

文章编号:1005—0523(2007)04—0125—06

平板式 ZrO_2 汽车氧传感器发展综述

任继文

(华东交通大学 机电工程学院, 江西南昌 330013)

摘要:庞大的汽车氧传感器市场、严格的汽车尾气排放法规 and 我国国内相关技术的欠缺,使得研究和开发具有我国自主知识产权的性能好、可靠性高的氧传感器产品显得尤为迫切和重要。目前,平板式 ZrO_2 汽车氧传感器由于尺寸小,响应快,能耗低,易集成,在恶劣环境下工作稳定等优点成为汽车尾气控制的主流氧传感器,介绍了该传感器的结构、原理及研究进展、发展趋势。

关键词:平板式氧传感器;二氧化锆;浓差型氧传感器;极限电流型氧传感器;双电池宽范围型氧传感器

中图分类号:TP212.2

文献标识码:A

1 引言

当今汽车工业得到了快速的发展,大量的汽车在给我们的生活带来便利的同时也带来了许多的负面影响,如:汽车对能源的消耗、汽车的排气污染等等,为此,许多国家纷纷制定机动车排放法规来制约这一问题。目前国际上实施的汽车排放标准主要有欧洲标准、美国标准和日本标准三种体系。为了控制汽车尾气排放,汽车已经由传统的化油器发展为电子喷射系统,采用带有氧传感器和三元催化反应器的空燃比闭环反馈控制系统,其中,氧传感器对于提高燃烧效率、降低污染排放量和三元催化起着重要的作用。汽车使用时必须安装有氧传感器控制的电子喷射系统才能达到环保要求,每辆汽车至少要安装2个氧传感器,有报道称未来超低排放汽车有可能需要安装8个氧传感器。据专家预测,未来10年氧传感器市场年增长率达30%,到2008年年产量超过1亿。并且氧传感器属于易损件,基本上每个大修期(甚至每年)都要更换,而目前我国所有的汽车氧传感器全部依赖进口或者进口组装。

综上所述,庞大的汽车氧传感器市场、严格的汽车尾气排放法规 and 我国国内相关技术的欠缺,使得研究和开发具有我国自主知识产权的性能好、可靠性高

的氧传感器产品显得尤为迫切和重要。

2 空燃比控制系统

氧传感器通过测定汽车尾气中的氧含量,可以判断燃烧室的空燃比,再通过与微机控制的反馈系统相结合,便可以自动控制和调节 A/F ,达到节能和减少污染的双重目的。

目前在汽车中用氧传感器控制空燃比的反馈系统有两种。一种是三元催化系统,它在 Volvo 中被首次应用,随即被日本、美国公司用来降低汽车尾气有害气体的排放量,是目前控制汽车达标的主要措施。如图1,为了获得最佳的净化效率,三元催化反应器要求把空燃比精确地控制在理论空燃比($A/F \approx 14.7$)附近的最佳范围内。如图2,用理论空燃比传感器检测尾气中的氧浓度,并将其信号反馈给电子控制元件(ECU),又通过 ECU 发出指令来控制调节燃料供给系统,这样就构成了一个自动控制空燃比的闭环回路。采用三元催化的优点是净化效果及经济性好,主要问题是成本高,与汽油机相比,柴油机基本上是在稀薄混合气下工作,排气中的氧浓度较大,根据氧传感器的工作特性,难以实现精确的控制。另一种系统为稀薄燃烧控制系统,它是丰田公司1984年

收稿日期:2007—02—16

(作者简介:任继文(1969—),男,江西鹰潭人,副教授,研究方向是气体传感器。All rights reserved. <http://www.cnki.net>

首次应用. 该系统的目的是在保证有害气体的排放量低于规定值的基础上, 提高燃料的利用率. 即通过增大空燃比, 在稀薄燃烧的范围($A/F > 20$)燃烧, 使 NO_x 的浓度降低到允许范围之内. 但如果继续增大空燃比, 容易使发动机熄火, 引起输出功率下降, 同时由于不充分燃烧, 污染反而更严重, 达不到净化目的. 因此有必要控制空燃比在一个有限的范围内 ($14.7 \leq A/F \leq 23$). 基于此种目的, 在稀薄燃烧系统中, 也要用到氧传感器以控制发动机废气的空燃比.

