

$\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的制备及光谱反射性能研究^{*}

田启祥^{1)†} 刘胜超³⁾

¹⁾ 解放军理工大学, 南京 210007)

²⁾ 总装工程兵科研一所, 无锡 214035)

³⁾ 上海炬通实业有限公司, 上海)

(2009 年 3 月 30 日收到, 2009 年 5 月 31 日收到修改稿)

开展了在伪装网基布上镀 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的性能研究, 系统分析了薄膜厚度对其光谱反射性能的影响, 总结了薄膜厚度对 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜表面形貌、光谱反射辐射性能的影响规律, 为 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的红外伪装应用奠定了基础理论和实验依据.

关键词: $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜, 红外反射特性, 红外发射率, 可见光—近红外透过率

PACC: 7280, 8140, 6110M

1. 引 言

透明导电薄膜是一种高性能半导体材料, 通过调节掺杂浓度, 可实现对透明导电薄膜的红外反射性能及可见光、近红外透过性能的调控, 如从可见光区甚至紫外光区具有高的透过率, 而在热红外波段具有较高的反射率. 目前围绕透明导电薄膜的应用研究主要集中在平面显示器、太阳能电池、低辐射窗、电致变色窗、热镜和薄膜电池等方面^[1-4]. 而对于透明导电薄膜的红外伪装应用尚未有报道.

现役红外伪装网作为一种重要的伪装装备^[5,6], 它的机理是采用“化学转移法”在基础布上镀铝膜, 再在铝膜表面涂布红外透明的光学伪装涂层, 由于铝膜的高反射性能使得涂层在红外波段呈高反射特性, 同时又兼具光学伪装性能. 但整个工艺步骤相对比较多, 对工艺要求高. 新的伪装设计理念、高性能薄膜材料和技术在红外伪装领域的研究应用亟待进行. 基于此, 本文开展了在伪装网基布上镀 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 透明导电薄膜的性能实验研究. 与高平整度的玻璃、金属等基底材料不同的是, 伪装网基布表面存在布的纹理相对粗糙得多, 薄膜性能将不同于平整基底上的半导体膜的性能, 需要开展系统的实验研究, 以确定最佳的镀膜工艺条件.

2. 实 验

2.1. $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜原理样品制备

本文采用真空磁控溅射法进行镀膜, 即通过被加速的正离子轰击作为蒸发源的阴极($\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 靶材), 再从阴极溅射出原子而制成薄膜. 镀膜设备为法国进口的 PLASSYS MP450 多阴极磁控溅射镀膜仪. 将基底放在接地的阳极上, 在阳极的对面大于克鲁斯暗区距离的地方放置 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 靶材. 选用的基底材料有载玻片和伪装网基础布. 在伪装网基础布上镀膜时, 为了保证薄膜与基础布之间的结合力和成膜质量, 在基础布背面涂覆了一层聚氨酯胶.

2.2. 可见光近红外光谱特性检测

$\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜样品的可见光透过率均在玻璃基底上进行, 采用 Varian 公司 Cary 500 紫外—可见光—近红外波段的带积分球分光光度计进行透过率测量. 去除载玻片基底的影响, 即可得到 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜本身的可见光透过率.

可见光近红外光谱反射特性采用 Varian 公司 Cary 500 紫外—可见光—近红外波段的带积分球分光光度计进行测试.

^{*} 国防预研究基金(批准号 ZLY2008415)资助的课题.

[†] E-mail: fcwzsq@163.com

2.3. 红外性能检测

采用上海技术物理研究所的 FIS-65A UWA50 型分光光度计测量 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜在红外波段的反射率.

采用 AE 辐射计在 50 °C 条件下测试 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜样品的半球发射率,测试波段为 8—14 μm .

2.4. 其他性能检测

采用 SEM-XL30 扫描电镜分析测试样品的表面形貌,采用 Taylor Step 台阶仪测量薄膜厚度.

3. 结果与讨论

3.1. 不同基底和厚度的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的表面形貌比较

图 1 给出了硅片上镀 400 nm 的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的表面形貌,可以看出,薄膜表面非常平整, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜呈连续状态.

