

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดสอบความเข้มสนามแม่เหล็กของเลนส์

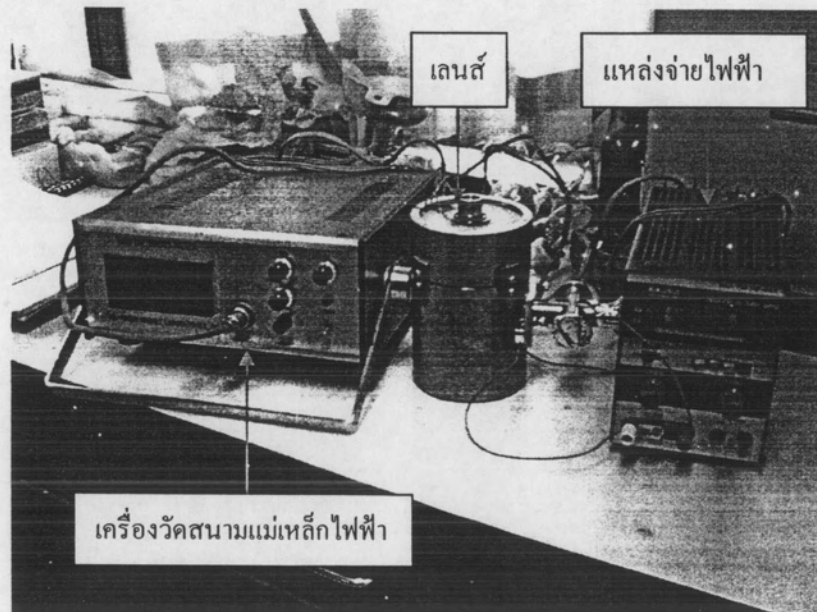
4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับเลนส์ 2 ชุด
2. เลนส์คอนเด็นเซอร์ที่พัฒนาขึ้น
3. เลนส์ออฟเฟกทีฟที่พัฒนาขึ้น
4. เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก (Guass meter) ของ ML-100DH MAGNET

LABORATORIES., INC.

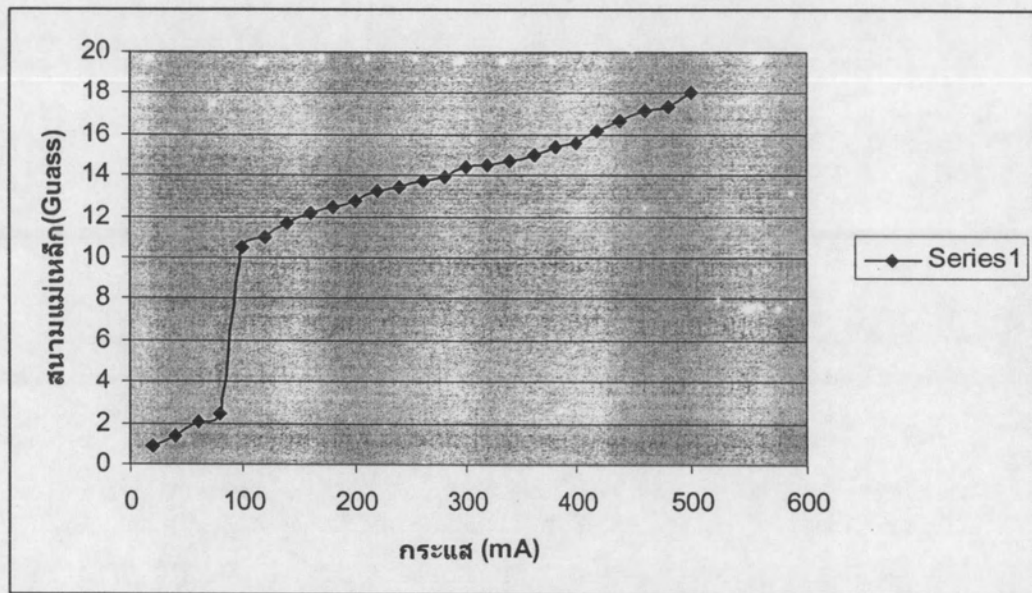
4.1.2 การทดสอบและบันทึกผล

1. จัดระบบวัดความเข้มสนามแม่เหล็กในเลนส์แต่ละชุด โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กของเลนส์ดังรูปที่ 4.1

