

超薄 Ti 膜吸收率的尺寸效应*

杜 昊 白雪东 肖金泉 孙 超 黄荣芳 闻立时

(中国科学院金属研究所)

摘 要 研究了超薄 Ti 膜吸收率和直流电导率与薄膜厚度的关系, 结果表明, 超薄 Ti 膜的吸收率具有尺寸效应, 并具有极大值, 其结构特征变化是导致吸收率尺寸效应的重要原因。

关键词 超薄 Ti 膜 吸收率 尺寸效应

分类号 TB383

文章编号 1005-3093(2001)02-0215-04

SIZE EFFECT OF THE ABSORPTANCE OF THE ULTRA-THIN TITANIUM FILMS

DU Hao** BAI Xuedong XIAO Jinqun SUN Chao
HUANG Rongfang WEN Lishi

(*Institute of Metal Research, The Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016*)

ABSTRACT The relationship between absorptance and thickness of ultra-thin titanium film in visible, IR region were investigated, results showed that the absorptance of the metal films had size effect. The reflectance of them increased and the transmittance decreased with increasing of thickness of ultra-thin titanium films. The reflectance and transmittance kept fixed values when the thickness of films was over 30nm. In visible region, the maximum of absorptance appeared at about 18nm of thickness of ultra-thin films. In infrared region, the absorptance roof appeared at about 10~20nm of thickness of ultra-thin films. The size effect of the absorptance can be attributed to the unique structure feature of ultra-thin titanium films.

KEY WORDS ultra-thin titanium film, absorptance, size effect

当电磁波入射到块体金属材料或较厚的金属膜表面时, 透射波为: $E(x, t) = E_0 e^{-\alpha x} e^{i(\beta x - \omega t)}$ ^[1], 其中 β 称为相位常数, α 为衰减常数. 铜的穿透深度为 $0.62 \mu\text{m}$ ^[2]. 可见, 电磁波仅能进入非常有限的深度, 其透射效果可忽略不计. 然而, 对于超薄金属薄膜, 其特征尺寸小于穿透深度, 透射效应、吸收效应成为主流效应^[3]. 研究超薄金属薄膜对电磁波的反射、吸收、透射作用, 对于高效太阳能吸收、电磁辐射、噪音屏蔽吸收和净化等领域具有重要意义^[4]. 本文研究了超薄 Ti 膜吸收率的尺寸效应.

2000 年 5 月 29 日收到初稿; 2000 年 9 月 29 日收到修改稿.

本文联系人: 杜 昊, 沈阳市 110016, 中国科学院金属研究所第七研究室

* To whom correspondence should be addressed

1 实 验 方 法

采用内置磁体式圆柱形 Ti 靶磁控溅射仪制备金属薄膜. 基片为 0.8mm 厚的载玻片 (无吸收), 用丙酮擦拭后, 在镀膜前用 N_2 离子轰击基片以清洁表面. 基片至靶间的距离为 105mm, 基片温度为室温. 真空室预真空到 $3.4 \times 10^{-3} Pa$ 后, 通入氩气, 工作压强为 $8 \times 10^{-2} \sim 9 \times 10^{-2} Pa$. 对基片施加偏压 40V, 通过预先测定沉积速率并设定时间控制薄膜厚度. 在可见光波段, 用 WFZ900-D4 型紫外 / 可见分光光度计并用反射光谱附件测量电磁波的反射率和透射率 [5]. 该仪器可见光波长准确度为 0.3%, 测光准确度为 0.3%, 满足测量精度需要; 在红外波段, 用 WQF300 型傅立叶变换红外谱仪测量, 光路图与紫外可见分光光度计相同, 红外波数分辨率 $\leq 4WN$, 满足测量精度需要. 根据 $A+R+T=1$ (A 为吸收率, R 为反射率, T 为透射率), 从而求得超薄 Ti 膜对可见光、红外波段电磁波的吸收率.

2 结 果 与 讨 论

图 1 表明, 随着薄膜厚度的增加, 超薄 Ti 膜的反射率逐渐增加, 透射率逐渐减小, 吸收率有一个峰. 其中在 5~30nm 区间, 反射率增长速度较快, 薄膜厚度超过 30nm 之后, 趋于平缓; 在 5~25nm 区间, 透射率快速降低, 并在 18nm 附近出现拐点, 当薄膜厚度超过 25nm 之后, 透射率平缓降低; 随着薄膜厚度的变化, 吸收率在薄膜厚度为 18nm、35nm 附近出现拐点, 在 18nm 附近出现吸收峰.

