

ณัฐพงศ์ แสงวิเศษ : การออกแบบระบบลำเลียงคาร์บอนไอออนลบพลังงานต่ำสำหรับ
เครื่องสเปกโตรมิเตอร์มวลโดยอาศัยเครื่องเร่งอนุภาค (DESIGN OF LOW ENERGY
NEGATIVE CARBON ION BEAMLINE FOR ACCELERATOR MASS SPECTROMETER)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูร ส่งสิริฤทธิกุล, 78 หน้า

คำสำคัญ: เครื่องสเปกโตรมิเตอร์มวลโดยอาศัยเครื่องเร่งอนุภาค, การวัดอายุด้วยคาร์บอน-14, ระบบ
ลำเลียงคาร์บอนไอออนลบพลังงานต่ำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบผลิตและลำเลียงคาร์บอนไอออนลบพลังงานต่ำ
สำหรับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แยกแยะมวลโดยใช้เครื่องเร่งอนุภาค (Accelerator Mass
Spectrometer, AMS) โดยลดขนาดให้กะทัดรัดและประหยัดงบประมาณด้วยการนำอุปกรณ์ที่มีอยู่
ภายในสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) มาใช้ใหม่ โดยระบบประกอบไปด้วย
แหล่งกำเนิดไอออนชนิดซีเซียมสปัตเตอร์, octupole deflector, Einzel lens และ aperture slit ที่
ทีมวิจัยร่วมกับวิศวกรจากสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) สร้างแบบจำลองสาม
มิติในโปรแกรม SolidWorks และจำลองการเคลื่อนที่ของไอออนด้วยโปรแกรม CST Studio Suite
ผลการจำลองแสดงว่า ลำคาร์บอนไอออนลบพลังงาน 40 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ สามารถโฟกัสให้มี
ขนาดรากลที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองเท่ากับ 2.42×2.38 มม.² และมีขนาดของ emittance เท่ากับ
8 mm·mrad (1.6 mm·mrad·√MeV) ที่ตำแหน่งของ aperture slit พร้อมอัตราการส่งผ่านของ
ไอออนกว่า 99 % ผ่าน aperture slit ขนาด 20×20 มม.² การตั้งแรงดันไฟฟ้าที่ Einzel lens
ขนาด -20,139 โวลต์ ช่วยโฟกัสลำไอออนมายังตำแหน่ง aperture slit ได้อย่างแม่นยำ

การศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประกอบระบบนั้นพบว่า octupole deflector ยังคงให้
การส่งผ่านลำไอออนกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้จะมีมุมบิด 2 องศา และการเลื้อนไปจากแกนกลาง 2
มม. ขณะที่ Einzel lens ต้องการความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า (เลื้อนไปจากแกนกลางได้ไม่เกิน 0.4
มม. และบิดได้ไม่เกิน 0.6 องศา) เนื่องจากสนามไฟฟ้าบริเวณนี้มีความเข้มสูง การคลาดเคลื่อนเพียง
เล็กน้อยก็ทำให้ลำไอออนเบี่ยงออกนอกโฟกัสได้ และการทดลองศึกษาผลกระทบของส่วนจับยึดของ
Einzel lens ภายในสุญญากาศนั้นพบว่า มีผลกระทบต่อลำไอออนจากการไปรบกวนสนามไฟฟ้า
บริเวณระหว่างทรงกระบอกของ Einzel lens แก้ไขได้โดยการขยับทรงกระบอกเข้ามาใกล้กันมากขึ้น

ระบบสุญญากาศสร้างจากอุปกรณ์ที่ไม่ได้ใช้งานภายในสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน ผ่านการ
ทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์และทดสอบการรั่วด้วยเครื่องตรวจวัดแก๊สฮีเลียม (Pfeiffer Adixen
ASM 340) พบอัตราการรั่ว 10^{-9} mbar·L/s ซึ่งเป็นอัตราที่น้อยกว่าค่ามาตรฐาน 10^{-8} mbar·L/s จึง
พร้อมใช้งานได้จริง ระบบประกอบด้วยปั๊มเทอร์โบโมเลกุลขนาด 300, 350 และ 700 L/s สำหรับการ
สร้างสุญญากาศสูงพิเศษ โดยใช้ร่วมกับ scroll pump สำหรับสร้างสุญญากาศเบื้องต้น

อุปกรณ์จ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงจากบริษัท Matsusada Precision Inc. ของประเทศญี่ปุ่น
จำนวน 10 เครื่อง ถูกเลือกใช้งานกับระบบซึ่งจำแนกได้เป็น การใช้งานสำหรับแหล่งกำเนิดไอออน

จำนวน 4 เครื่อง สำหรับสร้างสนามไฟฟ้าให้กับไอออนไนเซอร์และ Einzel lens อย่างละ 1 เครื่อง สำหรับ octupole deflector จำนวน 4 เครื่อง เพื่อใช้ในการเบี่ยงลำไอออนในแกน X-Y ได้อย่างอิสระ โดยระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงนั้นถูกควบคุมผ่านอินเทอร์เฟซ CO-HV/CO-E32 ด้วยสายไฟเบอร์ออปติก ทำให้ควบคุมและติดตามได้แม่นยำ ปลอดภัยจากสัญญาณรบกวน และวางติดตั้งได้สะดวกเพื่อให้ภายนอกห้องสุญญากาศอยู่ที่สก็ยกรวาด

