, 满足了实际器件的应用要求。

**关键词:** 减反膜; 薄膜工艺; 金属膜; 薄膜设计

**中图分类号:** O 484. 4      **文献标识码:** A

## Design and fabrication of new anti reflection coatings

LI Fang<sup>1</sup>, LIN Yong-chang<sup>2</sup>, LIU Yu-liang<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory on Integrated Opto-electronic, Institute of Semiconductor, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China;

2. Department of Opto-electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract** Three kinds of new anti reflection coatings are designed and fabricated by the use of optical coating design software analysis, general coating process and coating equipment. The AR coatings include: anti reflection coating with metal layer (narrow bandwidth, wide bandwidth and anti reflection coating with electrical static potential and magnetic shielding), ultra low AR coatings and large angle AR coatings meeting the requirement.

**Key words:** AR coating; coating process; metal film; coating design

## 1 引言

减反膜的发现开创了薄膜光学的早期发展, 随着现代科学技术的进步以及各种新的器件与仪器的应用, 减反膜也在不断的发展, 现列举三种近几年来设计并制备的减反膜, 包括: 含金属膜的减反膜, 超低反射率的减反膜和大角度减反膜。

## 2 含金属膜的减反射膜

### 2.1 窄带金属减反膜

主要介绍两种眼镜用的窄带金属减反膜:

第一种窄带金属减反膜的要求: (1) 低反, 在中心波长  $\lambda_0 = 550\text{nm}$  处,  $R = 0.08\%$ ; (2) 反射光呈淡蓝灰

\* 收稿日期: 2003-11-30

作者简介: 李 芳(1975-), 女, 山东潍坊人, 博士后, 主要从事光电子器件方面的研究。

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

色; (3) 在玻璃的内表面镀膜, 材料的折射率  $n_g = 1.52$ ; 分析指标要求, 利用膜系设计软件进行优化设计, 膜系结构为:

$$A / 0.7L15A1/G$$

其中  $m_L = 1.56$ , 膜系中数字 10 时, 代表膜层的几何厚度, 单位是纳米; 数字 < 10 时, 代表光学厚度是  $\lambda_0/4$  的倍数。金属膜层数的数字代表膜层的几何厚度。膜系的理论反射率值为表 1:

表 1 第一种窄带金属减反膜反射率典型值

波长 (nm)	反射率 R
400	4.9%
550	0.08%
700	1.9%

第二种窄带金属减反膜: 在 Cr39 上镀高强度减反膜, 设计的膜系结构为: A/H15CrH/G, 其中, 中心波长  $\lambda_0 = 560\text{nm}$ ,  $n_H = 1.8$  ( $ZrO_2$ )。膜系的理论反射率值为表 2:

表 2 第二种窄带金属减反膜反射率典型值

波长 (nm)	反射率 R
400	13.8%
560	0.03%

### 2.2 宽波段金属膜减反膜

在  $n_g = 1.52$  的玻璃上, 设计了含金属 Cr 的三层减反膜, 膜系是: A/L2H7Cr/G 其中:  $m_L = 1.45$  ( $SiO_2$ )。  $n_H = 2.3$  ( $TiO_2$ )。膜系的理论反射率典型值如表 3 所示:

表 3 宽波段金属膜减反膜反射率典型值

波长 (nm)	反射率 R
400	6%
450	0.5%
550	0.1%
700	0.2%

### 2.3 多功能金属膜减反膜

电视机和计算机显示器 CRT 的屏幕需要解决三个问题: (1) 低反: 不镀膜的玻璃界面有 4.2% 的反射率, 在强光(如太阳光)的照射下, 其反射光的强度会严重降低显示器图像对比度。因此, 希望对显示器的屏幕镀反射率小于 0.5% 的增透膜; (2) 防静电 (ESP); 电视机或 CRT 的屏幕都是在电子枪的高压下工作的, 带有很强的静电, 因此希望在屏幕表面镀一层防静电的膜, 导电率在  $10^2\Omega/\square \sim 10^6\Omega/\square$  的膜都可用作防静电膜; (3) 防电磁辐射: 导电率小于  $500\Omega/\square$  的膜具有防电磁辐射的能力。

为满足上述三个条件, 设计如下膜系: A/L45Cu/G, 其中中心波长  $\lambda_0 = 400\text{nm}$ ,  $n_g = 1.52$ ,  $m_L = 1.45$ 。上述膜系的反射率值见表 4 所示:

