

金属元素掺杂对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料性能影响的研究综述

罗逍遥¹ 甘玉玲¹ 余洋¹ 骆堂伟¹ 张星^{1, 2*}

1. 兴义民族师范学院 物理与工程技术学院 贵州兴义 562400; 2. 黔西南州微纳功能材料重点实验室 贵州兴义 562400

DOI:10.12238/ems.v7i7.14293

[摘要] $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 因其优异的物理和化学性质, 在固体氧化物燃料电池、磁电阻材料等领域具有广泛的应用前景。金属元素掺杂可有效调控其电子结构、磁学、电学和热学性能, 从而优化其在不同领域的应用效果。文章从掺杂的定义和分类、掺杂对材料性能的影响机制、 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料的基础性质和应用领域、金属元素掺杂对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料性能的影响及其应用前景等方面进行了深入分析。未来的研究可以从探索不同金属元素的掺杂效果、系统研究掺杂量对材料性能的影响、结合先进表征技术和计算模拟方法等方面展开。

[关键词] 金属元素掺杂; $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$; 性能调控

掺杂稀土的锰氧化具有钙钛矿结构, 它们在低温下表现为铁磁金属性质这类氧化物由于它们的特大磁电阻效应, 同时包含着深刻物理内涵引起了人们的广泛关注。钙钛矿 CMR 材料其具有强关联电子体系, 其中电子的电荷、轨道和自旋自由度相互耦合, 表现在电运输性和磁特性上。 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 作为一种典型的钙钛矿结构材料, 在不同的磁化状态下具有不同的磁电阻值的特点, 可以作为磁阻式的存储器, 又因为钙钛矿具有高抗氧化性和高温热稳定性, 对于高密度信息储存、磁阻性器件有很大的应用前。然而, 单一的材料往往难以满足复杂多变的应用需求, 因此, 通过金属元素掺杂来调控其性能成为了研究的热点。一些金属元素的掺杂可以显著提高材料的导电性, 从而增强其在电子器件中的应用效果^[1]。还能优化材料的热稳定性, 使其在高温环境下仍能保持良好的性能。这些优势使得金属元素掺杂成为提升 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料性能的重要手段。通过深入研究不同金属元素对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料性能的影响机制, 我们可以更深入地理解材料结构与性能之间的关系, 为设计新型高性能材料提供理论支持。

1 金属元素掺杂概述

1.1 掺杂的定义和分类

掺杂是早期相对简单成熟的改性方法, 元素掺杂手段的

使用, 本质上是通过掺杂元素或化合物对原始基体材料内部结构的影响。指的是在原有材料的基础上, 通过引入特定种类和数量的外来原子或离子, 从而改变材料的电子结构、晶体结构以及物理和化学性质的过程^[2]。这一过程旨在优化材料的性能, 拓宽其应用领域, 满足日益增长的科技和工业需求。掺杂的分类多种多样, 根据掺杂元素与基体材料的性质差异, 可以分为等电子掺杂和非等电子掺杂。等电子掺杂是掺杂元素与基体材料中的原子具有相同数量的价电子, 这种掺杂方式通常不会引入额外的电荷, 因此对材料的电子结构影响较小。而非等电子掺杂则涉及到价电子数量的变化, 它会在材料中引入额外的电荷, 从而显著影响材料的电子性质和磁学性质。

1.2 掺杂对材料性能的影响机制

掺杂对材料性能的影响机制是复杂的研究领域。金属元素掺杂作为一种调控材料性能的有效手段, 其影响机制涉及多个方面。掺杂可以改变材料的晶体结构, 进而影响其电子态和能带结构。通过引入不同种类的金属元素, 可以调控其电子自旋和轨道状态, 从而实现对其磁性和电学性能的调控^[3]。这种调控机制在自旋电子学、磁电阻效应等领域具有广泛的应用前景。掺杂可以改变材料的电子输运性质。金属元素的引入可以影响材料的载流子浓度和迁移率, 从而改变其

电阻率和电导率。这种影响机制在电子器件、传感器等领域具有重要的应用价值。通过调控掺杂元素的种类和浓度, 可以实现材料电阻率的精确控制, 从而优化电子器件的性能^[4]。