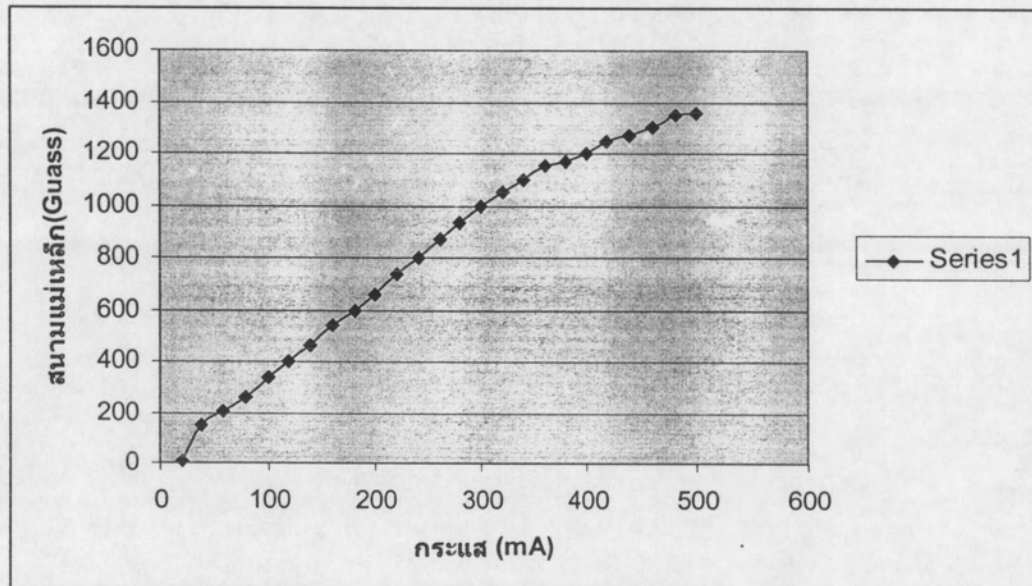


รูปที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์ทดสอบความเข้มสนามแม่เหล็กของเลนส์

2. วัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall probe วัดความเข้มที่ตำแหน่งกึ่งกลางของช่องเปิดวงจรแม่เหล็ก โดยแปรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าในขดลวดสนามแม่เหล็ก ผลการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นไปตามเส้นกราฟรูปที่ 4.2 ก.และ ข. พบว่าเมื่อเปลี่ยนกระแสของขดลวดจาก 0-500 mA เลนส์คอนเด็นเซอร์สามารถแปรเปลี่ยนสภาพแม่เหล็กจาก 10-18 G และเลนส์ออฟเจ็กทีฟแปรเปลี่ยนสนามแม่เหล็กจาก 0-1350 G



ก. เลนส์คอนเด็นเซอร์



ข.เลนส์ออฟเจ็กทีฟ

รูปที่ 4.2 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของกระแสและความเข้มสนามแม่เหล็กของเลนส์

