

博士学位論文審査要旨

2022年7月19日

論文題目：Characterization of target cavity confined plasmas produced by nanosecond laser pulses
(ナノ秒レーザーパルスにより生成したターゲット空孔プラズマの特性評価)

学位申請者： HERNANDEZ JAMES EDWARD II AQUINO

審査委員：

主査：理工学研究科 教授 和田 元

副査：理工学研究科 教授 粕谷 俊郎

副査：量子科学技術研究開発機構 量子生命科学研究所 上席研究員 森林 健悟

要旨：

一般にレーザーイオン源は多価イオン生成に用いられ、クラスターイオンや負イオン生成には適さないと考えられてきた。論文申請者は独自の発想にもとづき、固体材料の一地点に集束高強度レーザーを繰り返して照射することにより穿孔を形成し、内部にプラズマをレーザー生成することが可能であることを示した。深さの増大とともに、レーザー生成される空孔プラズマは高密度・低温化されることから、形成プラズマからのクラスターイオン・負イオンの引き出しが可能となることが論文中に予想されている。高強度レーザー照射場中で生成・加熱された電子と、放出粒子との相互作用による冷却過程について調査するため、穿孔外部に放出されたプラズマを観測する視線と、穿孔内部を見込む視線に対して、ショット平均化した可視域分光計測を行い、多価イオン線強度のみでなく、連続光部についてもショット数に応じた冷却効果が確認されることを明らかにしている。レーザーイオン源で生成されるクラスターイオン・負イオンの質量数を、静電あるいは磁場分散型エネルギー分析と飛行時間分析を複合して評価するためには、生成イオンのエネルギー分布が広いこと、信号強度が不十分になる問題が生じる。この問題を解決するため、申請者は静電レンズ系を設計・製作し、特定のエネルギー領域のイオンを検出器に収束させて飛行時間分析を行うことにより、イオン質量数の同定が可能となることを示した。

本論文で報告された以上の成果は、レーザーイオン源・レーザー駆動粒子源の高性能化に対する今後の研究開発に指針を与えるものである。論文で紹介された基礎理論、装置技術の応用展開可能性に基づき、これまでとは異なる次元の粒子生成技術の創出が期待される。また論文において、空孔プラズマ診断用に開発されたレーザー空孔プラズマの2軸分光分析手法が、固体材料構造内の微量元素空間分布の計測に応用可能であることも示されている。よってその学術的価値は博士（工学）（同志社大学）の学位論文として十分高いものと認める。

総合試験結果の要旨

2022年7月19日

論文題目：Characterization of target cavity confined plasmas produced by nanosecond laser pulses
(ナノ秒レーザーパルスにより生成したターゲット空孔プラズマの特性評価)

学位申請者： HERNANDEZ JAMES EDWARD II AQUINO

審査委員：

主査：理工学研究科 教授 和田 元

副査：理工学研究科 教授 粕谷 俊郎

副査：量子科学技術研究開発機構 量子生命科学研究所 上席研究員 森林 健悟

要 旨：

本論文の提出者は同志社大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻博士課程（前期課程）を2019年9月に修了し、2019年9月に本学大学院理工学研究科電気電子工学専攻博士課程（後期課程）に入学し、現在、在籍中である。

本論文の主たる内容はPlasma and Fusion Research, Vol. 17, 2406018 およびAIP Conference Proceedings, Vol. 2373, 090004 他2件の査読付き国際会議Proceedingsに掲載済みであり、既に十分な評価を受けている。2022年6月30日午後3時より2時間に亘り、提出論文に関する博士論文公聴会が開かれた。講演後、種々の質疑が行われたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。公聴会終了後、審査委員による学力確認のための口頭試験を実施したところ、論文提出者の十分な学力を確認することができた。論文提出者の母語はタガログ語であるが、論文の序論部分を日本語で、主要部分を英語で発表し、高い語学運用能力を有するものと認められた。以上論文提出者の専門分野における学力、ならびに語学力は十分であることを確認した。よって総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目：Characterization of target cavity confined plasmas produced by nanosecond laser pulses
(ナノ秒レーザーパルスにより生成したターゲット空孔プラズマの特性評価)

氏名： HERNANDEZ JAMES EDWARD II AQUINO

要旨：

Laser ablation is employed in applications such as mass spectrometry. Laser ablation consists of electron, ion, and neutral production, which comprises of three main parameters: incident laser, target material, and background environment. Changing one of such parameters, or a subset of each, would result to a significantly different result due to the complex laser-target interactions. The main mechanisms involved in laser ablation involve electron and ion production, plasma expansion, as well as plume propagation.

A time-of-flight (TOF) spectrometer is developed to investigate the influence of confining the laser produced plasma in a small region, utilizing the target itself. When the plasma is initiated within the small cavity, plasma density and collision probability increase. Electrons, ions, and neutrals participate in the collisions within the inner cavity wall and is effectively cooled down, resulting to energy losses.

The dissertation is divided into seven chapters. For the first chapter, fundamentals of laser ablation, as well as its applications are discussed. TOF spectrometry and retarding potential analysis (RPA) are described. The second chapter discusses the development of the cavity laser ion source, and preliminary experiments using TOF and RPA. Ion current distribution was measured with electron suppression using 250 G magnets near the Faraday cup collector array. RPA analysis resulted to a 250 eV energy. High speed measurements resulted to particle speeds of 110 m/s following the time of plasma afterglow.

The third chapter involves the electron production simulation following Keldysh multiphoton ionization. Near target charge collection experiments are performed, and the electron signal is described as a Maxwellian distribution. Increasing number of pulses showed an electron energy loss of 0.7 eV after 10000 pulses ablation.

The fourth chapter discusses positive and negative ion production of cavity confined plasmas. The influence of the magnetic field on the TOF signals is investigated. Trajectory simulations under the influence of a magnetic field are performed, resulting to a mass of C_2^+ under a magnetic flux density of 300 G. Then, a magnetic deflector flange is designed to steer the propagating ions away from the target axis, resulting to a collected ion current of around 20 μ A. Simulations on ion refocusing were performed, which showed focusing on a lens-to-ion energy ratio approximately 0.1. An electrostatic lens is then designed, showing a significant decrease in ion current for lens bias above 50 V. From the RPA analysis, the energy of the

distribution is approximately 250 eV. Increasing number of laser shots led to ion energy loss, up to 150 eV. Experiments for negative ion production are performed for varying extraction plate bias. Increasing number of laser pulses results to formation of large negative clusters such as C_{26}^- and C_{35}^- .

The fifth chapter discusses the optical spectroscopy of confined laser plasmas. Optical emission of the plasma is measured parallel, and perpendicular to the target axis on both carbon and aluminum targets. Emission spectra consists of ions up to C IV and Al IV, and continuum enhancement of carbon continuum after 6000 pulses was observed. Further increasing the number of pulses resulted to decrease in continuum and emission line signal. Decrease in emission line signal for both carbon and aluminum are observed for increasing number of laser shots. Fits were performed on the continuum spectra and obtained an apparent temperature of 3000 K.

For the sixth chapter, pulsed laser deposition experiments were performed and discussed. Deposited carbon thin films showed microcones and amorphous films, at 4 mm and 8 mm target-to-substrate distances, respectively. Smaller spherical deposits are observed above 10000 pulses. Spherical deposits with nm to μm order sizes are also observed at a substrate distance of 100 mm. Chapter seven states the main results, as well as future work.