การดัดแปรหลอดรังสีแคโทดสำหรับงานจุลทรรศน์รังสีเอกซ์

นาย วิมล ทรัพย์ส่งสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-762-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18556474

MODIFICATION OF A CATHODE RAY TUBE FOR X-RAY MICROSCOPY

Mr. Vimol Supsongsuk

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Nuclear Technology
Department of Nuclear Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-639-762-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดัดแปรหลอดรังสีแคโทดสำหรับงานจุลทรรศน์รังสีเอกซ์
โดย	นาย วิมล ทรัพย์ส่งสุข
ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ เดโช ทองอร่าม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ เดโช ทองอร่าม)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช)

..... กรรมการ
(อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิมล ทรัพย์ส่งสุข : การดัดแปรหลอดรังสีแคโทดสำหรับงานจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ (MODIFICATION OF A CATHODE RAY TUBE FOR X-RAY MICROSCOPY)อ.ที่ปรึกษา: ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. เดโช ทองอร่าม ; 83 หน้า. ISBN 974-639-762-1

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของชิ้นตัวอย่างที่มีขนาดเล็กโดยทั่วไปไม่สามารถจัดระบบให้มีกำลังขยายภาพได้ ซึ่งจะทำให้สูญเสียรายละเอียดในชิ้นตัวอย่าง ฉะนั้นเมื่อต้องการถ่ายภาพให้มีกำลังขยายและความคมชัดสูง จำเป็นต้องอาศัยลำอิเล็กตรอนที่มีจุดโฟกัสเล็กมากภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมากระตุ้นอะตอมของเป้าโลหะให้กำเนิดรังสีเอกซ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการดัดแปรหลอดรังสีแคโทดในส่วนของปืนอิเล็กตรอนเพื่อใช้กำเนิดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำแบบประหยัด ซึ่งให้จุดโฟกัสเล็กระดับไมครอนภายในห้องสุญญากาศ ลำอิเล็กตรอนที่ได้มีพลังงานในช่วง 0 ถึง 20 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ กระแสในระดับ 10 นาโนแอมแปร์ กำเนิดรังสีเอกซ์เฉพาะพลังงานจากแผ่นเป้าทองคำชนิดฟิล์มบางให้พลังงาน 9.71 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (L_α x-ray) และจัดระบบถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่ให้กำลังขยายในช่วง 2 ถึง 50 เท่า ซึ่งรู้จักกันในเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์รังสีเอกซ์

จากการทดลองถ่ายภาพเส้นลวดทองแดงขนาด 80 ไมครอนและโครงกระดูกส่วนหางของปลาหางนกยูงเปรียบเทียบระหว่างการกำเนิดรังสีเอกซ์ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของบริษัท JEOL รุ่น JSM-T220 และระบบกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ดัดแปรขึ้น โดยใช้ศักดาไฟฟ้าเร่ง 20 กิโลโวลต์ จัดระยะห่างจากเป้าถึงชิ้นตัวอย่างและจากเป้าถึงฟิล์มเพื่อเปลี่ยนกำลังขยายที่ 2 และ 5 เท่า ตามลำดับ ใช้เวลาถ่ายภาพ 60 นาที ด้วยฟิล์ม Agfa STRUCTURIX D7 พบว่าผลของภาพถ่ายชิ้นตัวอย่างที่กำลังขยาย 2 เท่า ให้ความคมชัดทัดเทียมกัน ขณะที่ภาพถ่ายกำลังขยาย 5 เท่าจากระบบกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ดัดแปรขึ้นมีความคมชัดด้อยกว่า เนื่องจากขีดจำกัดของขนาดจุดโฟกัสที่ควบคุมด้วยเลนส์อิเล็กโตรสแตติก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C818973 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEY WORD: X-RAY MICROSCOPY / MICROFOCUS X-RAY / CATHODE RAY TUBE / SOFT X-RAY
VIMOL SUPSONGSUK : MODIFICATION OF A CATHODE RAY TUBE FOR X-RAY MICROSCOPY. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, THESIS CO-ADVISOR : DECHO TONGARAM, 83 pp . ISBN 974 - 639-762-1

One of the disadvantages of conventional x-ray radiography is its inability to magnify image; and thus, fine details of millimeter-size specimens may not be resolved. To overcome this disadvantage, a microfocus x-ray source is needed; and at present, it can only be only generated by activating atoms of a metal target using electron microbeam from an expensive electron microscope (EM). The technique is known as x-ray microscopy. This research work is aimed to modify the electron gun section of a cathode ray tube as an economical microfocus soft x-ray source in a vacuum chamber. When the electron beam has an energy in a range of 0-20 keV and a current in order of 10 nA. The beam is focused on to a thin film gold target, a L_α characteristic x-ray with an energy of 9.71 keV is generated. The x-ray projection mechanism can be adjusted to magnify an image by 2-50 times.

