

文章编号:1007-2780(2009)05-0675-06

柔性透明导电氧化物薄膜的制备及其应用

邵景珍¹,董伟伟^{1,2},陶汝华^{1,2},邓赞红^{1,2},方晓东^{1,2*}

(1. 中国科学院 安徽光学精密机械研究所,安徽 合肥 230031,E-mail: jzshao@mail.ustc.edu.cn;

2. 中国科学院 等离子体物理研究所 新型薄膜太阳能电池重点实验室,安徽 合肥 230031)

摘 要: 柔性透明导电氧化物薄膜以其重量轻、不易碎、成本低等独特的优点而备受青睐,在塑料液晶显示、可折叠太阳能电池等领域得到广泛的应用。文章介绍了目前制备柔性透明导电氧化物薄膜的主要技术及其优缺点,总结了近年来对柔性衬底的处理方法,最后对柔性透明导电氧化物薄膜在各个领域的开发应用和未来的重点研究方向进行了展望。

关 键 词: 透明;导电;氧化物薄膜;柔性衬底

中图分类号: TN304 **文献标识码:** A

1 引 言

透明导电氧化物(Transparent Conductive Oxide, TCO)因其可见光透过率高、电阻率低等特点得到越来越广泛的重视,应用范围十分广泛。自 1907 年 Badeker^[1]利用 CdO 制备出第一块透明导电膜至今,用于制备透明导电膜的材料已涵盖 In, Sn, Zn, Cd 多种氧化物及多元复合氧化物,制备出的透明导电薄膜广泛应用于太阳能电池板、平板显示、红外热反射镜等领域。目前,研究较多的是 SnO₂ 基, In₂O₃ 基和 ZnO 基材料,其中以 Sn 掺杂的 In₂O₃ (In₂O₃: Sn, ITO)和 Al 掺杂的 ZnO(ZnO: Al, AZO)研究较为广泛。研究者为了开发适合特殊用途的 TCO 薄膜,还研制出一些新型的多元化合物 TCO 薄膜,如 ZnO-SnO₂, ZnO-In₂O₃, ZnAl₂O₄, Cd₂SnO₄, CdIn₂O₄ 等^[2-6];以及具有 p 型导电特性的 TCO 薄膜,如 CuAlO₂, SrCu₂O₂ 等^[7,8]。

TCO 薄膜的制备通常都是在硬质衬底上,如玻璃衬底、透明陶瓷衬底等。薄膜的有关光电特性也很好,如 Kim H^[9]等采用脉冲激光沉积(Pulse Laser Deposition, PLD)方法在 200 ℃ 的玻璃衬底上获得了电阻率为 $3.7 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$, 透过率为 90% 的 AZO 薄膜;Reddy K T R^[10]等

采用喷射热分解法获得了电阻率为 $7.6 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$, 透过率 >85% 的 ZnO:Ga(GZO)薄膜。玻璃等硬质衬底材质脆,不能弯曲,在某些方面限制了透明导电氧化物薄膜的应用。在柔性衬底上(如塑料、橡胶等)制备的 TCO 膜具有可折叠、重量轻、不易碎、易于大面积生产、便于运输和设备投资少等优点,可广泛应用于平板显示器、太阳能电池、农用透明隔热保温塑料大棚等领域。

本文就目前柔性透明导电薄膜制备中对柔性衬底的选择与处理以及柔性透明导电氧化物薄膜制备技术的优缺点进行了对比研究,并对柔性透明导电氧化物薄膜的应用和发展前景进行了展望。

2 柔性衬底材料的选择与处理

柔性材料主要是指有机聚合物材料,如聚丙烯、聚酯材料等。对柔性衬底材料的选择一般要考虑到以下几点:

- (1)衬底材料的透过率;
- (2)衬底和薄膜间热膨胀系数的匹配性;
- (3)柔性衬底与透明导电薄膜的粘附性。

近年来,研究人员用不同的制备技术在米拉(Mylar)薄膜、聚乙烯对苯二甲酯(Polyethylene terephthalate, PET)、聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)、聚丙烯(Acrylic)、聚酰亚胺(Polyimide,

