等离子体增强热氧化法制备氧化锌纳米棒 及其机制研究

郭 斌¹²,傅骏驰¹²,渠亚洲¹,程其进^{12*}

(1. 厦门大学 能源学院,福建 厦门 361102; 2. 厦门大学深圳研究院,广东 深圳 518000) 摘要:通过一种新的方法等离子体热氧化法(即自制的等离子体增强水平管式炉沉积系统) 将金属锌箔在氧气与氩气混合气体中放电生成氧化锌纳米棒。通过改变反应温度、氩气与氧 气的流量比以及放电功率来控制所得单晶氧化锌纳米棒的形貌和微观结构。可以发现在反应 温度不断升高,并且达到 500 °C后,生长出的氧化锌纳米棒更长、更均匀;在不同的氩气 与氧气流量比下,随着氩气分压不断的增大,直到氩气与氧气比为 45:5 时,才有比较均匀 的氧化锌纳米棒的生成;在电流值不断增大后,可以看到,电流的增加使生长出的氧化锌纳 米棒更长。此外,本文还提出了在等离子体条件下合成氧化锌纳米棒的生长机制。 关键词:氧化锌;等离子体;纳米棒;生长机制;热氧化

中图分类号:07 文献标志码: A

一维纳米材料包括纳米线、纳米棒、纳米带、纳米片、纳米环等,具有独特的化学和物理性质而引起人们的关注。金属氧化物纳米材料因其表面效应、量子限域效应所表现出来的光、电、磁和生物化学等特性,以及在应用中不易被氧化、功耗小、反应灵敏等特点,在纳米电子器件应用中显示出强大的生命力^[1-13]。

氧化锌是一种宽禁带的直接带隙半导体,禁带宽度为 3.37 eV,它在光、电、磁、机械 性能方面具有独特性质,开发研究的器件主要有紫外激光器、探测器、光波导、激光二极管、 声表面波器件、透明电极涂层、声光器件、薄膜晶体管、压电传感器和太阳能电池等^[14-23]。 目前氧化锌纳米材料的合成方法主要有模板法、水热法、激光烧蚀法和热氧化法。其中,模 板法可以很好地控制纳米材料的形貌,但是成本较高;水热法制备纳米材料虽然成本较低, 但是纳米材料的形貌不可控;激光烧蚀法能够制备可控且高质量的纳米材料,但是设备昂贵, 不适合批量生产;热氧化法可以很好地控制生长材料的形貌,但是制备工艺的稳定性不足。

因此,本文中提出了一种基于等离子体增强水平管式炉沉积系统的制备方法,即等离子 体增强热氧化法,采用该方法制备了氧化锌纳米棒,考察了反应温度、氩气与氧气的流量比 和放电功率对制备的样品组成和形貌的影响,并提出了在等离子体条件下氧化锌纳米棒的生 长机制。

1. 实验部分

1.1 样品制备

本实验所采用的自制的等离子体增强水平管式炉沉积系统是在型号为 60250-12-8 的管 式炉基础上,在两端增加一对长为 30 cm 左右的金属电极棒来实现等离子体放电。该系统的 反应装置包括水平管式炉、真空泵、加热装置、进气装置等,实验装置图如图 1 所示。同时, 该系统外接一个触屏控制面板,可以控制反应系统的真空度,气体流量和反应功率。



图1 自制的等离子体增强水平管式炉沉积系统的装置示意图

Fig. 1. Schematic diagram of a custom-made plasma-enhanced horizontal tube furnace deposition system

样品的制备:采用尺寸为 10 mm×10 mm×0.25 mm 的金属箔作衬底。分别用去离子水、 丙酮和无水乙醇超声清洗 20 min 后将金属锌箔再放入反应装置;抽真空至 10 Pa 以下,加 热 20 min 至一定温度(分别为 300, 350, 400, 450 和 500 ℃),通入一定的氩气和氧气流 量比(分别为 1:3, 1:1, 3:1 和 9:1),并开启等离子电源,通过调节功率来改变电流,并 保持恒定的电流(分别为 0.3, 1.3 和 2.3 A)持续放电 20 min;放电结束后,关闭等离子电

