การพัฒนาต้นกำเนิดกระตุ้นรังสีเอกซ์สำหรับเครื่องวิเคราะห์ด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบแจกแจงพลังงานโดยใช้หลอดรังสีเอกซ์ทางทันตกรรม

นางสาว สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2539

ISBN 974-633-950-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ม.๗๐๗๖๓๖๐

DEVELOPMENT OF AN X-RAY EXCITING SOURCE FOR EDXRF SPECTROMETER USING A DENTAL X-RAY TUBE

Miss Sarai Lekchaum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Nuclear Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
1996

ISBN 974-633-950-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาต้นกำเนิดกระตุ้นรังสีเอกซ์สำหรับเครื่องวิเคราะห์ด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบแจกแจงพลังงานโดยใช้หลอดรังสีเอกซ์ทางทันตกรรม

โดย นางสาวสาหร่าย เล็กชะอุ่ม

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วิรุฬห์ มังคละวิรัช)

.....กรรมการ

(อาจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาหร่าย เล็กชะอุ่ม : การพัฒนาต้นกำเนิดกระตุ้นรังสีเอกซ์สำหรับเครื่องวิเคราะห์ด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบแจกแจงพลังงานโดยใช้หลอดรังสีเอกซ์ทางทันตกรรม (DEVELOPMENT OF AN X-RAY EXCITING SOURCE FOR EDXRF SPECTROMETER USING A DENTAL X-RAY TUBE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. นเรศร์ จันทน์ขาว, 93 หน้า. ISBN 974-633-950-8

ต้นกำเนิดกระตุ้นรังสีเอกซ์สำหรับเครื่องวิเคราะห์ด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบแจกแจงพลังงานที่มีระบบวัดแบบนิม (NIM system) โดยใช้หลอดรังสีเอกซ์ทางทันตกรรมนี้ พัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนชุดต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นแบบไอโซโทปรังสีซึ่งใช้งานไม่สะดวก มีอายุการใช้งานจำกัดและไม่สามารถปรับพลังงานหรือความเข้มรังสีได้ต่อเนื่อง ระบบควบคุมการกำเนิดรังสีเอกซ์ออกแบบให้สามารถปรับศักดาไฟฟ้าและกระแสของแอโนดได้ 0-30 กิโลโวลต์ และ 15-500 ไมโครแอมแปร์ ตามลำดับ จากการทดสอบคุณสมบัติของหลอดรังสีเอกซ์ทางทันตกรรมของบริษัท Philips รุ่น ORALIX 65 S พบว่าแอโนดทำด้วยทังสเตน ให้สเปกตรัมด้านพลังงานต่ำตั้งแต่ 10 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

ผลการทดสอบการวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ร่วมกับหัววัดรังสีชนิด HPGe ของ ORTEC รุ่น GLP-06165/05 โดยใช้ไฟฟ้าศักดาสูงและกระแสไฟฟ้าที่แอโนดของหลอดรังสีเอกซ์ที่ 25 กิโลโวลต์ กระแส 65 ไมโครแอมแปร์ ตามลำดับ พบว่าสามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำในบรรยากาศปกติได้ถึงธาตุโปแทสเซียม จากการทดสอบขีดจำกัดต่ำสุด (3σ) ในการวัดปริมาณธาตุด้วย Fe_2O_3 พบว่าสามารถวัดได้ 0.002% Fe_2O_3 และขีดจำกัดต่ำสุด (3σ) ในการวัดปริมาณธาตุด้วย $Ca(OH)_2$ พบว่าสามารถวัดได้ 0.02%$Ca(OH)_2$ โดยน้ำหนัก ที่เวลาวัดรังสี 300 วินาที

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C518155 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEY WORD: : DENTAL X-RAY TUBE / X-RAY EXCITING SOURCE/ XRF
SARAI LEKCHAUM : DEVELOPMENT OF AN X-RAY EXCITING SOURCE FOR EDXRF SPECTROMETER USING A DENTAL X-RAY TUBE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. NARES CHANKOW. 93 pp. ISBN 974-633-950-8

Due to the inherent limitation in life time, invariability in energy and intensity of the radioisotope exciting x-ray source a dental x-ray tube for the NIM EDXRF spectrometer system with anode voltage and current adjustable from 0-30 kV and 15-500 μA respectively was developed. A Philips ORALIX 65S with tungsten anode, a dental x-ray tube, was used as experimental unit yielding an x-ray of low energy spectrum starting at 10 kV.

A HPGe detector, ORTEC Model GLP-06165/05 was used for elemental analysis with the x-ray tube operating at 25 kV 65 μA. It was found that light elements down to potassium could be detected in air atmosphere. With a measurement time of 300 S, the detection limits (3σ) for Fe_2O_3 and $Ca(OH)_2$ were found to be 0.002% and 0.02% by weight respectively.