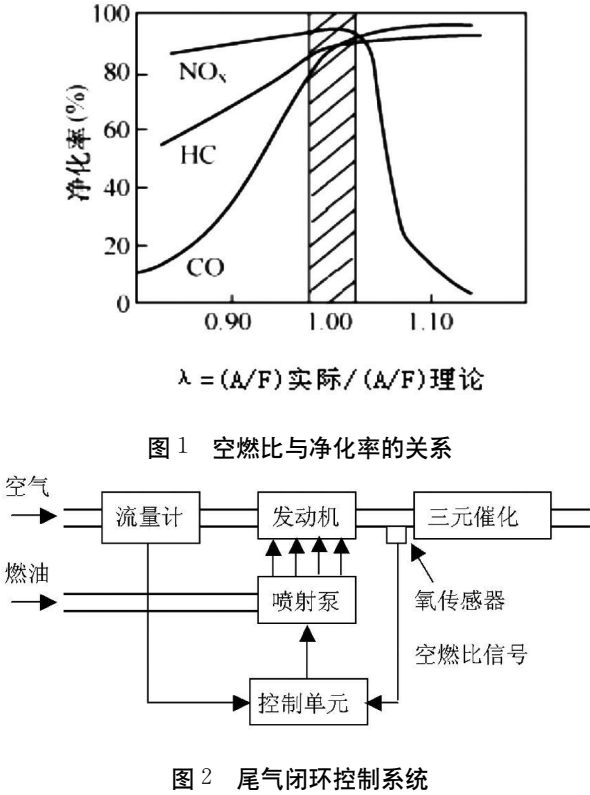


图 1 空燃比与净化率的关系

图 2 尾气闭环控制系统

3 汽车氧传感器分类、结构、原理

汽车氧传感器种类很多, 目前, 市场上汽车氧传感器产品按工作原理分为浓差电压型、极限电流型、电阻型; 按其应用控制系统来分包括理论空燃比传感器(即 λ 传感器)、稀薄空燃比传感器、宽范围空燃比传感器; 按其结构来分包括套管式和平板式; 按其材料来分包括氧化锆和二氧化钛. 相比较而言, 平板式 ZrO_2 汽车氧传感器由于尺寸小, 响应快, 能耗低, 易集成加热器, 在恶劣环境下工作稳定等优点是目前研究的热点, 必将取代套管式氧传感器成为主流产品. 下面介绍该传感器的结构、原理、国内外发展研究进展及发展趋势.

平板式 ZrO_2 汽车氧传感器整体结构如图 3 所示, 其核心部件是 ZrO_2 氧敏元件, 以下根据应用控

制系统分类分别介绍其结构和原理.

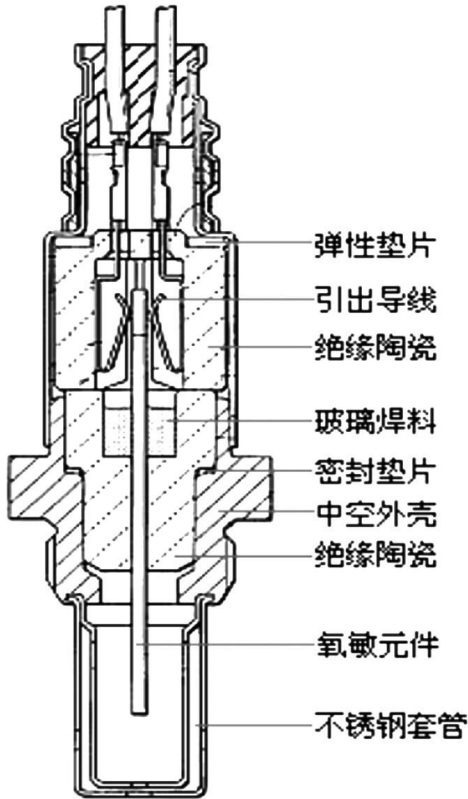


图 3 平板式 ZrO_2 汽车氧传感器整体结构图

1) 浓差型(Nernst 型)氧传感器

浓差型(Nernst 型)氧传感器的结构如图 4(a), 由多层结构组成, 包括基体、绝缘层、加热器、参比空气通道、电极、 ZrO_2 电解质和多孔保护层. 该传感器原理是基于 Nernst 方程, 利用高温离子导电而无电子导电的固体电解质的特性, 当达到工作温度(一般为 $700^\circ C$ 左右)时, 固体电解质两边氧分压不同而在两电极间产生浓差电势(Nernst 电势差), 如图 4(b)所示即

$$U = (RT/4F) \ln(P_{O_2 I} / P_{O_2 II})$$

式中: U ——氧浓差电势(V); R ——气体常数 ($8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{k}$); T ——工作温度; F ——法拉第常数; $P_{O_2 I}$ ——参比气体氧分压值; $P_{O_2 II}$ ——待测气体氧分压值.