收稿日期: 2009-02-27; 修订日期: 2009-03-23

基金项目: 安徽省自然科学基金(No. 090414069)

* 通讯联系人, E-mail: sjzxx2001@126.com

PI)、聚丙烯己二酯(Polypropylene adipate, PPA)、聚醚砜(Polyethersulphone, PES)等基片上都成功制备出了透明导电氧化物薄膜。

由于柔性衬底一般都不耐高温,因此薄膜的沉积需在低温下进行;然而太低的温度不利于薄膜的结晶与成相,对薄膜与衬底之间的附着力也有很大的影响。为了克服以上缺点,通常在沉积薄膜之前要先对衬底材料进行处理,处理方法一般有以下几种:

(1)在衬底上施加一负偏压。衬底负偏压可吸引部分阳离子不断轰击衬底从而改善薄膜性质, Ma H L^[11]等采用偏压磁控溅射的方法在水冷的 PPA 衬底上获得了性能良好的 ZnO:Al 薄膜,发现适当的负偏压能够提高薄膜的结晶质量。

(2)在柔性衬底上沉积无机缓冲层。缓冲层的增加提高了柔性衬底的阻隔性,从而有利于薄膜的生长,降低了导电薄膜的电阻率。通常沉积的无机缓冲层有 SiO₂, ZnO, Al₂O₃ 等。Pei Z L^[12]等在制备 AZO 膜时,首先在 PET 衬底上沉积一层 Al₂O₃ 膜作为缓冲层,与直接在 PET 上沉积的 AZO 膜相比较,其方块电阻有了明显降低,在 Al₂O₃ 上沉积的 AZO 薄膜电阻率为 $8.4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$,光学透过率为 80%。Kim S^[13]等利用射频磁控溅射法在涂有 ZnO 的 PET 衬底上沉积了 GZO 薄膜,分析了 ZnO 厚度对 GZO 薄膜光电性能的影响,发现当 ZnO 层厚为 140 nm 时 GZO 薄膜的电阻率降到最小值 $8.4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$,光学透过率达到 85% 以上,相应的载流子浓度和迁移率分别为 $7.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, $9.4 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(3)采用反映离子刻蚀(RIE)的方法对衬底进行刻蚀以提高其粗糙程度,从而增加柔性衬底对薄膜的附着力。Chiou B S^[14]等采用此法对聚丙烯薄膜进行刻蚀用来生长 ITO 薄膜,发现经过功率为 25 W 的 CF₄-O₂ 气体进行 25 min 的刻蚀后的柔性衬底,其均方根粗糙度从 22.3 nm 变化到 30.1 nm,附着力提高到原来的 5 倍,虽然薄膜透过率有所降低,但薄膜电学性能良好,电阻率为 $7.4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 。

3 柔性 TCO 膜的制备技术

目前,制备透明导电氧化物薄膜的方法主要有溅射法、脉冲激光沉积法、溶胶凝胶法、离子镀膜法、真空蒸镀法和分子束外延法等^[15-19]。由于柔

性衬底不耐高温的特点,所以在有机衬底上沉积的透明导电氧化物薄膜,通常采用溅射法、真空蒸镀法和离子镀膜法来制备。退火对提高沉积薄膜的质量有一定的作用,通过改进退火技术,退火温度可以得到有效降低,使各种制备技术被有效利用。

3.1 溅射法

所谓溅射(Sputtering)是指荷能粒子轰击固体表面(靶),使固体原子(或分子)从表面射出现象。射出的粒子大多呈原子状态,常称为溅射原子。用于轰击靶的荷能粒子可以是电子、离子或中性粒子,因为离子在电场下易于加速并易于获得所需要的动能,因此大多采用离子作为轰击粒子。一般常用 Ar 作为工作气体,Ar 的电离提供轰击粒子。溅射法具有沉积速率高、基片温度低、成膜黏附性好、易控制、重复性好、能实现大面积制膜等优点,已成为当今工业化生产中研究最多、最成熟、应用最广的一项成膜技术,也是透明导电氧化物薄膜制备技术的研究热点。

Fan J C C^[19]利用离子束溅射法在 Mylar 衬底上成功制备了 ITO 薄膜,讨论了氧分压对薄膜电学性质的影响。当氧分压在 $2.7 \times 10^{-3} \sim 4 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 范围内,所得 ITO 膜的电阻率约为 $5.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$,透过率超过 80%,红外反射率达 84%。Yang T L^[20]等首次利用射频磁控溅射法在有机衬底 PPA 上制备了 ZnO:Al 透明导电膜,所制备的薄膜是具有(002)面的单一择优取向的多晶六角纤锌矿结构,电阻率为 $1.84 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$,载流子浓度为 $4.62 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$,霍尔迁移率为 $7.34 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,薄膜在可见光范围内的平均透过率超过了 84%。Lee K-I^[21]等采用直流溅射法在 PC 衬底上制备了最低电阻率为 $4.5 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 的 AZO 薄膜,其光学透过率达到 80% 以上。

3.2 脉冲激光沉积法

脉冲激光沉积(PLD)是 20 世纪 80 年代后期发展起来的一种新型薄膜制备技术。高能激光束照射到靶材表面时,靶材被迅速加热、蒸发、电离,并膨胀形成高温等离子体羽辉,当羽辉中的物质与被加热的基板接触时,便在上面沉积成膜。脉冲激光沉积是一种很有竞争力的物理真空沉积法,其特点是:工艺参数独立可调,可精确控制化学计量,制备出的薄膜成分与靶材保持一致,高真空环境对薄膜污染少,可制成高纯薄膜,反应迅

速,生长快,同时它对基片温度的要求不高,因此适合在柔性衬底上制备薄膜。

Kim H^[22]等用此法在 PET 衬底上成功制备了 ITO 薄膜,讨论了不同温度下氧分压对薄膜电阻率和透过率的影响,发现当氧分压在从 0 升到 5.3 Pa 的过程中,薄膜电阻率下降很快,薄膜的透过率也迅速增加。可见在 PLD 技术中氧分压对薄膜的光电性能影响很大。

3.3 溶胶凝胶法

溶胶凝胶(Sol-gel)技术是应用胶体化学原理制备无机材料的一种湿化学方法。其基本过程是一些易水解的金属化合物(无机盐或金属醇盐)在某种溶剂中与水发生反应,经过水解与缩聚过程,再经过干燥、烧结等后处理工序,最后制得所需的材料。按工艺可分为旋涂(Spin coating)和浸涂(Dip coating)两种方法,旋涂法是通过将前体溶液滴在衬底后旋转衬底获得湿膜。而浸涂法则是将衬底插入含有金属离子的前体溶液中,以均匀速度将其提拉出来,在含有水分的空气中发生水解和聚合反应,最后通过热处理形成所需薄膜。Sol-gel 法制备薄膜具有其它方法所无法比拟的优势,此法无需真空,工艺简单,能在任意形状衬底上大面积均匀成膜,且很容易均匀定量地

掺入一些微量元素,可实现分子水平上的均匀掺杂,尤其适用于掺杂水平要求精确和多组分体系薄膜的制备。

溶胶凝胶法制备薄膜的优势显而易见,但此法必须经过 200 ℃ 以上的后续高温退火处理,无法满足在聚合物等衬底上制备 TCO 薄膜的要求。然而可通过改变后续退火方法来降低退火温度,以更好地发挥溶胶凝胶法的优势,从而促进 TCO 薄膜行业的发展。Asakuma N^[23]等采用此法在有机聚合物衬底 PET 和 PI 上沉积了 ITO 膜,通过 ArF 激光器对薄膜进行了 UV 激光照射,明显降低了薄膜的电阻率。如表 1 所示,在有机衬底上经过激光照射所得到的薄膜,与在玻璃衬底经过高温处理的薄膜相比较,其电阻率相差无几。Chung W^[24]等利用 XeCl 准分子激光器对 ITO 膜进行后退火处理,薄膜电阻率由 $1.91 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 降至 $2.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$,透过率由 70% 增加到 85%。虽然他们采用的是直流磁控溅射的方法制备薄膜,但其激光退火的方法是可以借鉴的。如果采用溶胶-凝胶工艺进行 TCO 薄膜的产业化生产,必将大大降低生产成本,利于实际应用。

