

TiO₂ 纳米管制备及其在气体传感器中的应用研究进展

康福伟,王爽,郭二军,王丽萍,岳红彦,朱佩

哈尔滨理工大学材料科学与工程学院,哈尔滨 150040

摘要 由于纳米 TiO₂ 材料具有无毒、气敏、湿敏、稳定性好等优点而被广泛应用于太阳能电池、光催化降解和气体传感器等领域中。TiO₂ 纳米管是典型的一维纳米材料,拥有丰富的物理化学性质。由于其制备成本不高,因此蕴藏着广阔的应用前景。特别是近年的研究表明,TiO₂ 纳米管因为其大的比表面积、强的吸附能力和纳米尺寸效应,在光催化、传感器、太阳能电池等领域有巨大的开发潜力,已成为目前纳米材料的研究热点之一。TiO₂ 纳米管的主要制备方法基本成熟,但在气体传感器中的研究比较少。TiO₂ 纳米管的制备是在各领域应用的重要前提,因此,本文先介绍它的主要制备方法,从而了解 TiO₂ 纳米管的形态及组成,而在其众多应用中,着重介绍它在气体传感器中应用的研究现状。

关键词 TiO₂ 纳米管;制备方法;气体传感器

中图分类号 TQ134.1

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.12.011

Preparation and Development of TiO₂ Nanotubes Application in Gas Sensors

KANG Fuwei, WANG Shuang, GUO Erjun, WANG Liping, YUE Hongyan, ZHU Pei

School of Materials Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China

Abstract TiO₂ is widely used in the production of gas-sensor, solar cell and photocatalytic degradation, due to its good stability, non-poisonous nature and strong sensitivity to gas and wettability. TiO₂ nanotubes are typical one-dimensional nanomaterials with relatively extensive chemical and physical properties. As the production cost is low, it has a wide application prospect. In particular, recent studies suggest that compared with other forms of nano-materials, it has a larger specific surface area, stronger adsorbability and good nanometer size effects. TiO₂ nanotubes have a great potential in fields of photocatalysis, sensors, solar cells and others and have attracted much research interest. Although the production of TiO₂ is a mature technology, its application in the field of gas-sensors remains an issue to explore. The preparation of TiO₂ nanotubes is the important prerequisite for its application in various fields, so main preparation methods of TiO₂ nanotubes firstly are discussed in this paper to understand the shape and general components of TiO₂ nanotubes. The application of TiO₂ nanotubes in gas sensors is specifically addressed among its many applications.

Keywords TiO₂ nanotubes; preparation methods; gas sensors

0 引言

纳米 TiO₂ 是一种重要的无机功能材料,由于其具有无毒、气敏、湿敏、光电转换效应、催化活性高、稳定性好等优点^[1-2]而被广泛应用于太阳能电池、光催化降解和气体传感器等领域^[3-7]。TiO₂ 纳米管是纳米 TiO₂ 的一种新的存在形式,与其他形态的纳米 TiO₂ 材料相比,它具有更大的比表面积和更强的吸附能力^[8],因而 TiO₂ 纳米管将会更具有应用价值。目

前,TiO₂ 纳米管的制备方法主要有模板合成法、阳极氧化法、水热合成法 3 种。本文就这 3 种方法进行了综述,同时着重介绍了 TiO₂ 纳米管在气体传感器上的应用。

1 TiO₂ 纳米管的制备

1991 年碳纳米管的发现^[9],开创了一维纳米材料的研究热潮。各类材料的纳米线、纳米棒、纳米管的研究已经进入了

收稿日期:2010-09-13;修回日期:2011-03-31

作者简介:康福伟,教授,研究方向为金属材料的快速凝固及金属基复合材料,电子信箱:fuwei_kang@163.com

高峰时期。TiO₂ 纳米管是被广泛研究的一种一维纳米材料,其制备方法主要有:模板法合成、阳极氧化法、水热合成法。

1.1 模板合成法

模板合成法,即把纳米结构基元组装到模板孔洞中而形成纳米管的方法。实验中常用的模板主要是含有孔洞无序分布的高分子模板和有序孔洞阵列氧化铝模板。在利用模板法制备纳米管的同时还多配合电化学沉积,溶胶-凝胶或溶胶-凝胶-聚合等技术。