其特性曲线如图 4(c)所示, 当 $\lambda < 1$ 时, 氧浓度很低, ZrO_2 固体电解质两侧的氧浓度差大, 两极间产生 0.9 V 左右的输出电势; 当 $\lambda > 1$ 时, 排气中氧含量高, ZrO_2 固体电解质两侧的氧浓度差小, 输出电势低(约 0.1 V); 当 $\lambda = 1$ 附近, 输出电势在以上两电势间产生突变. 由于在浓燃烧区域和稀薄燃烧区

域电压信号曲线平滑,所以,此类氧传感器只能够用于理论空燃比附近的反馈控制才具有较高的准确性.氧浓差型 ZrO_2 氧传感器主要应用于三元催化系统,通过控制保持在理论空燃比(约 14.7),使得三

元催化器净化尾气效率最高.对于稀薄燃烧应用(如汽油直接喷射发动机、柴油发动机、压缩空气发动机以及气体燃烧发动机等),此类氧传感器因没有足够的准确性而被以极限电流型氧传感器所取代.

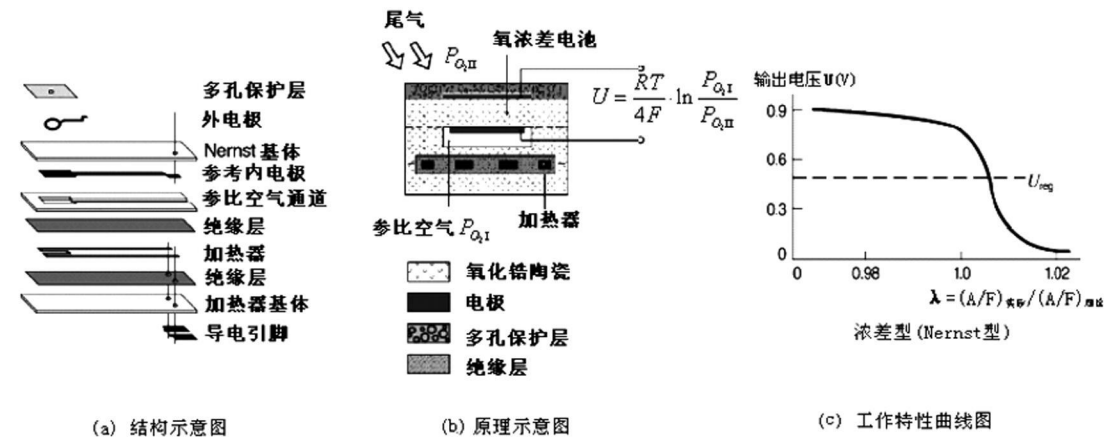


图 4 氧浓差型氧传感器的结构、原理

2) 极限电流型氧传感器

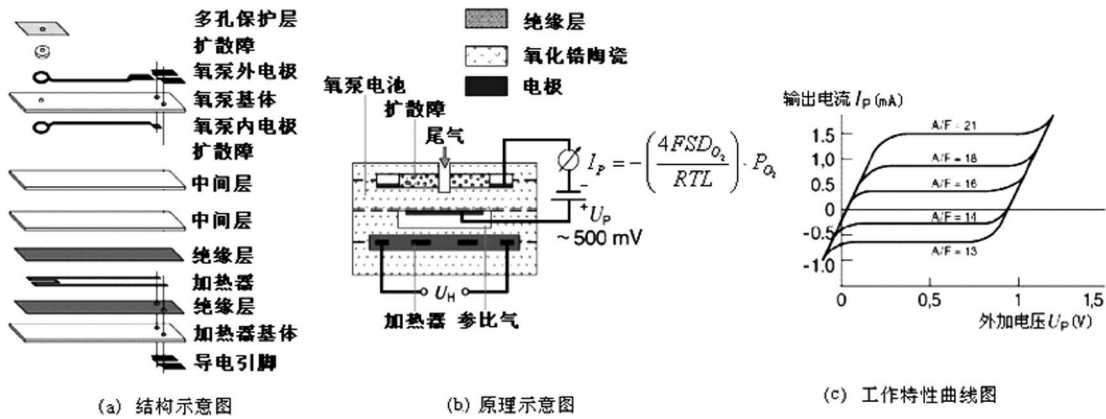


图 5 极限电流型氧传感器的结构、原理

极限电流型氧传感器结构如图 5(a),它不需要参比空气通道,比浓差型(Nernst 型)氧传感器多一个扩散层.它的工作原理是基于极限电流原理,如图 5(b)所示,当在 ZrO_2 固体电解质两端施加某一电压时,其阴极附近表面的氧分子(O_2)得到电子形成氧离子(O^{2-})被抽到阳极表面附近,再失去电子以氧分子(O_2)释放出来,即相当一个氧泵,因此电极电路中有电流通过.增大电压,流经回路的电流随之增大,在阴极前面的扩散障起着阻碍氧分子流向电极,待电压超过某一数值时,由于氧扩散速度小于泵氧速度,泵氧电流取决于氧扩散速度,氧电流不再增大而达到极限值.极限电流大小可由下式确定:

