**3实验结果**

**3.1电化学阻抗谱（EIS）**

电化学阻抗谱（EIS 曲线）的高频截距反映的是电池的欧姆阻抗（RΩ），低频截距为电池总阻抗（RT），两者的差值为该电池的极化阻抗（RP）

本次实验分别在800℃、750℃、700℃三个温度下对LSM为氧气极电解质支撑性SOC、LSCF为氧气极电解质支撑性SOC以及LSM为氧气极燃料极支撑性SOC做了EIS测定，为方便叙述，下文将分别用Cell1、Cell2、Cell3来代替LSCF为氧气极电解质支撑性SOC、LSM为氧气极燃料极支撑性SOC和LSM为氧气极电解质支撑性SOC。

****

图3-1 Cell1在不同温度下的EIS曲线

如图3-1所示，在800℃、750℃、700℃三个不同的温度下，Cell1的阻抗谱图曲线对比。从图中可以很明显的发现，随着温度升高，所测的EIS曲线逐渐左移。800℃时，Cell3电池的欧姆阻抗（RΩ）为4.29Ωcm2，总阻抗（RT）为16.50Ωcm2，极化阻抗（RP）为12.21Ωcm2；750℃时，电池的欧姆阻抗（RΩ）为8.30Ωcm2，总阻抗（RT）为40.29Ωcm2，极化阻抗（RP）为31.99Ωcm2；700℃时，电池的欧姆阻抗（RΩ）为12.37Ωcm2，总阻抗（RT）为73.80Ωcm2，极化阻抗（RP）为61.43Ωcm2；极化阻抗在800℃、750℃、700℃分别占总阻抗的74%、79.3%、83.2%。随着温度升高，EIS曲线的低频弧迅速地减小。

****

图3-2 Cell2在不同温度下的EIS曲线

如图3-2所示，在800℃、750℃、700℃三个不同的温度下，Cell2的阻抗谱图曲线对比。从图中可以很明显的发现，随着温度升高，所测的EIS曲线逐渐左移。800℃时，Cell2电池的欧姆阻抗（RΩ）为0.018Ωcm2，总阻抗（RT）为0.047Ωcm2，极化阻抗（RP）为0.029Ωcm2；750℃时，电池的欧姆阻抗（RΩ）为0.027Ωcm2，总阻抗（RT）为0.078Ωcm2，极化阻抗（RP）为0.051Ωcm2；700℃时，电池的欧姆阻抗（RΩ）为0.031Ωcm2，总阻抗（RT）为0.146Ωcm2，极化阻抗（RP）为0.115Ωcm2；极化阻抗在800℃、750℃、700℃分别占总阻抗的74%、79.3%、83.2%。随着温度升高，EIS曲线的低频弧迅速地减小。

****

图3-3 Cell3在不同温度下的EIS曲线

如图3-3所示，在800℃、750℃、700℃三个不同的温度下，Cell3的阻抗谱图曲线对比。从图中可以很明显的发现，随着温度升高，所测的EIS曲线逐渐左移。800℃时，Cell3电池的欧姆阻抗（RΩ）为5.78Ωcm2，总阻抗（RT）为11.6Ωcm2，极化阻抗（RP）为5.87Ωcm2；750℃时，电池的欧姆阻抗（RΩ）为8.81Ωcm2，总阻抗（RT）为18.89Ωcm2，极化阻抗（RP）为10.08Ωcm2；700℃时，电池的欧姆阻抗（RΩ）为14.03Ωcm2，总阻抗（RT）为30.27Ωcm2，极化阻抗（RP）为16.24Ωcm2；Cell3的EIS曲线在三个不同的温度下均出现明显的压扁的圆弧形状，这表明了这电极反应中至少包括了两个电化学的步骤。

