Thesis Title Vacuum Operated 2.45 GHz Microwave Plasma Source for Low-Energy Ion Beam Neutralization

Author Mr.Min Medhisuwakul

Degree Doctor of Philosophy (Physics)

Thesis Advisory Committee

Prof.Dr.Thiraphat Vilaithong	Chairperson
Prof.Dr.Jürgen Engemann	Member
Asst.Prof.Dr.Banchob Yotsombat	Member

ABSTRACT

A 13.56 MHz radio-frequency driven multicusp ion source has been developed at the Fast Neutron Research Facility. An argon ion current density of 27 mA cm^{-2} can be obtained for argon gas at a pressure of 0.6 Pa, RF power of 500 W and extraction voltage of 8 kV. For such a low energy and high current of several milliampere ion beam, additional low energy electrons are needed to suppress the unwanted beam broadening by the low energy Ar^{+}-ions and the charge build up on the surface of a non-conducting target. Because of the space charge effect, electron current is limited to less than 1 mA, which is inadequate for ion beam neutralization. A plasma bridge between the electron source and the ion beam must be created in order to make a conducting path for electrons to flow form the source to the beam.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

An in-wave-guide microwave plasma source operating at a frequency of 2.45 GHz has been constructed to generate a plasma bridge and provide low energy electrons to the beam. An electron current of up to 250 mA can be extracted from the source, at an absorbed microwave power of 90 W, a pressure of 8×10^{-2} Pa, and an extraction voltage of 50 V. The neutralization source is installed downstream close to the beam line. By electrostatic interaction the plasma electrons are attracted to the positively charged ion beam forming a beam envelope. A fluorescent beam profile monitor is used to measure the beam size in both cases; with and without the neutralizer. The results show the focusing effect of the beam, i.e. with neutralizer the beam diameter can be reduced by 50 percent. The beam current was measured by using a Faraday cup. The beam current neutralization can be controlled by biasing the electron source with a negative potential.

However, it was found that the microwave plasma source was operated with high reflected powers. Experimentally changing waveguide dimensions to get an optimum operating condition is difficult, time-consuming and cumbersome. The key approach for a good and stable working plasma source is to get the right dimensions, by 3-dimensional simulation tools. Therefore, a 3-dimensional computer simulation program was used to calculate the microwave parameters, and to reveal the behavior inside the source. It uses the finite integration method to calculate the Maxwell's equations. It utilizes a single block, non-self-consistent model with DRUDE dispersion to represent the plasma. For this model the plasma angular frequency, ω_p, and the electron-heavy particle collision frequency, ν_e, have to be investigated. This simple, yet powerful model allows the analysis and optimization of the source to identify the best dimensions.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ แหล่งกำเนิดพลาสมาไมโครเวฟ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ในสุญญากาศสำหรับการสะเทินลำอนุภาคประจุพลังงานต่ำ

ผู้เขียน นายมิญช์ เมธีสุวกุล

ปริญญา วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต(ฟิสิกส์)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ศ.ดร.ถิรพัฒน์ วิลัยทอง	ประธานกรรมการ
Prof.Dr.Jürgen Engemann	กรรมการ
ผศ.ดร.บรรจบ ยศสมบัติ	กรรมการ