Hoyer^[9]利用多孔阳极氧化铝做模板,利用紫外光引发自由基聚合反应,在多孔氧化铝内直接聚合高分子化合物 PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯),用 10% 的 NaOH 在 40℃ 下去除 Al 和 Al₂O₃,剩下 PMMA 纳米棒。在 PMMA 纳米棒上用化学镀的方法镀上一层金的薄膜,作为电化学沉积无定型 TiO₂ 的电极,再用丙酮溶解 PMMA 即得到无定型具有锐钛矿结构的 TiO₂ 纳米管。

Suzuki 等^[10]分别用带冠醚基团的胆固醇衍生胺类合成了具有螺旋结构的中空 TiO₂ 纳米带和具有双层结构的 TiO₂ 纳米管。这种管具有比较均匀的外形和内径,以及两端开口的特征。利用有机凝胶超结构为模板,以 Ti(OiPr)₄ 为前驱体进行溶胶凝胶聚合,同样可以形成类似的 TiO₂ 纳米管。

模板法的优点在于其成本不高,对原料和仪器要求低。模板的纳米孔分布均匀、垂直于表面并且相互平行,而且孔径、孔密度、膜厚可以通过电化学手段加以控制^[11]。但是存在生成的纳米管连续性、完整性难以保证的缺点。

1.2 阳极氧化法

阳极氧化法就是将高纯度的钛薄片置于低浓度的电解质溶液中,如(NH₄)₂SO₄、NH₄F、HF 等,经阳极氧化而获得 TiO₂ 纳米管的方法。

利用该方法可以制得排列整齐的纳米管阵列,其管壁较厚,管径较好,具有半导体特性,通常为无定型形态。由于 TiO₂ 纳米管生长在 Ti 板上,易制备为器件,有利于回收。这些优点使多数研究人员选取这种方法制备 TiO₂ 纳米管,但缺点是其成本较高,电解液对环境还会有不利的影响。

2001 年,Grimes 等^[12]报道了在室温下高纯钛片在 HF 水溶液中直接阳极氧化后可得到有序排列的 TiO₂ 纳米管。纳米管在钛薄片衬底上呈垂直有序排列,形成一层连续的薄膜。这样制备出的纳米管长度约为 200nm,管内径约为 50nm,管上端开口,而底部封闭。随后一系列研究^[14-17]先后报道了在含 F⁻ 的不同电解液中均可制备 TiO₂ 纳米管,包括酸性和非酸性的含 F⁻ 的电解质溶液体系。

樊小燕^[18]采用电化学阳极氧化法制备出了具有高度有序定向的无定型 TiO₂ 纳米管阵列,主要探讨了不同电解液体系下制备参数(阳极氧化电压、时间、pH 值等)对 TiO₂ 纳米管生长的影响。给出了一个最佳的制备工艺,即在水溶液体系中最佳的制备条件为 pH=4,阳极氧化时间为 3h,阳极氧化电压介于 10—20V;而在有机体系中最佳的制备条件为 pH=6,阳极氧化时间为 10h,阳极氧化电压介于 35—60V。

1.3 水热合成法

水热合成法是指将 TiO₂ 纳米粉末在高温下与碱溶液进行一系列化学反应,然后经过离子交换,从而制备出 TiO₂ 纳米管的方法^[19]。在这种方法的基础上衍生出超声波合成法、微波合成法和籽晶生长法。超声波合成法主要利用的是超声波的机械效应,微波合成法主要是利用了微波的热效应,而籽晶生长法则是通过在水热反应前将反应的纳米粉末置于钛基片上,然后与一定浓度的碱溶液在高温高压条件下反应,最后得到可控形貌的 TiO₂ 纳米管。

水热合成法操作简单,成本低廉,合成的 TiO₂ 纳米管的管径小、管壁薄、比表面积大,通过调整不同的制备参数可以得到可控长径比的纳米管,易于实现工业化生产^[20]。但是用水热法生成的纳米管并非垂直排列的阵列结构,并且很容易发生团聚。这种团聚是可以物理和化学的方法降低的,而且不会影响 TiO₂ 纳米管自身的优良特性。

