

超导薄膜的光辐射退火

景俊海 孙青

(西安电子科技大学物理系)

本文介绍了超导薄膜的低温光辐射退火工艺,采用该工艺,可有效地降低工艺温度,并显著地提高 $T_c(0)$ 值。

人们采用电子束蒸发^[1]、分子束外延^[2,3]、溅射^[4,5]、激光蒸发淀积^[6-13]等技术已经制备出了 $Ba_2LnCu_3O_{7-x}$ (Ln 为 Y, La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb) 超导薄膜。这种氧化物超导薄膜有可能应用于多种技术领域。在半导体集成电路领域,它可用作低电阻连线,这已成为超高速器件发展中十分引人注目的问题^[14]。为了将超导薄膜用于这种目的,而不影响衬底器件的特性,必须采取低温制造工艺。通常制备超导薄膜,要在高达 900°C 的温度下对薄膜进行氧化退火处理,以获得高温超导电性^[15]。然而,高温退火处理不仅使薄膜的表面变得粗糙,引起衬底弯曲,而且可能会使薄膜与衬底材料的成分互相扩散,因此降低薄膜的退火温度是很必要的。

光辐射用于低温制备半导体薄膜是非常成功的^[16,17]。在氧化物超导薄膜的退火过程中,光辐射可以在低温下促进薄膜晶体化以及控制薄膜中氧的含量。Nagata 等人^[18]作了这方面尝试,取得了满意的效果。

Nagata 等人用交流溅射法制备出了 Yb-Ba-Cu-O (镱钡铜氧)超导薄膜,在溅射或退火过程中用紫外光照射薄膜,所用的交流溅射装置如图 1 所示。低压水银灯(110 W)发出的紫外光透过固定在淀积室上方的石英窗,照射在淀积室内的衬底上,两个靶同时又用作电极。当衬底由红外灯加热到 650°C 时,给两个靶之间加 9 kV, 50 Hz 交流电压,在 0.1 Torr 压力的氧、氩混合气体中进行溅射,溅射过程完成后,给淀积室引入适量的氧气,进行氧化退火处理。

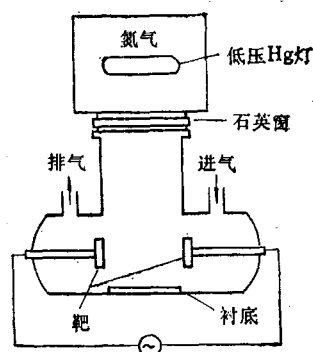


图 1 交流溅射退火装置示意图

氧化物超导薄膜的制备要完成两个主要工序,即溅射工序和氧化退火工序。在薄膜制备的各个工序中紫外光辐射的影响列在表 1 中。可以看出,无紫外光辐射制备的 Yb-Ba-Cu-O 薄膜的零电阻温度一般比较低,而在溅射期间或氧化退火期间用紫外光照射薄膜,可显著提高超导薄膜的零电阻温度 $T_c(0)$ 。在溅射期间未受紫外光辐射的样品 (a) 的 $T_c(0)$ 为 53 K, 而受紫外光辐射的样品 (b) 的 $T_c(0)$ 为 61 K, 增加了 8 K; 在氧化退火期间对 b 样品再进行光辐射, 则其 $T_c(0)$ 增加到 63 K; 仅在氧化退火期间受紫外光辐射的样品 (c) 的 $T_c(0)$ 可提高到 68 K, 比未受紫外光辐射的相同样品 (a) 的 $T_c(0)$ 值增加了 15 K。结果表明, 在氧化退火期间对薄膜进行光辐射比溅射期间进行光辐射的效果要显著得多。此外, 紫外光氧化退火可降低薄膜电阻 2—3 倍^[18], 这是因为在氧化退火期间的光辐射使薄膜活化, 促进了在低温下薄膜的晶体化, 也因为低压水

表 1 用交流溅射法制备 Yb-Ba-Cu-O 薄膜时,紫外光辐射条件和薄膜的 $T_c(0)$ 值

| 样品 | 溅射 工序 | 退 火 工 序* | | | $T_c(0)$ (K) |
|------|----------|-------------|-------------|-------|-----------------|
| | | 650°C+400°C | 700°C+400°C | 400°C | |
| a | × | × | — | — | 53 |
| b | ○ | × | — | — | 61 |
| c | × | ○ | — | — | 68 |
| d | ○ | ○ | — | — | 63 |
| e | × | — | × | — | 62 |
| f | × | — | ○ | — | 70 |
| g** | — | — | — | × | 52 |
| h*** | — | — | — | ○ | 60 |

○ 为紫外光辐射; ×: 无紫外光辐射;

* 在氧气氛中退火 30 分钟;

** 对薄膜 a 再退火;

*** 对薄膜 h 再退火。

银灯以两个主波长 254 nm 和 185 nm 发射光子, 185 nm 的光子能量高到足以从 O_2 中产生臭氧或原子氧^[19], 而臭氧与原子氧加速了 Yb-Ba-Cu-O 薄膜中氧的吸收。

Aizaki 等人^[14]用氩离子激光退火工艺将离子束溅射法制备的 Y-Ba-Cu-O (钇钡铜氧) 非超导薄膜转变为超导薄膜, 其起始转变温度为 80 K, 零电阻温度为 60 K。

光辐射退火的优点是降低了工艺温度, 降低了薄膜电阻, 提高了 $T_c(0)$ 值。若要进一步提高 $T_c(0)$ 值, 可采用 Inam 等人^[20]所提出的激光蒸发淀积技术, 他们把衬底加热到 650°C 左右, 在激光蒸发淀积的同时, 给淀积室引入氧气, 通过激光对氧气的作用产生臭氧或原子氧, 使氧进入薄膜中, 也就是淀积的同时进行了氧化退火处理。采用该方法淀积 Y-Ba-Cu-O 薄膜的 $T_c(0)$ 高达 89 K, $J_c(77)$ 为 $7 \times 10^5 A/cm^2$ 。

cm^2 。

总之, 采用光辐射对超导薄膜进行氧化退火处理, 可降低工艺温度, 有效地提高 $T_c(0)$ 值。最好采用紫外光进行退火处理, 因为紫外光光子能量高。至于准分子激光器和低压水银灯的效果的比较还需进一步研究, 一般认为准分子激光器可能优于低压水银灯, 但激光功率、重复频率、脉冲宽度、扫描速率、扫描间距如何选择, 仍待进一步确定。

- [1] D. K. Lathrop et al., *Appl. Phys. Lett.*, **51**(1987), 1554.
- [2] J. Kwo et al., *Phys. Rev. B*, **36**(1987), 4089.
- [3] C. Webb et al., *Appl. Phys. Lett.*, **51**(1987), 1191.
- [4] P. Chaudhari et al., *Phys. Rev. Lett.*, **58**(1987), 2684.
- [5] M. Naito et al., *J. Mater. Res.*, **2**(1987), 713.
- [6] S. Komuro et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27**(1988), L34.
- [7] T. Venkatesan et al., *Appl. Phys. Lett.*, **52**(1988), 1193.
- [8] H. Lengfellner et al., *J. Phys. D*, **22**(1989), 323.
- [9] Q. Y. Ying et al., *Appl. Phys. Lett.*, **53**(1988), 1762.
- [10] S. Miura et al., *Appl. Phys. Lett.*, **52**(1988), 1008.
- [11] H. S. Kwok et al., *Appl. Phys. Lett.*, **52**(1988), 1825.
- [12] B. Roas et al., *Appl. Phys. Lett.*, **53**(1988), 1557.
- [13] M. Kawasaki et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**(1987), L738.
- [14] N. Aizaki et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27**(1988), L231.
- [15] Y. Enomoto et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**(1987), 1.
- [16] 孙青等, 微电子学与计算机, **5-2**(1988), 1.
- [17] 景俊海、孙青, 科学通报, **34**(1989), 1457.
- [18] S. Nagata et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27**(1988), L1248, L1249.
- [19] J. Nishizawa et al., *Electrochem. Soc.*, **132**(1985), 1197.
- [20] A. Inam et al., *Appl. Phys. Lett.*, **53**(1988), 908.

(上接第437页)

的问题, 为我们提供国内难得的光学资料, 寄来他在 1987, 1988 两年出版的新著。这种终生为科学奋斗、爱人以德的精神与高尚情操, 使我们深受感动。弗朗松教授还想约七位法国老教授写出一部物理学史的专著, 内容分古代、中世纪和近代 (包括狭义和广义相对论与量子力学的

发展), 他在来信中提到, 这将是一部规模宏大的专著, 要花费好几年的时间方能完成。

我们祝愿弗朗松教授健康长寿, 希望他在他的晚年为光学领域的后来人留下更为丰盛的物质和精神财富, 为促进中法两国的文化交流作出更大的贡献!