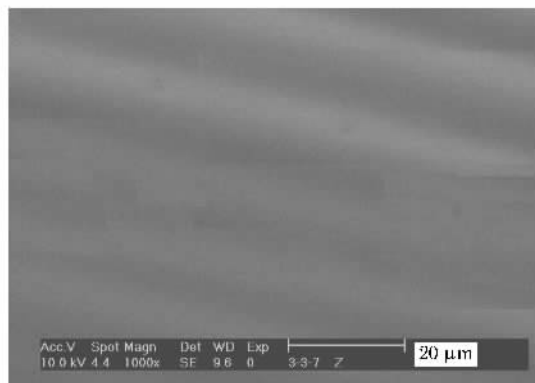


图 1 硅片上 400 nm 厚度的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的电镜照片

图 2 和图 3 给出了 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜在伪装网基布上生长的表面形貌,相应的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜厚度分别为 110 nm 和 400 nm.可以看出,110 nm 厚度的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜呈岛状生长方式,颗粒沉积较疏松, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 膜呈现不完全连续状态.400 nm 厚度的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜表面相对较平整, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 膜趋于连续.

比较图 1 和图 3 中 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的表面形貌,两者的厚度相同,均为 400 nm,两者的差别在于选用的基底不同,前者为光滑平整的硅片,后者为粗

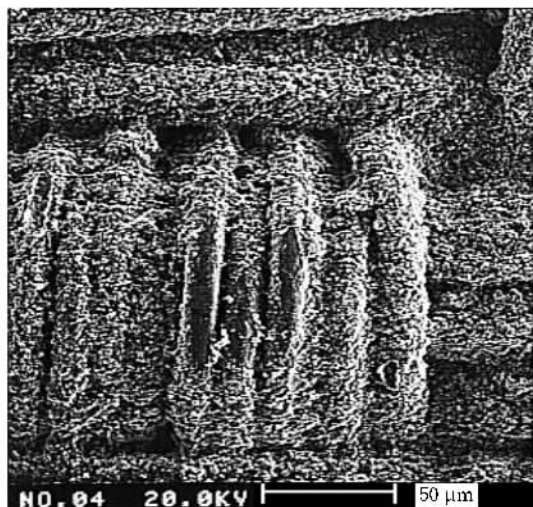


图 2 厚度为 110 nm 的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜在伪装网基布上生长的表面形貌

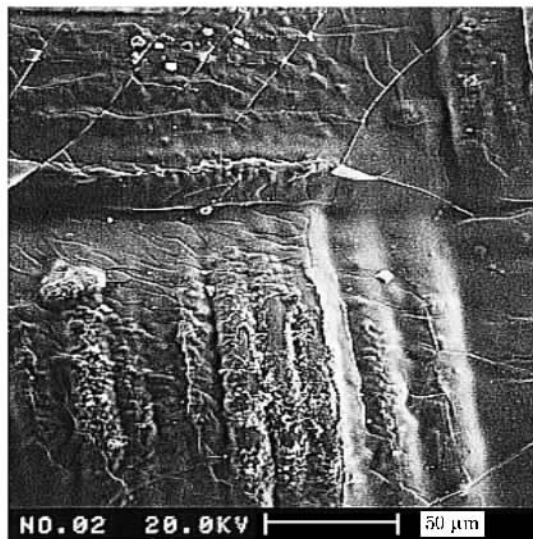


图 3 厚度为 400 nm 的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜在伪装网基布上生长的表面形貌

糙不平的伪装网基布.可以看出,硅片上生长的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜表面比较平整,伪装网基布上生长的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜尽管呈连续状态,但由于受基底影响, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜表面呈现出同伪装网基布样的纹路.

3.2. 不同厚度 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的可见光近红外性能

图 4 给出了不同厚度 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜本身的可见光—近红外透过率曲线图,薄膜的厚度从 110 nm 增加到 400 nm.可以看出, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜厚度对可见光—近红外透过率影响不大,所有厚度的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$

SnO₂ 薄膜在可见光—近红外区透过率可达 80%—90% ,具有很高的可见光—近红外透过率.

