

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540575

研究課題名(和文) プラズマ支援触媒イオン化法によるセシウムフリー負イオン源の新展開

研究課題名(英文) New Development of Cesium-Free Negative Ion Sources Based on Plasma-Assisted Catalytic Ionization Method

研究代表者

大原 渡 (Oohara, Wataru)

山口大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：80312601

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：中性粒子入射加熱用のセシウムフリー負イオン源開発の一環で、プラズマ支援触媒イオン化法における負イオン生成機構の解明を行った。プラズマ支援触媒イオン化法とは、放電プラズマ中の水素正イオンを金属に照射すると、照射裏面より負イオンを生成する手法である。ここで、Ni多孔体、各種金属材料のグリッド、単孔Alプラズマグリッドを用いて、負イオン生成を行った。高速正イオンが吸着水素原子への衝突に伴う脱離イオン化による負イオン生成ではなく、低速正イオンが金属表面からの電子遷移による負イオン化が優勢であることを明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Production mechanism of negative hydrogen ions in a plasma-assisted catalytic ionization method is investigated in connection with research and development of cesium-free negative ion source for neutral particle beam injection heating. When positive ions produced by discharge are irradiated on to a metal surface and some of them pass through the metal aperture, negative ions are produced from the back of the irradiation plane. The irradiated metal is used a porous nickel, metal grids made of some elements, or a plasma grid made of aluminum with single aperture. The dominant process of negative-ion production is found not to be desorption ionization owing to collision of fast positive ions with adsorbed hydrogen atoms but neutralization and negative ionization of slow positive ions on the metal surface.

研究分野：プラズマ工学

科研費の分科・細目：プラズマ科学

キーワード：プラズマ支援触媒イオン化法 水素負イオン 触媒 中性粒子入射加熱

1. 研究開始当初の背景

革新的基幹エネルギーと位置付けられている核融合エネルギーは、将来のエネルギー源として期待されている。主要な核融合関連技術項目の一つである加熱電流駆動において、その方式として中性粒子ビーム入射(NBI)、電子サイクロトロン周波数帯域波(ECRF)、イオンサイクロトロン周波数帯域波(ICRF)がある。本研究計画は次世代型 NBI に関連した研究開発である。NBI における重要な R&D 課題は、定常運転化と高エネルギー化である。国際熱核融合炉(ITER)以後の装置では 1 MeV 以上の高加速エネルギーが必要とされていることから、イオン源は負イオン型でなくてはならない。また定常運転化の一環として、ITER では熱電子放出用フィラメントが不要な高周波負イオン源が標準設計に採用されている。他方、負イオン生成促進を目的とした負イオン源へのセシウム Cs の長期間添加によって、加速器耐電圧特性の劣化が懸念されている。また、負イオン電流出力が最大となるように、負イオン源のコンディショニングが必要である。Cs 添加により、複雑で慎重な調整と長い調整時間を要する等、運用上の問題が生じる。従って、フィラメントと Cs が不要で、安定して定常運転できる Cs フリー負イオン源は、ITER 計画と並行して開発が必要とされている。

従来の研究開発成果を総合的に検討すると、負イオンの生成手法は水素/重水素原子・分子に付加する電子の源によって分類される。金属中の電子、プラズマ中の電子、自由粒子の電子によって負イオンが生成される場合は、それぞれ表面生成、体積生成、荷電交換生成と分類される。これまでの研究成果では、金属伝導帯の電子を用いた表面生成法が最も負イオン生成効率が高い。フェルミ準位近傍の電子が金属表面に接近してきた水素/重水素原子の電子親和準位に遷移(トンネリング)する確率は、金属表面の仕事関数が低いほど高くなる。最も仕事関数が低い純金属元素は Cs である。Cs は気化し易いためそれ自身を電極にはできないが、異種金属表面に半原子層程度の Cs を被覆すると仕事関数が特に低くなり、負イオン生成量が増大する。ゆえに、負イオン生成促進のために Cs 添加が行われている。低仕事関数の金属表面を維持するために、Cs 添加量や負イオン引出し電極温度制御に関連した複雑な諸パラメータ調整が必要となる。

Cs フリー負イオン源の開発は、既に国内外で盛んに研究開発が進められてきた。その一環として体積生成法について研究されてきたが、ここでは金属中の電子と比較して格段に数密度が低い気相の電子と振動励起分子が利用されている。これが負イオン生成効率の低い本質的な原因であると考えている。ここで理想的には仕事関数の大きさに左右されないで、且つ数密度の高い金属電子を利用して負イオン生成ができれば、Cs フリーで高効率負イオン生成が可能になると着想した。