2 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料的应用

$\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料作为一种重要的钙钛矿型氧化物, 因为其功能性质可以简单的通过化学元素的掺杂等修饰。它还具有电子、磁和光学性质等方面独特的性质, 包括多铁、高温超导和巨磁阻效应。在固体氧化物燃料电池 (SOFC) 领域, $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 因其高电子电导率、高催化活性和良好的稳定性而被广泛用作阳极材料。通过金属元素掺杂, 可以进一步优化其电化学性能, 提高电池的能量转换效率。通过掺杂适量的 Co 元素, $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 阳极材料的电化学性能得到了显著提升, 使得 SOFC 的输出功率密度增加了 20% 以上^[7]。在磁学领域, $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 作为一种典型的巨磁阻材料, 具有顺磁-铁磁性转变特点。其温度转变点高于室温, 因此在自旋电子学及相关器件领域有较好的应用前景, 如磁隧道结、铁电隧道结及多铁隧道结等。金属元素掺杂可以调控其磁学性质, 使其在自旋电子学器件中有潜在的应用价值。通过掺杂 Fe 元素, $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 的居里温度得到了提升, 同时其磁阻效应也得到了增强, 这为开发高性能的自旋电子学器件提供了可能^[8]。由于 LSMO 具有室温金属-绝缘体相变特性, 而且材料在低温金属态具有较低的热发射率, 在高温绝缘态具有较高的热发射率, 因此可应用在热控、红外智能窗口等领域。

3 金属元素掺杂对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料性能的影响

3.1 掺杂元素种类和掺杂量的选择

在金属元素掺杂对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料性能影响的研究中, 掺杂元素种类和掺杂量的选择是至关重要的。掺杂元素种类的选择对于 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料的性能有着显著影响。例如, 某些金属元素如 Co、Ni 和 Fe 等, 由于其与 Mn 元素的电子结构相似, 可以在掺杂过程中有效地调节材料的电子状态, 从而改善其电导率和磁性能^[9]。这些元素的掺杂还可以增强材料的结构稳定性, 提高其抗热震性能。然而, 并非所有金属

元素都适合作为掺杂剂。某些重金属元素由于其较大的原子半径和强的电子相互作用, 可能会导致材料结构的破坏, 从而降低其性能。掺杂量的选择也是至关重要的。掺杂量过少时, 达不到预期的促烧效果, 过多的掺杂又会损害材料的力学性能。因此, 我们需要通过精确控制掺杂量来优化材料的性能。

3.2 掺杂对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料结构和性能的影响

掺杂作为一种调控材料性能的有效手段, 在 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料中发挥着至关重要的作用。通过引入不同种类和浓度的金属元素, 我们可以显著改变 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 的晶体结构和电子状态, 进而调控其物理和化学性质。当一定量的 Fe 元素掺入 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 中时, 可以观察到其晶体结构发生了明显的变化, 这种变化直接影响了材料的磁性和电导率。随着 Fe 掺杂量的增加, $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 的居里温度逐渐升高, 这意味着材料的磁性在高温下依然保持稳定^[10]。电导率测量结果显示, 适量的 Fe 掺杂可以显著提高 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 的导电性能, 这为其在电子器件领域的应用提供了可能。

3.3 掺杂对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料结构和性能的影响结果

金属元素掺杂对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料结构和性能的影响是一个备受关注的研究领域。通过掺杂不同种类的金属元素, 我们可以调控该材料的电子结构、磁性和电输运性质, 从而拓展其在电子器件、传感器和催化剂等领域的应用。以铜元素掺杂为例, 当铜的掺杂量达到一定值时, $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料的电阻率显著降低, 表现出良好的金属导电性^[11]。这一现象归因于铜元素的引入导致材料中电子浓度的增加和电子迁移率的提高。此外, 铜的掺杂还使得材料的磁性能得到增强, 表现为磁化强度的增加和居里温度的升高。这些变化为 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料在自旋电子学领域的应用提供了可能。

除了铜元素外, 其他金属元素如铁、钴、镍等也被广泛研究用于掺杂 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料^[12]。这些元素的掺杂同样会对材料的结构和性能产生显著影响。例如, 铁元素的掺杂可以提高材料的热稳定性和抗氧化性能, 而钴元素的掺杂则可