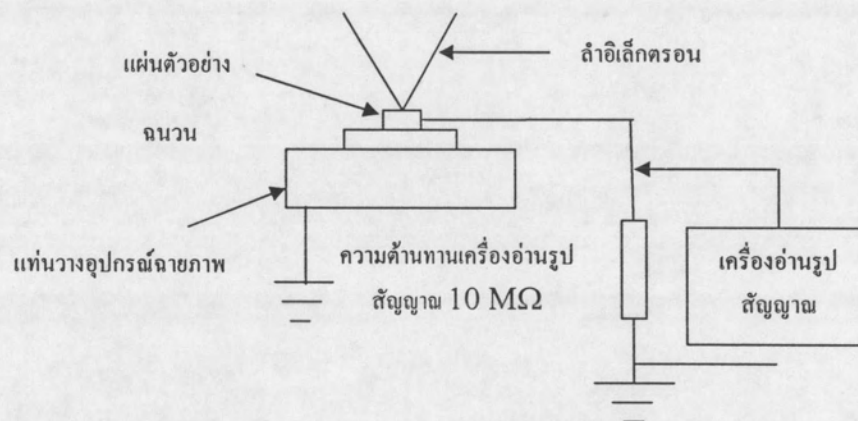
4.2 การทดสอบระบบเลนส์อิเล็กตรอน

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. ฉากเรืองแสงของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ TEM ขนาด $6.5 \times 6.5 \text{ cm}^2$
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ TEKTRONIX รุ่น model 465
3. เครื่องกำเนิดลำอิเล็กตรอนที่พัฒนาขึ้น
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับเลนส์ 2 ชุด

4.2.2 การทดสอบการปรับโฟกัสปลายของลำอิเล็กตรอน

4.2.2.1 วัดกระแสของลำอิเล็กตรอนที่ตกกระทบบตัวอย่าง โดยใช้เครื่องอ่านรูปสัญญาณซึ่งมีอิมพีแดนซ์ทางเข้า $10 \text{ M}\Omega$ ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 20 kV และปรับกระแสของฟิลาเมนต์ให้ถึงภาวะการอิ่มตัวครั้งที่ 2 อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 12 V จำนวนค่ากระแสจากลำอิเล็กตรอนได้ $120 \mu\text{A}$ และสังเกตกระแสที่เบี่ยงจากการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าด้วยเครื่องอ่านรูปสัญญาณมีค่าน้อยกว่า $5 \mu\text{A}$ ที่ความถี่ประมาณ 1 kHz การจัดอุปกรณ์วัดกระแสที่ตัวอย่างได้แสดงรูปที่ 4.1 นอกจากนี้ยังวัดกระแสฮิสชันได้ $150 \mu\text{A}$

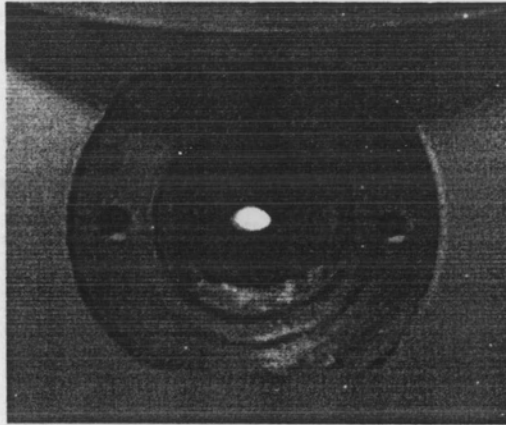


รูปที่ 4.3 แสดงการวัดกระแสที่ตัวอย่าง

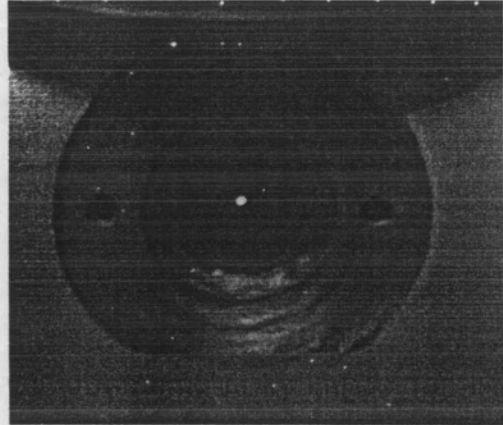
4.2.2.2 ทดสอบการทำงานของเลนส์อิเล็กตรอนในการควบคุมขนาดจุดโฟกัสที่ปลายลำอิเล็กตรอน โดยสังเกตจากขนาดการเรืองแสงบนฉากเรืองแสงที่ติดตั้งบนแท่นวางอุปกรณ์ฉายภาพในห้องใส่ตัวอย่าง ผ่านทางช่องกระจก โดยใช้เงื่อนไขของแรงดันไฟฟ้าที่ 20 kV กระแสจากลำอิเล็กตรอน $150 \mu\text{A}$ และแปรเปลี่ยนค่ากระแสที่จ่ายให้กับเลนส์อิเล็กตรอนแต่ละชุดดังนี้

1. ทดสอบแปรเปลี่ยนกระแสให้กับชุดเลนส์คอนเดนเซอร์เพียงชุดเดียวจนกระทั่งได้ขนาดปลายลำอิเล็กตรอนที่เล็กที่สุด พบว่าได้กระแส 30 mA ภาพจุดปลายลำอิเล็กตรอนแสดงดังรูปที่ 4.4 ก.

2. ทดสอบแปรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้กับชุดเลนส์คอนเดนเซอร์ร่วมกับเลนส์ออฟเฟกทีฟจนกระทั่งได้ขนาดปลายลำอิเล็กตรอนที่เล็กที่สุดพบว่ากระแสเลนส์ออฟเฟกทีฟเป็น 140 mA จะได้จุดปลายลำอิเล็กตรอนที่คมชัดกว่าการใช้เลนส์คอนเดนเซอร์เพียงชุดเดียวดังรูปที่ 4.4 ข.



ก.ควบคุมเลนส์คอนเดนเซอร์ชุดเดียว



ข. ควบคุมเลนส์คอนเดนเซอร์ร่วมกับเลนส์ออฟเฟกทีฟ

รูปที่ 4.4 ภาพเรืองแสงของปลายลำอิเล็กตรอนบนฉากเรืองแสง

4.3 การประเมินคุณภาพของลำอิเล็กตรอนด้วยวิธี edge spread

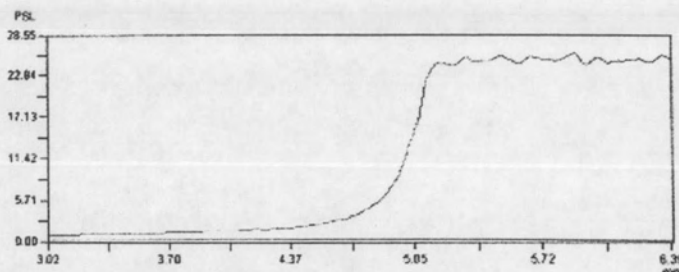
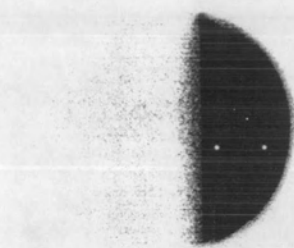
4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. แผ่นบันทึกภาพ Fuji รุ่น BAS-TR2025 ขนาด $4.5 \times 4.5 \text{ cm}^2$
2. อุปกรณ์ถ่ายภาพรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัส
3. เครื่องกำเนิดลำอิเล็กตรอนที่พัฒนาขึ้น
4. ใบบีมิกโกนขนาด Ginlett รุ่น super thin
5. เครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพ Fuji รุ่น FLA-5100

4.3.2 การทดลอง

1. ใช้ใบบีมิกโกนเป็นตัวอย่างในการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ โดยวางขอบใบบีมิกไว้กึ่งกลางแนวลำรังสีเอกซ์ และติดตั้งให้อุปกรณ์ถ่ายภาพให้ตำแหน่งเป้ากำเนิดรังสีอยู่ที่ตำแหน่งระนาบเดียวกับจุดโฟกัสที่เล็กที่สุดจากการทดสอบในข้อ 4.2.2.2 เดินเครื่องสูบอากาศให้ได้ความ

ดันสุญญากาศ 5×10^{-5} torr กระแสเลนส์ออฟเจ็กทีฟ 140 mA ศักดาไฟฟ้าเร่ง 20 kV กระแส 100 μ A ใช้เวลาในการถ่ายภาพ 12 นาที ได้ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ ของการเกิด characteristic x-ray ของเป้าทองคำ และ โปรไฟล์สัญญาณ PSL ของขอบของไบมีดโกนคังรูปที่ 4.5 ก. และ ข.



