

上述电色显示器还只是原理性装置, 各种性能都有待进一步改进。

参 考 文 献

[1] O. Nakamura, T. Kodama, M. Unenura and Y.

Miyake, 16th Symposium On Cells. Tokyo, Japan. Nov. 5—7, (1975).

[2] S. K. Mohapatra, G. D. Boyd, F. G. Sterz, S. Wagner, F. Wudl, *J. Electrochem. Soc.*, **126** (1979), 805.

[3] B. Tell and F. Wadl, *J. Appl. Phys.*, **50** (1979), 5944.

激光椭圆仪对 P^+ 注入金属表层形成非晶态的分析

隋森芳 吴秉芬 陈清明 陈鹤鸣

(清华大学工程物理系)

1981年4月22日收到

激光椭圆仪是利用椭圆偏振光与物质相互作用之后偏振状态的变化去探索物质性质的一种手段^[1]。对金属表层进行离子注入是获得金属表层非晶态的一种途径。本工作的目的是尝试将激光椭圆仪用于离子注入金属表层的分析, 试图用椭圆仪获得离子注入的金属表层由晶态到非晶态转变的信息, 并把椭圆仪的分析结果与电子衍射的观察进行了对比。工作得到了初步结果。

一、实验条件

1. 样品

金属 Ni 和不锈钢 SS 316。

2. 样品制备

试样经过机械抛光、电解抛光, 最后得到光亮如镜的表面。

3. 离子注入

样品是装置在液氮冷却的低温靶室中。 P^+ 注入^[2]条件为 80keV, 注入剂量分别为 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$, $4.3 \times 10^{16}/\text{cm}^2$, $1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$, $2 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 。

4. 椭圆仪测量

激光波长为 6328 Å, 入射角为 70°。分别对未注入的基体样品及各种不同注入剂量的样品进行了测试。

二、测量方法及结果

金属表面总会有不同程度的粘污(包括极薄的氧化膜), 实验过程中粘污膜不可避免地会发生变化。那么, 如何用椭圆仪测得金属表层性质的变化并排除粘污膜对测量的影响? 我们以金属 Ni 为例, 研究了金属 Ni 和 SS316 的 $\Delta-\Psi$ 曲线(如图 1)。从图 1 曲线可以看到两个重要的特点: 当膜厚从零开始增加时(沿图中箭头方向), Δ 值急剧地变化, Ψ 值几乎不变; 在膜很薄时, 即使膜的折射率发生很大变化, Δ 值和 Ψ 值几乎都不变化。因此, Ψ 值的变化只能是由于衬底光学性质的变化引起的。金属 Ni ($n < k$, 其中 n 为折射率, k 为消光系数) 的 $\Delta-\Psi$ 曲线的这些性质与 K. Vedam^[2] 等分析 Si ($n > k$) 的 $\Delta-\Psi$ 曲线得到的性质是完全类似的。

两种金属样品, 经过低温 P^+ 注入之后, 由椭圆仪测得的 Ψ 值如表 1 所示。

由于椭圆仪测量值对不同注入能量和不同

1) 注入是在北京师范大学的离子注入机上进行的。

2) 椭圆仪的一般方程为 $\text{tg } \Psi e^{i\Delta} = R_p/R_s$, R_p 和 R_s 分别是 P 波和 s 波的反射系数。 $\text{tg } \Psi$ 的物理意义是 P 波与 s 波反射之后的振幅之比; Δ 值物理意义是 P 波与 s 波在反射前后的位相移动之差。 Ψ 值和 Δ 值可以通过椭圆仪的测量而获得。