2. 研究の目的

水素/重水素に対して触媒活性な金属に注目した。触媒作用の特徴は、 H_2/D_2 の解離・吸着作用、吸着原子(H/D)の表面移動、複数原子が分子化して表面から脱離、の3つである。熱エネルギー程度で中性分子として脱離する表面脱離過程ではなく、より高いエネルギーを与えることによって正または負のイオンとして脱離(脱離イオン化)できるように工夫する。化学吸着している原子がイオンとして脱離するためには鏡像力を乗り越える必要があるため、熱エネルギーよりも十分高いエネルギーを与えなくてはならない。液相における脱離イオン化については、燃料電池やヒドロゲナーゼ等に関連して活発に研究されている。しかし、ポテンシャルエネルギーの大きな気相における水素正負イオンを脱離イオン化によって生成する研究については、国際的に見て例を聞かない。あらかじめ放電により生成した水素/重水素プラズマ中の正イオンを触媒金属の多孔体板に照射すると、その照射裏面より水素正負イオンが生成されることを、既に実験により実証している。脱離イオン化に必要なエネルギー等は、正イオン照射によって供給している。我々はこのような正負イオン生成技術のことを「プラズマ支援触媒イオン化法」と呼んでいる。これは新規の気相イオン生成手法として有望である。本研究では負イオン生成に注目しており、本イオン化法における負イオン生成機構の解明と、この手法を用いた次世代型 NBI 用負イオン源の開発を研究目的としている。

3. 研究の方法

プラズマ支援触媒イオン化法によって高い負イオン電流密度を達成して、新方式負イオン源の開発を行う。これまでの準備研究成果を基にした実施予定項目は、(A) ターゲット触媒材質表面を持つ多孔体の製作、(B) 平板形状多孔体によるプラズマ支援触媒イオン化機構の解明、(C) 円筒形状多孔体における負イオン引き出し特性の詳細測定、(D) 円形ハニカム構造マグネトロン負イオン源の構築と性能評価、の四項目に大別される。

本イオン化において、触媒材質が負イオン生成効率に重要な影響を与える。準備研究においては、入手が容易な Ni 多孔体を用いて負イオン生成を行ってきた。しかし、Ni は負イオン生成に最適な材質とは限らないため、電気陰性度の低い Zr, Ti, Ta, Nb などがターゲットの触媒材質である。このような高温材料によって、任意の気孔率を持つ多孔体は容易に製作できない。そこで、Ni 多孔体の表面にスパッタリングによって、ターゲット材質薄膜を形成する。Ni 多孔体に対して薄膜形成した多孔体による負イオン生成特性を相対比較することにより、脱離イオン化に関する材質依存性を明らかにする予定である(項目(A))。現有の直流アーク放電プラズマ源2台を活用して、項目(B),(C)の実験を行う。NBI 用負イオン源においては、負イオン源内への

逆流正イオンビームが避けられない。この高エネルギービーム直撃によるダメージを避けるために、多孔体触媒は円筒形状にする必要がある。円筒形状にした場合において、負イオン生成・引き出し特性を明らかにする。これは現在の大型負イオン源のプラズマグリッド(PG)電極を多孔体触媒に交換することによって、高性能化することを視野に入れた基礎実験である。平板形状多孔体を用いた場合には、シンプルな構造なのでパラメータを計測しやすい。未だ明らかにされていない脱離イオン化による負イオン生成機構の解明を行う。ここで次世代型負イオン源と考えている円形ハニカム構造マグネトロン負イオン源の設計・製作に対して、以上で得られた知見を反映させる(項目(D))。

本研究計画は、既存の NBI 用負イオン源の高性能化、及び新方式の大型負イオン源として展開することを視野に入れているため、NBI 用大型負イオン源の研究グループ(自然科学研究機構 核融合科学研究所、日本原子力研究開発機構 那珂核融合研究所)との共同研究が欠かせない。