ก. ภาพถ่ายขอบไบมีดโกน

ข. โปรไฟล์สัญญาณ PSL ของภาพ

รูปที่ 4.5 ภาพขอบไบมีดโกนที่ถ่ายด้วยเครื่องกำเนิดลำอิเล็กตรอนที่พัฒนาขึ้น

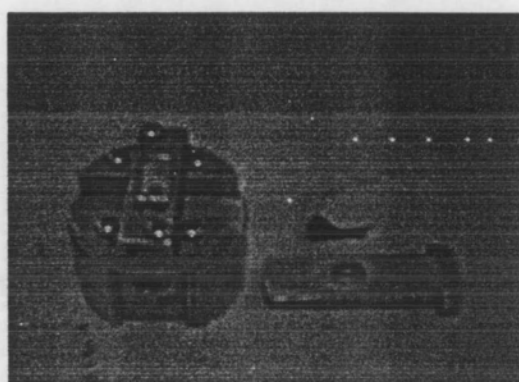
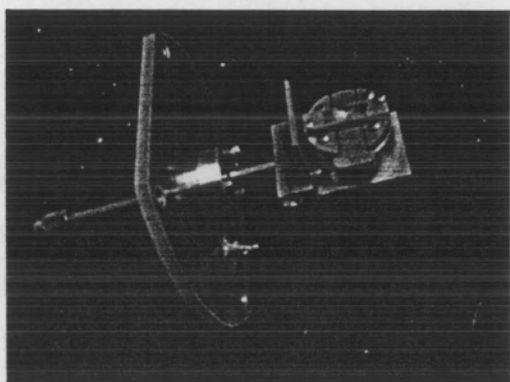
2. การประเมินขนาดของจุดโฟกัสซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับเป้าทองคำ ด้วยสมการที่ 1 โดยการอ่านค่าขอบเงามัว (P) ด้วยเทคนิคการอ่านคุณภาพของภาพแบบ edge spread จากโปรไฟล์สัญญาณ PSL ของภาพขอบไบมีดโกน ได้ค่า $P = 0.271$ mm และคำนวณหาขนาดจุดโฟกัสของรังสีเอกซ์ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ขนาดโฟกัส (F)} &= P(d_1/d_2) , d_1 = 0.5 \text{ cm} , d_2 = 2 \text{ cm} \\ &= (0.271 \text{ mm})(0.5 \text{ cm}/2 \text{ cm}) \\ &= 67.96 \mu\text{m} \end{aligned}$$

4.4 การทดสอบความคมชัดของภาพกับเวลาในการถ่าย

4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

1. แผ่นบันทึกภาพ Fuji รุ่น BAS- TR 2025 ขนาด $4.5 \times 4.5 \text{ cm}^2$
2. อุปกรณ์ถ่ายภาพรังสีเอกซ์
3. ตัวอย่างสำหรับถ่ายภาพ คือ ส่วนหางปลาหางนกยูง
4. เครื่องกำเนิดลำอิเล็กตรอนที่พัฒนาขึ้น
5. เครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพ Fuji รุ่น FLA-5100
6. แผ่นฟิล์มสำหรับป้องกันรังสีกระเจิง

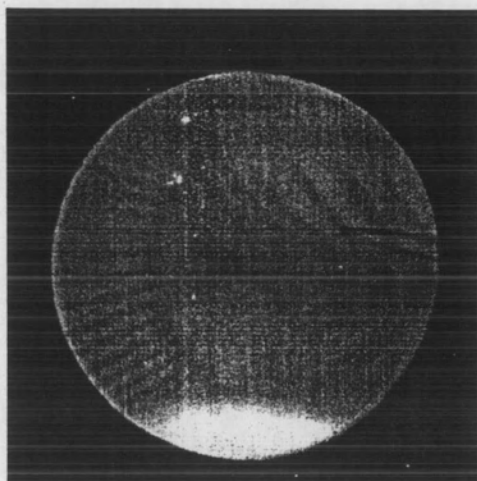


ก. การวางอุปกรณ์ถ่ายภาพบนแท่นตัวอย่าง ข. อุปกรณ์การถ่ายภาพรังสีและการวางตัวอย่าง
รูปที่ 4.6 การเตรียมตัวอย่างถ่ายภาพรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัส

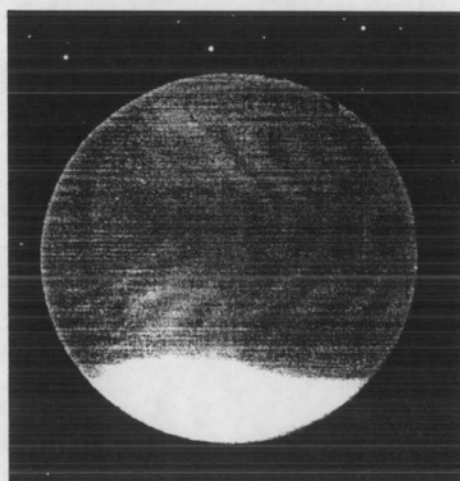
4.4.2 การทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัส

1. ทดสอบการถ่ายภาพตัวอย่าง (ปลาหางนกยูง) โดยติดตั้งแผ่นบันทึกภาพและตัวอย่างในอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ให้ระบบถ่ายภาพมีกำลังขยายภาพ 4 เท่า ซึ่งขนาดชิ้นส่วนตัวอย่างและอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แสดงในรูปที่ 4.6 ก. ติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พร้อมตัวอย่างในห้องใส่ตัวอย่างและเดินเครื่องสูบอากาศจนกระทั่งได้ความดันสุญญากาศที่ 5×10^{-5} torr จากนั้นจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่ 20 kV พร้อมปรับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายแก่ฟิลาเมนต์ 100 μ A และเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ได้ลำอิเล็กตรอนที่มีความเข้มสูงที่สุดและขนาดเล็กที่สุด ผลของภาพถ่ายตัวอย่างชิ้นงานที่ศักดาไฟฟ้า 20 kV ใช้เวลาถ่ายภาพนาน 10 นาทีอ่านจากภาพถ่ายบนแผ่นบันทึกภาพ แสดงในรูปที่ 4.7 ก.และ ข. โดยรูปที่ 4.7 ก.ปรับโฟกัสโดยใช้เลนส์คอนเดนเซอร์ชุดเดียว และรูปที่ 4.7 ข. ปรับโฟกัสด้วยเลนส์ 2 ชุดรวมกัน

กำลังขยาย 12 เท่า



กำลังขยาย 12 เท่า

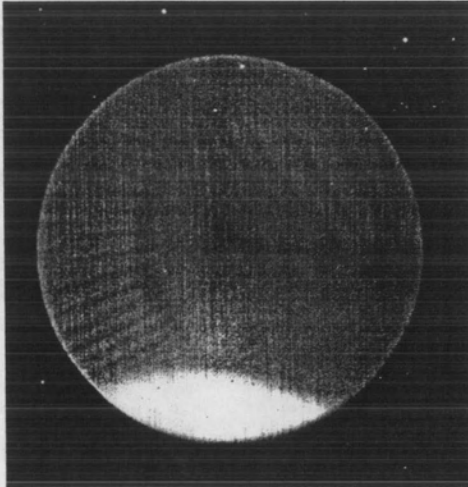


ก. ปรับโฟกัสโดยใช้เลนส์คอนเดนเซอร์ชุดเดียว ข. ปรับโฟกัสด้วยเลนส์ 2 ชุดรวมกัน

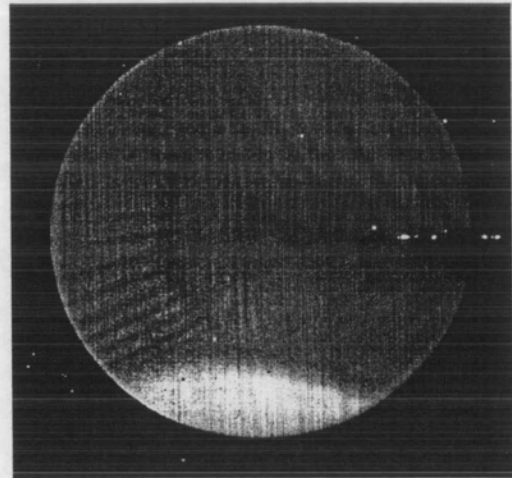
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของส่วนหางปลาหางนกยูงด้วยแผ่นบันทึกภาพ