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งเป็นผู้ให้แนวทางคำแนะนำ และความคิดเห็น ตลอดจนตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเรียบร้อย

ขอขอบคุณ บริษัท คงศักดิ์ เอ็กซเรย์การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด ที่กรุณา อนุเคราะห์น้ำมันฉนวน เพื่อนำมาใช้กับแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง

ขอขอบคุณ คุณสมบูรณ์ เหรียญภูมิการกิจ และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ช่วยเตรียมตัวอย่าง และช่วยเหลือทำอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสถาพร คุณีพงษ์ คุณเพียรจิตร์ เล็กชะอุ่ม และเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือในการวิจัยและพิมพ์วิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัยนี้

สุดท้าย ผู้เขียนขอแสดงความกตัญญูกตเวทิตาคุณ ต่อ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งให้ความรัก อบรมสั่งสอน ให้การศึกษา และสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ฉ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ช
กิตติกรรมประกาศ ..... ซ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ
   - 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย 1
   - 1.2 วัตถุประสงค์ 3
   - 1.3 ขอบเขตการวิจัย 3
   - 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. กระบวนการวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์
   - 2.1 คุณสมบัติของรังสีเอกซ์ 5
   - 2.2 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 6
   - 2.3 ระบบควบคุมการกำเนิดรังสีเอกซ์ 11
   - 2.4 การวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ 16
     - 2.4.1 ยีลด์ของการเกิดรังสีเอกซ์เรืองและออเจร์อิเล็กตรอน..... 18
     - 2.4.2 การดูดกลืนพลังงานรังสีเอกซ์ปฐมภูมิในตัวอย่าง 22
     - 2.4.3 ผลของความหนาของสารตัวอย่างกับปริมาณรังสีเอกซ์เรือง 25
     - 2.4.4 ผลกระทบของธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง 29
     - 2.4.5 ผลของการจัดอุปกรณ์ประกอบต่อการเกิดรังสีเอกซ์เรือง..... 30

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

3. การพัฒนาต้นกำเนิดกระตุ้นรังสีเอกซ์โดยการใช้หลอดรังสีเอกซ์ทางทันตกรรม
3.1 คุณสมบัติของของหลอดรังสีเอกซ์ที่นำมาใช้ 36
3.2 การออกแบบอุปกรณ์ติดตั้งหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 37
3.2.1 การระบายความร้อน 37
3.2.2 การป้องกันไม่ให้เกิดการอาร์คที่ศักดาไฟฟ้าสูง 38
3.2.3 การกำบังรังสีในทิศทางที่ไม่ได้ใช้งาน 39
3.3 ระบบการควบคุมการกำเนิดรังสีเอกซ์ 39
3.3.1 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 40
3.3.2 การออกแบบวงจรชุดแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าต่ำจุดไส้หลอด ..47
3.3.3 อุปกรณ์บังคับทิศทางของลำรังสีเอกซ์และฐานวาง ตัวอย่าง 51

4. การทดสอบสมรรถนะของต้นกำเนิดกระตุ้นรังสีเอกซ์
4.1 การทดสอบคุณสมบัติในการกำเนิดรังสีเอกซ์ของหลอดรังสีเอกซ์ทางทันตกรรม.....57
4.2 การหาขีดจำกัด(detection limit) ในการวิเคราะห์ธาตุทั้งในเชิงคุณภาพและในเชิงปริมาณ 59

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของต้นกำเนิดกระตุ้นรังสีเอกซ์ 72
5.2 ข้อเสนอแนะ 73

เอกสารอ้างอิง 75
ภาคผนวก 77
ประวัติผู้เขียน 93

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การเลือกชนิดของเป้าโลหะสำหรับการวิเคราะห์แบบ EDXRF 10
2.2 ผลของศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าต่อการเกิดรังสีเอกซ์ 15
2.3 การเรียกชื่อสเปกตรัมของการเปลี่ยนสภาวะของชั้นพลังงาน 20
2.4 แสดงระดับของอิเล็กตรอนและตำแหน่งควอนตัมนัมเบอร์ 21
2.5 ความหนาของธาตุตัวอย่างกับช่วงพลังงานที่เหมาะสม 31
4.1 ตารางแสดงผลการวัด Fe_2O_3 ที่เวลา 300 วินาที 67
4.2 ตารางแสดงผลการวัด $Ca(OH)_2$ ที่เวลา 300 วินาที 70