1998 年,Kasuga 等^[21]最早用纳米 TiO₂ 粉作原料,在 5—10mol/L NaOH 溶液,110℃ 的水热条件下处理 20h,然后用盐酸中和,蒸馏水清洗至中性,制得纳米管。所得的纳米管尺寸比较均匀,内径为 5nm,外径为 8nm,长度约 100nm,比表面积约为 400m²/g。用商业 TiO₂ 粉末(金红石相,锐钛矿相或者两者的混合物),经同样的方法处理^[22-23]后,也可得到这种纳米管。现在普遍认为以 TiO₂ 为原料经强碱水热法制备的,具有一维纳米结构的产物是钛酸盐纳米管。Morgado 等^[24]将 3g TiO₂ 粉末和 50mL 10mol/L 的 NaOH 溶液放入反应釜中,加热到 120℃ 保温 15—30h,直到反应完全。得出结论,用 Kasuga 等的方法制出的纳米管的成分为 Na₂H_{2-x}Ti₃O₇·nH₂O,其中 0<x<2,n<1.2。而魏志顺等^[25]是以钛粉为原料,经过热处理后,在强碱条件下进行水热反应,制备出了内径约为 5nm,外径约为 10nm,平均长度在 3μm 的 TiO₂ 纳米管。这种方法以钛粉为前驱体,通过水热合成制备出纳米管,这就为 TiO₂ 纳米管的制备提供了更多的可能性。

吴省等^[26]采用微波水热合成法以 TiO₂ 纳米颗粒为前驱体制备出了 TiO₂ 纳米管。该纳米管具有中空、两端开口、多管壁结构。管内径约为 3nm,外径约为 12nm,长度约为几百纳米到几微米不等。

董祥等^[27]利用水热法在钛箔表面制备了三维网络结构的 TiO₂ 纳米管薄膜。样品表征表明,三维网络 TiO₂ 纳米管薄膜是由大量非定向生长的锐钛矿型纳米线组成,直径为 10—30nm,长度大于 5μm。这种用水热合成在钛箔表面制备三维网络结构 TiO₂ 纳米管薄膜的方法被称为籽晶生长法。

2 TiO₂ 纳米管在气体传感器上的应用

工业生产中气体原料和废气的种类、数量随着工业的发展越来越多。这些气体中,有毒性气体和可燃性气体不仅污染环境,而且有产生爆炸、火灾和使人中毒的危险^[28]。对这些气体迅速、准确地检测,将有效地防止此类恶性事件的发生。因此,气敏传感器的研究与应用变得越来越重要。然而,关于

TiO₂ 纳米管在气体传感器方面的应用研究还很少,主要有以下研究报道。

Varghese 等^[29]在 500℃热氧化处理后的 TiO₂ 纳米管上压上两片平行的金属铂条作为电极,制作出第一个 TiO₂ 纳米管气体传感器。该传感器在 180℃左右开始对 H₂ 敏感,当测试温度为 400℃,测试气氛由 N₂ 转换为 N₂+H₂(H₂ 浓度为 0.1%) 时,传感器的电阻降至起始阻值的 0.1%左右。当气氛再次转换为 N₂ 时,传感器的阻值又恢复到起始值。该传感器对 H₂ 的检测范围为 0.01%—4%。这种 TiO₂ 纳米管气体传感器对 H₂ 已有较好的敏感性和选择性,但需要较高的工作温度,这就限制了该类传感器的应用领域。

基于这种考虑,Varghese 等^[30]改进了传感器的构型,在制作的 TiO₂ 纳米管样品上首先溅射一层不连续的 Pd,然后在上面积射法制作 2 个直径为 2mm 左右的铂盘代替铂条作电极。这种传感器在室温下即能检测浓度为 0.01%—0.1% 的 H₂,恢复时间也大大减少。传感器在体温(36℃)时对 H₂ 的灵敏度达到 10⁴。