1.2 材料的表征

通过 X 射线衍射 (XRD)的方法,以 Cu Kα为射线源,在电压 40 kV 和电流 15 mA 的 条件下检测样品结构。经过 XRD 测量的谱图经过 jade 5.0 处理,然后用 origin 处理后,所 画出 XRD 谱图。通过 SUPRA 55 扫描电镜 (SEM)和 JEM 2100 透射电镜 (TEM)来表征 样品的微观形貌; SEM 和 TEM 的工作电压分别为 5 和 200 kV。采用配有 638 nm 半导体激 光发射器的 Xplora 拉曼 (Raman)光谱仪来测定样品的 Raman 光谱,测量前,先用单晶硅 校准。测定参数:功率为1 mW,积分时间为 30 s。采用能谱 (EDS) 仪测定样品的化学成 分以及原子比,其工作电压为 20 kV。

2. 结果与讨论

2.1 样品的 XRD 谱图

当电流为 0.3 A, 氩气和氧气流量比为 9:1 时, 在不同反应温度下制备的样品的 XRD 谱 图, 如图 2 (a) 所示。可以看出, 在 300 ℃下制备的样品谱图中,只有金属锌的(002),(100), (101),(102),(103)和(110)衔射峰;随着反应温度的升高,样品中金属锌的衍射峰强度逐渐 减弱, 而氧化锌的衍射峰强度逐渐增强;在 500 ℃下制备的样品中可以清楚的看到氧化锌晶 面(100),(002),(101),(102),(110),(103),(112)和(004) 8 个衍射峰,其中(100),(002)和 (101)这 3 个衍射峰强度比较强,与标准的氧化锌纳米晶体(JCDPS 65-3411)相吻合。在反应 温度为 450 和 500 ℃下制备的样品,它们的衍射峰说明制备的氧化锌纳米材料属于六方纤锌 矿晶体结构。

根据 XRD 谱图可以用布拉格公式去计算和验证氧化锌晶格常数、晶粒尺寸等,计算得 到沿着晶面(002)方向的晶面间距d_{hkl} = 0.26 nm。晶格常数 *a*=0.324 5 nm, *c*=0.519 8 nm,这 与标准的氧化锌六方晶系晶格常数 *a*=0.324 9 nm, *c*=0.502 7 nm 基本一致。

当反应温度为 450 ℃,电流为 0.3 A 时,在不同的氩气与氧气流量比条件下制备样品的 XRD 谱图,如图 2 (b)所示。可以看出,当氩气与氧气的流量比分别为 1:3 和 1:1 时, 谱图中只有 Zn 的衍射峰,其中(102),(103)和(110)衍射峰的强度较大;当氩气与氧气的流 量比为 3:1 时, 谱图中开始出现氧化锌的衍射峰; 当氩气与氧气的流量比为 9:1 时, 已经可 以看到大部分为氧化锌的衍射峰。上述结果可以得出, 在用等离子体增强热氧化法制备氧化 锌纳米材料的过程中, 氩气在反应过程中起到重要作用: 当氩气分压较小时不会产生氧化锌 纳米晶体; 随着氩气分压的增大, 氧化锌的衍射峰出现并增强。

当反应温度为 500 ℃, 氩气与氧气流量比为 9:1 时, 在不同电流下制备的样品的 XRD 谱图, 如图 2 (c) 所示。可以看出, 在不同电流下都能生成氧化锌纳米晶体, 而所有衍射 峰的位置都保持不变, 且随着放电功率的增加, 氧化锌的衍射峰强度呈上升趋势。这表明等 离子体为氧化锌的生长提供了额外的能量。随着电流的增加, 可以提供更多的能量。



Fig. 2. XRD patterns of samples prepared at different reaction temperatures, argon and oxygen flow ratios, and currents, respectively.

2 样品的 SEM 图和 EDS 谱图

图 3 和 4 分别为等离子体增强热氧化法和热氧化法在不同反应温度下制备的样品的 SEM 图。在反应温度为 400 ℃下,图 3 中可以在锌箔上看到平均直径和长度分别为 396 nm 和 0.4 µm的氧化锌纳米棒生成,每根纳米棒底部粗壮,而顶部变得锋利,而图 4 中刚刚出 现氧化锌的微小凸起。在反应温度上升到 450 ℃下,图 3 中可以看到平均直径和长度分别为 110 nm 和 1.4 μm的氧化锌纳米棒生成,氧化锌纳米棒变得更细更长,在图 4 中可以看到纳 米棒的直径和长度分别为 132 nm 和 0.9 μm。在反应温度为 500 ℃下,图 3 可以看到的是平 均直径和长度分别为 130 nm 和 1.8 μm的纳米棒,图 4 可以看到纳米棒的直径和长度分别为 147 nm 和 1.3 μm。通过实验比较可以得到在同一温度下,通过等离子增强热氧化法生长出 来的氧化锌纳米棒都比普通热氧化法生长出来的纳米棒长,这就证明了等离子体在反应过程 中的作用可以提供额外的能量来促使反应加快进行。





