

氏 名 西 浦 正 樹

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第396号

学位授与の日付 平成11年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 核融合科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Plasma Diagnostics in Negative Ion Sources by Laser

Photodetachment

論 文 審 査 委 員 主 査 助 教 授 竹 入 康 彦

教 授 藤 原 正 巳

助 教 授 笹 尾 眞 實 子

教 授 門 田 清 (名古屋大学)

助 教 授 田 中 雅 慶 (核融合科学研究所)

論文内容の要旨

Various phenomena due to negative ions are widely studied by many researchers in astrophysics, atomic physics, chemistry, and plasma physics. These fields sometimes involve curious phenomena that can not be explained without any consideration of the inherent properties of negative ions. In a cold plasma with negative ions, plasma diagnostics are essential to understanding of their behaviors and interactions among plasma particles. The photodetachment technique becomes a powerful diagnostic tool for the determination of negative ion densities and its temperatures in plasmas. In the first part of this thesis, studies on plasma responses after a photodetachment reaction have been carried out both theoretically and experimentally. In the second half, the diagnostic technique of negative ion densities and temperatures is applied to an actual H^- ion source. In particular when cesium vapor is introduced into a hydrogen discharge, an anomalous enhancement of H^- is observed. In combination with photoelectron current measurements on a plasma electrode and the other plasma parameter measurements, the measurements of negative ion densities allow us to discuss an anomalous enhancement of H^- in a cesium seeded case.

In order to investigate the influence of the energies of photodetached electrons upon the determination of the H^- density and the H^- drift velocity in a hydrogen plasma, we have used the fundamental frequency (1064 nm), the 2nd harmonic (532 nm) and the 3rd harmonic (355 nm) of a Nd-YAG laser. It is found that the $\delta I_p - V_p$ characteristics, where δI_p is the photodetachment current and V_p is the probe voltage, do not depend on the photon energies. The effective temperature of photodetached electrons T_{eff} is close, within 40 %, to that of background electrons. As a result the measurements of the H^- density and the H^- drift velocity are not affected by photon energies.

Next, the entire dynamics and physical picture of plasma response after laser photodetachment have been studied theoretically and experimentally. The hybrid fluid-kinetic model of Friedland et al., where negative ions are treated as a ballistic approximation, electrons as a linearized Boltzmann's relation, and positive ions as a fluid, is extended to the analysis of perturbed densities inside and outside a laser beam. From the results of calculations, the time evolution of perturbed electron current is in good agreement with experimental data. The overshoot in the perturbed electron current, which is frequently seen under some experimental conditions, has been studied. From the comparison of overshoot signals between the observation and the calculation, the

way of the determination of positive ion temperature is proposed.

The rest in this thesis concentrates on the cesium effect of negative ion densities both in driver region and in extraction region of an ion source of volume production type, because it has been reported that beam intensities of negative ions from the negative ion source are enhanced drastically after a cesium injection into an H^- ion source. In a cesium seeded hydrogen discharge, the H^- density and temperature by use of photodetachment technique are investigated in the driver region of tandem H^- source, in which the plasma is not connected directly with the wall of the ion source. The amount of cesium in the ion source is monitored by spectroscopic measurement. The plasma space potential, V_s , obtained from the probe I - V characteristics has increased by Cs injection. However no clear changes in n_e , n_- , T_e , T_+ , and T_- are observed. This result suggests that the wall in the extraction region influence the H^- production in the Cs/ H_2 discharge.

For the purpose of studies on the cesium effect in an extraction region of an ion source, the work function of the plasma electrode is measured photoelectrically using an Ar^+ ion cw laser in H_2 plasma, which contains vapor of an alkali metal. The amount of alkali metal vapor is measured by spectroscopic method, and negative ion densities are measured by photodetachment method. The measured work function is correlated with the H^- density obtained simultaneously by the laser photodetachment technique. As the work function of the plasma electrode is reduced due to Cs seeding, the ratio of H^- density to electron density, n_-/n_e , increased gradually. The n_-/n_e ratio becomes maximum when the work function reaches at the minimum value. The same result is obtained in the case of Rb seeding. These results are discussed with the help of rate equations in the plasma, taking the surface effects into account.