在 Varghese 的基础上,Paulose 等^[31]制备出灵敏度更高的传感器,用 0.1mol/L HF、1mol/L NaHSO₄ 和 C₆H₅Na₃O₇ 为电解液,通过 NaOH 调节 pH 值到 4.0,在 10V 电压下,阳极氧化 17h,制备出管径为 30nm、长度为 990nm 的 TiO₂ 纳米管。将制得的 TiO₂ 纳米管热氧化处理后,再在上面溅射直径为 500μm、厚 100nm 的两个铂电极,电极间距控制在 1mm。测试发现,在室温下,通入浓度为 0.1% 的 H₂ 时,该 TiO₂ 纳米管气体传感器的灵敏度高达 10^{8.7},这是现阶段所有敏感材料在任意温度下对任意气体的最大灵敏度。

美国宾夕法尼亚州立大学研发出一种具有自我清洁功能的新颖传感器,TiO₂ 纳米管氢传感器^[32]。研究表明,TiO₂ 纳米管氢传感器属气敏传感器,但却有着光敏性较其他形式的 TiO₂ 材料高 100 倍的特性。将其暴露在紫外线下,吸附在 TiO₂ 纳米管氢传感器上的污染物质就能被有效清除掉。故在实际使用中,这种传感器能够因为自清洁而保持清洁如故,性能稳定,并保持原有的探测灵敏度。

马士才^[33]采用电化学阳极氧化法,以含 F⁻ 的溶液为电解液,在工业纯钛板的表面生长了一层规则排列的 TiO₂ 纳米管阵列。用其制成气体传感器,对丙酮气体的敏感特性进行了研究。研究发现,经 500℃于 O₂ 气氛中处理的 TiO₂ 纳米管阵列对丙酮气体有很好的敏感特性。在 1mol/L HNO₃ 加上 1mol/L NaOH 加上质量浓度为 0.5% 的 HF 混合电解液中 20V 电压下氧化 2h 制备得到的样品,在 150℃开始对丙酮敏感,测试温度在 150—270℃区间时,随着测试温度的升高,灵敏度提高,当温度超过 270℃时,灵敏度接近饱和。当测试温度为 350℃时,材料的响应时间为 23s,灵敏度达 269。

郝赞^[34]用水热合成法制备出了 TiO₂ 纳米管与纳米颗粒的混合物,其中 TiO₂ 纳米管呈现无序性,直径约为 15nm,长约数微米。用其制出的薄膜型气体传感器对 NO₂ 进行气敏性测试。其结果表明,气敏元件电阻较大,在低温下,对浓度为

0.00125% 的 NO₂ 气体的灵敏度仅为 0.28。而用阳极氧化法制出的有序 TiO₂ 纳米管阵列,管壁厚约为 10nm,直径约为 100nm,长约 200nm,80℃下,对浓度为 0.00025% 的 NO₂ 气体的灵敏度高达 130。

Seo 等^[35]用 0.5g P25 商业纳米粉与 10mol/L 的 NaOH 溶液分别在 160、200 和 230℃下进行 24h 的水热反应,得到的产物进行酸洗中合,最终得到的分别是 TiO₂ 纳米颗粒、TiO₂ 纳米管与纳米颗粒的混合物和 TiO₂ 纳米管。将所得的产物分别制成气体传感器,在 450—550℃下进行气体传感性能测试。气敏性测试的气体是一氧化碳、氢气、乙醇和甲苯,测试结果表明,在 230℃下生成的均一 TiO₂ 纳米管对于挥发性有机气体具有良好气敏性,尤其是对甲苯具有比其他两种材料更好的气敏性。

3 结语

随着近代科学技术的飞速发展,工农业生产乃至国防工业的迫切需求,材料科学已成为支柱性的学科领域。发展新兴产业,新材料先行。因此,功能材料与纳米技术迅速发展,日新月异。无论在国内还是国际,纳米技术都是一门具有基础性、战略性和前瞻性的技术。TiO₂ 纳米管的主要制备方法基本成熟,但在气体传感器中的研究还很少。随着材料技术的不断发展,TiO₂ 纳米管的制备工艺会更加完善,实现在多领域中应用。

参考文献 (References)