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงโครงสร้างภายในของหลอดรังสีเอกซ์ 6
2.2 โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์แบบหน้าต่างข้าง 8
2.3 โครงสร้างของหลอดรังสีเอกซ์แบบหน้าต่างปลาย 8
2.4 ภาพตัดขวางของไส้หลอด 9
2.5 ภาพตัดขวางของแอโนด 10
2.6 วงจรเบื้องต้นของหลอดรังสีเอกซ์ 11
2.7 อันตรกิริยาการเกิดรังสีเอกซ์บนเป้าของหลอดรังสีเอกซ์
ก. อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง 13
ข. อันตรกิริยาของการเกิดรังสีเอกซ์เรือง 13
ค. ชั้นโครจรของอิเล็กตรอนที่จะให้พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุ 13
2.8 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์จากหลอดรังสีเอกซ์ 14
2.9 สเปกตรัมแสดงอิทธิพลของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และเลขอะตอมของ
ธาตุที่ใช้ทำเป้าต่อการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง 15
2.10 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ต่อเนื่องจากหลอดรังสีเอกซ์ซึ่งเป้าทำด้วย
โมลิบดินัมที่พลังงาน 10, 20, และ 30 kV 16
2.11 แผนภาพของระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ 17
2.12 การเกิดออเจร์อิเล็กตรอน 18
2.13 แสดงฟลูออเรสเซนต์ยีลด์ที่ระดับวงโคจรของธาตุเลขอะตอมต่างๆ 19
2.14 อนุกรมของเส้นสเปกตรัมรังสีเอกซ์จากการเปลี่ยนสภาวะระหว่าง
ระดับพลังงาน 20
2.15 แสดงการจัดเรียงตัวของระนาบอะตอมเป็นชั้นความหนา 22
2.16 การเกิดอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิกับสารตัวอย่าง 23
2.17 แสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของแบเรียม
ในระดับชั้นเค ชั้นแอล และชั้นเอ็ม ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของรังสีเอกซ์ 24
2.18 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความหนาของสารตัวอย่างและความเข้ม

รูปที่ หน้า

รังสีเอกซ์เรือง 27
2.19 กราฟแสดงอัตราส่วนของความเข้มรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของโลหะผสม (I_{Fe}) Fe-Ni และ Fe-Ag ต่อความเข้มรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของเหล็กในเหล็กบริสุทธิ์(Is) 29
2.20 ผลของศักดาไฟฟ้าสูงที่แอโนดต่อความไวในการวิเคราะห์ธาตุ 31
2.21 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับรังสีกับค่าเวลาที่เสียไปกับการวิเคราะห์พลังงาน 32
2.22 กฎกำลังสองผกผัน 34
2.23 แสดงภาพตัดขวางของคอลลิเมเตอร์ 34
2.24 ผลกระทบของรังสีเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางในสภาวะบรรยากาศที่แตกต่างกัน 35
3.1 ลักษณะภายนอกของหลอดและบริเวณตกกระทบของรังสีเอกซ์ 37
3.2 รูปแบบของอุปกรณ์ติดตั้งหลอดรังสีเอกซ์ 38
3.3 แบบแสดงตะกั่วบังคับลำรังสีและกำบังรังสี 49
3.4 แผนภาพระบบควบคุมการกำเนิดรังสีเอกซ์ของหลอดรังสีเอกซ์ทางทันตกรรม .40
3.5 แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 40
3.6 วงจรกำเนิดความถี่ 43
3.7 วงจรขับแบบพุช-พูล โดยใช้มอสเฟต 44
3.8 วงจรโวลต์เตจเรกกูเรเตอร์ 45
3.9 วงจรศักดาไฟฟ้าสองเท่าแบบฟูลเวฟ 46
3.10 วงจรแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า +22 V, 8 A 47
3.11 วงจรแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าต่ำคงที่ $\pm$ 15 V 47
3.12 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำกระแสตรงคงที่ +12 V 48
3.13 วงจรโวลต์เตจเรกกูเลเตอร์ปรับค่าได้ 48
3.14 วงจรป้องกันศักดาไฟฟ้าสำหรับจุดไส้หลอดเกิน 49
3.15 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสูงและแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำสำหรับจุดไส้หลอด 50

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์น้ำหนักของ Fe_2O_3 (% concentration) กับความเข้มรังสีเอกซ์เรือง (I : counts) ที่เวลา 300 วินาที 68

4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของแคลเซียม $K\alpha 1$ ที่น้ำหนัก 4%, 5%, 6%, 10% และ 13% ตามลำดับ 69

4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์น้ำหนักของ $Ca(OH)_2$ (% concentration) กับความเข้มรังสีเอกซ์เรือง (I : counts) ที่เวลา 300 วินาที 71