

科学研究費補助金（特別推進研究）公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成20年度採択分  
平成23年5月24日現在

研究課題名（和文） **電気化学デバイス工学の確立と深化**  
研究課題名（英文） **Establishment of  
Electrochemical Device Engineering**



研究代表者  
**逢坂 哲彌** (OSAKA TETSUYA)  
早稲田大学・理工学術院・教授

研究の概要：電気化学ナノテクノロジーを機軸とし、実用化につながる実践的デバイス開発研究を行っている。この研究開発のなかで、電気化学系ナノ構造界面制御による新機能発現を指向した材料開発が実践的活用によるデバイス開発につながっているため、これを「電気化学デバイス工学」という体系化にむけて学問領域の確立とその深化を進める。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料化学・機能材料・デバイス

キーワード：電気化学、ナノ界面制御、先端機能デバイス、電池、センサ、磁性

#### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこれまで、厳密な界面反応場設計と電気化学反応制御による材料創製の概念として「電気化学ナノテクノロジー」を世界に先駆けて提唱し実践してきた。新材料の創製はデバイス開発と実用化に繋がり、その実用化研究には克服すべき課題も生じるが、概して事象ごとの経験論に基づき産と学とでそれぞれアプローチがとられる中、そこに存在する共通概念や普遍性を体系化した新たな学理の構築が求められる。

#### 2. 研究の目的

電気化学ナノテクノロジーを機軸とした界面反応場設計と実践的デバイス開発研究とを包括的に展開することで、その根幹にある普遍的な共通因子の抽出と体系化を進め、学問領域としての「電気化学デバイス工学」の確立と深化を目指す。

#### 3. 研究の方法

実践的開発研究対象とするデバイスを界面設計の対象となる次元で分類し、包括的な展開を図る。3次元の界面設計は、固液界面における電子移動や物質移動を伴う電気化学デバイスにおいて極めて重要な因子であり、その設計と制御が材料およびデバイス特性に特に大きく寄与するエネルギーデバイスを主要な対象とする。2次元の界面設計では、理想的には平坦な固体表面を基板とし、タンパク質などの生体分子の配列や配向性を制御した超薄膜を分子認識と検出の場と

するセンサデバイスおよび精密めっきプロセスによる高機能めっき膜を対象とする。0次元としてはナノ粒子を扱うこととし、界面設計による材料特性の均質化と高品質化、さらに高次集合構造の制御への展開のため、実デバイスとしての要求も高い超高密度磁気記録デバイスへの応用をアプローチの一つとする。それぞれの次元がデバイス特性に最も顕著に反映される代表的デバイスの実践的研究を軸とするとともに、一つのデバイスに対する複数の次元からのアプローチと、ある次元で得られた知見の複数のデバイスの界面設計へのフィードバックとを、効果的かつ相乗的に図る。

#### 4. これまでの成果

(1) 3次元構造と界面の設計によるエネルギー材料・デバイスプロセス開発をリチウム系二次電池と微小燃料電池を対象に展開した。リチウム二次電池研究では、新規負極用材料をLiイオンの移動、反応場、電子移動の観点から3次元微細構造を設計し、電気化学的手法を用いてSn系およびSi系材料を開発した。特にSi系材料は4,000回以上のサイクルが可能で、高エネルギー密度を維持するという新奇な特性を有することを確認している。また、負極と電解質との界面安定化を目的とした反応場雰囲気制御による負極寿命の延長を見いだしたほか、3次元構造ゲル電解質の可塑剤としてのイオン液体の適用による熱安定性の向上を実現した。燃料電池用触媒材料の開発においては、電気化学的な合金化脱合金化反応の適用により3次元

#### [ 4. これまでの成果 (続き) ]

的に制御されたメソポーラス構造を有する触媒の合成に成功した。また、自吸式無隔膜微小燃料電池の開発研究においては、柔軟で安価な高分子材料を利用するフレキシブル燃料電池を実現した。