4. 研究成果

(1) 平成 23 年度

直流アーク放電により水素プラズマを生成して、負電圧が印加された Ni 多孔体触媒に正イオンを照射した。照射裏面より正負イオンが生成され、下流域にはイオン性プラズマが実現される。ラングミュアプローブの正負イオン飽和電流測定によって、正負イオン生成量の正イオン照射条件依存性を調べた。プラズマの準中性が満たされるように、Ni 多孔体前面に形成されるシースによって、生成された正負イオンフラックスが自己制御されることが明らかになった。そのため、プローブ飽和電流は必ずしもイオン生成量を反映していないことが明らかになった。ここで触媒表面に電場を印加して、正イオンまたは負イオンを選択的に多孔体表面から引出して、イオン電流の測定を行った。多孔体を通過した正イオンと、多孔体表面から生成された正負イオンの存在が明らかになった。これらイオンの持つエネルギーは異なることを利用して、各イオン電流を分離計測できるようになった。

次に、触媒材質が正負イオン生成に及ぼす影響について調べた。表面に化学吸着した原子状水素の共有電子が水素に移動して脱離(脱離イオン化による負イオン生成)するためには、電子の引きつけ易さの指標である電気陰性度が関係していると予測している。Ni の電気陰性度は 1.9 (Pauling 単位)であり、触媒作用を有して電気陰性度の低い金属は Hf (1.3), Zr (1.33), Ta (1.5), Ti (1.54)などである。これに対して、水素の電気陰性度は 2.20 である。これら金属の多孔体を製作することは難しいため、マグネトロンスパッタリングにより Zr, Ti, Ta, Ni の薄膜を Ni 多孔体の表面に成

膜した。照射エネルギーが 200 eV 以上では、負イオン電流密度は Ni, Zr, Ta, Ti の順に多くなった。Ni を除いて、Zr, Ta, Ti に関しては電気陰性度の小さい順に負イオン生成量が多くなる傾向であることが明らかになった。

(2) 平成 24 年度

平成 23 年度では Ni 多孔体の表面にマグネトロンスパッタ法により異種材質の薄膜を形成して、触媒材質依存性を調べた。しかし、正イオン照射によって金属表面温度が 400~500 K に上昇して Ni と合金化することにより、表面材質は必ずしも成膜した金属のみではないという問題が生じた。これを回避するために、単一の金属から成るグリッドを用いて実験を行った(多孔体は Ni のみ)。

1 触媒材質の効果

触媒形状が平板形の Ni 多孔体または Ni, Ti, Cu, Al のグリッド(100 mesh)を用いてイオン引出電流密度-電圧特性を測定した。Ni と比較して、Ti と Cu グリッドを用いた場合には、負イオン生成特性はほとんど同様であった。一方、典型金属の Al グリッドの場合は、正負イオン共に生成量が多いことが明らかになった。しかし、イオン生成効率に影響を及ぼすパラメータは明らかになっていない。

2 円筒形触媒

円筒形多孔体触媒を用いて、無磁場と有磁場それぞれについて正負イオン生成特性を測定した。触媒壁を通過してではなく、円筒口から侵入した通過正イオンが円筒内壁に衝突することによって、大部分の正負イオンは生成されることが明らかになった。また、円筒内部空間の空間電荷制限により電位構造が自発的に形成されていると思われる、正イオンの侵入が抑制されて生成される正負イオン電流は大幅に減少した。長い円筒形状は正負イオンの生成に不利なので、触媒形状は再検討を要することが明らかになった。

3 負イオンの生成機構解明

計画当初において、負イオン生成は高速正イオンが触媒表面に吸着する水素原子に衝突して生成される(脱離イオン化)と考えていた。しかし、負イオンの生成特性を調べると、低速正イオンが触媒表面から電子を受け取って(共鳴電子遷移)負イオン化する場合もある可能性が明らかになった。

(3) 平成 25 年度

触媒として金属グリッド(Ni 100 mesh 等)またはプラズマグリッド PG(Al 製、直径 1.3 cm 単孔引出、厚さ 1 cm)を用いた。平成 24 年度において、異種金属グリッドを用いてイオン引出電流特性の比較を行ったところ、Al が突出して負電流が多いことが明らかになったので、高効率で負イオン生成できる有力