$$I_P = - \left(\frac{4FSD_{O_2}}{RTL} \right) \cdot P_{O_2}$$

式中: I_P ——氧传感器极限电流(A); D_{O_2} ——氧气的扩散系数; S ——小孔截面积; L ——小孔长度; P_{O_2} ——待测氧分压; F ——法拉第常数; T ——工作温度; R ——气体常数($8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{k}$).由该式可看出,极限电流的大小很好地反映氧分压的大小.其特性曲线如图 5(c)所示.

这类单电池限流型氧传感器主要用于稀薄燃烧发动机,而在理论空燃比附近以及在浓燃烧区域产生的信号极其微弱,不能够用于反馈控制.

3) 双电池宽范围型氧传感器

对于整个浓燃烧和稀薄燃烧范围的空燃比控

制,应用平板式双电池型宽范围型氧传感器则具有优势,它同时利用了氧浓差电池原理和电化学氧泵原理.这类传感器由 2 个电池组成:泵电池和传感电池,如图 6(a),它们由带有 20~50 μm 缝隙隔开.

如图 6(b)所示,该氧传感器的原理是尾气通过泵电池的小槽进入到 Nernst 室的检测腔.当混合气浓度稀时($\lambda > 1$),泵电池就将氧气从混合气中泵出;当混合气浓度浓时($\lambda < 1$),泵电池通过改变泵电流的方向就将氧气从外泵入检测腔中;在 $\lambda = 1$ 处,没有氧气需要泵出或者泵入, $I_p = 0$. 这样通过控制泵

电流就可以控制检测腔中的混合气使混合气的浓度达到理想的空燃比.由于泵电流和氧气的浓度成一定的比例关系,所以通过检测泵电流就可以知道混合气的稀或浓.在宽量程氧传感器中,加入了专门控制电路来获得泵电流,以泵电流作为检测废气过量空气系数入的参数.宽量程氧传感器的工作特性如图 6(c).其工作曲线比较平滑能够连续检测过量空气系数在 0.7~4 的范围内的任意一个值.发动机的 λ 控制不再是只对一个单独的点而是能对一个值域进行控制.