反应条件:电流为 0.3 A, 氩气和氧气流量比为 9:1. 图 4 采用热氧化法在不同反应温度下制备的样品的 SEM 图

Fig. 4 SEM images of samples prepared at different reaction temperatures using thermal oxidation

当反应温度为 450 °C, 电流为 0.3 A 时, 在不同的氩气与氧气流量比条件下制备样品的 SEM 图, 如图 5 所示。当氩气与氧气的流量比分别为 1:3 和 1:1 时,可以看到表面平坦并没 有氧化锌纳米棒的生成。在氩气与氧气流量比为 3:1 下,可以看到少量的氧化锌纳米棒的生 成。在氩气与氧气流量比为 9:1 下,有大量的氧化锌纳米棒的生成。由此可以得出结论,随 着氩气与氧气的比列逐渐增大,制备的样品中氧化锌纳米棒从无到有且分布越来越密集,这 说明了通过等离子体增强热氧化方法生长氧化锌纳米棒与氩气的分压有关。



反应条件:反应温度为 450 ℃,电流为 0.3 A. 图 5 不同氩气与氧气流量比条件下制备的样品的 SEM 图

Fig.5 SEM images of samples prepared under different argon and oxygen flow ratios

当反应温度为 500 ℃, 氩气与氧气流量比为 9:1 时,在不同电流下制备的样品的 SEM 图,如图 6 所示。在电流为 0.3 A 下,可以看到,合成的氧化锌纳米棒的平均直径和长度分别约为 130 nm 和 1.8 μm;在电流为 1.3 A 下,氧化锌纳米棒的平均直径和长度分别约为 180 nm 和 2.4 μm,纳米棒的长度变得更长直径变得更大;当电流进一步增加到 2.3 A 时,氧化 锌纳米棒的平均直径和长度达到了 230 nm 和 3.0 μm。这是由于在相同的温度下,更大的电流能够提供更多的能量,使气体发生电离,生长速度更快,所以相同时间内长的更粗更长,这也和 XRD 得出的结论一致。



2应条件: 反应温度为 500 C, 氩气与氧气沉重比为 9:1 图 6 不同电流下制备的样品的 SEM 图

Fig.6 SEM images of samples prepared under different currents

图 7 为在反应温度为 450 °C, 氩气与氧气的流量比为 9:1, 电流为 0.3 A 条件下反应生成的氧化锌纳米棒的 EDS 图。图中除了氧和锌相应的峰之外,没有其他杂质峰; 氧和锌的含量分别为 47.91%和 52.09%,原子比接近 1:1。这说明制备的氧化物为纯净的氧化锌纳米棒,但从含量上可以看出所制备的材料含有少量的氧空位。





图 7 氧化锌纳米棒的 EDS 谱图

Fig.7 EDS of zinc oxide nanorods

2.3 氧化锌纳米棒的 TEM 图

图 8 为在反应温度为 450 ℃, 氩气与氧气的流量比为 9:1, 电流为 0.3 A 下制备的单 根氧化锌纳米棒的 TEM 图。图 8 (a)中的单根纳米棒为断裂的一部分,在样品制备和清 洗的过程中发生断裂,从这部分可以看出氧化锌纳米棒直径均匀,所以它是沿着直径方向 均匀生长的,在顶部为圆锥形的尖端。从图 8 (b)氧化锌纳米棒高分辨图可以得到沿着 [002]方向的晶面间距,先测量 50 个晶面之间的距离,再除以 50 就可以得到两个晶面之 间的距离为 0.26 nm。这与 XRD 计算 (002)晶面所得的晶面距离相符,所以氧化锌纳米 棒是沿着 [002]方向生长。如图 8 (c)所示为所选氧化锌纳米棒部分区域的电子衍射图, 该图表明所生成的氧化锌纳米棒属于单晶六方纤锌矿结构并沿着 [002]方向生长。