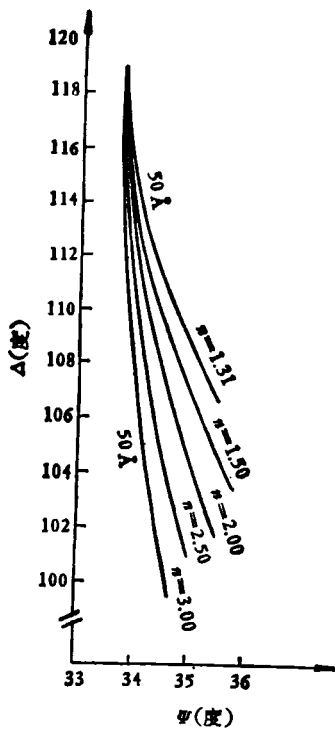


图1 Ni 金属表面出现薄膜时的 Δ - Ψ 曲线

表 1

样 品	Ψ 测 量 值				
	未注入	5×10^{15}	4.3×10^{16}	1×10^{17}	2×10^{17}
Ni-1	33.68	32.20	29.05	28.56	27.73
Ni-2	33.59	32.59	29.82	28.34	27.81
SS316-1	33.77	33.62	31.71	31.88	31.83
SS316-2	33.78	33.50	31.53	31.68	31.64

注入离子都很敏感,为了便于比较,表1中只列出了相同能量下不同剂量的 P^+ 注入的情况。从表1中的 Ψ 数据可以看出,随注入剂量的增加,两种金属的 Ψ 值都在有规律地减小。进一步分析图1曲线不难看出,如果 Ψ 值的变化是由于粘污膜引起的,那样的 Ψ 值应当是沿着增大的方向变化。因此,此处 Ψ 值的有规律减小只能是由于金属表层的性质发生了有规律变化的结果。

三、对测量结果的讨论

在非晶态材料物理性质的研究中,对介电

函数虚部的研究已成为一个重要的实验手段。由于

$$\epsilon_2(E) \propto \sum_{if} |M_{if}|^2 \delta(E - E_f + E_i)^0,$$

$\epsilon_2(E)$ 值的变化应与电子能带结构及电子态密度所发生的变化有关。我们现用的椭圆仪(单色光源)数据虽然不能得到 $\epsilon_2(E)$ 光谱,但可设法得到光子能量 E 为 1.96eV (即 6328 Å) 处的 ϵ_2 值,进而可以研究金属表层的无序程度发生变化时,该 ϵ_2 值会发生什么变化,这正是我们所感兴趣的。

由无膜表面的椭偏术方程可以导出

$$\epsilon_2 = \frac{\sin^2 \phi \tan^2 \phi \sin 4\psi \sin \Delta}{(1 + \sin 2\psi \cos \Delta)^2} = f(\phi, \Delta, \psi),$$

其中 ϕ 为人射角度。

对金属表面的测量, ψ 测量值的变化反映了表层性质的变化(如上节分析)。因此作为近似,把 ϵ_2 计算式中的 Δ 用 Δ_0 代替 (Δ_0 为样品未注入时的 Δ 值),并令此时的 ϵ_2 为赝介电虚部 $\bar{\epsilon}_2$,则有

$$\bar{\epsilon}_2 = f(\phi, \Delta_0, \psi),$$

此处用 $\bar{\epsilon}_2$ 以示与 ϵ_2 有区别。

我们把表1里的 ψ 测量值代入 $\bar{\epsilon}_2$ 的表达式,得到两种金属的 $\bar{\epsilon}_2$ 与注入剂量之间的关系曲线,如图2所示。

金属表层经过离子注入之后,至少会有两方面的变化。一方面是表层引入了注入的杂质原子,随注入剂量的增加,杂质原子的浓度也在增加;另一方面是注入过程会使金属表层产生大量的缺陷(即损伤),这些缺陷在低温的环境下不至于迅速扩散,因而随着注入剂量的加大损伤的程度也在加大。上述两种因素都可能对金属表层的光学性质有影响,但是从图2的 $\bar{\epsilon}_2$ 曲线可以分析出,两种因素对 $\bar{\epsilon}_2$ 的影响并不一样。以图2中的 SS 316 的 $\bar{\epsilon}_2$ 曲线为例,当注入剂量分别为 $4.3 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 和 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 时,