บทคัดย่อ

หัวจ่ายไอออนแบบสนามแม่เหล็กกลีบมะเฟือง กระตุ้นด้วยคลื่นวิทยุความถี่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ถูกสร้างขึ้นเพื่อผลิตลำอนุภาคความเข้มสูง ระดับ 27 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ความดันก๊าซอาร์กอน 0.6 ปาสคาล กระตุ้นด้วยคลื่นวิทยุที่มีกำลัง 500 วัตต์ และถูกเร่งที่แรงดันไฟฟ้า 8 กิโลโวลต์ ลำอนุภาคพลังงานต่ำ และกระแสสูงดังกล่าว จะมีแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างประจุบวกด้วยกัน ทำให้ลำอนุภาคนั้นบานออก นอกจากนั้น ยังทำให้เกิดประจุสะสมบนเป้าที่ไม่ใช่ตัวนำ การลดอิทธิพลของผลดังกล่าว ทำได้โดยการเติมอิเล็กตรอนเข้าไปในลำอนุภาค แต่การจะเติมอิเล็กตรอนเข้าไปนั้น กระแสอิเล็กตรอน จะถูกจำกัดอยู่ในระดับต่ำกว่า มิลลิแอมแปร์ ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการสะเทินลำอนุภาคดังกล่าว การจะทำให้อิเล็กตรอนจำนวนมาก สามารถเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน เข้าสู่ลำอนุภาคได้นั้น ต้องอาศัยตัวกลางที่นำไฟฟ้า ซึ่งก็คือพลาสมาที่เป็นตัวเชื่อมระหว่าง แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนและลำอนุภาค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แหล่งกำเนิดพลาสมาความถี่ไมโครเวฟ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้สร้างสะพานพลาสมา และเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนพลังงานต่ำ กระแสอิเล็กตรอนขนาด 250 มิลลิแอมแปร์ สามารถจะดึงออกมาได้จากแหล่งกำเนิด อิเล็กตรอนนี้ ที่กำลังไมโครเวฟ 90 วัตต์ ความดัน 8×10^{-2} ปาสคาล และศักย์ดึง 50 โวลต์ แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนนี้ถูกติดตั้งไว้ในสุญญากาศ ใกล้กับแนวการเคลื่อนที่ของลำอนุภาค โดยมีรูเปิดหันเข้าหาลำอนุภาค ศักย์ไฟฟ้าของลำอนุภาคจะดึงดูดอิเล็กตรอนผ่านรูเปิดและผ่าน สะพานพลาสมา เข้าสู่ลำอนุภาค การวัดขนาดของลำอนุภาคทำได้โดยใช้ฉากเรืองแสง โดยทำการวัดและเปรียบเทียบขนาดของลำอนุภาค ขณะที่เปิดและปิดแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ซึ่งผลการทดลองพบว่า เมื่อเปิดแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ลำอนุภาคมีขนาดเล็กลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับเมื่อปิดแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน กระแสของลำอนุภาคสามารถวัดได้ โดยใช้ถ้วยฟาราเดย์ ผลการทดลองพบว่า กระแสของลำอนุภาคสามารถจะถูกควบคุมได้ โดยทำการป้อนแรงดันค่าลบให้กับแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน

จากการทดลองพบว่า แหล่งกำเนิดพลาสมาไมโครเวฟนี้ มีพลังงานสะท้อนกลับปริมาณมาก จากการศึกษาพบว่า การปรับเปลี่ยนขนาดความยาวของท่อนำคลื่น ที่ใช้สร้างพลาสมานี้ สามารถปรับปรุงการทำงานของแหล่งกำเนิดพลาสมาให้ดีขึ้นได้ แต่การทดลองเปลี่ยนขนาดของท่อนำคลื่น เพื่อให้แหล่งกำเนิดพลาสมา ทำงานได้ดีที่สุดนั้นยุ่งยาก และเสียเวลามาก ในงานวิจัยนี้ จึงได้มีการศึกษา โดยวิธีการคำนวณ และการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนนี้ เพื่อให้เกิดความเข้าใจพฤติกรรมของมันและนำไปสู่การกำหนดมิติต่าง ๆ ของแหล่งกำเนิดที่จะทำให้มันสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการคำนวณนี้ พลาสมาจะถูกแทนด้วยการกระจายแบบดรูเดอะ ซึ่งเป็นแบบจำลองอย่างง่ายที่สุดแต่ก็ให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับการทดลองได้เป็นอย่างดี ความถี่พลาสมา และความถี่ในการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนและอนุภาคก๊าซ เป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องใช้ในแบบจำลองนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved