

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 14 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20360098

研究課題名(和文) 液中プラズマの放電特性に関する研究

研究課題名(英文) Discharge characteristics of in-liquid plasma

研究代表者

野村 信福 (NOMURA SHINFUKU)

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：20263957

研究分野：熱工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：熱工学, プラズマ加工, プラズマ・核融合, ナノ材料, 水素

1. 研究計画の概要

液体は気体と比べて分子密度が高く、液体自身の冷却効果が期待できるので、液体中をプラズマ反応場として利用すると、熱に弱い材料への高速成膜が可能となる。本研究の目的は液中プラズマの放電特性を明らかにすることである。このため、液体中でプラズマ発生させ、電流-電圧特性から放電形態を考察し、次に、電子温度、電子密度などのプラズマパラメーターを実測し、基本的な物理現象を把握、最後に、成膜実験、分解実験を実施しプラズマの放電特性工学的応用の可能性を探る。

2. 研究の進捗状況

プラズマの 27.12MHz の高周波電源を用いて液中および気相中でプラズマを発生させ、プラズマ発生前後の電流-電圧波形をオシロスコープで測定した。液中プラズマは、気泡の中でプラズマが発生しているので、気泡内ではコンデンサと抵抗の並列回路、液体の部分では、純水が誘電体の役割を果たしたコンデンサからなり、これらが直列につながった等価回路であると仮定すると、電流電圧波形を定性的に説明できることを明らかにした。

次に、圧力 10hPa～400kPa までの水中プラズマの内部特性が調べられた。本圧力範囲では、電子温度は 4300～3200K、0H の回転温度は、1800～5000K となる。水中プラズマの発光は $H\alpha$, $H\beta$, $O(777\text{ nm})$, $O(845\text{ nm})$, $OH(309\text{ nm})$ が強く発光するが、 OH の発光分布のみが他の分布と比べて上側にシフトし、シフト量は圧力の増加によって減少する。電子温度の空間分布は約 50 kPa でその傾向が大きく変わる。その理由は、電極からの電子の支配的な供給形態が二次電子放出から熱電子放出

に変化するためであることが、電極の自己バイアスの測定結果から明らかになった。

電子密度は 1.9×10^{20} から 5.8×10^{21} 個/ m^3 であることが明らかになった。液中プラズマの電離度は約 0.1% であるが、液中プラズマはこの荷電粒子の運動によって気泡内に数千 K の化学反応場を液中に提供でき、通常の加熱壁からの沸騰では実現困難な現象を液体中で実現できることを明らかにした。

さらに、プラズマによる有機溶媒の分解実験を実施し、750W の電気出力で有機溶媒をプラズマ分解した場合、発生ガスの 74% が水素であり、水素 1mol を生成させるために必要なエネルギーは 640kJ/mol であることを明らかにした。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

水中プラズマの放電特性を明らかにするとともに、プラズマ分解実験を実施し、液中プラズマの工学的応用の可能性も示された。これらの研究成果は、7 件の雑誌掲載と 13 件の学会発表として報告されると同時に、4 件の特許が出願されている。最終年度に当初の計画を予定どおり完了できる。

4. 今後の研究の推進方策

プラズマ CVD による成膜実験やナノテク材料合成などの応用研究に展開していくために、アルコール系有機溶媒中でのプラズマの特性を実測し、これまでの研究成果を総括する。さらに将来的には、これらの知見をもとに、半導体材料や燃料電池用材料の合成、およびプラズマの熱や分解技術を利用したエネルギーの確保の問題へと研究課題を展開していく予定である。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① S. Nomura, S. Mukasa, H. Toyota, H. Miyake, H. Yamashita, T. Maehara, A. Kawashima, F. Abe, Characteristics of in-liquid plasma in water under higher pressure than atmospheric pressure, *Plasma Sources Science and Technology*, **20**,(in press),2011, 査読有.
- ② Y. Hattori, S. Mukasa, H. Toyota, T. Inoue, S. Nomura, Synthesis of zinc and zinc oxide nanoparticles from zinc electrode using plasma, *Material Letters*, **65**, 188-190, 2010, 査読有.
- ③ Y. Hattori, S. Mukasa, S. Nomura, H. Toyota, Optimization and analysis of shape of coaxial electrode for microwave plasma in water, *Journal of Applied Physics*, **107**, 073306(8p.), 2010, 査読有.
- ④ S. Mukasa, T. Maehara, S. Nomura, H. Toyota, A. Kawashima, Y. Hattori, Y. Hashimoto, H. Yamashita, Growth of bubbles containing plasma in water by high-frequency irradiation, *International journal of Heat and Mass Transfer*, **53**, 3067-3074, 2010, 査読有.
- ⑤ S. Mukasa, S. Nomura, H. Toyota, T. Maehara, F. Abe, A. Kswashima, Temperature distributions of radio-frequency plasma in water by spectroscopic analysis, *Journal of Applied Physics*, **106**, 113302(6p.), 2009, 査読有.
- ⑥ S. Nomura, H. Toyota, S. Mukasa, H. Yamashita, T. Maehara, A. Kawashima, Production of hydrogen in a conventional microwave oven, *Journal of Applied Physics*, **106**, 073306(4p.), 2009, 査読有.
- ⑦ 服部 吉晃, 向笠 忍, 野村 信福, 豊田 洋通, 液中プラズマの気泡の挙動と周辺温度, *Thermal Science & Engineering*, **16**, 131-137, 2008, 査読有.

[学会発表] (計 13 件)

- ① S. Nomura, S. Mukasa, H. Toyota, M. Kageura, Current-Voltage Characteristics of in-liquid plasma, ACS 2010 fall meeting, Aug. 24, 2010, Boston, USA.
- ② S. Nomura, H. Toyota, S. Mukasa, H. Yamashita, T. MAehara, A. Kawashima, Characteristics of in-liquid plasma in water and hydrocarbon liquids, Int. workshop on plasma with liquids, Mearch, 24, 2010, Matsuyama.
- ③ 野村信福, 影浦正直, 豊田洋通, 向笠忍, 高周

波液中プラズマの放電特性, 日本機会学会 2009 年度年次大会, 2009 年 9 月 21 日, 盛岡.

- ④ S. Nomura, H. Yamashita, H. Toyota, S. Mukasa, Y. Okamura, Simultaneous Production of Hydrogen and Carbon Nanotubes in a Conventional Microwave Oven, Int. Symposium on Plasma Chemistry(ISPC19), Bochum, Germany, July, 28, 2009.

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

名称:液中プラズマ発生方法
発明者:野村信福, 豊田洋通, 前原常弘
権利者:国立大学法人愛媛大学
種類:特許
番号:特願 2009-114083
出願年月日:2009 年 5 月 11 日
国内外の別:国内

名称:液中プラズマ用電極, 液中プラズマ発生装置およびプラズマ発生方法
発明者:豊田洋通, 野村信福
権利者:国立大学法人愛媛大学
種類:特許
番号:PCT/JP2010/000536
出願年月日:2011 年 2 月 1 日
国内外の別:国外

名称:ナノ粒子およびナノ粒子製造方法
発明者:服部吉晃, 野村信福, 豊田洋通, 向笠忍
権利者:国立大学法人愛媛大学
種類:特許
番号:特願 2010-179186
出願年月日:2011 年 8 月 1 日
国内外の別:国内

名称:プラズマ用アンテナ電極及びプラズマ発生装置
発明者:豊田洋通, 野村信福
権利者:国立大学法人愛媛大学
種類:特許
番号:特願 2010-267354
出願年月日:2011 年 11 月 30 日
国内外の別:国内