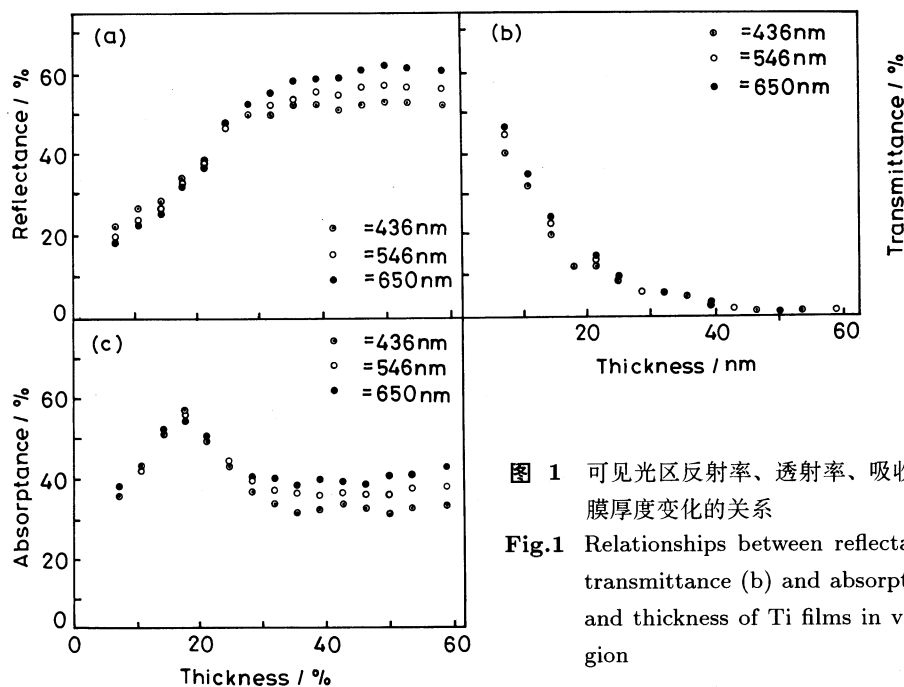


图 1 可见光区反射率、透射率、吸收率与 Ti 膜厚度变化的关系

Fig.1 Relationships between reflectance (a), transmittance (b) and absorptance (c) and thickness of Ti films in visible region

由图 2 可见, 随着薄膜厚度的增加, 超薄 Ti 膜的反射率逐渐增加, 透射率逐渐减小, 吸收率有一个峰. 其中在 5~25nm 区间, 反射率增长速度较快, 厚度超过 30nm 之后, 反射率趋于平缓. 在 5~15nm 区间, 透射率快速降低, 当薄膜厚度超过 30nm 之后, 透射率平缓降低. 随着薄膜厚度的变化, 在 5~10nm 区间, 吸收率逐渐升高, 并在 10~20nm 区间出现吸收峰平台, 吸收平台宽近 10nm; 薄膜厚度在 20~30nm 区间, 吸收率降低, 超过 30nm 后吸收率趋于平缓.

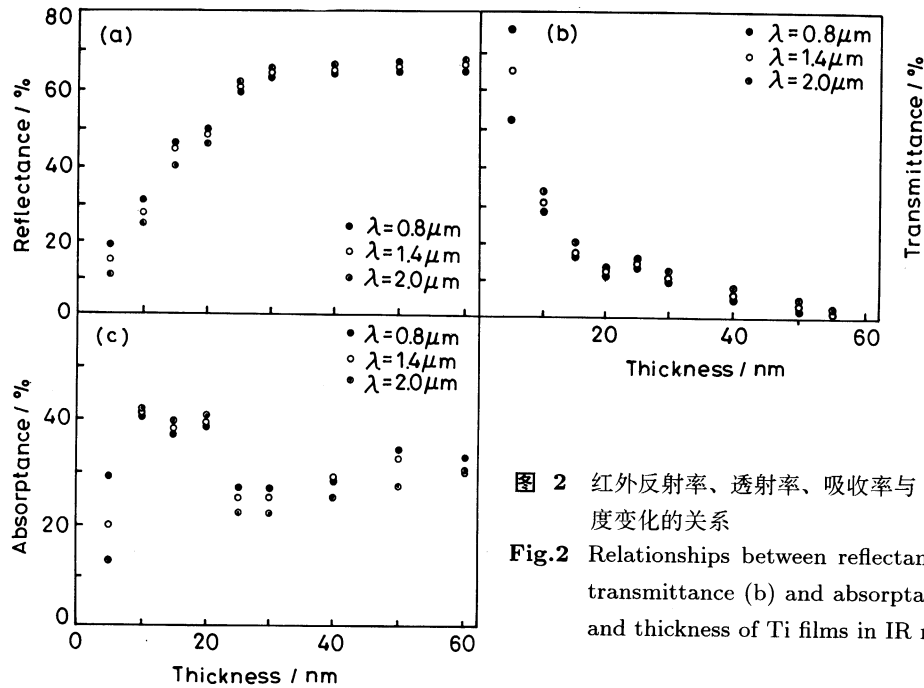


图 2 红外反射率、透射率、吸收率与 Ti 膜厚度变化的关系
Fig.2 Relationships between reflectance (a), transmittance (b) and absorptance (c) and thickness of Ti films in IR region