表 1 Sol-gel 法制备 ITO 薄膜与 In₂O₃ 薄膜的电阻率^[23]

Table 1 Resistivity of Sol-gel derived ITO and In₂O₃ films^[23]

Process		Condition	Resistivity($\Omega \cdot \text{cm}$)	Thickness(nm)
ITO	Heating	100℃	$>1.0 \times 10^2$	100
		300 ℃	6.0×10^{-1}	60
		600 ℃	2.2×10^{-2}	50
	Irradiation	10 mJ/cm ² , 1 000 shots on glass	4.4×10^{-1}	95
		20 mJ/cm ² , 100 shots on glass	3.1×10^{-2}	75
		20 mJ/cm ² , 10 shots on PET	6.3×10^{-2}	95
		20 mJ/cm ² , 10 shots on polyimide	6.2×10^{-2}	95
In ₂ O ₃	Heating	600 ℃	2.1×10^{-1}	45
	Irradiation	20 mJ/cm ² , 100 shots on glass	1.9×10^{-1}	70

4 柔性 TCO 膜的应用

透明导电氧化物薄膜因其优异的光电特性,在液晶显示器、太阳能电池、发光器件、防霜玻璃、气敏器件、节能建筑窗玻璃等领域得到广泛的应

用,是信息产业中不可缺少的材料。柔性衬底 TCO 薄膜的开发使其潜在用途扩大到制造柔性发光器件、可折叠太阳能电池、塑料液晶显示器以及作为保温材料用于塑料大棚、玻璃粘贴膜等,使市场范围扩大,促进了产业化发展。

4.1 塑料液晶显示器

透明导电氧化物薄膜是液晶显示器的基础材料,通常液晶显示器对 TCO 膜的要求是电阻率低于 $2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$,透过率大于 85%。目前,柔性衬底上的 TCO 膜的光电性能已经达到这个要求。1997 年日本生产了以柔性衬底 ITO 膜为透明电极的液晶显示,随后韩国三星、LG 飞利浦等公司也相继推出了柔性液晶显示产品。然而 LCD 图像质量取决于聚合物之间的单元间隙,弯曲会对 LCD 的图像质量产生影响,这是柔性液晶显示所面临的一个挑战。

4.2 可折叠太阳能电池

随着人们对太阳能的进一步开发利用,太阳能电池行业迅速发展,透明导电氧化物薄膜在太阳能电池中用作减反层和透明电极,可提高电池的转换效率。柔性太阳能电池以其独特的优点——重量轻、可折叠、可卷曲甚至可以粘贴在其它物体的表面而备受青睐,美国、日本、韩国等国家已经相继报道了柔性太阳能电池的成功研发。在国内,哈尔滨-克罗拉太阳能电力公司于 1995 年研制出透明聚合物衬底非晶硅太阳能电池。柔性太阳能电池具有成本低、重量轻、应用范围广、携带方便等优点,只要光电转换率达到应用水平,市场前景非常广阔。目前各国科学家正致力于柔性 TCO 膜性能的优化,以提高柔性太阳能电池的光电转换率。

4.3 柔性有机发光器件

有机发光二极管(OLED)的一般结构是由一金属阴极和一透明阳极以及夹在其间的一层有机电致发光介质组成。在这种夹层结构中,透明阳极既是空穴注入层又是透光面,因此要求阳极材料同时兼有高的电导率和透过率,阳极材料光电性能的优劣直接影响整个器件的性能。透明导电氧化物恰好满足 OLED 对阳极材料的要求,而柔性有机发光器件(FOLED)就是将柔性 TCO 薄膜

用作透明阳极。在显示技术中,FOLED 显示器可以被卷起、折叠,或者作为可穿戴的计算机的一部分来被穿上,这种设备比传统玻璃基板的显示器更耐用、生产成本更少且减轻了整个屏幕的重量使其特别适用于便携式设备。2004 年日本先锋公司率先推出了彩色柔性显示器,2007 年 5 月日本索尼公司发布了一款可以在弯曲状态下正常显示图像的 FOLED 产品。然而由于 OLED 对水、氧非常敏感,塑料基板对水、氧的阻隔性较差,因此寻找适合 FOLED 要求的封装方法和性能优良的衬底材料是其发展的首要因素。