以增强材料的催化活性^[13、14]。这些研究不仅丰富了 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料的应用领域,也为我们提供了更多调控材料性能的手段。

4 结论

在未来对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料进行金属元素掺杂性能影响的研究中,可以尝试使用其他过渡金属元素,如Fe、Co、Ni等,以研究它们对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料结构和性能的影响。可以考虑使用稀土元素进行掺杂,以探索其对材料性能的优化作用。在现有的研究中,通常只关注了某一固定掺杂量对材料性能的影响,对于掺杂量的变化对材料性能的影响缺乏系统的研究。因此,未来的研究可以通过改变掺杂量,探索其对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料结构和性能的影响规律,以找到最佳的掺杂量。此外,还可以结合先进的表征技术和计算模拟方法,深入研究金属元素掺杂对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料性能的影响机制。

[参考文献]

- [1]谢晶,卢晗锋,刘华彦,等.金属丝网型 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 催化剂的制备及其表征[J].无机材料学报,2007,22(6):1221-1226.
- [2]黄浩,邵光杰,胡婕.高压下纳米 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 块状材料的成型及性能研究[J].无机材料学报,2010,25(5):473-479.
- [3]周月鑫.掺杂 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 体系微波吸收特性研究[D].西安电子科技大学,2013.
- [4]Aktas B, Bal B, Sezen M, et al. Solution processed $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ - $\text{Bi}_{1.44}\text{Y}_{0.56}\text{O}_3$ composite thin films with self-assembled nanolayered structures[J]. MRS Communications, 2023, 13(6): 1357-1362.
- [5]张爱梅,朱佳佳,方天诚,等. Al^{3+} 掺杂对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Mn}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ 电输运性能的影响[J].无机材料学报,2023,38(2):148-154.
- [6]Moncasi C, Gauthier Lefèvre, Villegier Q, et al. Structural Defects Improve the Memristive

Characteristics of Epitaxial $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ -Based Devices [J]. Advanced materials interfaces, 2022, 9(23): 2200498.

[7]刘菲,杨贝贝,马馨语,等.可逆单部件燃料电池双功能催化剂 $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_3$ 的制备及电化学性能研究[J].燃料化学学报(中英文),2023,51(6):852-862.

[8]姜晓峰,周芬,郜建全,等.基于多掺杂的 CeO_2 和 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Fe}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}\text{O}_{3-\delta}$ 极限电流型氧传感器的制备及性能研究[J].中国稀土学报,2023,41(5):949-955.

[9]梁贻景,马岩,卢展烽,等. $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 钙钛矿涂层的抗结焦性能[J].化工进展,2023,42(4):1769-1778.

[10]祁明群,吴真平.外延应力调控(111)取向 $\text{La}_{0.66}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ 外延薄膜的物理性质[J].信息记录材料,2022,23(2):18-19.

[11]周国伟,李枝兰,王晓娇.应力与取向调控超薄 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 薄膜各向异性的研究[J].材料导报,2022,36(19):21020016.

[12]刘洪浩,韩超,马建欣,等.基于 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}/\text{Ag}$ 双相复合敏感电极的 NO_2 传感器研究[J].河北科技大学学报,2023,44(3):307-314.

[13]张青青,张聪敏,纪登辉,等. Mn^{2+} 离子掺杂 $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.1}\text{Mn}_{1-x}\text{O}_{3\pm\delta}$ 钙钛矿材料性能研究[J].西北师范大学学报:自然科学版,2022,58(1):58-64.

[14]罗贵成,罗凌虹,程亮,等.A位掺杂 Gd^{3+} 对 $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_{6-\delta}$ 材料的性能影响[J].陶瓷学报,2022,43(6):1080-1088.

作者简介:罗逍遥(2002.5-)男,苗族,贵州镇远人,本科在读。

本文为贵州省大学生创新创业项目“金属元素掺杂对庞磁电阻材料性能影响的研究(202210666216)和金属元素掺杂对 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 材料性能影响的研究(S202310666074)”的研究成果。