な材質なので、PG は Al で製作された。

- 1 脱離イオン化による負イオン生成
高速正イオンが触媒表面に衝突すると、負電荷粒子が生成される。この負電荷粒子は負イオンかどうかを明らかにする目的で、負イオンが生成されないヘリウム正イオンの照射を行った。ヘリウム正イオンを照射した場合でも負電流が観測され、水素正イオン照射の場合よりも負電流が大きくなった。この負電流は、数百 eV の照射正イオンが金属表面に衝突して二次電子放出したことに起因すると考えられる。水素正イオン衝突の場合には、吸着水素原子の脱離イオン化によって負イオン生成されている可能性はあるが、二次電子が負電流の主要粒子であると考えられる。
- 2 低速正イオンによる負イオン生成
グリッドを通過した正イオンは、引出電極-グリッド間の電場によって減速され、低エネルギーになると負イオンが生成されることが明らかになった。通過正イオンが金属表面へ衝突・反射離脱する際に正イオンの中性化、または水素原子の電子親和準位への共鳴電子遷移による負イオン化が起こると考えている。負イオン生成量は、グリッドを通過する正イオン電流密度、グリッドの比表面積、グリッド材質に依存することが明らかになった。Al または Ti グリッドを用いた場合は、低照射エネルギー領域において負イオンが多く生成され、負イオン生成効率は仕事関数に明確に依存していないことも明らかになった。
- 3 Al-PG を用いた負イオン生成
Al 製のプラズマグリッド PG と電子偏向除去磁場が印加された引出電極を用いて、イオン引出特性を測定した。電子と負イオンを分離計測できるようになり、触媒に印加する電圧を小さくして、正イオン照射エネルギーを低くすることができるようになった。正イオン照射エネルギーが 200 eV 程度以下の場合に、負イオンが生成された。PG の引出孔を通過した正イオンは引出電極との間の電場によって減速され、正イオンエネルギーが 20 eV 程度で負イオン生成量が最大になることが明らかになった。通常、引出電極は負イオンを引出すために用いられるので、放電プラズマ電位よりもはるかに高い正電圧(+数 kV)が印加される。ここでは引出電極の印加電圧はプラズマ電位よりも低く、負イオン引出しというより正イオンのエネルギーを制御するという意味がある。引出孔内部で負イオンが生成されており、正イオンの金属表面への入射角が大きいことがキーパラメータであることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(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4件)

- W. Oohara, K. Kawata, and T. Hibino, Hydrogen Ions Produced by Plasma-Assisted Catalytic Ionization using Nickel Grid, Physics of Plasmas, 査読有, Vol. 20, Issue 6, 2013, 063506-1-5
DOI: 10.1063/1.4812714
- W. Oohara, T. Hibino, T. Higuchi, and T. Ohta, Separation of Ion Components Produced by Plasma-Assisted Catalytic Ionization, Review of Scientific Instruments, 査読有, Vol. 83, Issue 8, 2012, 0835093-1-4
DOI: 10.1063/1.4748273
- W. Oohara, T. Maeda, and T. Higuchi, Development of Hydrogen Pair-Ion Source on the Basis of Catalytic Ionization, AIP Conference Proceedings, 査読有, Vol. 1390, 2011, 430-435
DOI: 10.1063/1.3637414
- W. Oohara, T. Maeda, and T. Higuchi, Plasma-Assisted Catalytic Ionization using Porous Nickel Plate, Review of Scientific Instruments, 査読有, Vol. 82, Issue 9, 2011, 093503-1-4
DOI: 10.1063/1.3637463

[学会発表](計34件)

- 河田 晃佑, 中村 将, 松島 祐一郎, 大原 渡, プラズマ支援触媒イオン化法によって生成されるイオン種分析, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27 日, 東海大学湘南キャンパス(平塚市)
- 大原 渡, 前谷 祐亮, 武田 俊明, 河田 晃佑, 中村 将, 竹田 敬, 大原 渡, 触媒金属を用いた水素負イオンの生成機構, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27 日, 東海大学湘南キャンパス(平塚市)
- 大原 渡, 照射水素正イオンと触媒金属との相互作用に伴う負イオン生成, 平成 25 年度核融合科学研究所共同研究 負イオン研究会「負イオン生成および負イオンビーム加速の新展開とその応用」, 2013 年 12 月 26 日, 核融合科学研究所(土岐市)
- 前谷 祐亮, 武田 俊明, 竹田 敬, 河田 晃佑, 大原 渡, 金属グリッド触媒を用いた水素負イオン生成機構の解明, プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 17 回支部大会, 2013 年 12 月 22 日, 佐世保工業高等専門学校(佐世保市)
- 武田 俊明, 小林 喜一, 前谷 祐亮, 大原 渡, 高エネルギーイオンビーム生成に適する Cs フリー水素負イオン生成, プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 17 回支部大会, 2013 年 12 月 22 日, 佐世保工業高等専門学校(佐世保市)
- 河田 晃佑, 中村 将, 松島 祐一郎, 大原 渡, オメガトロン質量分析器による水素正負イオン種分析, プラズマ・核融合学会 九

