

# 博士学位論文審査要旨

2017年8月29日

論文題目：Ion Charge State Distribution in a Laser Produced Bounded Plasma  
(閉領域内レーザー生成プラズマのイオン荷数分布)

学位申請者：GLYNNIS·MAE SAQUILAYAN

審査委員：

主査：	同志社大学大学院理工学研究科	教授	和田 元
副査：	米国 Brookhaven 国立研究所	研究員	岡村 昌宏
副査：	同志社大学大学院理工学研究科	教授	戸田 裕之

要 旨：

重イオンを相対論的エネルギーにまで加速して原子核衝突を起こさせると、素粒子科学の理論を検証できるとともに、宇宙が創成される過程について知見を得ることができる。重イオンを高エネルギー加速器に入射するため、レーザーイオン源の研究開発が進められているが、この種のイオン源は多価イオンの生成に適しており、負イオンや分子イオン、クラスターイオンなどの生成には不向きとされてきた。論文提出者は独自の発想により、レーザーアブレーション後に生じるプラズマ膨張を領域内に閉じ込めれば二次生成粒子どうしの衝突に伴い、熱緩和が生じるとともに粒子あたりの電荷数が低下すると予想した。着想にもとづき、小型の実験装置を準備し、生成されるプラズマとイオンの診断を行った。

円筒形状のターゲット内面にレーザーを集束させてイオン生成を行うと、予想通りレーザー入射直後のイオン生成に続き、帯電量の小さな分子イオンに相当する信号が得られ、負イオンである可能性の高い信号が得られた。しかしながら、集束レーザーがターゲットに深い損耗痕を形成し、数千ショットでイオン放出特性が大きく変化することが分かった。そこでターゲットを回転させることにより安定に運転できる構造を提案・実現し、作成した装置が生成するイオン種について調査した結果を報告している。

本論文は、レーザーイオン源の新たな展開を目指して、閉塞領域内にレーザー照射を行った際に生成されるプラズマと、そこから得られるイオンの特性について初めて報告するものである。提案した方法により、分子イオンや負イオン、さらにクラスターイオンの生成が可能であることを示唆し、その学術的価値は非常に高い。よって本論文を、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

2017年8月29日

論文題目： Ion Charge State Distribution in a Laser Produced Bounded Plasma  
(閉領域内レーザー生成プラズマのイオン荷数分布)

学位申請者： GLYNNIS·MAE SAQUILAYAN

審査委員：

主査：	同志社大学大学院理工学研究科	教授	和田	元
副査：	米国 Brookhaven 国立研究所	研究員	岡村	昌宏
副査：	同志社大学大学院理工学研究科	教授	戸田	裕之

要旨：

本論文の提出者はアテネオ・デ・マニラ大学物理学専攻修士課程(M. S.課程)を 2014 年 5 月に修了し、2014 年 10 月に本学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 Review of Scientific Instruments, Vol. 87, 02A907 (2016)に掲載済みであり、America Institute of Physics Conference Series に一件、Japanese Journal of Applied Physics に一件が印刷中で、既に十分な評価を受けている 2017 年 7 月 22 日午後 2 時半より二時間に亘り、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。また、博士課程在学中に国際会議に第一著者として四件の論文を提出して自ら英語で発表を行っているのに加え、博士論文の公聴会の序論部分を日本語で説明するなど、十分な語学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： Ion Charge State Distribution in a Laser Produced Bounded Plasma  
( 閉領域内レーザー生成プラズマのイオン荷数分布 )

氏名： Glynnis-Mae Saquilayan

要旨：

Laser ion sources have been known to produce a wide variety of ions including highly charged states through the laser ablation of solid materials. Depending on the laser irradiation conditions, the plasma parameters can be controlled to yield the desired species and charge state of positive ions. For the case of cluster formation, the adiabatic expansion of the plasma reduces the possibility of collisions as the ions drift outward to space. To increase the collision rate and the probability of producing clusters, the concept of geometric constriction to the expanding plasma led to the design of a new type of laser ion source that utilizes a hollow cylinder laser target for spatial boundary conditions.

In the study, the development of the laser ion source was investigated for a laser produced spatially bound plasma and the production of cluster ions. The design of a unique geometry for the target was fabricated to have a hollow cylindrical structure where the plasma is ignited inside the narrow volume. The study clarified the difference in the plasma dynamics of the laser ion source operation using the hollow cylinder target as the plasma was allowed to interact with the target surface and dissipate the kinetic energies through collisions. The proposed scheme, aiming to produce a low plasma temperature condition, was observed to increase the probability for agglomeration and generated cluster ions.

This dissertation is composed of 7 chapters that discuss the different stages of development of the hollow cylinder target laser ion source; from the prototype design demonstrating the principle dynamics of the plasma to an improved system configuration with the mass analysis of the produced ions species.

The first chapter gives a brief background on the laser ion source development, its applications to particle accelerators and the different research projects to improve the ion source performance. The motivations and objectives of the study are explained including the outline of the research work. The physics of laser produced plasmas were described in detail in the second chapter. An overview on the concepts on laser ablation, the different stages of its formation and expansion, are elaborated. An analysis of the laser produced plasma using a planar aluminum target is included in the chapter. This serves as a reference for the basic configuration of a laser ablation experiment.

The third chapter demonstrates the initial operation of the prototype system with the hollow cylinder laser target. From high speed camera images, the plasma formation inside the hollow target was observed for the first time. The plasma expanded towards the adjacent wall from the laser irradiated spot which indicated a build up of pressure inside the small volume to enhance the collision rate. The Faraday cup measurements of the time-of-flight of the plasma pulse detected an electron burst in the onset of the signal followed by the positive distribution that corresponds to the produced ions with increasing magnitudes for more intense laser power densities. The

plasma diagnostic experiments on the laser produced plasma is discussed in chapter four. The optical emission spectra of the plasma is obtained for an aluminum and graphite laser target operation. Low charge state ions are detected from the aluminum target but the graphite target showed charge states of up to +3. The continuum observed in the emission spectra for both target materials indicated a thermalized state with an estimated temperature of below 1 eV. This low temperature characteristic is also detected in the Langmuir probe experiment of the graphite target where the temperature revealed to be 0.48 eV.

After the initial tests on the prototype system, performance issues on stability and target lifetime needed to be resolved and this is covered in chapter five. A rotating mechanism is then employed to the target to uniformly erode the inner walls of the cylinder. The time-evolution experiments showed the ion current measurements for the stationary graphite target reduced to 10% after an hour of the continuous system operation while the rotating the target resulted to a steady ion current for the whole duration. Now with the stable operation of the system, the next chapter discusses the mass separation of the ion experiments for the aluminum and graphite targets used in the ion source. Two kinds of ion analysis experiments were conducted; ion extraction coupled to a time-of-flight analysis and an 90° electrostatic ion analyzer. The ion extraction yielded signals that correspond to cluster ions were detected with small fullerenes of C<sub>24</sub> and C<sub>26</sub> for the graphite target and aluminum clusters of Al<sub>3</sub> and Al<sub>5</sub> were identified from the mass analysis. Using the graphite target for the electrostatic ion analyzer, the ion composition in a single plasma pulse was found to be dominated by low charge state ions with an abundance of C<sup>+1</sup> and C<sup>+2</sup> ions.

The conclusion is found in chapter 7 where the main results, a comparison between the hollow cylinder target and a planar target laser ion source operation, and also future work and recommendations are presented.