超薄 Ti 膜的生长属于岛状模式生长^[6], 其间经历岛状膜、网状膜和连续膜 3 个阶段^[7]. 岛状膜可看成金属颗粒与空气构成的连续复合体, 薄膜厚度的增加相当于金属颗粒体积分数的增加. 由于金属颗粒体积分数的增加使金属颗粒对电磁波的散射及相关作用增强, 因此吸收率逐渐增大; 随着金属薄膜厚度的增加, 小岛长大连续形成网状膜. 网状膜具有最高比例的表面原子, 膜面上凸凹不平的小岛内有大量的空洞^[7]. 电磁波经小岛及空洞发生多次反射和散射, 因此吸收率较高, 并且在某一特征尺寸出现极大值; 形成连续膜后, 随着薄膜内的晶粒度变得越来越大^[8,9], 造成单位体积内的晶界的减少, 导致晶界对电磁波的散射作用减弱,

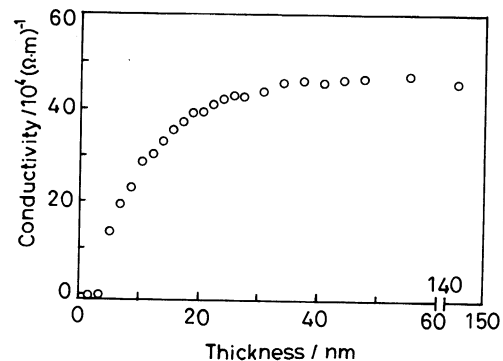


图 3 Ti 膜的直流电导率与厚度的关系
Fig.3 Dependence of dc conductivity on thickness for Ti films

结果使薄膜对电磁波的吸收率逐渐降低。薄膜厚度在 0~5nm 之间时, 薄膜的直流电导率极小, 对应薄膜生长的岛状膜阶段; 薄膜厚度在 10~30nm 之间, 电导率急剧增加, 对应薄膜生长的网状膜阶段; 薄膜厚度超过 35nm 之后, 电导率缓慢上升, 并趋于定值, 这表明薄膜已经连续 (图 3)。

3 结 论

超薄 Ti 膜在可见光、红外、微波频段吸收率随薄膜厚度而变化, 具有尺寸效应, 并出现吸收峰。在红外波段具有较宽吸收平台。

参 考 文 献

- 1 郑 钧, 电磁场与波 (上海, 上海交通大学出版社, 1984) p.191
(ZHENG Jun, Field and Wave Electromagnetics, Jiao tong University Press, Shanghai, 1984) p.191)
- 2 M.Born, E.Wolf, Principles of Optics, (London, 1959) p.612
- 3 黄婉霞, 陈家钊, 毛 健, 涂铭旌, 功能材料, **30**(1), 105(1999)
(HUANG Wanxia, CHEN Jiazhao, MAO Jian, TU Mingsheng, The functional material, **30**(1), 105(1999))
- 4 韩高荣, 汪建勋, 杜丕一, 张溪文, 赵高凌, 材料科学与工程, **17**(4), 1(1999)
(HAN Gaorong, WANG Jianxun, DU Peiyi, ZHANG Xiwen, ZHAO Gaoling, The science and technology of materials, **17**(4), 1(1999))
- 5 白雪东, 中科院金属研究所博士论文 (1999)
(BAI Xuedong, Ph D Thesis of Institute of Metal Research, The Chinese Academy of Science, 1999, p.27)
- 6 闻立时, 固体材料界面研究的物理基础 (北京, 科学出版社, 1991) p.233
(WEN Lishi, Physics Basis of Solid Materials Interface Research, Beijing: Science Press, 1991, p.233)
- 7 薛增泉, 吴全德, 李 浩, 薄膜物理 (北京, 电子工业出版社, 1991) p.21
(XUE Zengquan, WU Quande, LI Hao, Physics of Thin Film, Beijing, Electronic Industry Press, 1991, p.21~27)
- 8 L.S.Wen, R.F.Huang, L.F.Guo, J.Gong, T.Y.Wei, Y.Z.Chuang, J Magn Magn Mater, **126**, 200(1993)
- 9 唐兆麟, 黄荣芳, 闻立时, 材料研究学报, **11**(4), 438(1997)
(TANG Zhaolin, HUANG Rongfang, WEN Lishi, Chinese Journal of Materials Research, **11**(4), 438(1997))