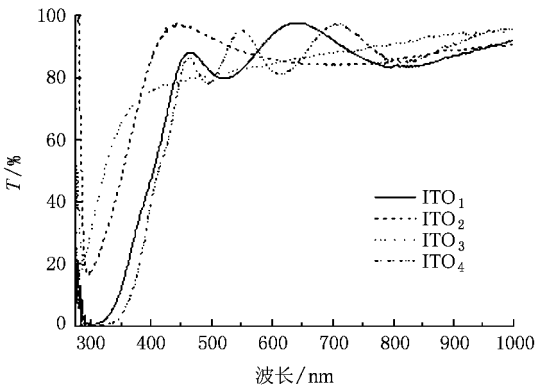


图4 In₂O₃/SnO₂ 薄膜在可见光区内的透过曲线(ITO₁ , 110 nm ; ITO₂ , 220 nm ;ITO₃ , 330 nm ;ITO₄ , 400 nm)

图 5 给出了伪装网基布上镀不同厚度 In₂O₃/SnO₂ 薄膜的可见光—近红外反射性能 ,其中纵坐标为光源垂直入射、半球接收的反射率 ,横坐标为波长 .曲线 R₀ 表示伪装网基布的光谱反射特性 ,曲线 R₁ 至 R₅ 表示伪装网基布上不同厚度 In₂O₃/SnO₂ 薄膜的光谱反射特性 .可以看出 ,伪装网基布上镀不同厚度 In₂O₃/SnO₂ 薄膜引起了总体的光谱反射值有所降低 ,基本呈现出随膜厚增加光谱反射值下降趋势 ,但光谱反射特性趋势仍与伪装网基布本身的光谱反射特性相同 .文献 [7]中指出 ,光谱反射特性由膜层本身和基底决定 ,特别是对于高透过性的膜层 .

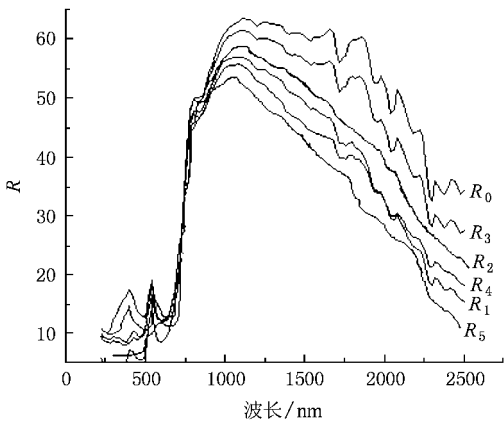


图5 基础布上镀不同厚度 In₂O₃/SnO₂ 薄膜的光谱性能(ITO₀ , 0 nm ;ITO₁ , 110 nm ;ITO₂ , 220 nm ;ITO₃ , 330 nm ;ITO₄ , 400 nm ;ITO₅ , 620 nm)

3.3. 不同厚度 In₂O₃/SnO₂ 薄膜的红外反射辐射特性

图 6 给出了以硅片为基底的不同厚度 In₂O₃/

SnO₂ 薄膜本身的红外反射曲线 ,其中纵坐标为光源垂直入射、半球接收的反射率 ,横坐标为波长 .可以看出 ,In₂O₃/SnO₂ 薄膜的红外反射率随着厚度的增加而增大 .随着 In₂O₃/SnO₂ 薄膜厚度的增加 ,相应的 8—14 μm 波段的红外反射率从 0.4 左右(对应薄厚 110 nm)变化到约 0.8(对应薄厚 400 nm) ,对应的红外发射率变化在 0.6—0.2 之间 .

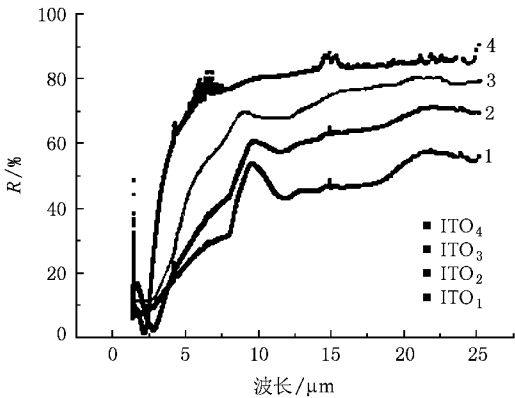


图6 沉积在载玻片上 In₂O₃/SnO₂ 薄膜的红外反射率(ITO₁ , 110 nm ;ITO₂ , 220 nm ;ITO₃ , 330 nm ;ITO₄ , 400 nm)

表 1 给出了伪装网基布上镀不同厚度 In₂O₃/SnO₂ 薄膜的半球红外发射率 .