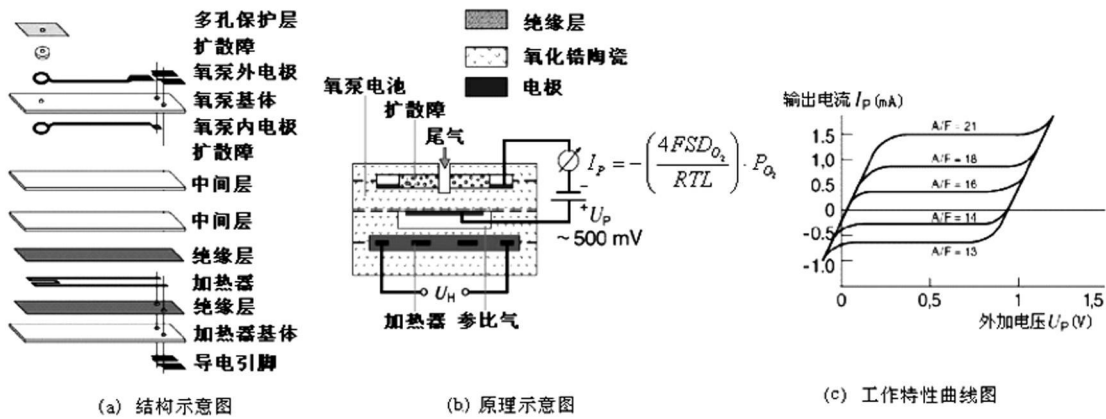


图 6 双电池宽范围型氧传感器的结构、原理

4) 各种氧传感器比较

从表 1 可以看出,极限电流型和宽范围型 ZrO_2 氧传感器适用于稀薄燃烧控制系统,比浓差电压型灵敏度更高,寿命更长,无需参比空气,在监控尾气排放同时,还可以节省燃油,因此更具有发展的潜力.

表 1 各种平板 ZrO_2 汽车氧传感器的比较

特性	ZrO_2 浓差电压型	ZrO_2 极限电流型	ZrO_2 双电池宽范围型
原理	氧浓差 $\rightarrow$ 浓差电势	氧泵原理 $\rightarrow$ 极限电流	综合利用前两者的原理
空燃比控制系统	三元催化系统	稀薄燃烧控制系统	稀薄燃烧控制系统
A/F	14.7	14.7~23	11~23
寿命	1 年	3 年	3 年
灵敏度	较低	较高	较高
特长	* 适合低浓度范围测量 * 高温环境中使用	* 寿命长 * 无需保养、校正 * 无需参比气体 * 测量范围广	* 寿命长 * 无需保养、校正 * 无需参比气体 * 测量范围广
不足	* 需参比气体 * 测试范围小	* 不能测试富燃区域 * 长期使用易发生信号漂移	* 结构复杂 * 后续电路复杂 * 制备工艺复杂

4 研究进展

自从 Bosch 公司于 1994 年研制出平板式氧化锆氧传感器产品,平板式氧传感器成为人们的研究热点,各大公司及研究机构围绕氧传感器的开发,分别从结构、材料及工艺等方面展开了许多研究.

4.1 结构方面

平板式氧传感器的结构形式包括片状、薄膜及厚膜,目前产品普遍采用技术成熟的片状和厚膜结构,薄膜型氧传感器由于响应快、灵敏度高、特性好、工作温度低将成为未来发展趋势.然而薄膜结构由于热应力及漏串电流问题仍处于研究阶段,David Te-yen Huang^[1]用有限元分析得到:在升温初期,传感元件内部将产生大于 200 MPa 的热应力,而在稳定工作时也有高达 100 MPa 以上的热应力.并在此基础上分析了氧传感器失效原因,为设计提供有益的帮助.传统的薄膜氧传感器是在氧化铝陶瓷基体上制备 YSZ 薄膜,值得注意的是,最近, R. Radhakrishnan^[2]等人针对当前汽车氧传感器存在输出信号较小,工作温度较高的问题,利用微加工技术,在硅

基上制作 YSZ 薄膜,为薄膜氧传感器的研制提出新的思路。

由于氧浓差型氧传感器需要参比空气,这样增加了平板式氧浓差型氧传感器的制作成本,因此,围绕这一难题,人们展开了一系列研究。有人提出用金属-金属氧化物如 Fe/FeO , Co/CoO , Ni/NiO , $\text{Cu}/\text{Cu}_2\text{O}$, Mo/MoO_2 , $\text{Cr}/\text{Cr}_2\text{O}_3$, Pb/PbO 和 Sn/SnO_2 等作为固态参比空气结构^[3-4],因为它们具有恒定的氧储特性,但存在不稳定的问题。针对这一问题, Nafiseh 等人利用 $\text{CeO}_2/\text{ZrO}_2$ 作为固态参比空气结构^[5-6],提高了其热稳定和化学稳定性,但仍存在与 YSZ 热不匹配的缺点,而后采用 $\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2-\text{TiO}_2$ 作为固态参比空气结构收到较好的效果^[7]。

