

Ag 厚度对其反射率的影响

余健 赖萌华 张保平*

(厦门大学 福建 厦门 361005)

摘要:采用射频磁控溅射方法在石英片上生长不同厚度 Ag 薄膜,测试了 Ag 膜反射率变化随厚度的变化关系,利用 AFM 和 SEM 分别研究 Ag 膜厚度对其表面粗糙度和形貌的影响。结果表明:Ag 厚度在 130nm 以下时,随着厚度的增加,透射率急剧下降,其反射率逐渐增加,当厚度超过 130nm 时,透射率不再变化,由于表面 RMS 的增加使得散射损耗增大,使得其反射率随着厚度增加而减小。

关键词:反射率;Ag;SEM;AFM

引言

在金属中,由于金属内有自由电子,自由电子并没有被原子核束缚,当光传播至金属表面时,在其电场作用下自由电子会做受迫振动,然后产生与入射光相同频率的振荡,此振荡又放出与原来光线相同频率的光,这就是金属膜反射的原理。金属薄膜作为反射镜应用越来越广泛^[1-3]。一些小组也理论研究了金属厚度对其反射率的影响。深圳大学的范平等运用玻耳兹曼方程研究金属薄膜中的电子输运,考虑了来自表面和晶粒间界的散射,得出电导率随金属薄膜厚度的变化^[4]。上海交大的林育琼在此基础上提出了电子平均自由程模型,修正了电导率随厚度变化公式^[5]。当金属薄膜厚度小于薄膜中自由电子平均自由程时,其平均自由程随着膜厚的增大而增大,此时薄膜越厚,反射率越高;当膜厚大于或者等于块状材料中的电子平均自由程时,薄膜中的电子平均自由程与块状材料相同,此时薄膜已相当于块状材料,随着膜厚的变化,其反射率基本保持不变。Ag 在可见光范围内是最好的反射金属膜。然而,实验测量发现,Ag 的反射率并不是保持不变的。以前的研究没有考虑 Ag 表面粗糙度的对反射率的影响,使得实验结果与理论计算不相符。文章根据 Ag 厚度对其表面粗糙度的影响,结合已有理论体系,进而得到一个 Ag 厚度对其反射率影响的修正公式。

1 实验

我们利用磁控溅射设备以 44nm/min 的速率在石英片上生长 60,120,160,200,240,1200nm 六种不同厚度的 Ag,然后用 Cary5000 紫外-可见-近红外光度计测量其反射率变化。为了分析 Ag 反射率随厚度变化规律,利用 AFM 和 SEM 分别观察 Ag 表面粗糙度和形貌。

2 结果与分析

2.1 Ag 厚度对反射率的影响

利用 Cary5000 紫外-可见-近红外光度计测量不同厚度 Ag 膜反射率的变化情况。测量结果如图 1 所示,当 Ag 厚度在 130nm 以下时,随着 Ag 的厚度增加,Ag 的反射率也急剧增加。然而当 Ag 的厚度超过 130nm 时,随着 Ag 的厚度继续增加,其反射率并不是不

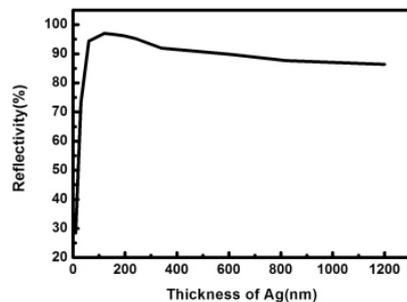


图 1 不同厚度 Ag 反射率

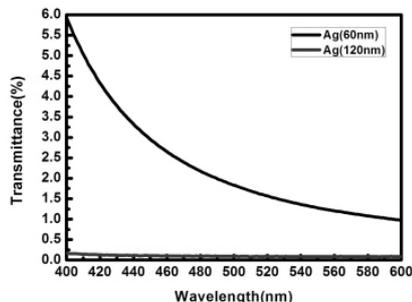


图 2 不同厚度 Ag 的透射谱

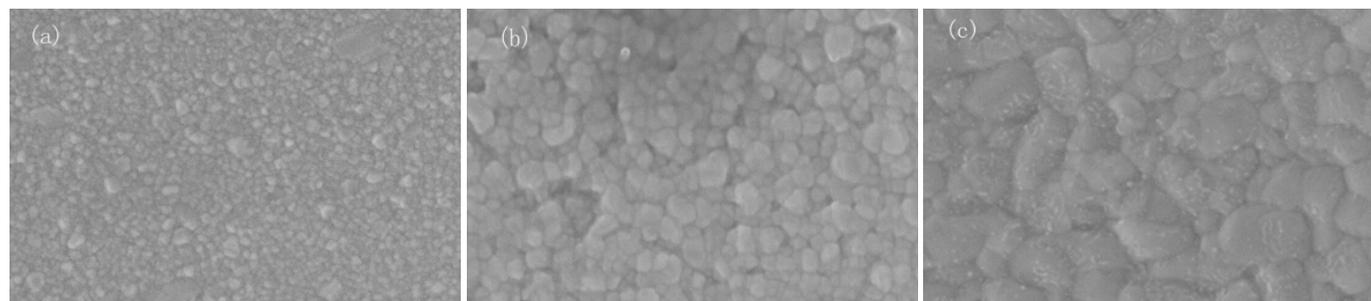


图 3 不同厚度 Ag 的 SEM 图(5 万倍)

变,而是减小了。

2.2 Ag 厚度对其透射率的影响

我们知道影响 Ag 的反射率主要有两个因素:第一是透射的影响,第二是散射的影响。为了进一步分析厚度影响 Ag 反射率的机制,我们利用 Cary5000 紫外-可见-近红外光度计测量厚度为 60nm 和 120nm 的 Ag 在 400~600nm 波段的透射率。实验结果如图 2 所示,我们发现 60nm 厚的 Ag 在 400nm 处的透射率高达 6%,而 120nm 厚 Ag 的透射率几乎为零。这也就解释了,当 Ag 厚度低于 130nm 时,Ag 反射率随厚度增加而增加的原因,这是透射率下降导致的。然而,当 Ag 厚度超过 120nm 时,透射就不再是影响反射率的因素了。

2.3 Ag 厚度对其表面形貌的影响

我们利用扫描电子显微镜 (SEM) 观察厚度为 60nm、130nm、240nm 厚 Ag 的表面形貌(5 万倍)。如图 3 所示 (a)(b)(c) 分别是厚度为 60、130、240nm Ag 的表面形貌,我们发现随着 Ag 厚度的增加,Ag 表面颗粒大小逐渐增大。这也表面厚度的增加使得 Ag 膜的表面粗糙度增加。

为了进一步定量分析表面粗糙度对 Ag 反射率的影响,我们利用原子力显微镜 (AFM) 测量不同厚度 Ag 的 RMS(粗糙度)。如图 4 所示,随着 Ag 厚度的增加,Ag 的 RMS 也逐渐增加。然而粗糙度的增加将直接导致散射增加。当 Ag 的厚度达到 800nm 时,它的表面粗糙度可达 12nm。根据 Karl H. Guenther 的理论^[6],散射对反射率的损失与粗糙度存在式(1)关系:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{(4\pi\delta\cos\theta)^2}{\lambda}} \quad (1)$$

其中 δ 是表面粗糙度, λ 是入射光波长。

根据式(1)计算,如图 5 所示,随着表面粗糙度的增加,散射损耗也会随之增加。当表面粗糙度为 6nm 时,散射损耗会超过 2%。这充分说明 Ag 层的表面粗糙度的增加将导致其对入射光的散射增加,而这也使得其反射率减小。

