

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成18年度採択分

平成21年4月29日現在

研究課題名（和文） ナノエネルギーシステム創生の研究

研究課題名（英文） Research of nano-energy system creation

研究代表者

氏名 桑野 博喜（Kuвано Hiroki）

所属研究機関・部局・職 東北大学大学院・工学研究科・教授



推薦の観点： 社会・経済の発展の基盤を形成する先見性・創造性に富む研究

研究の概要：身の回りに存在する温度差，振動，糖分などの低密度エネルギーを効果的に電気エネルギーに変換して利活用するナノエネルギーシステムを実現する。環境保全や安心安全のために広範囲に配置されるセンサなどの超マイクロ機器や，体内治療・計測用として体内で動作する装置の自律動力源としての適用が期待される。さらに，これまで活用されることなく発散していた低密度エネルギーを，各種産業，家庭において有効利用することにより地球温暖化の防止に貢献する。本研究では，ナノ・マイクロマシニングによる新しいデバイス作製法およびナノエネルギー評価法などの開発を行うことによりナノエネルギーシステムを実現する。

研究分野： 総合・新領域系分野

科研費の分科・細目： マイクロ・ナノデバイス

キーワード： マイクロエネルギー，バイオ発電，熱電発電，環境発電，MEMS

1. 研究開始当初の背景： マイクロマシン・MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)技術の進展と情報通信分野，医療健康・福祉分野や環境分野における使用機器小型化の進展によるエネルギー源小型化の要請が背景である。これらの小型化は，センサ，アクチュエータ，電子制御回路，送受信装置などに研究開発が集中しており，これらを駆動するエネルギー源の小型化についてはリチウムイオン電池など目覚ましい発達を遂げてはいるが，大きさ，寿命，安全性，エネルギー密度などの観点から課題が顕在化している。マイクロマシン・MEMSは，ここ20年近く研究開発が続けられているが，これらをマイクロエネルギー源については，外部供給が主であり，研究例は極めて少なく，また，体系立てて理解し，学術分野として構築し，産業に展開していく試みは国内外ともに稀有であった。

2. 研究の目的： 本研究は，情報通信分野，医療健康・福祉分野，環境分野などの分野で必須とされる使用機器小型化の進展に対応し，これらを駆動させるためのエネルギー源について分散型マイクロエネルギー源開発を追求し，新学術分野として構築しつつ，先見性，創造性を以って新たな社会・経済の発展の基盤の形成に貢献する。

本期間内では，(a) マイクロコンビナトリ

アルチップによるマイクロエネルギー材料の最適化，探索法の開発，ナノエネルギーシステム構成，部品アーキテクチャなどの最適化とシステム評価方法の確立，(b)酵素触媒によるグルコース燃料電池，およびマイクロ燃料電池の開発，(c)高強度・高靱性薄膜を用いたマイクロ構造振動体発電技術の開発，(d)微小エミッタアレイ熱電発電技術の確立，を実現する。

3. 研究の方法：

(1)ナノエネルギー生成のための材料やその形成法を探索・最適化するツールとして，MEMS 技術を用いてマイクロコンビナトリアルチップシステムを開発する。これによりマイクロ燃料改質器などの主要マイクロ燃料電池要素技術を開発する。

(2)特に振動などを利用して発電を行う環境発電に対し共通のシステム評価法を確立する。システム構成として圧電，静電誘導，電磁誘導などの原理に基づくマイクロ環境発電装置を試作し，高効率マイクロ環境発電デバイス技術として確立する。

(3)バイオ燃料電池について，酵素およびメデイエータの効果的固定化・積層化技術を開発し，グルコース酸化電極を作成し，酸素を還元する正極と組み合わせた燃料電池を構成する。微細加工技術を駆使し，流路デバイス集積化，マイクロ流路型発電システムを実現

する。電極反応を妨げない血液適合性界面の開発と体液発電の出力安定化を実現する。

(4)微小エミッタアレイ熱発電技術について、CNTsのエミッタを作製し、電子がトンネリングすることで、熱電子放出現象の仕事関数を下げる効果を生み出して温度差から起電力を得る集積化発電システムを開発する。

(5)マイクロエネルギー源の革新を図る材料開発として、新しい固体電解質材料および水素吸蔵合金などを探索し、その糸口を得る。

4. これまでの成果:

(1)マイクロ燃料電池に関し、図1に示すような「マイクロコンビナトリアルチップ」を開発した。マイクロコンビナトリアルチップは、自己支持薄膜によって断熱された反応場、これを加熱するマイクロヒータ/温度センサなどからなる。これにより触媒をマイクロリアクタの形態で最適化した。さらに水素を発生するマイクロリアクタの高効率化のために真空断熱を実現し、また燃料を供給するためのマイクロバルブを開発した。これは燃料自身の圧力で開閉する機能を有する。