In conclusion, H^- ions and hydrogen plasmas in negative ion sources have been diagnosed by means of the laser photodetachment technique. From the agreement between the theoretical and experimental results, it is found that the hybrid-fluid kinetic model is valid under the present conditions, described here, of negative ion sources, and that it is useful to determine the H^- density, H^- temperature, and positive ion temperature. For the practical use, in cesium seeded plasmas, the photodetachment technique was also utilized. It was confirmed that the work function on the surface of the plasma electrode influences the n_-/n_e ratio in the extraction region.

論文の審査結果の要旨

負イオンに関する応用は、この10年ほどの間に各分野において急速に注目され、水素等のガス種の負軽イオン及び金属等の負重イオンの各種応用研究が拡大されてきている。本論文は、従来行われていたレーザー光脱離電子によるプラズマ中の負イオン計測手法を、核融合プラズマ加熱用の中性粒子入射加熱装置(NBI)の水素負イオン源プラズマの計測に適用するため、その物理過程を理論的・実験的に詳細に調べている。レーザー光脱離法による負イオンプラズマの計測は、プラズマ中の負イオン密度を測定する手段としてすでに用いられているが、その計測における物理過程の検討は十分なされていないのが現状である。本論文では、入射したレーザー光による負イオンプラズマの擾乱から回復過程を詳細な実験により調べ、理論的モデルと対比することにより、レーザー光脱離法の妥当性、適用範囲を明確にし、負イオンプラズマ診断としてのこの手法の確立を目的とすると共に、レーザー光脱離法の応用として、負イオンプラズマ中にセシウムを添加した際の負イオン密度の増大現象の解明を行っている。

論文は、序論及び結論を含め7章からなっており、内容は、単探針プローブを用いたレーザー光脱離法の実験的・理論的な詳細検討、及びその適用例として、アルカリ金属をプラズマ中に添加した際の負イオン密度の増大機構の検討、の2つの部分に分かれている。得られた主な成果は、まず、水素の電子親和力より大きいエネルギーを持った3種類の波長のレーザー光を用いて、レーザー光脱離法は照射レーザー光波長の影響を受けないという基本的な原理確認を実験的に初めて行った。そして、流体・運動論混合モデルを用いた理論計算により、レーザー照射による負イオンプラズマの応答特性を詳細に解析し、実験結果を十分説明すると共に、プローブ信号の時間変化から、負イオン密度のみならず負イオン温度及び正イオン温度が求められることを示した。特に、入射レーザー光の行路中にプローブを挿入して測定する従来法に対してのみならず、レーザー光行路から離れた位置にプローブを設置し、そのプローブ信号の時間変化を解析に用いた同一のモデル計算により矛盾なく説明できた点は高く評価できる。また、レーザー光脱離法をセシウムを添加した水素負イオン源の測定に適用して、セシウム添加により負イオン電流が増大するのに対し、ドライバー領域と呼ばれる主放電部では負イオン密度が増加していないことを示した。さらに、レーザー光脱離法による負イオン密度の測定と負イオン引出界面であるプラズマ電極上の仕事関数の測定を組み合わせることにより、負イオン増大の機構は、プラズマ電極上の仕事関数の低下により、負イオンの表面生成が増加したことによることを定量的に明らかにした。特に、プラズマ中の負イオン密度とプラズマ電極の仕事関数の同時測定は初めて行われたものであり、負イオン増大の機構解明に大きく貢献した。

このように本論文は、レーザー光脱離法によるプラズマ中の負イオン計測過程を実験的・理論的に解析すると同時に、この測定法を負イオン源に適用して、セシウム添加負イオン源における負イオン増大機構が表面効果によることを明らかにした研究内容に独創性と新規性が認められる。また、得られた知見はこの分野の発展に寄与するものと認められる。

提出された論文及びそれに関連する幅広い分野に対する口述試験及び公開発表会での発表内容から、学位を与えるのに十分な知識と理解力があると判断した。また、提出された論文は英語で書かれており、審査付きの英文発表論文が主著4編を含め5編あること、国際会議において英語の発表を行っていることなどから、国際的に研究活動のできる英語力があると認めた。

以上のことから、本論文は理学博士の授与に値するものと認めた。