2.4 修正公式

我们根据 AFM 测量曲线拟合出 Ag 表面粗糙度随厚度的变化关系:

$$\delta = -0.00001d^2 + 0.023d + 1.632 \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)就可计算出 Ag 厚度变化对其散射损耗的影响。在文章中我们考虑表面散射的因素对 Ag 反射率的影响,提出了一个修正反射率随厚度变化公式:

$$R_{\text{实际}} = R_{\text{理论}}(1 - \eta) \quad (3)$$

根据式(3)计算出 Ag 实际的反射率随其厚度的变化关系,如图 6 所示,我们发现考虑了表面散射造成的影响,Ag 的反射率计算结果和实验测量

电光晶体光开关的控制及驱动电路研制

樊彦恩 吴彭生 武帅

(中国电子科技集团第三十八研究所,安徽 合肥 230088)

摘要 光开关是光交换网络系统中的核心器件,用于控制光信号的切换。文章设计并实现了电光晶体光开关的控制和高压驱动电路。经过测试,此设计满足了光交换网络工作所需要的切换时间以及电平延迟时间。
关键词 光开关,光交换网络,切换时间

引言

随着光通信的迅猛发展,全光网络离我们越来越近。这也使得应用于光网络中的各种光无源器件越来越受到重视。光开关是一种具有一个或多个可选择的传输端口,可对光传输线路或集成光路中的光信号进行相互转换或逻辑操作的器件,是全光交换的关键器件,可以实现全光层的路由选择、波长选择、交叉连接等。除了光开关本身的设计原理与结构外,其控制和驱动电路的高电压输出和切换时间已成为光开关发展的瓶颈。对铌酸锂光开关而言,其驱动电

压可达到 350V-420V 左右。驱动电路设计的难点不仅要输出高压,还要为光开关提供较高的输出峰值电流。否则,高压驱动信号的上升以及下降沿就会恶化,光开关的切换时间就会下降。

1 控制电路的设计

控制电路的主要作用是将计算机输出的 RS232 串行控制信号解码转换成 TTL 并行输出信号,然后输入到光开关驱动电路的驱动级。在这里,为了以后光开关阵列的扩展,我们预留了另外 7 个控制光开关阵列的 TTL 并行输出口,如图 1 所示。

2 光开关驱动电路的设计

光开关是一种容性负载,把光开关驱动到一种状态相当于给电容充电,而使光开关恢复到默认状态相当于给电容放电。由于光开关切换速度比较快,所产生的上升和下降时间均要求在 500ns 左右,这就要求电容的充放电时间较短。因此,电光晶体光开关高压输出驱动级电路采用 MOS 管级联结构。高压输出驱动级电路是 TTL 信号接口,要求有较低的输入电容,较少的传输延时和较快的开关速度。同时,该级也要求有较高的输出峰值电流,从而可以使驱动信号有更快的上升和下降时间。综合上述要求,高压输出驱动级采用 ANALOG DE-