To benchmark the modified x-ray microscopy system for its spatial resolution and image quality, x-ray micrographs were taken on the 80 μm of copper wire and small fish (GUPPY-Poecillia reticulata) using the modified electron gun and compared with those taken using an electron source from a conventional EM, JEOL model JSM-T220. Testing conditions of both systems were configured to operate at a 20 kV accelerating voltage and a setting of target to specimen distance and a target to film distance for x2 and x5 of magnification, respectively. The exposure time was set to be 60 min using an x-ray film type Agfa STRUCTURIX D7. The image quality obtained from both systems was found to have comparable degree of sharpness at x2 magnification. While, at x5 magnification shown the unsharpness of x-ray image from the modified system, due to a limitation of spot size of electron beam which is controlled by electrostatic focusing lens.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์เดโช ทองอร่าม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยด้วยดีมาตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การอุดหนุนทุนวิจัยบางส่วนในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ส่วนงานจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณบัญชา อุนพานิช คุณทิพาพร อติกานต์กุล คุณชัยวัฒน์ มั่นเจริญ คุณอดิศักดิ์ ปัญญานุช และคุณวรางคณา หอมจันทน์ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาตลอด

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ป้า และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจเสมอมา โดยเฉพาะบิดา ผู้เป็นกำลังใจสูงสุด เป็นแบบอย่างที่ดี ตลอดจนเป็นแรงผลักดันสูงสุด ที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จ

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอไว้อาลัย รวมทั้งมอบความดีและประโยชน์ที่พึงมีได้ในงานวิจัยนี้ให้แด่บิดาผู้ล่วงลับไปก่อนที่งานวิจัยนี้สำเร็จ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้ 3

2. ระบบจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ 4

2.1 คุณสมบัติของรังสีเอกซ์ 4

2.1.1 รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง 4

2.1.2 รังสีเอกซ์เฉพาะตัว 5

2.2 หลักการของกล้องจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ 7

2.3 แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไมโครโฟกัส 10

2.3.1 แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน 10

2.3.2 เป้าผลิตรังสีเอกซ์ 11

2.4 หลอดรังสีแคโทด 18

2.5 ระบบสุญญากาศ 23

2.5.1 เครื่องสูบสุญญากาศแบบโรตารี่ 24

2.5.2 เครื่องสูบสุญญากาศแบบดิฟฟิวชัน 25

3. การออกแบบและสร้างระบบถ่ายภาพจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ 27

3.1 ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ 27
3.2 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรกำเนิดลำอิเล็กตรอน 29
3.2.1 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าจุดไส้หลอด 30
3.2.2 การออกแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 31
3.3 การออกแบบระบบสุญญากาศ 34
3.4 อุปกรณ์ฉายภาพรังสีเอกซ์ 36
3.5 การติดตั้งอุปกรณ์ในห้องตัวอย่างสุญญากาศ 37
4. ผลทดสอบระบบควบคุมแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน 43
4.1 การทดสอบระบบควบคุมแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน 43
4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ 43
4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ 44
4.2 การทดสอบการกำเนิดอิเล็กตรอน 48
4.2.1 เครื่องและอุปกรณ์ในการทดสอบ 48
4.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ 48
4.3 การทดสอบการกำเนิดรังสีเอกซ์ 50
4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ 50
4.3.2 การเตรียมแผ่นเป้าทองคำชนิดฟิล์มบาง 51
4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง 53
4.4 การทดสอบถ่ายภาพรังสีเอกซ์ 56
4.4.1 เครื่องมืออุปกรณ์ในการทดสอบ 56
4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ 56
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 60
5.1 สรุปผลการวิจัย 60
5.2 ข้อเสนอแนะ 61
รายการอ้างอิง 62
ภาคผนวก ก. 63
ภาคผนวก ข. 65
ภาคผนวก ค. 66
ภาคผนวก ง. 67
ประวัติผู้เขียน 83