4.4 其它应用

利用透明导电氧化物在可见光的高透过率和对红外光的高反射性,可用作透明隔热保温材料用于塑料大棚、视窗玻璃和民用建筑玻璃贴膜等。而且薄膜通电以后会产生热量,利用这一特点可将其用于汽车或飞机的挡风玻璃,照相机镜头等以收到防雾防霜的效果。

5 展 望

柔性 TCO 薄膜因其独特的优点而得到广泛的应用,不同领域对其具体性能要求有所不同,但基本要求是:电阻率低;对可见光透过率高;重量轻;挠曲性好;易加工;耐冲击等。随着平面显示和太阳能电池技术产业的发展,对 TCO 薄膜性能的要求越来越高,各国研究者正在不断改进 TCO 薄膜的制备方法,寻找更好的柔性衬底,朝着完善薄膜性能、降低反应温度和制备成本等方向努力。近年来人们已经在各种不同柔性衬底上制备了性能优良的 ITO 薄膜,并且得到了广泛应用。但是,由于 In 材料稀少,价格昂贵,且 ITO 薄膜在氢等离子体中不稳定,所以开发新的透明导电材料,或者将几种 TCO 材料进行组合,制备出一些具有新特点的多元 TCO 薄膜,已成为当前透明导电薄膜领域研究的重点。

参 考 文 献:

- [1] Badeker K. Electrical conductivity and thermo-electromotive force of some metallic ampounds [J]. *Ann. Phys.*, (Leipzig), 1907, 22(4): 749-766.
- [2] Çetinörgü E. Characteristics of filtered vacuum arc deposited ZnO-SnO₂ thin films on room temperature substrates [J]. *Optics Communications*, 2007, 280(1):114-119.
- [3] Chang S C, Shiao M H. Smooth indium zinc oxide film prepared by sputtering a In₂O₃:ZnO = 95:5 target [J].