2. ผลของภาพถ่ายที่ปรับโฟกัสด้วยเลนส์ 2 ชุดร่วมกันให้ความคมชัดดีกว่า แต่เนื่องจากสังเกตว่าคุณภาพของภาพมีการกระเจิงมากเนื่องจากภาพนั้นไม่ชัดเจน จึงทดลองใช้แผ่นโพลิโพรไพลีน ที่เคลือบด้วยอลูมิเนียม ความหนา 50 μm มาวางทับบนแผ่นบันทึกภาพและทดลองถ่ายภาพใหม่ที่เงื่อนไขเดียวกันกับผลของภาพถ่ายในรูปที่ 4.7 ข. พบว่าให้ผลดีกว่าดังในรูปที่ 4.8 ก. และได้ทดลองใช้โปรแกรมปรับคุณภาพของภาพถ่ายเสริมคุณภาพของภาพให้มีผลดังรูปที่ 4.8 ข.

กำลังขยาย 12 เท่า



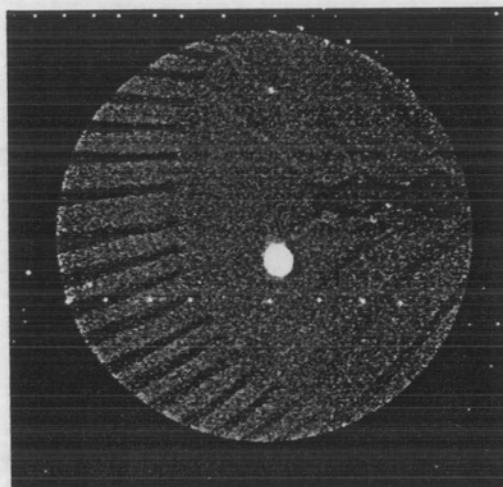
กำลังขยาย 12 เท่า



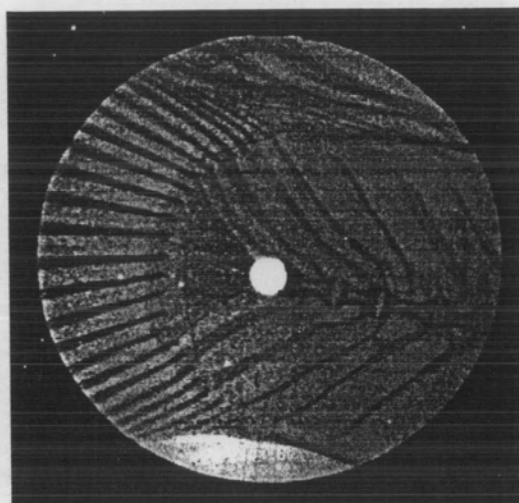
ก. ภาพถ่ายที่ลดผลกระทบของรังสีกระเจิง ข. ภาพถ่ายที่ใช้โปรแกรมปรับคุณภาพของภาพรูปที่ 4.8 ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของส่วนหางปลาหางนกยูงด้วยแผ่นบันทึกภาพที่หุ้มด้วยฟิล์มโพลิโพรไพลีนเคลือบอลูมิเนียม

นอกจากนี้ยังได้นำตัวอย่างเดียวกันนี้ไปทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของ JEOL รุ่น JSM-5800LV ซึ่งมีคุณภาพของลำอิเล็กตรอนสูงมาก ผลของภาพถ่ายปลาหางนกยูงด้วยเงื่อนไขเดียวกับรูป 4.7 ก. พบว่าให้คุณภาพของภาพที่มีความละเอียดสูง และจัดระบบถ่ายภาพได้สะดวกกว่า เนื่องจากสามารถเห็นภาพอุปกรณ์ที่ติดตั้งในห้องใส่ตัวอย่าง เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดโฟกัสด้วย

กำลังขยาย 12 เท่า



กำลังขยาย 12 เท่า



ก. ถ่ายด้วยแผ่นบันทึกภาพเปล่า

ข. ถ่ายด้วยแผ่นบันทึกภาพกันรังสีกระเจิง

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของส่วนหางของปลาหางนกยูงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
สแกนของ JEOL รุ่น JSM-5800LV