表 4 多功能金属减反膜反射率典型值

波长 (nm)	反射率 R
400	2%
450	0.8%
550	0.1%
700	0.3%

用薄膜表面电阻测量装置进行电阻值测量, 其导电率为  $400\Omega/\square$ 。因此, 上述膜系具有减反, 防静电, 抗电磁辐射的功能。

### 3 超低反射率减反膜

在激光陀螺, 光通信器件等应用中提出了镀超低反射率减反膜的要求, 所谓超低反射率是指反射率为  $10^{-4}$  数量级以下的反射率。近期在 BK7 玻璃上 ( $n_g = 1.51$ ) 设计的超低反射率减反膜系, 波长为  $1500\text{nm} \sim 1600\text{nm}$ ,  $\lambda_0 = 1550\text{nm}$ , 高折射率膜用  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $n_H = 2.06$ , 低折射率膜用  $\text{SiO}_2$ ,  $n_L = 1.45$ 。设计的膜系结构为:  $A/0.894L1.612H0.368L2.228H/G$ , 其中数字表示膜的厚度为  $\lambda_0/4$  的倍数。其理论设计结果详见表 5:

表 5 超低反射率减反膜反射率典型值

波长 (nm)	1500	1510	1520	1530	1540	1550	1560	1570	1580	1590	1600
反射率	2.43	1.3	6.8	4.1	3.3	3.8	4.9	6.6	9	1.26	1.82
$R$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$

$\text{Ta}_2\text{O}_5$  的蒸发速率是  $0.4\text{nm/s}$ ,  $\text{SiO}_2$  的蒸发速率为  $0.2\text{nm/s}$ , 镀膜面的温度为  $150^\circ\text{C}$ 。膜厚监控采用石英晶控法, 样片在 Lambda900 的分光光度计上测定。实验表明: 在上述条件下, 反射率可以在整个波段上小于  $4 \times 10^{-4}$ 。

### 4 大角度减反膜

光线  $69.5^\circ$  入射, 基板玻璃折射率  $n_g = 1.5168$ , 在不镀膜时,  $R_s = 29.79\%$ ,  $R_p = 3.75\%$ , 因此不镀膜的反射率是很高的。如果基板镀单层  $\text{MgF}_2$ , 对  $\lambda_0 = 550\text{nm}$  在可见光区的反射率为:  $R_s = 17\% \sim 22\%$ ,  $R_p = 4.7\% \sim 4.4\%$ , 因此镀单层  $\text{MgF}_2$  减反效果不好。对基板玻璃进行大角度入射的膜系设计表明: 用多层膜可在一个狭波段范围内得到良好的减反效果, 但是在宽波段范围内, 很难达到一个优良的设计结果。下面是用  $n_H = 2.1$ ,  $n_L = 1.38$  在  $548\text{nm} \sim 552\text{nm}$  波段设计的一个 9 层减反膜, 膜系结构是:

$$A/33.2L1065H95.6L29.0L76.2H84.4L55.5H109.5L67.6H/G$$

其中 L 和 H 前的数字表示该膜层的几何厚度, 单位为  $\text{nm}$ , 它可在所要求的波段范围内反射率  $< 0.6\%$ 。中心波长处的反射率达到  $0.05\%$  以下。

### 5 结束语

利用光学薄膜设计软件进行模拟和理论分析, 采用常规的薄膜工艺和设备进行了大量实验, 设计并制备出三种新型的减反膜: 含金属膜的减反膜 (包括窄带金属减反膜, 宽带金属减反膜, 减反防静电抗电磁辐射膜), 超低反射率减反膜和大角度减反膜, 满足了实际器件的应用要求。

### 6 参考文献

- [1] 李 芳, 林永昌. 减反、防静电、抗电磁辐射膜的研制[J]. 光学技术, 2001, 27(5): 406~407.
- [2] Cao Y, Li F, Lin Y C. Design of weak signal detection filter[J]. SPIE, 1998, 4581: 384~389.
- [3] Alexander T, Michael T. Thin film coatings design using second order optimization methods[J]. SPIE, 1992, 1782: 156~164.
- [4] Fumman S H A, Tikhonravov A V. Basics of optics of multi-layer system [M]. Moscow: Gif-sur-Yvette, 1992.