- [1] 邓圣南,吴峰. 环境光化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
Deng Shengnan, Wu Feng. Environment photochemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [2] 李东,陈薇,褙汉元,等. 纳米 TiO₂ 粉体制备及其扫描电镜表征 [J]. 大众科技, 2005, 1(1): 32—33.
Li Dong, Chen Wei, Xuan Hanyuan, et al. Popular Science & Technology, 2005, 1(1): 32—33.
- [3] Tachikawa T, Tojo S, Fujitsuka M. Influence of metal ions on the charge recombination processes during TiO₂ photocatalytic one-electron oxidation reactions[J]. Phys Chem B, 2004, 108(30): 11054—11061.
- [4] Macak J M, Tsuchiya H, Schmuki P. High-aspect-ratio TiO₂ nano-tubes by anodization of titanium [J]. Angew Chem Int Edit, 2005, 44 (14): 2100—2102.
- [5] Alessandr B P, Claudio B. Photocatalytic degradation of acid blue 80 in aqueous solutions containing TiO₂ suspensions[J]. Env Sci Tech, 2001, 35 (5): 971—976.
- [6] Nagaveni K, Sivalingam G, Hegde M S, et al. Photocatalytic degradation of organic compounds over combustion-synthesized nano-TiO₂ [J]. Env Sci Tech, 2004, 38(5): 1600—1604.
- [7] Li X Z, Liu H, Cheng L F, et al. Photocatalytic oxidation using a new catalysts—TiO₂ microspheres for water and wastewater treatment [J]. Env Sci Techn, 2003, 37(17): 3989—3994.
- [8] 陈珊珊,许艳梅,王凤贺. TiO₂ 纳米管的制备方法及应用[J]. 科技创新导报, 2008(32): 11, 13.
Chen Shanshan, Xu Yanmei, Wang Fenghe. Science and Technology Innovation Herald, 2008(32): 11, 13.