1) $\epsilon_2(E)$ 是复介电函数 $\epsilon(E) = \epsilon_1(E) + i\epsilon_2(E)$ 的虚部, E 是入射光子能量。式中 M_{if} 是入射光波对电子作用的微扰矩阵元, E_i 和 E_f 分别是电子的初态能量和跃迁之后状态的能量。

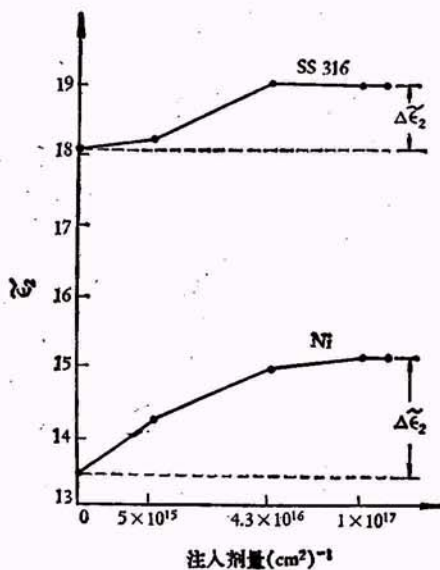


图2 \bar{s}_2 值随注入剂量的变化

尽管二者引起的杂质浓度相差很大,但 \bar{s}_2 值几乎没有多少变化.说明在本实验所采用的注入剂量范围内, \bar{s}_2 值对杂质浓度并不敏感,因而可以认为引起 \bar{s}_2 值变化的主要因素是注入损伤所致.分析 \bar{s}_2 曲线得到的这种看法与文献[3]的实验结论是一致的.

由此,图2曲线可以说明,随着注入剂量的加大, \bar{s}_2 值开始时上升,应是表层的无序程度在加剧.不锈钢 SS316 在 P^+ 注入剂量达 $4.3 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 时, \bar{s}_2 开始趋于饱和,说明此时的无序程度也趋于“饱和”,应该形成了非晶质层;而金属 Ni 的 \bar{s}_2 值的转变点在 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 附近(可能在 $4.3 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 至 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 之间),因此 Ni 形成非晶质层的注入剂量也应在 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 附近,说明 Ni 形成非晶态比 SS 316 形成非晶态更困难些.

从 \bar{s}_2 曲线还可以看出,金属 Ni 的 \bar{s}_2 值达到“饱和”时所经历的变化“ $\Delta \bar{s}_2$ ”比 SS 316 的变化要大得多(如图2所示),说明金属 Ni 转变成非晶态时 \bar{s}_2 值要发生较大的相对变化,而 SS316 的 \bar{s}_2 值的相对变化要小些.这可能因为 SS 316 已是合金,本来已有一定程度的无序,因此它达到非晶态时的相对变化要小些.

为了证实上述对 \bar{s}_2 曲线的分析,对同样样

物理

品进行了电子衍射观察. SS 316 的电子衍射图象表明,在注入剂量为 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 时,是多晶衍射环[图3(a)],但注入剂量为 $4.3 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 时,衍射环已弥散[图3(b)],说明此时的 SS316 样品已转变成非晶态.对于 Ni 的电子衍射观察表明,在注入剂量为 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 及 $4.3 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 时,仍然是多晶衍射环,说明在这两种注入剂量下的 Ni 还未形成非晶态;当注入剂量为 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 时,衍射环也已弥散(图4),说明 Ni 的表层已形成非晶态.

总之,电子衍射图象所观察到的现象与椭圆仪的 \bar{s}_2 曲线所分析得到的信息是一致的,说明 \bar{s}_2 值的变化可以为我们提供由晶态到非晶态转变的信息.



图3 SS 316 的电子衍射
(a) 为 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$; (b) 为 $4.3 \times 10^{16}/\text{cm}^2$



图4 Ni 的电子衍射 ($1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$)

另外值得注意的是, M. M. Ibrahim^[4] 等人曾用椭圆仪分析 Ar^+ 轰击对 Si 表面引起的损伤, K. Vedam^[2] 则测量了不同制备工艺的 Si 表面的 ψ 值,他们经过不同的实验都证明随着 Si 表层的损伤加剧 ψ 值相应地加大的现象,与本实验得到的 ψ 值减小的现象相反.对此,我们把 M. M. Ibrahim 和 K. Vedam 各自发

表 2

不同制备工艺的样品 (Si)	ψ 值 (K. Vedam ^[2])	$\bar{\epsilon}_2$ (5461 Å)
化学抛光	11.83	1.2790
劈裂+退火	11.90	1.2943
劈裂	12.34	1.3942
Ar ⁺ 溅射	15.92	2.4942
机械抛光	16.35	2.6703

Ar ⁺ 轰击能量 (Si 样品)	ψ 值 (M.M. Ibrahim ^[4])	$\bar{\epsilon}_2$ (6328 Å)
0	10.73	0.3602
200eV	10.93	0.3732
300eV	11.13	0.3865
400eV	11.43	0.4073

表的测量数据进行处理, 计算出相应的 $\bar{\epsilon}_2$, 见

表 2。

从表 2 数据可以看出, 当 Si 的 ψ 值上升时, 其 $\bar{\epsilon}_2$ 值是跟着上升的。这说明随着损伤程度加大, 尽管 Si 的 ψ 值变化方向与 Ni, SS316 的 ψ 值的变化方向相反, 但二者的 $\bar{\epsilon}_2$ 值的变化方向却是一致的, 说明 $\bar{\epsilon}_2$ 值比较好地反映了 ψ 值变化的物理内容。

参 考 文 献

- [1] R. M. A. Azzam, N. M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized Light* (North-Holland Publishing Company-Amsterdam, New York, Oxford, 1977), 417-486.
- [2] K. Vedam, *Surface Science*, 56 (1976), 221.
- [3] 莫党等, *半导体学报*, 1-3 (1980), 198.
- [4] M. M. Ibrahim, N. M. Bashara, *Surface Science*, 30 (1972), 632.

平行光束的环状聚焦

刘 国 松

(河北省科学院激光研究所)

1981年9月4日收到

平行光束的聚焦一般都用透镜或反射镜聚成一点即所谓点聚焦。根据激光应用技术及其它方面的具体需要, 我们解决了平行光束的环状聚焦问题。McLeod^[1,2], Barber^[3], Bélanger^[4,5] 等人^[6], 近三十年来做了大量的理论及实验工作, 他们的器件都是一些由旋转棱镜与正透镜组成的双镜系统。我们的器件是一个一侧是球面另一侧是内圆锥面的单镜系统, 与国外系统相比, 具有有效体积小, 可减少能量损失; 反射面少, 可减弱有害的反射和干涉现象; 设计简单方便等特点。我们根据这种新型环聚焦镜的构造原理, 从平行光点聚焦的概念出发, 对环聚焦系统的成象原理及成象质量进行了分析, 避免了繁杂的数理方程计算^[4,5]。

从焦环的几何形状, 可推断它的聚焦系统是一轴对称的旋转体。那么, 平行光束在三维

空间中的环状聚焦则成为在平面内形成轴外点聚焦。这一点, 可通过改变入射光与透镜的正交状态来实现。我们采取变化透镜位置使入射光线与其斜交的方法, 进行了器件设计。简述如下: 在平面内, 令一弓形绕弧的圆心向下移动, 使之偏离原主轴位置。这样, 与原主轴平行的人射光束就会与弓形形成斜交。如果弓形内被认为充满了折射率为 n 的材料, 那么光束通

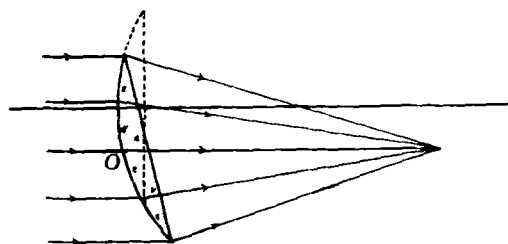


图 1 平行光束通过偏离原主轴的弓形透镜获得轴外点聚焦