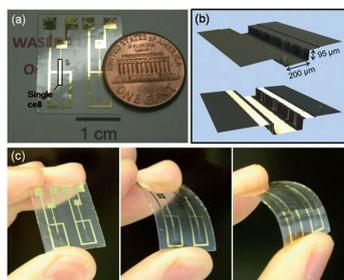


図1 フレキシブル燃料電池セル。

T. Osaka, *et al.*, *Energy Environ. Sci.*, **2**, 1074-1077 (2009).

(2) 電界効果トランジスタ (FET) を基幹デバイスとしたバイオセンサ構築を、 $\text{SiO}_2$  絶縁ゲート/溶液界面での2次元分子配列やナノ構造の制御に着目して推進した。界面モデルに基づく最適溶液イオン強度の検討を行ったほか、アミノプロピルシリル分子膜を介して抗体を固定化したゲートを認識場とする腫瘍マーカー検出センサの構築に取り組み、ゲート上での抗体の2次元配列制御や安定化に有効な処理法を見いだすとともに、血清中での実践的な検出に向けて有用な知見を得た。また、固体基板上の単分子膜形成分子と溶液中の対象分子との金属錯体形成に基づくキラル認識能の発現に着目し、FETキラルセンサの開発に取り組み、Au被覆  $\text{SiO}_2$  ゲート上に形成したホモシステイン単分子膜によるキラル認識とそのFETによる検出を実証した。また、高機能めっき膜として接点抵抗値が低く、かつある程度の硬さを持ち合わせたエレクトロニクスナノ構造体に適するアモルファス金めっき膜を開発した。

(3) ナノ粒子/溶液界面制御による機能化と高次集合体材料の開発へのアプローチとして、ナノ粒子の均一配列パターン形成を検討した。FePt ナノ粒子表面との相互作用が期待されるメルカプトプロピルシリル単分子膜を  $\text{SiO}_2$  基板上に形成し、FePt ナノ粒子の固定化を行った。さらに、インプリントナノリソグラフィにより形成されるサブミクロンレベルの3次元ナノマイクロ構造を基板に設けることで、粒子の均一配列化に成功した。一方で、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ナノ粒子の合成条件がナノ粒子/溶液界面特性、特にゼータ電位の制御に有用であることを見だし、その特性制御が、ナノ粒子のがん細胞への取り込み効率の向上に繋がることを確認した。

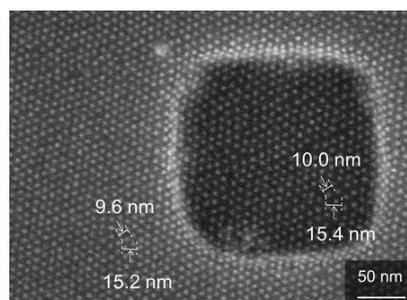


図2 3次元ナノマイクロ構造上のFePtナノ粒子配列パターン。

T. Osaka, *et al.*, *J. Magn. Magn. Mater.*, (Available online 28 December 2010).

#### 5. 今後の計画

3次元、2次元、0次元それぞれの界面設計と材料およびデバイス機能発現との関係について、次元を基軸とした類別とその体系化を推進し、材料の開発研究やデバイスの実用化研究にパラダイムシフトをもたらす「電気化学デバイス工学の確立と深化」に取り組む。

#### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

(1) S. Tominaka, S. Ohta, H. Obata, T. Momma, T. Osaka, "On-Chip Fuel Cell: Micro Direct Methanol Fuel Cell of an Air-breathing, Membraneless, and Monolithic Design", *J. Am. Chem. Soc.*, **130**, 10456-10457 (2008).

(2) S. Hideshima, R. Sato, S. Kuroiwa, T. Osaka, "Fabrication of Stable Antibody-Modified Field Effect Transistors Using Electrical Activation of Schiff Base Cross-linkages for Tumor Marker Detection", *Biosens. Bioelectron.*, **26**, 2419-2425 (2011).

(3) T. Hachisu, W. Sato, S. Ishizuka, A. Sugiyama, J. Mizuno, T. Osaka, "Injection of synthesized FePt nanoparticles in hole-patterns for bit patterned media", *J. Magn. Magn. Mater.*, (Available online 28 December 2010).

他 68 件

#### 主な受賞

- ・逢坂哲彌、平成 22 年春の褒章 紫綬褒章【発明改良】
- ・逢坂哲彌、平成 20 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞【開発部門】

ホームページ等

<http://www.ec.appchem.waseda.ac.jp/INDE XJ.HTM>