目前极限电流型氧传感器上扩散障普遍采用物理扩散障(空隙型),材料一般为 Al_2O_3 ,这种氧传感器使用时存在许多问题,如:它的小孔在长期使用过程中易发生孔径变化及空隙被阻塞,且造价较高;多孔扩散障虽然制造简单但孔隙率的控制较困难,长期使用也会因孔形的变化产生相应的漂移;近年来, Fernando 等人^[8]采用混合离子导体材料 LSM 作为极限电流传感器的扩散障碍层,使用磁控溅射和丝网印刷成膜技术,在 YSZ 基体表面制备 LSM 致密扩散障碍层,成功地制备出致密扩散障碍层极限电流型氧传感器。该种传感器克服了小孔和多孔层极限电流型氧传感器的缺点,而且有更好的氧敏感特性,拓宽了传感器的氧测量范围,是一种很有前景的极限电流型氧传感器。

4.2 材料方面

氧传感器 ZrO_2 固体电解质层材料要求一方面允许实现氧离子的电化学传输,抑制尾气的物理通过,从而保证良好的氧离子导电性,另一方面还要具有高抗热震与抗机械破坏性能。传统的材料有 YSZ (yttria stabilized zirconia)、CSZ (calcia stabilized zirconia)、MSZ (magnesia stabilized zirconia) 等,目前较多采用 YSZ。

早期的氧传感器产品采用 Y_2O_3 含量为 8—12mol% 的 FSZ (full stabilized zirconia),具有高的氧离子导电性,但是,在机械强度和抗热震性能方面出现问题。而部分稳定的 Y_2O_3 含量为 4—5mol% 的 PSZ (partially stabilized zirconia),虽然降低了氧离子导电性,但在机械性能方面超过 FSZ^[9]。

在 YSZ 中加入 Al_2O_3 形成复合材料也是目前研究的热点^[10-12], Al_2O_3 的加入会影响 YSZ 材料的烧结性能、电性能、力学性能和微观结构。

贵金属铂具有良好的电导率、结构稳定性和化学稳定性,具有较好的吸附、脱附性能,是良好的催化剂,工作温度 400—1 000℃ 与固体电解质相兼容,因此是电极材料的首选。但由于它也存在一些缺点:例如易于吸附含铅、硫的蒸汽和 CO 气体,产生中毒;与有机物蒸汽反应,在表面形成有机膜,影响导电性;成本高等。人们开始寻找替换电极材料,如用 RuO_2 ^[13]、 $(\text{La}, \text{Sr})\text{MnO}_3$ ^[14] 替换 Pt,以减少电极与电解质的界面电阻。目前存在的问题是低温下氧传感器电阻大,氧传感器寿命短。

4.3 工艺方面

制备高纯、分散性好、粒度超细、粒度分布窄的 YSZ 粉体是制造性能良好的氧传感器的基础。YSZ 粉体的制备方法概括起来分为三大类:固相法,液相法和气相法。其中液相法由于制备形式的多样性、工艺简单、可控化学组成和粒度分布等特点而倍受人们重视。液相法包括共沉淀法、水解沉淀法、溶胶-凝胶法、水热法、反胶团法等。液相法合成 YSZ 粉体的主要问题是团聚,从沉淀的成核、晶粒生长、湿凝胶的清洗、干燥、烧结等每一个工艺过程均可能产生团聚体,大量研究致力于消除团聚^[15-18]。

成型工艺在整个陶瓷材料的制备过程中起着承上启下的作用,是保证陶瓷材料及部件的性能可靠性及生产可重复性的关键。成型工艺干法成型和湿法成型,干法成型有干压成型和等静压成型;湿法成型包括注浆成型、热压铸成型、流延成型、注模成型、注射成型、丝网印刷等。目前,国内外氧传感器生产厂家主要采用流延成型的方法,如德国的 BOSCH^[19]、美国的 DELPHI^[20]、日本的 NGK^[21]。

烧结方式和工艺对氧化锆固体电解质的离子导电性和机械强度会产生显著的影响,目前烧结方法有常压烧结、热压烧结、放电等离子体烧结、微波烧结等。大量的烧结工艺的研究致力于提高电解质瓷体的致密度和控制晶粒的大小^[22-24]。

平板式氧传感器结构由厚膜向薄膜方向发展,制备 YSZ 薄膜的方法很多,比较常用的是电化学气相沉积 (EVD)^[25]、等离子喷涂^[26]、电泳沉积 (EPD)^[27]、溶胶凝胶 (Sol-Gel)^[28]、磁控溅射^[29]、陶瓷薄膜成型 (流延成型^[30]、丝网印刷^[31]、轧膜成型) 等。

5 结论

综上所述,在环境保护日益迫切和能源危机日

益加重的今天,平板式 ZrO_2 汽车氧传感器由于稳定性好、尺寸小,响应快,能耗低,灵敏度高、工作温度低、输出信号大、成本低等优点已经成为汽车氧传感器发展方向.但同时薄膜化氧传感器在结构、材料、工艺等方面也带来了一些急需解决的新问题,解决这些问题也成为本领域的发展方向.

参考文献:

- [1] David Te-yen Huang. An integrated computer model for simulating electrothermo mechanical interactions of an exhaust oxygen sensor[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2001, (37): 657—672.
- [2] R. Radhakrishnan, A. V. Virkar, et al. Design, fabrication and characterization of a miniaturized series-connected potentiometric oxygen sensor [J], Sensors and Actuators B, 2005, (105): 312—321.
- [3] T. M. Gur, R. A. Huggins, US Patent 5,827,415 (1998).
- [4] H. Kaneko, T. Okamura, H. Taimatsu, Characterization of zirconia oxygen sensors with a molten internal reference for low-temperature operation, Sens. Actuators B, 2003, (93): 205—208.
- [5] N. Rajabbeigi, B. Elyassi, A. A. Khodadadi, et al. A novel miniaturized oxygen sensor with solid-state ceria-zirconia reference, Sensors and Actuators B, 2004, (100): 139—142.
- [6] B. Elyassi, N. Rajabbeigi, et al. An yttria-doped ceria-based oxygen sensor with solid-state reference, Sens. Actuators B, 2004, (103): 178—183.
- [7] Nafiseh Rajabbeigia, Bahman Elyassia, et al. Oxygen sensor with solid-state $CeO_2-ZrO_2-TiO_2$ reference, Sensors and Actuators B, 2005, (108): 341—345.
- [8] Fernando Garzon, Ian Raistrick, Eric Brosha, et al. Dense diffusion barrier limiting current oxygen sensors. Sensors and Actuators, 1998, B(50): 125—130.
- [9] J. Riegel, H. Neumann, H. M. Wiedenmann. Exhaust gas sensors for automotive emission control[J]. Solid State Ionics, 2002, (152—153): 783—800.
- [10] 利明, 何莉萍等. Al_2O_3 掺杂对 YSZ 固体电解质烧结及电性能的影响[J]. 无机材料学报, 2005, (5): 486—490.
- [11] A. J. Feighery, J. T. S. Irvine. Effect of alumina additions upon electrical properties of 8 mol% yttria-stabilised zirconia [J]. Solid State Ionics, 1999, (121): 209—216.
- [12] Binod Kumara, Christina Chen, et al. Electrical properties of heterogeneously doped yttria stabilized zirconia[J]. Journal of Power Sources, 2005, (140): 12—20.
- [13] Periaswami G. Low-temperature zirconia oxygen gauges based on RuO_2 electrode[J]. Solid State Ionics, 1988, (26): 311—317.
- [14] Klein M, Ihara T. Electrode material for zirconia sensors working at temperature lower than 500K[J]. Sensors and Actuators B, 1993, (13—14): 27—30.
- [15] 赵青, 常爱民, 等. 改性溶胶-凝胶法制备 ZrO_2 纳米粉及其团聚控制[J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(5): 683—686.
- [16] 酒金婷, 葛 钊, 等. 无团聚纳米氧化锆的制备及应用[J]. 无机材料学报, 2001, 16(5): 867—871.
- [17] 方小龙, 杨传芳, 等. 湿化学工艺条件对 $ZrO_2(Y_2O_3)$ 超细颗粒团聚的影响[J]. 硅酸盐学报, 1998, 12(6): 732—739.
- [18] 陈少贞, 林小莲. 湿法制备 ZrO_2 超细粉的团聚机理、表征及控制[J]. 佛山陶瓷[J]. 1995, (4): 1—5.
- [19] Heinz Geler, Helmut Weyl, et al. Measuring Sensor And Method For Its Fabrication[P]. USA: 6347543, Feb. 2002, 19.
- [20] Richard Eugene Fouts, Lora B. Younkman, et al. Method For Making a Wide Range Sensor Element[P]. USA: 6572747, June. 2003, 3.
- [21] Syunzo Mase, Shigeo Soejima. Electrochemical Sensing Element and Device Incorporating the Same[P]. Jul.
- [22] K. T. Kima, H. G. Kima, H. M. Jang. Densification behavior and grain growth of zirconia powder compact under high temperature[J]. International Journal of Engineering Science, 1998, (36): 1295—1312.
- [23] Christel Laberty-Robert, Florence Ansart, Celine Deloget, et al. Dense yttria stabilized zirconia: sintering and microstructure[J]. Ceramics International, 2003, (29): 151—158.
- [24] S. Tekeli, M. Erdogan, B. Aktas. Influence of ($-Al_2O_3$ addition on sintering and grain growth behaviour of 8 mol% Y_2O_3 -stabilised cubic zirconia ($c-ZrO_2$)[J]. Ceramics International, 2004, (30): 2203—2209.
- [25] US Patent, US4831965, Fabrication of solid oxide fuel cell by electrochemical vapour deposition.
- [26] Minh N Q, Takahashi T. Science and technology of ceramic fuel cells, Elsevier B. V., ISBN: 0-444-895668-X, U. S. A. 1995, (11): 289—291.
- [27] Fanglin Chen, Meilin Liu. Preparation of yttria-stabilized zirconia (YSZ) films on $La_{0.85}Sr_{0.15}MnO_3$ (LSM) and LSM-YSZ substrates using an electrophoretic deposition (EPD) process[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2001, (21): 127—134.
- [28] Weimin Liu, Yunxia Chen, et al. Preparation and characterization of doped sol-gel zirconia films[J]. Ceramics International, 2002, (28): 349—354.
- [29] M. Nakao, K. Kamimura, J. Yabuzaki, H. Satoh, and Y. Onuma. Preparation of tetragonal zirconia films for oxygen sensor by sputtering[C]. Trans. IEE of Japan, Vol. 115-A, No. 9pp. 1995, 886—889.

(下转第 151 页)

法[J]. 宇航学报, 2002, 23(3): 13—17.

Francisco; Morgan Kaufmann, 1998.

[8] Nilsson N J. Artificial intelligence: a new synthesis[M]. San

The Research of Route Planning for Air Vehicle Based on Genetic Algorithms

LI Si-hai, BAI Cun-ru

(College of Aeronautic, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In the paper, the routes planning problem of aircraft is studied. A method based on Genetic Algorithms is introduced. In the new planner, concrete planning approaches are developed by using modified genetic algorithms with some new proposed operators. Some simulation experiment results show the effectiveness of the proposed planning approach. It also can get famous routes and satisfy the request of On-Line-Time Planning.

Key words: route planning; constraints; On-Line-Real-Time Planning; Genetic Algorithms.

(上接第 130 页)

[30] 韩敏芳, 王玉倩, 等. 流延成型制备 8YSZ 电解质薄片及其性能研究[J]. 北京科技大学学报, 2005, 4(2): 209—

212.

[31] Nelson, Charles Scott (Clio, MI), Chen, et al. Planar exhaust sensor element with enhanced geometry[P]. USA: 6562215, May 13, 2003.

The Introduction and Prospects of Planar Zirconia Automotive Oxygen Sensors

REN Ji-wen

(School of mechanical and Electronical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Increasing automobile market, stringent emission regulations and the status of relying on import make it imminent and important to develop perfect and reliable automobile oxygen sensors with independent property right. At present, for small size, fast light off, low power, easiness to integrate and operating stability in the rough environment, planar zirconia automotive oxygen sensors is the dominating products in the market. This paper introduces its structure, principle and developing trend.

Key words: planar oxygen sensor; zirconia; potentiometric oxygen sensor; limiting current oxygen sensor; dual cell oxygen sensor.