图 8 单根氧化锌纳米棒 TEM 图以及电子衍射图 Fig. 8 High-resolution TEM image and electron diffraction pattern of a single ZnO

2.4 生长机理

本实验氧化锌纳米棒的形成包括成核和生长两个部分。在最初的成核阶段,金属锌在一 定温度下气化成蒸汽,然后在基底上凝结成液滴并与氧气反应生成 ZnO 核。由文献报道可 知一维氧化锌纳米材料的生长主要是有气液固(VLS)或者气固(VS)两种机制^[24-27],而在生长 阶段,形成的氧化锌核会向富氧区均匀延伸,这个延伸过程并没有催化剂的参与,在 TEM 图中也没有在纳米棒的顶端发现催化剂的存在,所以该生长过程不符合气液固机制而是属于 气固生长机制。气固生长机制的核心是前驱体在高温区蒸发然后接着在低温区沉积并形成纳 米棒,其中锌和氧化锌的分解温度分别为 420 和 1975 ℃。本实验的反应温度为 300,350, 400,450 和 500 ℃,当反应温度达到锌的熔点温度 420 ℃时,锌融化形成高温区,然后在 低温区沉积,形成纳米棒,所以反应温度为 450 和 500 ℃时才会形成高温区和低温区,属于 VS 机制。而这两个温度并没有达到氧化锌的分解温度 ^[24,25]。此结果正好与 XRD 谱图中在 450 和 500 ℃合成的 ZnO 的衍射峰正好匹配六方纤锌矿晶体结构相一致。

通过实验结果我们得出了基于等离子体增强热氧化法制备氧化锌纳米棒与其他方法生 长氧化锌纳米棒的不同之处^[26-28]:

1) 在等离子体气相中生成活性氧自由基—这就不需要将表面加热到高温而使氧发生离 解;2) 等离子体可以产生很强的电场—这个电场可以有效地引导氧化锌纳米棒的生长;3) 等离子体通过生成的氧原子的复合、离子轰击和中和,在局域提供了有效的表面加热,从而 进一步提高了表面过程的进行;4) 等离子体还可以通过离子轰击和其他等离子体相关效应 产生局部成核点,从而有助于避免使用金属催化剂;5) 氧化锌纳米材料的形貌、直径和结 晶度可以通过工艺参数有效地控制。

等离子体在氧化锌纳米棒的合成过程中起到重要作用,本文是通过等离子体活化增强反应物的活性来降低反应条件,使反应更容易进行。金属锌在适当的温度条件下加热,会在锌 猪麦面形成金属颗粒,然后,在 O₂-Ar 气氛中,在等离子体放电过程 O₂能有效地电离为 O⁺、 O²⁺和 O³⁺离子,这个过程不用通过高温使氧气离解,这可以有效地降低反应温度。此后, 氧离子在氩气辅助下会被等离子体转化为活化的氧原子,因此正如前面 XRD 和 SEM 提到的 当氩气分压增大到一定值(3:1和9:1)时才会有氧化锌纳米棒的生成。这些活化的氧原 子与高能金属粒子在气体环境中发生反应,随后在气体环境中形成氧化锌簇。最后,这些金 属氧化物被输送到衬底上,最终促使氧化锌纳米棒的形成。在生长过程中发生的详细的化学 反应描述如下[26-27]:

 $O2 \rightarrow O^+ + O^- \tag{1}$

 $O^+ + Ar \rightarrow O^* + Ar^+ \tag{2}$

 $O^+ + O_2 \rightarrow O^* + O_2^+ \tag{3}$

 $O^{-}+O_{2}^{+} \rightarrow O^{*}+O_{2} \tag{4}$

- $Ar^{+}+e^{-}\rightarrow Ar \tag{5}$
- $O^* + Zn \rightarrow ZnO \tag{6}$
- 方程式(1)-(6)中,O*代表活化的氧原子,反应原理图如图8所示。



图 9 在等离子体下合成氧化锌纳米棒的生长过程的示意图。

Fig.9 Schematic illustration of the growth process for the zinc oxide nanorods produced under the plasma.