州・沖縄・山口支部 第 17 回支部大会, 2013 年 12 月 22 日, 佐世保工業高等専門学校 (佐世保市)

前谷 祐亮, 武田 俊明, 河田 晃佑, 日比野 徳亮, 大原 渡, Fe/Cu グリッド触媒を用いた水素負イオン生成, プラズマ・核融合学会 第 30 回年会, 2013 年 12 月 3 日, 東京工業大学 (目黒区)

武田 俊明, 前谷 祐亮, 河田 晃佑, 日比野 徳亮, 大原 渡, 高エネルギービーム生成に適した水素負イオン生成機構の解明, プラズマ・核融合学会 第 30 回年会, 2013 年 12 月 3 日, 東京工業大学 (目黒区)

中村 将, 河田 晃佑, 前谷 祐亮, 松島 祐一郎, 大原 渡, プラズマ支援触媒イオン化によって生成されるイオン種のオメガトロン分析, プラズマ・核融合学会 第 30 回年会, 2013 年 12 月 3 日, 東京工業大学 (目黒区) 大原 渡, 河田 晃佑, 日比野 徳亮, 松島 祐一郎, Cs フリー金属表面における水素正負イオンの生成機構, 第 29 回九州・山口プラズマ研究会, 2013 年 11 月 2 日, クレドホテル臼杵 (臼杵市)

W. Oohara, K. Kawata, and T. Hibino, Production of Negative Hydrogen Ions Using Catalyst, Ninth Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE2013), 2013 年 8 月 26 日, Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju, Korea

小林 貴一, 樋口 剛史, 大原 渡, 磁場印加円筒形多孔体触媒を用いた水素正負イオン生成特性, プラズマ・核融合学会 第 29 回年会, 2012 年 11 月 29 日, クローバープラザ (春日市)

日比野 徳亮, 吉田 拓弥, 大原 渡, Ni 箔触媒を用いたプラズマ支援触媒イオン化機構の解明, プラズマ・核融合学会 第 29 回年会, 2012 年 11 月 29 日, クローバープラザ (春日市)

松島 祐一郎, 太田 智喜, 大原 渡, ECR プラズマ支援触媒イオン化で生成されたイオン質量分析, プラズマ・核融合学会 第 29 回年会, 2012 年 11 月 29 日, クローバープラザ (春日市)

大原 渡, 日比野 徳亮, 吉田 拓弥, 樋口 剛史, 太田 智喜, プラズマ支援触媒イオン化法による水素負イオン源開発, 第 28 回九州・山口プラズマ研究会, 2012 年 11 月 11 日, 由布院倶楽部 (由布市)

大原 渡, Cs フリー負イオン生成過程の進展, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 19 日, 横浜国立大学 (横浜市)

日比野 徳亮, 吉田 拓弥, 大原 渡, 照射正イオン通過型および透過型負イオン源の開発, 応用物理学会中国四国支部, 日本物理学会中国支部・四国支部, 日本物理教育学

会中国四国支部 2012 年度支部学術講演会, 2012 年 7 月 28 日, 山口大学 (宇部市)

小林 貴一, 神野 裕貴, 大原 渡, プラズマ支援触媒イオン化に及ぼす磁場の影響, 応用物理学会中国四国支部, 日本物理学会中国支部・四国支部, 日本物理教育学会中国四国支部 2012 年度支部学術講演会, 2012 年 7 月 28 日, 山口大学 (宇部市)

松島 祐一郎, 太田 智喜, 大原 渡, ECR プラズマ支援触媒イオン化法による水素イオン生成, 応用物理学会中国四国支部, 日本物理学会中国支部・四国支部, 日本物理教育学会中国四国支部 2012 年度支部学術講演会, 2012 年 7 月 28 日, 山口大学 (宇部市)

大原 渡, 太田 智喜, 樋口 剛史, 日比野 徳亮, プラズマ支援触媒イオン化法による水素ペアイオンの生成, 日本物理学会 第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 26 日, 関西学院大学 (西宮市)