- [9] Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon [J]. *Nature*, 1991, 354: 56–58.
- [10] Hoyer P. Formation of a titanium dioxide nanotube array [J]. *Langmuir*, 1996, 12(6): 1411–1413.
- [11] Suzuki T, Tateishi Y, Sugimoto T, *et al.* Morphology control of one-dimensional supramolecular assemblies by a template polymer [J]. *Science Technology of Advanced Materials*, 2006, 7(7): 605–608.
- [12] 张云怀, 胡夫, 肖鹏. TiO₂ 纳米管的制备及应用 [J]. *材料导报*, 2007, 21(5): 91–92.
Zhang Yunhuai, Hu Fu, Xiao Peng. *Material Review*, 2007, 21(5): 91–92.
- [13] Gong D, Grimes C A, Varghese O K. Titanium oxide nanotube arrays prepared by anodic oxidation [J]. *Journal of Materials Research*, 2001, 16(12): 3331–3334.
- [14] Mor G K, Varghese O K, Paulose M, *et al.* A review on highly ordered, vertically oriented TiO₂ nanotube arrays: Fabrication, material properties and solar energy applications [J]. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2006, 90(14): 2011–2075.
- [15] Paulose M, Shamkar K, Yoriya S, *et al.* Anodic growth of highly ordered TiO₂ nanotube arrays to 134 μm in length [J]. *Journal of Physical Chemistry B*, 2006, 110(33): 16179–16184.
- [16] Macak J M, Schmuki P. Anodic growth of self-organized anodic TiO₂ nanotubes in viscous electrolytes [J]. *Electrochimica Acta*, 2006, 52(3): 1258–1264.
- [17] Mohapatra S K, Misra M, Mahajan V K, *et al.* A novel method for the synthesis of titania nanotubes using sonoelectrochemical method and its application for photoelectrochemical splitting of water [J]. *Journal of Catalysis*, 2007, 246(2): 362–369.
- [18] 樊小燕. TiO₂ 纳米管的制备及生物传感特性研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
Fan Xiaoyan. Fabrication of TiO₂ nanotubes and its investigation for biosensor[D]. Chongqing: Chongqing University, 2009.
- [19] 郑燕青, 施尔畏, 元如林, 等. 二氧化钛晶粒的水热制备及其形成机理研究[J]. *中国科学*, 1999, 29(3): 206–213.
Zheng Yanqing, Shi Erwei, Yuan Rulin, *et al.* *Science in China*, 1999, 29(3): 206–213.
- [20] 倪星元, 姚兰芳, 沈军, 等. 纳米材料制备技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
Ni Xingyuan, Yao Lanfang, Shen Jun, *et al.* Processing technology of nano-materials[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [21] Kasuga T, Hiramatsu M, Hoson A, *et al.* Formation of titanium oxide-nanotube[J]. *Langmuir*, 1998, 14(12): 3160–3163.
- [22] Kasuga T, Hiramatsu M, Hoson A, *et al.* Titania nanotubes prepared by chemical processing[J]. *Adv Mater*, 1999, 11(15): 1307–1311.
- [23] Lan Y, Gao X P, Zhu H, *et al.* Titanate nanotubes and nanorods prepared from rutile powder[J]. *Adv Funct Mater*, 2005, 15(8): 1310–1318.
- [24] Morgado Jr E, de Abreu M A S, Pravia O R C, *et al.* A study on the structure and thermal stability of titanate nanotubes as a function of sodium content[J]. *Solid State Sciences*, 2006, 8(8): 889–900.
- [25] 魏志顺, 刘颖, 王辉, 等. 高长径比 TiO₂ 纳米管的制备及表征[J]. *化工新型材料*, 2010, 38(1): 44–46.
Wei Zhishun, Liu Ying, Wang Hui, *et al.* *New Chemical Materials*, 2010, 38(1): 44–46.
- [26] 吴省, 蒋洪忠, 马紫峰, 等. 利用微波法合成二氧化钛纳米管[J]. *无机化学学报*, 2006, 22(2): 341–345.
Wu Xing, Jiang Qizhong, Ma Zifeng, *et al.* *Chinese Journal of Inorganic Chemistry*, 2006, 22(2): 341–345.
- [27] 董祥, 陶杰, 李莹滢, 等. 水热法制备三维网状 TiO₂ 纳米线薄膜及其光电化学性能[J]. *物理化学学报*, 2009, 25(9): 1874–1882.
Dong Xiang, Tao Jie, Li Yingying, *et al.* *Acta Physico-Chimica Sinica*, 2009, 25(9): 1874–1882.
- [28] 刘湘军, 谭湘倩, 浣石. 金属氧化物气敏传感器[J]. *广州大学学报: 自然科学版*, 2007, 6(5): 42–46.
Liu Xiangjun, Tan Xiangqian, Huan Shi. *Journal of Guangzhou University: Natural Science Edition*, 2007, 6(5): 42–46.
- [29] Varghese O K, Gong D W, Paulose M, *et al.* Hydrogen sensing using titania nanotubes[J]. *Sensors and Actuators B*, 2003, 93(3): 338–344.
- [30] Mor G K, Varghese O K, Paulose M, *et al.* Fabrication of tapered conical-shaped titania nanotubes [J]. *Materials Research*, 2003, 18 (11): 2588–2593.
- [31] Paulose M, Varghese O K, Mor G K, *et al.* Unprecedented ultrahigh hydrogen gas sensitivity in undoped titania nanotubes [J]. *Nanotechnology*, 2006, 17(2): 398–404.
- [32] 赵亚萍. 这种传感器能耐忒大会-自我清洁, 又可测多种气体[N]. *科技日报*, 2004–04–02.
Zhao Yaping. This sensor has great ability the ego clean and measurable gases[N]. *Science and Technology Daily*, 2004–04–02.
- [33] 马士才. TiO₂ 纳米管阵列的制备及其气体敏感性能研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
Ma Shicai. Preparation and gas sensing properties of titania nanotube arrays[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [34] 郝赞. 基于 TiO₂ 纳米管的 NO₂ 气敏传感器研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
Hao Yun. Preparation of NO₂ gas sensor based on TiO₂ nanotubes[D]. Dalian: Dalian University of Science and Technology, 2008.
- [35] Seo M H, Yuasa M, Kida T, *et al.* Gas sensing characteristics and porosity control of nanostructured films composed of TiO₂ nanotubes[J]. *Sensors and Actuators B*, 2009, 137(2): 513–520.

(责任编辑 岳臣)

《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上,全面、深入、系统地论述该领域的问题,并对所综述的内容进行归纳、分析、评价,以反映作者的观点和见解。在线投稿:www.kjdb.org。