

課題番号 : F-21-KT-0002
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 超高エネルギー密度, 本質安全および長寿命な鉄-空気二次電池 Shuttle Battery の開発
Program Title(English) : Development of vibration-powered generators
利用者名(日本語) : 岩井裕, 岸本将史, 上口聡
Username(English) : H. Iwai, M. Kishimoto, S. Ueguchi
所属名(日本語) : 京都大学大学院工学研究科
Affiliation(English) : Graduate School of Engineering, Kyoto University
キーワード/Keyword : 固体酸化物電池、電解質、形状・形態観察、成膜・膜堆積、エネルギー関連技術

1. 概要(Summary)

エネルギー需要の増加に伴い、太陽光、風力、バイオマスといった再生可能エネルギーの導入が進んでいる。再生可能エネルギーは、温室効果ガスを排出しないことや国内で生産できることなどが利点として挙げられる一方で、季節や天候によって供給が不安定になるという問題がある。したがって、電力供給を安定化させるためには発電により得られた電力を貯蔵することが重要になる。

電力貯蔵デバイスの一つに二次電池がある。二次電池には、充放電に要する時間が短いこと、エネルギー密度が高いこと、サイクル寿命が長いこと、大型化が可能であることなどが求められる。これらの条件を満たすデバイスとして、鉄の酸化還元反応と固体酸化物形電池を組み合わせた固体酸化物形鉄空気電池 (solid oxide iron-air battery: SOIAB) が注目されている[1, 2]。この二次電池は他の二次電池と比べてエネルギー密度が高く、さらに鉄が安価で大量に存在することからコストの面からも、他の二次電池よりも優れていると考えられている。また、SOIAB に用いられる固体酸化物形電池 (solid oxide cell: SOC) は、発電と電解の両方を行うことができるため、発電と電解を別々のデバイスで行うシステムよりもコスト的に有利である。固体酸化物形電池は発電時には SOFC (solid oxide fuel cell)、電解時には SOEC (solid oxide electrolysis cell) と呼ばれる。

SOIAB の性能は固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の性能によって左右されるため、その電極反応の理解を進め、性能向上に向けた取り組みを推進することが求められる。本研究では以上を受け、電極反応の理解と性能向上を目的とし、主に2つの検討を行う。

① レーザー加工を用いて電解質表面に溝加工を施し、そこに電子線蒸着装置を用いて金属触媒 (Ni) を堆

積させることで、反応サイトが線状に存在するモデルセルを作製する。それを用いて電気化学測定や同位体交換実験[3]を行うことで電極活性や反応サイトの広がりを明らかにする。

② レーザー加工やマイクロパターニング法を用いて SOFC セル内の電極-電解質界面にメゾスケールの凹凸加工を行うことで、反応サイトを拡大させる。加工した凹凸形状を3D測定レーザー顕微鏡により観察し、得られた構造を数値シミュレーションに組み込むことでメゾ加工の効果を詳細に明らかにする。

2. 実験(Experimental)

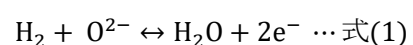
【利用した主な装置】

電子線蒸着装置, 3D 測定レーザー顕微鏡

【実験方法】

前章①の手法について記述する。レーザー加工により 10 μ m オーダーの溝列を設けたセラミック板 (材質: YSZ (Yttria-Stabilized Zirconia)) を準備し、3D 測定レーザー顕微鏡を用いてこの溝列形状を確認した。次に、電子線蒸着装置により溝列内部および表層に Ni を堆積させた。自研究室において表層を研磨し、反応サイトを線状に出現させその性状を確認した(こまでに F-20-KT-0063 で報告済み)。

次に作製したモデルセル (Fig. 1) を用いて同位体交換実験を行った。YSZ は 700~1000 $^{\circ}$ C の高温下において O $_2$ が電荷キャリアとなり Ni-YSZ-気相の三相界面 (TPB: Triple Phase Boundary) において以下の反応が発生する。



そこで酸素同位体である ^{18}O を含む水蒸気雰囲気下に

モデルセルを置き、

- ① 平衡状態すなわち正反応と逆反応が拮抗する状態において長時間放置し、逆反応により ^{18}O を YSZ 内に侵入させる
- ② 電流を印加させ逆反応を積極的に起こし ^{18}O を YSZ 内に侵入させる

の 2 通りの実験を行った。概念図を Fig. 2 に示す。

侵入させた同位体の可視化は ^{18}O と ^{16}O の質量差を利用し行う。これには東京大学 微細構造解析プラットフォームに設置の超微量元素計測システム Nano SIMS 50L を用いる予定である。これにより、TPB で発生するとされている反応の範囲を可視化し、反応機構の詳細を分析することで、高性能な燃料電池の開発に資する。

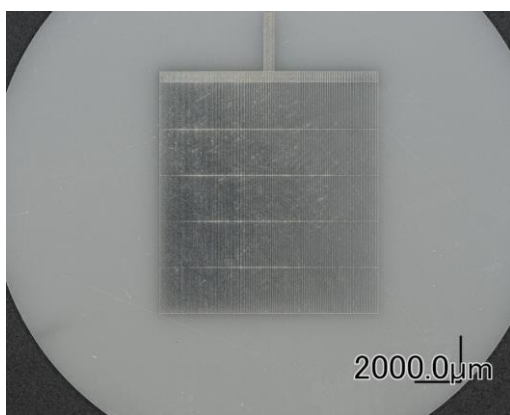


Fig. 1 Model cell with patterned electrode.

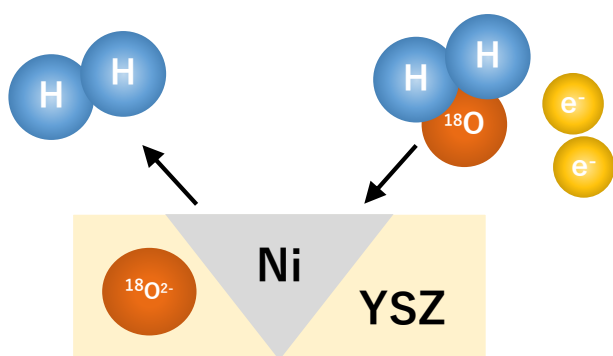


Fig. 2 Concept image of invasion of oxygen isotope.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

現在、同位体置換工程まで完了しており、今後観察を行う予定である。

4. その他・特記事項(Others)

参考文献

- [1] N. Xu et al., Energy Environmental Science, 4 (2011) 4942
- [2] H. Ohmori et al., Journal of Power Sources, 309 (2016) 160-168
- [3] T. Nagasawa et al., Journal of Power Sources 367(2017) 57-62

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし

6. 関連特許(Patent)

なし