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 วัสดุเป้าผลิตรังสีเอกซ์และแรงดันไฟฟ้าเร่งที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างทางชีวภาพ 14
ตารางที่ 2.2 แสดงความยาวคลื่นและพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว,จุดหลอมเหลวและการนำความร้อนของธาตุบางธาตุ 15
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของน้ำมันสำหรับเครื่องสูบดิฟฟิวชันบางชนิด 26
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสวิตชิงกับแรงดันไฟฟ้าสูงขณะไม่มีโหลด..... 46
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสวิตชิงกับแรงดันไฟฟ้าสูงขณะจ่ายโหลด..... 47
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุฐาน 51
ตารางที่ 4.4 ความดำของฟิล์มที่เกิดจากรังสีเอกซ์ของแผ่นเป้าทองคำ 54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง 5
รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว 6
รูปที่ 2.3 แสดงหลักการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่มีกำลังขยายภาพเปรียบเทียบกันระหว่างต้นกำเนิดรังสีที่มีขนาดจุดโฟกัสต่างกัน 7
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์รังสีเอกซ์แบบฉายภาพ 8
รูปที่ 2.5 ขีดจำกัดของการแจกแจงรายละเอียดบนภาพ 9
รูปที่ 2.6 แสดงชั้นความลึกของการเกิดอันตรกิริยาในเป้าผลิตรังสีเอกซ์ที่เลขอะตอมต่างกัน..... 12
รูปที่ 2.7 อันตรกิริยาระหว่างลำอิเล็กตรอนและเป้าผลิตรังสีเอกซ์ 12
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงการดูดกลืนรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของวัสดุเป้าผลิตรังสีเอกซ์..... 16
รูปที่ 2.9 แผนภาพการจัดระบบฉาบแผ่นฟิล์มบางแบบ sputtering 17
รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายในของหลอดรังสีแคโทด 18
รูปที่ 2.11 อีควิโพเทนเชียลเซอร์เฟส(equipotential surfare)ระหว่างขั้วไฟฟ้า 20
รูปที่ 2.12 แสดงการหักเหของลำอิเล็กตรอนที่ equipotential surfare 21
รูปที่ 2.13 แสดงระบบการปรับโฟกัสด้วยเลนส์ไฟฟ้าสถิตย์ของหลอดรังสีแคโทด 22
รูปที่ 2.14 แผนภาพของระบบสุญญากาศความดันสูง 23
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของเครื่องสูบสุญญากาศแบบ Gaede oil rotary pump 24
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเครื่องสูบสุญญากาศ three-stage oil diffusion pump 25
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของระบบจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ 29
รูปที่ 3.2 แผนภาพของแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรกำเนิดลำอิเล็กตรอน 30
รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าจุดไส้หลอด..... 30
รูปที่ 3.4 แผนภาพวงจรแหล่งไฟฟ้าแรงสูง 31
รูปที่ 3.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง 32
รูปที่ 3.6 วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง 33
รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมลำอิเล็กตรอนของหลอดรังสีแคโทด 34
รูปที่ 3.8 แผนภาพของระบบสุญญากาศ 35

รูปที่ 3.9 แผนภาพการทำงานของระบบหล่อเย็น 35
รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดง feed through บนแผ่นฝาปิดห้องใส่ตัวอย่าง 36
รูปที่ 3.11 โครงสร้างของอุปกรณ์ฉายรังสีเอกซ์ 37
รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงภาพการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองในห้องตัวอย่างสุญญากาศ 37
รูปที่ 3.13 ภาพแสดงอุปกรณ์ภายในห้องใส่ตัวอย่างสุญญากาศ 38
รูปที่ 3.14 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง 25 กิโลโวลต์,100ไมโครแอมแปร์ 39
รูปที่ 3.15 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงต่ำแบบสวิตชิง 39
รูปที่ 3.16 การจัดวางอุปกรณ์ภายในเพื่อไม่ให้เกิดการสปาร์ค 40
รูปที่ 3.17 การจัดวางอุปกรณ์ภายในของวงจรทวีศักดาไฟฟ้าและวงจรของปืนอิเล็กตรอน เพื่อไม่ให้เกิดการอาร์ค 40
รูปที่ 3.18 ระบบหล่อเย็นเครื่องสูบสุญญากาศ 41
รูปที่ 3.19 ระบบถ่ายภาพจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น 42
รูปที่ 3.20 อุปกรณ์ฉายภาพขณะติดตั้งในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM ของ JEOL รุ่น JSM 220 42
รูปที่ 4.1 การจัดระบบทดสอบการทำงานของระบบควบคุมแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน 44
รูปที่ 4.2 เส้นกราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าสูงขณะไม่มีโหลด 46
รูปที่ 4.3 เส้นกราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าสูงขณะจ่ายโหลด 47
รูปที่ 4.4 การจัดระบบทดสอบการกำเนิดลำอิเล็กตรอน 48
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของอิเล็กตรอนที่วัดด้วยหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล 49
รูปที่ 4.6 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการกำเนิดรังสีเอกซ์ 50
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์พลังงาน 5.9 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ผ่านแผ่นไมกาบาง 52
รูปที่ 4.8 เครื่องมือในการเตรียมแผ่นฟิล์มบางทองคำ 52
รูปที่ 4.9 สเปคตรัมรังสีเอกซ์จากแผ่นเป้าฟิล์มบางของทองคำที่ทะลุผ่านฐานของไมกา 54
รูปที่ 4.10 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของความหนาของฟิล์มทองคำและความดำของรังสีเอกซ์บนแผ่นฟิล์ม (OD) 55
รูปที่ 4.11 ความหนาของฟิล์มบางทองคำบนฐานไมกาที่เวลาต่างๆ 55
รูปที่ 4.12 แสดงขนาดชิ้นตัวอย่างและอุปกรณ์ฉายภาพรังสีเอกซ์ 56
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของชิ้นตัวอย่างและเส้นกราฟทดสอบความคมชัด 57
รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายโครงกระดูกปลาหางนกยูง 57

รูปที่ 4.15 ภาพเปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์จากตัวอย่างชิ้นงานเดียวกัน..... 58
รูปที่ 4.16 เส้นกราฟทดสอบความคมชัดขอบภาพ 59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย