

เอกสารผลงานที่เสนอขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้
ดำรงตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ ๖ว

การพัฒนาการวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล

โดย

นายคณัย กิจชัยนุกูล
ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 5

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 2
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

การวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล ด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก เป็นวิธีวัดที่ต้องทำลายผิวของชิ้นตัวอย่าง (destructive method) อาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Properties) สามารถใช้วัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิลได้ ละเอียดถึง 0.01 ไมโครเมตร ทำได้โดยการใช้กระแสไฟฟ้า และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม แยกสลายชั้นผิวเคลือบออกไป ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการแยกสลายชั้นผิวเคลือบ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักของโลหะผิวเคลือบที่ถูกสลายออกไป และความหนาของผิวเคลือบก็สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของผิวเคลือบที่ถูกสลายออกไปนั้น

EPMA (Electron Probe Micro Analysis) เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจใช้วัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิลได้โดยไม่ต้องทำลายชิ้นตัวอย่าง (non-destructive method) เทคนิคนี้อาศัยหลักการของ การเกิดเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence) ของธาตุต่าง ๆ เมื่อถูกกระดมยิง (bombard) ด้วยลำอิเล็กตรอน พลังงานสูง เอ็กซ์เรย์ที่เกิดขึ้นนี้ จะมีลักษณะเฉพาะ (Characteristic X-ray) ความหนาของผิวเคลือบ สามารถคำนวณได้จากความเข้มเอ็กซ์เรย์ของธาตุซึ่งเป็นผิวเคลือบ และธาตุซึ่งเป็นวัสดุพื้น (substrate) โดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน (standard curve) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มของเอ็กซ์เรย์ กับความหนาผิวเคลือบซึ่งทราบค่าแน่นอน ของแผ่นมาตรฐาน

SEM (Scanning Electron Microscope) เป็นเครื่องมือที่สามารถสร้างลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ซึ่งมีพลังงานในช่วง 0.1 - 30.0 kV ได้ โดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยัง Filament ซึ่งทำด้วยทังสเตน แล้วใช้ความต่างศักย์สูงเร่งให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจาก Filament วิ่งผ่านสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้า เพื่อบีบให้อิเล็กตรอนมีลักษณะเป็นลำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพลังงานตามต้องการ ลำอิเล็กตรอนนี้จะถูกยิงลงบนตัวอย่าง ทำให้ตัวอย่างปล่อยเอ็กซ์เรย์ออกมา และเอ็กซ์เรย์ที่เกิดขึ้นนี้ จะถูกตรวจวัดและประมวลผลโดย EDXS (Energy Dispersive X-ray Spectrometer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับ SEM

การพัฒนาการวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล โดยใช้หลักการของ EPMA ในรายงานฉบับนี้ ทำโดยการนำแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล ความหนาผิวเคลือบ $0.54 \mu\text{m} \pm 10\%$ ซึ่งซื้อจากบริษัทผู้ผลิต มาเตรียมเป็นแผ่นมาตรฐานด้วยเครื่องคูโลสโคป และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม ให้มีความหนาผิวเคลือบโครเมียมอยู่ในช่วง 0.00 - 0.30 ไมโครเมตร ใช้ลำอิเล็กตรอน พลังงาน 20 kV จาก SEM ยิงลงบนแผ่นมาตรฐานที่เตรียมได้ แล้ววัดปริมาณเอ็กซ์เรย์ที่เกิดขึ้น ด้วย EDXS ซึ่งต่ออยู่กับ SEM คำนวณความเข้มเอ็กซ์เรย์ของโครเมียมออกมาในรูปของพื้นที่ใต้พีค CrKa, % แล้วสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนา

ผิวเคลือบโครเมียม และพื้นที่ได้พิกัด CrKa, % จากนั้นจึงใช้ SEM และ EDXS วัดปริมาณเอ็กซ์เรย์ที่เกิดขึ้นจากผิวเคลือบของตัวอย่างเครื่องสูบกัญชา จำนวน 10 ตัวอย่าง คำนวณความเข้มเอ็กซ์เรย์ของผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่าง ออกมาในรูปของพื้นที่ได้พิกัด CrKa, % แล้วคำนวณเป็นความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน นำค่าความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่างซึ่งวัดโดยใช้หลักการของ EPMA เปรียบเทียบกับค่าความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่างชุดเดียวกันซึ่งวัดด้วยวิธีคูลอมป์เมตริก

การวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล โดยใช้หลักการของ EPMA ที่ได้พัฒนาขึ้นในครั้งนี สามารถวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิลของตัวอย่าง ซึ่งมีความหนาในช่วง 0.10 - 0.30 ไมโครเมตร ได้ โดยให้ผลการวัดเทียบเท่ากับการวัดด้วยวิธีคูลอมป์เมตริก