図1

(2)マイクロ環境発電に関し、従来よりも大幅に効率を向上した静電誘導エレクトレット機械電気エネルギー変換素子の提案および実証を行った。これは発明した自立膜エレクトレットを使用することにより注入された電荷を従来よりも大幅に有効に使用方法である。発電に重要な電気力線を集中する発明した自立エレクトレット膜により、図2に示すように5倍以上の発電効率向上に成功した。また、環境発電の共通的评价法を提案した。さらに整流素子として機械法を提案し実証した。

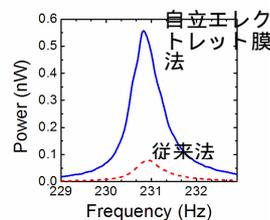


図2

(3)バイオ発電に関し、生体や環境に馴染む電極を有機物のみで作製し、ジュースや体液などのグルコースと酸素を含む身近な溶液を精製せずに直接利用できるバイオ燃料電池を構成して数 mW/cm^2 程度の出力を得ることを可能とした。酵素触媒の特徴を活かしたナノエネルギーシステムの開発を目指し、酵素電極の高性能化に加えて、MEMS技術を駆使することによるシステムの小型化および、生化学的な界面制御による出力安定化を目指し、ビタミンK3等のメディエータとジアフォラーゼ、およびデヒドロゲナーゼを電極上に積層し、さらにNADHを静電的に内包させてグルコース酸化電極を作製することに成功した。流路型セルで出力や安定性を評価す

る手法を提案した。さらに、実際にウサギ耳下静脈で発電実験を行い、発電に成功した。(4)熱電発電に関し、エミッタにCNTsを採用、基板には低抵抗率シリコンを用い、基板上に窒化チタン(TiN)を堆積したのち、CNTsをプラズマ化学気相成長法により成長させた。CNTsと基板間の密着性及び隣り合ったCNTの絶縁を高めるためオゾン(O_3)-TEOS-CVD法によりCNTを SiO_2 で埋め込んだ。試作デバイスの実験結果から、原理的にナノチューブを利用した熱電発電が可能であること、およびかなり低温でも動作できる可能性を示した。

(5)マイクロエネルギー源の革新を図る材料技術としてマイクロ二次電池用固体電解質材料の開発に取り組み、 LiBH_4 で結晶構造の変化によってリチウム超イオン伝導が発現することを発見した。 $\text{LiBH}_4+x\text{LiI}$ において高イオン伝導を発現する高温相の安定化とLiI添加量の関係、および $x=0.33$ での高温相の熱変化に対する安定性を世界で初めて明らかにした。

5. 今後の計画

マイクロ燃料電池として固体酸化物型燃料電池(SOFC)にターゲットを合わせ、さらに電解質材料の最適化、プロセス技術の開発を進める。マイクロ環境発電の長寿命構造と高効率化の実現に取り組む。バイオ電池では、実用を目指したさらなる長寿命化を進める。マイクロ二次電池用固体電解質材料開発では、さらなる安定化と低温動作を実現する。熱電発電では、内部損失の低減を図り高出力化を進める。新たな課題としてマイクロデトネーション法について、有用性を確認する。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む):

(研究代表者は太字、研究分担者は二重下線、連携研究者は一重下線)

[1]本研究に関連し、「マイクロエネルギー源の研究」により田中秀治准教授が、平成21年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞。

[2] H. Oguchi, S. Orimo et al., Experimental and computational studies on structural transitions in the $\text{LiBH}_4\text{-LiI}$ pseudobinary system, Appl. Phys. Lett., 94, 1912 (2009).

[3] 高橋智一, 井口史匡, 湯上浩雄, 江刺正喜, 田中秀治, 中低温動作マイクロSOFCのためのGd添加 CeO_2 の堆積と微細加工, 日本機械学会論文集, B編, 75, 751 (2009) pp. 524-526.

[4] H. Okamoto, T. Onuki, and **H. Kuwano**, Improving an electret transducer by fully utilizing the implanted charge, Appl. Phys. Lett., 93, 122901, 1-3 (2008).

[5] M. Togo, and M. Nishizawa, et al., Structural Studies of Enzyme-Based Microfluidic Biofuel Cells, J. Power Sources, (2008) 178, 53-58.

[6] J. Ho, T. Ono, et al., Photolithographic fabrication of gated self-aligned parallel electron beam emitters with a single-stranded carbon nanotube, Nanotechnology, 19, (2008), 365601-1~365601-5.

ホームページ

<http://www.nanosys.mech.tohoku.ac.jp/nes/index.html>