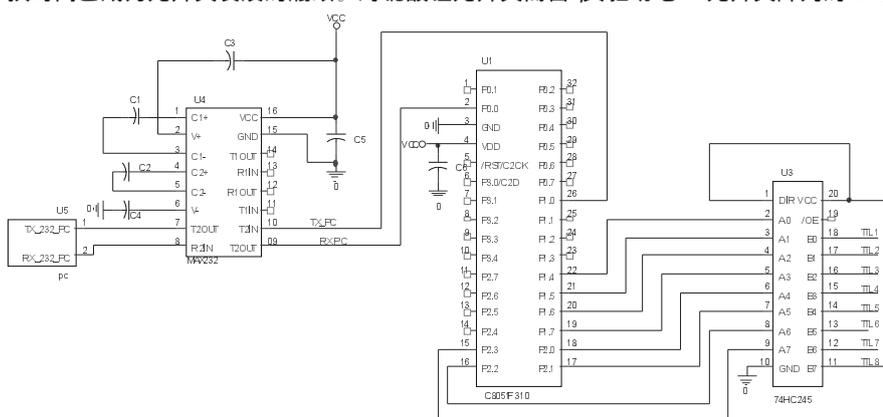


图 1 控制电路原理图

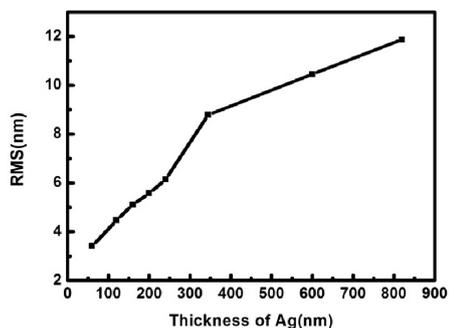


图 4 不同厚度 Ag 表面粗糙度

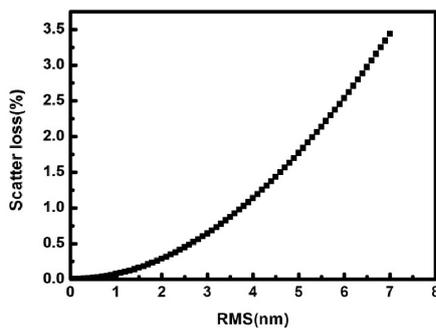


图 5 散射损失随表面粗糙度变化关系

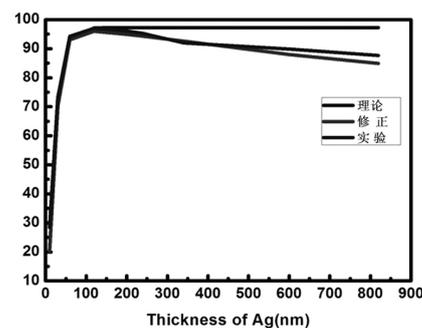


图 6 Ag 厚度与其反射率的变化关系

的结果基本吻合。因此,经过研究发现当 Ag 的厚度为 130nm 时,其反射率达到最高。

3 结束语

为了研究 Ag 膜厚度对其反射率的影响,我们利用磁控溅射设备在石英片上生长了不同厚度 Ag 膜样品,测量了样品反射率、透射率、AFM、SEM。结果表明 Ag 的厚度高于 130nm 时,其表面粗糙度的增加将使得其反射率下降。提出的修正公式弥补了 Ag 厚度超过 130nm 时与实验结果不相符的缺憾。

参考文献

[1]Kyu Sang Kim, Myoung Gyun Suh, and S. N. Cho, Nanometer sized Ni-dot/Ag/Pt structure for high reflectance of p-type contact metal in InGaN light emitting diodes, APPLIED PHYSICS LETTERS 100, 061113 (2012).
 [2]I-Chen Chen a, Bo-Yuan Cheng a, Wen-Cheng Ke b, Cheng-Huang Kuo c, Li-Chuan Chang, Improved light reflectance and thermal stability of Ag-based ohmic contacts on p-type GaN with LaAdditive 57 (2013):51-57.

[3]Si. Y. Bae, J. P. Shim, D. S. Lee, S. R. Jeon, G. Namkoong, "Improved Photovoltaic Effects of a Vertical-Type InGaN/GaN Multiple Quantum Well Solar Cell Japanese," Jpn.J. Appl. Phys. 50 (9R), 092301(2011).

[4]范平,伍瑞锋,赖国燕.连续金属薄膜的电阻率研究[J].真空科学与技术,1999.
 [5]林育琼,冯仕猛,王坤霞,等.金属薄膜厚度小于电子自由程对其光反射率的影响[J].光子学报,2011.
 [6]Karl H. Guenther, Peter G. Wierer, and Jean M. Bennett, Surface roughness measurements of low-scatter mirrors and roughness standards, APPLIED OPTIC, 1984, 21(23):3820-3826.

作者简介:余健(1988-)男,汉,江西南昌,厦门大学物理系。
 赖萌华(1991-)女,汉,福建龙岩,厦门大学电子工程系。

* 通讯作者:张保平(1963-)男,汉,河北石家庄,教授,厦门大学电子工程系,研究方向:宽禁带半导体材料与光电子器件,微纳米结构制造及应用。