****

图3-4 700℃Cell1、Cell2、Cell3的EIS曲线

****

图3-5 750℃Cell1、Cell2、Cell3的EIS曲线

****

图3-6 800℃Cell1、Cell2、Cell3的EIS曲线

图3-4、图3-5、图3-6分别所示为700℃、750℃、700℃下三种电池Cell1、Cell2、Cell3的EIS曲线对比。Cell2是电极支撑性电池所以相比于电解质支撑性电池而言阻抗相当小，所以在图中汇聚为接近于原点的点了。Cell1电池和Cell3电池相比，Cell1电池和Cell3电池的欧姆电阻相近，欧姆阻抗主要有电解质层决定，所以两者的欧姆电阻较为接近。由于Cell1电池和Cell3的氧气极材料不同，所以在极化阻抗上有很大的差别，以LSM为氧气极的Cell3电池的极化阻抗远小于以LSCF为氧气极的Cell1电池的极化阻抗。随着温度上升，Cell1的极化阻抗比Cell3的极化阻抗下降快很多。

**3.2 SOFC模式下的I-V曲线**



图3-7 Cell1在不同温度下的SOFC模式的IV曲线

图3-7所示为SOFC模式下的Cell1在不同温度下的IV曲线，三组曲线的电池开路电压（Open Circuit Voltage，OCV）约在1.1左右，符合理论值，说明电解质致密性较为良好。由于该电池是电解质支撑性的电池，所以电解质层很厚，总电阻很大，导致电流密度很小。



图3-8 Cell2在不同温度下的SOFC模式的IV曲线



图3-9 打磨掉氧气极的Cell2

图3-8所示为SOFC模式下的Cell2在不同的温度下的IV曲线，800℃、750℃、700℃下三组IV曲线的电池开路电压（OCV）分别为0.889V、0.757、0.692，已经偏离了理论值，怀疑由于燃料极支撑性电池的电解质层太薄可能出现电解质不密封导致的。在该组实验结束后，取下电池，将电池的氧气极打磨掉，如图3-9所示。观察电解质层表面出现一个细小漏洞如图中红圈所示，并用红墨水滴在燃料极上，观察到在漏洞中有红墨水渗透进。该电池为燃料极支撑性电池，极薄的电解质层使得电池的总电阻非常小，使得电流密度相对于电解质支撑性的电池（Cell1、Cell3）大很多。



图3-10 Cell3在不同温度下的SOFC模式的IV曲线

如图3-9所示，Cell3在不同温度下的SOFC模式的IV曲线，电压随电流增大而降低，且曲线近乎呈现出直线，三个温度下的开路电压都在1.05V左右，符合理论值，表明该电池的电解质层很致密。但是因为电解质层的厚度太厚，总阻抗非常大，导致和Cell1一样出现电流密度非常小的情况。

**3.3 SOFC模式下I-P曲线**



图3-11 Cell1在不同温度下的SOFC模式的I-P曲线



图3-12 Cell2在不同温度下的SOFC模式的I-P曲线



图3-13 Cell3在不同温度下的SOFC模式的I-P曲线

Cell1、Cell2、Cell3代表的LSCF为氧气极电解质支撑性SOC、LSM为氧气极燃料极支撑性SOC和LSM为氧气极电解质支撑性SOC在不同温度下的I-P曲线如图3-11、图3-12、图3-13所示。从电池的三组不同温度的I-P曲线来看，随着温度的升高，功率的最大值会越大，并且最大功率所在的电流密度的值也会相应地增加，三组电池在800℃时，电功率为最大。在800℃时，Cell1在电流密度为4.45mA·cm-2时得到最大功率2.23mW·cm-2，Cell2在电流密度为43.4mA·cm-2时得到最大功率20.9mW·cm-2，Cell3在电流密度为3.17mA·cm-2时得到最大功率1.57mW·cm-2，Cell1、Cell3均是电解质支撑性电池，电阻大，在SOFC放出小电流密度的情况下就达到了最大功率，而Cell2的电阻小，所以测得的功率最大值要远大于Cell1和Cell3电池的最大功率。

**3.4 SOEC模式下的I-V曲线**



图3-9 Cell3在不同温度下的SOEC模式的IV曲线

图3-9所示为Cell1在SOEC模式下不同温度下的IV曲线，SOEC模式的电流方向为负值，为便于作图，将负值的电流转为正值的电流作图（下同）。



图3-10 Cell1在不同温度下的SOEC模式的IV曲线



图3-11 Cell2在不同温度下的SOFC模式的IV曲线