- Microelectronics J.*, 2007, 38(12): 1202-1206.
- [4] Kumar K, Ramamoorthy K, Koinkar P M, *et al.* A novel in situ synthesis and growth of ZnAl_2O_4 thin films [J]. *J. Crystal Growth*, 2006, 289(1): 405-407.
- [5] Abrutis A, Valincius G, Baltrunas G, *et al.* Spray-pyrolysis Cd_2SnO_4 films for electrochemical applications [J]. *Thin Solid Films*, 2007, 515(17): 6817-6823.
- [6] Yang F F, Fang L, Zhang S F, *et al.* Optical properties of CdIn_2O_4 thin films prepared by DC reactive magnetron sputtering [J]. *J. Crystal Growth*, 2006, 297(2): 411-418.
- [7] Neumann-Spallart M, Pai S P, Pinto R. PLD growth of CuAlO_2 [J]. *Thin Solid Films*, 2007, 515(24): 8641-8644.
- [8] Varadarajan V, Norton D P, Budai J D. Phase stability and orientation of SrCu_2O_2 films grown by pulsed laser deposition [J]. *Thin Solid Films*, 2005, 488(1-2): 173-177.
- [9] Kim H, Pique A, Horwitz J S, *et al.* Effect of aluminum doping on zinc oxide thin films grown by pulsed laser deposition for organic light-emitting devices [J]. *Thin Solid Films*, 2000, 377-378(1): 798-802.
- [10] Reddy K T R, Reddy T B S, Forbes I, *et al.* Highly oriented and conducting ZnO:Ga layers grown by chemical spray pyrolysis [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2002, 151-152(1): 110-113.
- [11] Ma H L, Hao X T, Ma J, *et al.* Bias voltage dependence of properties for ZnO:Al films deposited on flexible substrate [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2002, 161(1): 58-61.
- [12] Pei Z L, Zhang X B, Zhang G P, *et al.* Transparent conductive ZnO:Al thin films deposited on flexible substrates prepared by direct current magnetron sputtering [J]. *Thin Solid Films*, 2006, 497(1-2): 20-23.
- [13] Kim S, Lee W, Lee C. Influence of ZnO buffer layer thickness on electrical and optical properties of GZO thin films deposited on polymer substrates [J]. *Materials Science and Technology*, 2007, 23(3): 303-306.
- [14] Chiou B S, Hsieh S T. R. f. magnetron-sputtered indium tin oxide film on a reactively ion-etched acrylic substrate [J]. *Thin Solid Films*, 1993, 229(2): 146-155.
- [15] 李爱侠, 毕红, 刘艳美, 等. Co, Cu 共掺杂 ZnO 薄膜的结构及发光特性 [J]. 发光学报, 2008, 29(2): 289-294.
- [16] 孙杰, 钟声, 张伟英, 等. Ag 掺杂 p 型 ZnO 薄膜及其同质结的光电性质 [J]. 发光学报, 2008, 29(2): 304-308.
- [17] 叶志高, 朱丽萍, 彭英姿, 等. 激光脉冲沉积法 (PLD) 生长 Co 掺杂 ZnO 薄膜及其磁学性能 [J]. 发光学报, 2008, 29(3): 486-491.
- [18] 徐小丽, 马书懿, 陈彦, 等. 氧分压对磁控溅射制备 ZnO 薄膜的结构及光学特性的影响 [J]. 发光学报, 2007, 28(5): 730-735.
- [19] Fan J C C. Preparation of Sn-doped In_2O_3 (ITO) films at low deposition temperatures by ion-beam sputtering [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1979, 34(8): 515-517.
- [20] Yang T L, Zhang D H, Ma J, *et al.* Transparent conducting ZnO:Al films deposited on organic substrates deposited by r. f. magnetron-sputtering [J]. *Thin Solid Films*, 1998, 326(1-2): 60-62.
- [21] Lee K-I, Kim E K, Kim H-D, *et al.* Low temperature Al doped ZnO films on a flexible substrate by DC sputtering [J]. *Phys. Stat. Sol. (C)*, 2008, 5(10): 3344-3347.
- [22] Kim H, Horwitz J S, Kusgto G P, *et al.* Indium tin oxide thin films grown on flexible plastic substrates by pulsed-laser deposition for organic light-emitting diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, 79(3): 284-286.
- [23] Asakuma N, Imai H, Fukui T, *et al.* Low-temperature synthesis of ITO thin films using an ultraviolet laser for conductive coating on organic polymer substrates [J]. *J. Sol-Gel Science and Technology*, 2003, 27(1): 91-95.
- [24] Chung W, Thompson M O, Wickboldt P, *et al.* Room temperature indium tin oxide by XeCl excimer laser annealing for flexible display [J]. *Thin Solid Films*, 2004, 460(1-2): 291-294.

Preparation and Development of Transparent
Conductive Oxide Films on Flexible Substrates

SHAO Jing-zhen¹, DONG Wei-wei^{1,2}, TAO Ru-hua^{1,2}, DENG Zan-hong^{1,2}, Fang Xiao-dong^{1,2}

(1. Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Hefei 230031, China, E-mail: jzshao@mail.ustc.edu.cn;
2. Key Laboratory of New Thin Film Solar Cells, Institute of Plasma Physics,
Chinese Academy of Science, Hefei 230031, China)

Abstract

Flexible transparent conductive oxide films have become a focus of research because of some unique advantages, such as light weight, flexibility, cost effective, *etc.* They are widely used in plastic liquid crystal display, flexible solar cell and unbreakable heat reflecting mirror. In this paper, the preparation techniques of flexible transparent conductive oxide films were reviewed. The advantages and disadvantages of the preparation techniques were analyzed. The treatments of flexible substrates were discussed. Finally, the application fields and future development of flexible transparent conductive oxide films are suggested.

Key words: transparent; conductive; oxide films; flexible substrate

作者简介:邵景珍(1979—),女,山东潍坊人,博士研究生,主要从事半导体薄膜材料方面的研究。

SI 基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

说明:1. 圆括号中的名称是它前面的名词的同义词。
2. 无方括号的量的名称与单位名称均为全称;方括号中的字,在不致引起混淆、误解的情况下可以省略;去掉方括号中的字即为其名称的简称。