21 日比野 徳亮, 吉田 拓弥, 樋口 剛史, 大原 渡, プラズマ支援触媒イオン化で生成されたイオンの分離測定, プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部 第 15 回支部大会, 2011 年 12 月 18 日, 大分大学 (大分市)

22 樋口 剛史, 日比野 徳亮, 大原 渡, 円筒形多孔体触媒を用いた Cs フリー表面生成型水素負イオン源の開発, プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部 第 15 回支部大会, 2011 年 12 月 17 日, 大分大学 (大分市)

23 松島 祐一郎, 大原 渡, 多孔体触媒への荷電粒子入射条件の影響, プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部 第 15 回支部大会, 2011 年 12 月 17 日, 大分大学 (大分市)

24 Y. Matsushima and W. Oohara, Production of Hydrogen Pair Ions using DuoPIGatron, Plasma Conference 2011, 2011 年 11 月 24 日, 石川県立音楽堂 (金沢市)

25 T. Ohta and W. Oohara, Control of ECR Plasma Potential for Hydrogen Pair-Ion Plasma Generation, Plasma Conference 2011, 2011 年 11 月 24 日, 石川県立音楽堂 (金沢市)

26 T. Higuchi, T. Hibino, and W. Oohara, Development of Beam Passing Hydrogen Negative-Ion Source by Plasma-Assisted Catalytic Ionization Method, Plasma Conference 2011, 2011 年 11 月 22 日, 石川県立音楽堂 (金沢市)

27 T. Hibino, T. Higuchi, and W. Oohara, Effect of Catalyst Materials on Plasma-Assisted Catalytic Ionization, Plasma Conference 2011, 2011 年 11 月 22 日, 石川県立音楽堂 (金沢市)

28 K. Kobayashi and W. Oohara, Production Property of Hydrogen Negative Ions in Multiaperture Magnetron Source, Plasma Conference 2011, 2011 年 11 月 22 日, 石川

県立音楽堂(金沢市)

- 29 大原 渡, プラズマ支援触媒イオン化による水素ペアイオン生成, 平成 23 年度 核融合科学研究所共同研究 研究会「負イオン生成および負イオンビーム加速とその応用」, 2011 年 11 月 8 日, 核融合科学研究所(土岐市)
- 30 樋口 剛史, 日比野 徳亮, 大原 渡, Cs フリー表面生成型水素負イオン源の開発, 平成 23 年度(第 62 回) 電気・情報関連学会 中国支部連合大会, 2011 年 10 月 22 日, 広島工業大学(広島市)
- 31 日比野 徳亮, 樋口 剛史, 大原 渡, プラズマ支援触媒イオン化による水素正負イオンの生成と引出特性, 平成 23 年度(第 62 回) 電気・情報関連学会 中国支部連合大会, 2011 年 10 月 22 日, 広島工業大学(広島市)
- 32 松島 祐一郎, 大原 渡, 多孔体触媒への沿磁力線方向プラズマ照射における電子透過, 平成 23 年度(第 62 回) 電気・情報関連学会 中国支部連合大会, 2011 年 10 月 22 日, 広島工業大学(広島市)
- 33 小林 貴一, 大原 渡, マグネトロン型水素負イオン源の開発, 平成 23 年度(第 62 回) 電気・情報関連学会 中国支部連合大会, 2011 年 10 月 22 日, 広島工業大学(広島市)
- 34 太田 智喜, 大原 渡, ECR プラズマ支援触媒イオン化法による水素ペアイオン生成, 電気学会 プラズマ研究会, 2011 年 8 月 9 日, 大阪工業大学(大阪市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大原 渡 (Oohara, Wataru)

山口大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：80312601

(2) 研究協力者

樋口 剛史 (Higuchi, Takeshi)

太田 智喜 (Ohta, Tomoki)

小林 貴一 (Kobayashi, Kiichi)

日比野 徳亮 (Hibino, Tokuaki)

松島 祐一郎 (Matsushima, Yuichiro)

河田 晃佑 (Kawata, Kosuke)

前谷 祐亮 (Metani, Yusuke)

武田 俊明 (Takeda, Toshiaki)

中村 将 (Nakamura, Sho)

山口大学・大学院理工学研究科・大学院
生

津守 克嘉 (Tsumori, Katsuyoshi)

核融合科学研究所・大型ヘリカル研究
系・准教授

研究者番号：50236949

安藤 晃 (Ando, Akira)

東北大学・大学院工学研究科・教授