ขดลวดความร้อนภายในไอออนไนเซอร์ใช้เส้นลวดโมลิบดีนัมเรเนียม (MoRe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มม. พันเป็นวงกลมทรงโดนัท ซึ่งจากการศึกษาที่เคยมีมาก่อนนั้นใช้กำลังไฟ 150 วัตต์ ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส และจากการคำนวณกฎของโอห์มและสมการความต้านทานไฟฟ้าในเส้นลวดนั้นจะต้องใช้ความยาวลวด 20 ซม. พันรอบแกน 2 มม. จำนวน 22 รอบ โดยจากการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มจำนวนรอบในการพันได้เป็น 40 รอบเพื่อลดการใช้พลังงานจากอุปกรณ์จ่ายแรงดันไฟฟ้าลง และจากการทดลองพบว่าใช้พลังงานเพียง 70 วัตต์ เพื่อไปถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ 1370 องศาเซลเซียส และสำหรับการทดลองทำแม่พิมพ์เพื่อกดเข้ากับดินน้ำมันที่นำมาจำลองการเป็นฉนวนระหว่างขดลวดความร้อนและไอออนไนเซอร์นั้นพบว่าแม่พิมพ์นี้สามารถกดและทำให้เกิดฉนวนหนา 1 มม. ได้แต่ยังไม่เรียบเนื่องจากมีรอยการจากสร้างตัวต้นแบบจากเครื่องพิมพ์สามมิติ เสนอแนวทางปรับปรุงด้วยการผลิตแม่พิมพ์อลูมิเนียมจากเครื่องกลึงเพื่อผิวที่เรียบและทนทานขึ้น

ผลการวิจัยทุกขั้นตอนยืนยันว่าโครงสร้างและระบบพร้อมใช้งาน มีคุณภาพลำไอออนตามเป้าหมาย ระบบมีขนาดกะทัดรัด และเหมาะสมต่อการใช้งานเป็นระบบ AMS วัดรังสีคาร์บอนครั้งแรกในประเทศไทยเพื่อรองรับการวิเคราะห์โบราณคดีและสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

NATTHAPONG SAENGWISSES : DESIGN OF LOW ENERGY NEGATIVE CARBON ION BEAMLINE FOR ACCELERATOR MASS SPECTROMETER. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR PRAYOON SONGSIRIRITTHIGUL, Ph.D. 78 PP.

Keywords: AMS, mass spectrometer, radiocarbon dating, low energy beamline

This research is aimed at developing a compact, low-energy negative carbon ion beamline for accelerator mass spectrometry (AMS) by using existing equipment at the Synchrotron Light Research Institute (Public Organization) to reduce size and cost. The beamline is composed of a cesium-sputter ion source, an octupole deflector, an Einzel lens, and an aperture slit. Three-dimensional models were generated in SolidWorks in collaboration with engineers from the National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization), and ion trajectories were simulated using CST Studio Suite. Simulation results demonstrate that a 40 keV C^- beam can be focused to an RMS beam size of $2.42 \times 2.38 \text{ mm}^2$, with an emittance of $8 \text{ mm}\cdot\text{mrad}$ ($1.6 \text{ mm}\cdot\text{mrad}\cdot\sqrt{\text{MeV}}$) at the aperture slit, achieving over 99 % transmission through a $20 \times 20 \text{ mm}^2$ opening. A $-20,139 \text{ V}$ bias applied to the Einzel lens enables precise focusing of the ion beam at the slit location.

Misalignment studies revealed that the octupole deflector maintains over 99 % ion transmission even with a 2° tilt and a 2 mm offset from the optical axis. In contrast, the Einzel lens requires much tighter assembly tolerances—offsets no greater than 0.4 mm and tilts no more than 0.6° —because its strong electric field is highly sensitive to small displacements, which can lead to beam loss. Vacuum simulations of the Einzel lens mounting supports also indicated that conductive supports can perturb the field between the cylinders; this effect can be mitigated by reducing the gap between them.

The vacuum system was assembled from unused equipment at SLRI, cleaned with alcohol, and leak-tested using a Pfeiffer Adixen ASM 340 helium detector. Measured leak rates of approximately $10^{-9} \text{ mbar}\cdot\text{L/s}$ —below the $10^{-8} \text{ mbar}\cdot\text{L/s}$ threshold—confirmed readiness for operation. The system incorporates turbomolecular pumps with capacities of 300, 350, and 700 L/s for ultra-high vacuum, backed by a scroll pump for rough pumping.

Ten high-voltage power supplies from Matsusada Precision Inc. (Japan) were selected: four units for the ion source, one each for the ionizer and the Einzel lens to

generate the electric field, and four for the octupole deflector to provide independent X–Y beam steering. All supplies are controlled and monitored via CO-HV/CO-E32 fiber-optic interfaces, ensuring precise, noise-free operation, and are installed beneath the table so that the exterior of the vacuum chamber remains at ground potential.

The ionizer heater coil is wound from 0.9 mm-diameter molybdenum-rhenium (MoRe) wire in a toroidal configuration. Based on Ohm's law and the resistivity equation, a 20 cm coil length wound in 22 turns on a 2 mm mandrel was calculated to reach 1200 °C with approximately 150 W of power. Experimental testing showed that increasing the turn count to 40 reduced power consumption to 70 W while achieving a maximum temperature of 1370 °C. A 3D-printed tamper was used to press alumina paste into the gap between coil and ionizer body, producing a 1 mm-thick insulator layer, though surface unevenness from printing artifacts was observed. Machining the tamper from aluminum is proposed to improve surface smoothness and durability.

Overall, the integrated system meets its performance targets—compact footprint, beam quality, alignment tolerances, vacuum integrity, and reliable heating—and establishes Thailand's first in-house AMS radiocarbon dating capability for archaeological and environmental analysis.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Physics
Academic Year 2024

Student's signature
Advisor's signature