本文讨论了温度、气体流量比和电流 3 个参数对生长氧化锌的影响。其中随着温度的升高,氧化锌纳米棒的长度会逐渐变长。这与普通的热氧化法一样,在温度低于熔点温度 420 ℃ 时,反应不属于 VS 机制,当温度高于 420 ℃,反应属于 VS 机制,形成高温区和低温区,利于纳米棒的形成、所以温度越高生长的纳米棒越长。对于气体流量比,文章中只有当流量比为 9:1 时才能够长出氧化锌纳米棒。也就是说氧气过量时,会存在一部分氧气没有离解,而直接将金属锌表面氧化,不易生成氧化锌纳米棒。当电流越大,等离子体提供的能量越多, 有利于氧气化学键的断裂,在同样的温度和生长时间下,纳米棒生长的更快。

结 论

通过等离子体增强热氧化法在锌箔上生长氧化锌纳米棒。通过控制不同的生长温度、氩 气与氧气流量比和放电功率,可以有效地控制合成氧化锌纳米棒的形貌和微观结构。在无催 化剂的条件下,反应物通过等离子体实现活化,能够在锌箔上生长氧化锌纳米棒。利用 SEM、 TEM、EDS 等多种手段对合成的单晶氧化锌纳米棒进行了表征,并提出了一种生长机制来解

参考文献:

[1] REN S, BAI Y F, CHEN J, et al. Catalyst-free synthesis of ZnO nanowire arrays on zinc substrate by low temperature thermal oxidation [J]. Mater Lett, 2007, 61: 666-670.

[2] ZHANG Y S, YU K, JIANG D S, et al. Zinc oxide nanorod and nanowire for humidity sensor [J]. Appl Surf Sci, 2005, 242: 212-217.

[3] CHOOPUN S, TUBTIMTAE A, SANTHAVEESUK T, et al. Zinc oxide nanostructures for applications as ethanol sensors and dye-sensitized solar cells [J]. Appl Surf Sci, 2009, 256: 998-1002.

[4] DAI Y, ZHANG Y, BAI Y Q, et al. Bicrystalline zinc oxide nanowires [J]. Chem Phys Lett, 2003, 375: 96-101.

[5] HO S T, WANG C Y, LIU H L, et al. Catalyst-free selective-area growth of vertically aligned zinc oxide nanowires [J]. Chem Phys Lett, 2008, 463: 141-144.

[6] SEKAR A, KIM S H, UMAR A, et al. Catalyst-free synthesis of ZnO nanowires on Si by oxidation of Zn powders [J]. J Cryst Growth, 2005, 277: 471-478.

[7] SHEN G Z, BANDO Y, LIU B D, et al. Characterization and field-emission properties of vertically aligned ZnO nanonails and nanopencils fabricated by a modified thermal-evaporation process [J]. Adv Funct Mater, 2006, 16: 410-416.

[8] GHOSHAL T, BISWAS S, KAR S, et al. Direct synthesis of ZnO nanowire arrays on Zn foil by a simple thermal evaporation process [J]. NanoTech, 2008, 19: 065606.

[9] DING Y, WANG Z L. Electron energy-loss spectroscopy study of ZnO nanobelts [J]. J

Electron Microsc, 2005, 54: 287-291.

[10] HSUEH T J, HSUB C L. Fabrication of gas sensing devices with ZnO nanostructure by the low-temperature oxidation of zinc particles [J]. Sens Actuators B, 2008, 131: 572-576.

[11] KODAMBAKA S, TERSOFF J, REUTER M C, et al. Germanium nanowire growth below the eutectic temperature [J]. Sci, 2007, 316: 729-732.

[12] YANG R S, WANG Z L. Interpenetrative and transverse growth process of self-catalyzed ZnO nanorods [J]. Solid State Commun, 2005, 134: 741-745.

[13] LIANG H Q, PAN L Z, LIU Z J. Synthesis and photoluminescence properties of ZnO nanowires and nanorods by thermal oxidation of Zn precursors [J]. Mater Lett, 2008, 62: 1797-1800.

[14] JEONG M C, OH B Y, LEE W, et al. Comparative study on the growth characteristics of ZnO nanowires andthin films by metalorganic chemical vapor deposition (MOCVD) [J]. J Cryst Growth, 2004, 268: 149-154.

[15] CHA S N, SONG B G, JANG J E, et al. Controlled growth of vertically aligned ZnO nanowires with different crystal orientation of the ZnO seed layer [J]. NanoTech, 2008, 19: 235601.

[16] KIM S, JEONG M C, OH B Y, et al. Fabrication of Zn/ZnO nanocables through thermal oxidation of Zn nanowires grown by RF magnetron sputtering [J]. J Cryst Growth, 2006, 290: 485-489.

[17] FENG L B, LIU A H, LIU M, et al. Synthesis, characterization and optical properties of flower-like ZnO nanorods by non-catalytic thermal evaporation [J]. J Alloys Compd, 2010, 492: 427-432.

[18] ELHAG S, IBUPOTO Z H, KHRANOVSKYY V, et al. Habit-modifying additives and their morphological consequences on photoluminescence and glucose sensing properties of ZnO nanostructures, grown via aqueous chemical synthesis [J]. Vac, 2015, 116: 21-26.

[19] KONGJAI K, CHOOPUM S, HONGSITH N, et al. Zinc oxide whiskers by thermal oxidation method [J]. Chiang Mai J Sci, 2011, 38: 39-46.

[20] LEE S H, LEE S W, OH T, et al. Direct observation of plasmon-induced interfacial charge separation in metal/semiconductor hybrid nanostructures by measuring surface potentials [J]. Nano Lett, 2018, 18: 109-116.

[21] BAO Y, WANG C, MA J Z. A two-step hydrothermal route for synthesis hollow urchin-like ZnO microspheres [J]. Ceram Int, 2016, 42: 10289-10296.

[22] ZHONG M, GUO W M, LI C L, et al. Morphology-controllable growth of vertical ZnO nanorod arrays by a polymer soft template method: Growth mechanism and optical properties [J]. J Alloys compd, 2017, 725: 1018-1026.

[23] MAO C Y, XIANG Y M, LIU X M, et al. Photo-inspired antibacterial activity and wound healing acceleration by hydrogel embedded with Ag/Ag@AgCl/ZnO nanostructures [J]. ACS Nano, 2017, 11: 9010-9021.

[24] ZHANG Y, JIA H B, LUO X H, et al. Synthesis, Microstructure, and Growth Mechanism of Dendrite ZnO Nanowires [J]. J Phys Chem B, 2003, 107: 8289-8293.

[25] CHENG Q J, OSTRIKOV K. Temperature-dependent growth mechanisms of low-dimensional ZnO nanostructures [J]. CrystEngComm, 2011, 13: 3455.

[26] OSTRIKOV K, LEVCHENKO I, CVELBAR U, et al. From nucleation to nanowires: a single-step process in reactive plasmas [J]. Nanoscale, 2010, 2: 2012-2027.

[27] CHEN W Z, WANG B B, QU Y Z, et al. Catalyst-free growth and tailoring morphology of zinc oxide nanostructures by plasma-enhanced deposition at low temperature [J]. J Nanopart Res, 2017, 19: 95 (11pp).

[28] MOZETIC M, CVELBAR U, SUNKARA M K, et al. A method for the rapid synthesis of large quantities of metal oxide nanowires at low temperatures [J]. Adv Mater, 17: 2138-2142.

Synthesis and Growth Mechanism of Zinc Oxide Nanorods

by Plasma-Enhanced Thermal Oxidation

GUO Bin¹², FU Junchi¹², QU Yazhou¹, CHEN Qijin^{12*}

(1. College of Energy, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Shenzhen Research Institute of Xiamen University, Shenzhen 518000, China)

Abstract: A new method of plasma thermal oxidation (i.e., custom-made plasma-enhanced horizontal tube furnace deposition system) was used to fabricate zinc oxide nanorods under the discharge of oxygen and argon gases. The morphology and microstructure of the synthesized single-crystal zinc oxide nanorods could be controlled by changing the reaction temperature, the flow rate ratio of argon and oxygen gases, as well as the discharge current. It was found that with the reaction temperature rised, until to 500 °C, the zinc oxide nanorods grew longer and more uniform; Under the different Ar and O₂ flow ratio, with the constant increase of the partial pressure of argon, until the argon and oxygen ratio is 45:5, as you can see, uniform zinc oxide nanorods grew longer with the increase of the discharge current. In addition, a plausible growth mechanism for the synthesis of zinc oxide nanorods under the plasma condition has been proposed. **Key words:** znic oxide; plasma; nanorods; growth mechanism; thermal oxidation