表 1 伪装网基布上镀不同厚度 In ₂ O ₃ /SnO ₂ 薄膜的红外发射率		
样品编号	厚度/mm	红外发射率
0	伪装网基布	0.88
1	110	0.72
2	220	0.65
3	330	0.64
4	400	0.62
5	620	0.62

从表 1 中可以看出 ,随着 In₂O₃/SnO₂ 薄膜厚度的增加 ,相应红外发射率也呈下降趋势 ;厚度达到 330 nm 后红外发射率基本不变 ,这是由于在该厚度下 ,薄膜成连续状态 ,进一步增加厚度 ,红外发射率受 In₂O₃/SnO₂ 薄膜厚度的影响较小 .

同时比较硅片上 In₂O₃/SnO₂ 薄膜的红外反射特性 (见图 6) 和伪装网基布上的 In₂O₃/SnO₂ 薄膜的红外发射率 (表 1) 可以看出 ,同等近似厚度的 In₂O₃/SnO₂ 薄膜在硅片上的红外反射率较高 ,相应的红外发射率较小 ,这主要是由于伪装网基布不平整导致形成的 In₂O₃/SnO₂ 薄膜微观上呈现不连续所致 .文献 [8]中 ,作者从辐射传输理论出发 ,给出了不同性

质基底对涂层红外辐射反射性质的影响. 硅片比较平整, 形成的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜连续平整, 底材硅片对 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的影响比较小; 相反, 伪装网基布表面不平整, 形成的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜连续性相对差些, 伪装网基布作为底材对 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的红外辐射反射的影响就大些, 因而就导致了同等近似厚度下 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜在硅片上的红外发射率就比较小.

4. 结 论

$\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的可见光近红外透过率高, 均

在 80% 以上. 基础布上镀 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的光谱反射特性主要决定于伪装网基础布, 基础布上的 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜厚度越大, 整个膜层的光谱反射特性值略有下降. 基础布上 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜的最佳厚度约 400 nm, 在该厚度下整个膜层的发射率接近 0.6. $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜厚度继续增加, 整个膜层的发射率基本不变.

$\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 薄膜不仅具有高的红外反射性能, 且具有较高的可见光近红外透过率, 可以保证光学与红外双波段伪装兼容, 为红外伪装网开创了新的技术途径.

- [1] Purvis K G, Schwartz J, Bernasek S 2000 *J. Am. Chem. Soc.* **122** 1808
- [2] Zhang W J, Wang T M 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 1924 (in Chinese) [张维佳、王天民 2004 物理学报 **53** 1924]
- [3] Scott H B, Stefan F 2002 *J. Alloys & Compounds* **338** 73
- [4] Cheng S H, Ning Z Y, Huang F 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 668 (in

Chinese) [程珊华、宁兆元、黄 峰 2002 物理学报 **51** 668]

- [5] Fu C W, Zhang S. Q, Chen M Q 2008 *Chin. Phys. B* **17** 1674
- [6] Xie W 2008 *Chin. Phys. B* **17** 1352
- [7] Xu W L, Zhang S Q, Xu Y 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 3215 (in Chinese) [徐文兰、张拴勤、徐 怡 2004 物理学报 **53** 3215]
- [8] Xu W L, Shen S C 1992 *Appl. Opt.* **31** 4488

Fabrication and spectral reflective properties of $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ film^{*}

Tian Qi-Xiang^{1,2,†} Liu Sheng-Chao³⁾

¹ *Engineering Institute of Engineer Corps, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China*

² *First Scientific Research Institute of Wuxi, Wuxi 214035, China*

³ *Shanghai Jutong Co. Ltd. Company, Shanghai, China*

(Received 30 March 2009; revised manuscript received 31 May 2009)

Abstract

In this paper, $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ thin films deposited on the fabric for camouflage net are developed. Effect of the film thickness on the spectral reflective properties is investigated thoroughly. Results of the influence of the film thickness on the morphology and spectral properties are presented. Application of $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ film in the infrared camouflage field is proposed.

Keywords: $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ film, infrared reflectance, infrared emissivity, visible and near infrared transmission

PACC: 7280, 8140, 6110M

^{*} Project supported by the National Defense Pre-Research Foundation of China (Grant No. ZLY2008415).

[†] E-mail: ffwzsq@163.com