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ | i |
| สารบัญตาราง | v |
| สารบัญรูปภาพ | vi |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาทดลอง | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ | 2 |
| 1.4 ระยะเวลาดำเนินการ | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี | 4 |
| บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีดำเนินการ | 10 |
| 3.1 รายละเอียดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง | 10 |
| 3.2 วัสดุ และเครื่องมือ | 10 |
| 3.3 ขั้นตอนดำเนินการ | 10 |
| 3.4 วิธีทดลอง | 11 |
| 3.4.1 การวัดความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni ด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก | 11 |
| 3.4.2 การวัดความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni โดยใช้หลักการของ EPMA | 12 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง และการคำนวณ | 14 |
| 4.1 ผลการทดลอง | 14 |
| 4.1.1 ผลการทดลอง และการคำนวณ | 14 |
| 4.1.2 การวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียม โดยใช้หลักการของ EPMA | 15 |
| 4.1.3 ผลการเปรียบเทียบความหนาผิวเคลือบโครเมียมเฉลี่ย ซึ่งวัดด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก และวัดโดยใช้หลักการของ EPMA | 17 |
| 4.2 การคำนวณความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่าง จากสมการของกราฟมาตรฐาน | 17 |

เลขหมู่ ๑๐๓ ๓๗
๑๖ ๖๘
เลขทะเบียน ๑๒๕๗
วันที่ ๙ / ๑๑ / ๕๖

ด้วยอำนาจแทนการ
จาก
.....
.....

| | |
|--|-------|
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง | 18 |
| กิตติกรรมประกาศ | 21 |
| บรรณานุกรม | 22 |
| ภาคผนวก | 23 |
| ภาคผนวก ก | 24 |
| • เอ็กซ์เรย์สเปกตรัม และพื้นที่ใต้พีคเอ็กซ์เรย์สเปกตรัมของแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบโครเมียม ที่ความหนา 0.00 - 0.30 μm | 24-35 |
| • เอ็กซ์เรย์สเปกตรัม และพื้นที่ใต้พีคเอ็กซ์เรย์สเปกตรัมของตัวอย่างที่ 1-10 | 36-45 |
| ภาคผนวก ข การคำนวณหาสมการถดถอย และเส้นถดถอย (Regression Equation and Regression Line) ของกราฟมาตรฐาน | 46 |
| ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐาน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีค CrKa กับ ความหนาผิวเคลือบโครเมียมของแผ่นมาตรฐาน | 47 |
| ภาคผนวก ง วิธีวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล ด้วยเครื่องคูโลสโคป | 48 |
| ภาคผนวก จ ตาราง t-distribution | 49 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่าง ด้วยวิธีคูลอมป์เมตริก | 14 |
| ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีค CrKa , % และความหนา ผิวเคลือบ Cr/Ni , μm ของแผ่นมาตรฐาน | 15 |
| ตารางที่ 3 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่าง โดยใช้หลักการของ EPMA | 16 |
| ตารางที่ 4 แสดงค่าความหนาผิวเคลือบโครเมียมเฉลี่ย ของตัวอย่าง ซึ่งวัดด้วย วิธีคูลอมป์เมตริก และวัดโดยใช้หลักการของ EPMA | 17 |

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 1 แสดงการหาความหนาของวัตถุที่ชุบหรือเคลือบ | 7 |
| รูปที่ 2 แผนภาพของเครื่อง EPMA | 8 |
| รูปที่ 3 แสดงการเกิดแทรนซิชันของอิเล็กตรอนโดยใช้อะตอมมิก โมเดล (atomic model) | 9 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาทดลอง

การวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมซึ่งเคลือบอยู่บนนิกเกิล ด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก (Coulombmetric method) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากให้ผลที่ถูกต้อง เชื่อถือได้ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป แต่อย่างไรก็ตาม การวัดความหนาผิวเคลือบด้วยวิธีนี้ ก็ยังมีข้อเสีย หรือข้อจำกัดบางประการ ซึ่งพอสรุปได้ ดังนี้

1. เป็นวิธีที่ต้องทำลายชั้นผิวเคลือบของตัวอย่างที่ต้องการวัด เนื่องจากการวัดด้วยวิธีนี้ จะต้องใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และกระแสไฟฟ้า ลอกหรือสลาย (deplating) ชั้นผิวเคลือบที่ต้องการวัดออกไป ทำให้พื้นผิวบริเวณที่ถูกทดสอบ เกิดรอยตำหนิ ไม่สวยงาม และจะเกิดการผุกร่อนตามมาภายหลัง
2. ไม่สามารถวัดซ้ำที่เดิมได้ เนื่องจาก ผิวเคลือบบริเวณที่ถูกวัดไปแล้ว จะไม่มีชั้นของผิวเคลือบนั้นเหลืออยู่อีก หากต้องการวัดซ้ำ ก็จะต้องเลือกวัดบริเวณอื่น
3. เสียเวลา และค่าใช้จ่ายมาก เนื่องจากการวัดแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ชนิดพิเศษ ซึ่งเฉพาะเจาะจงกับชนิดของผิวเคลือบ และต้องใช้แผ่นมาตรฐานซึ่งทราบความหนาของผิวเคลือบที่แน่นอน สำหรับเปรียบเทียบ เครื่องมือให้สามารถอ่านค่าความหนาผิวเคลือบได้ถูกต้อง ทั้งก่อนและหลังการวัดตัวอย่าง ซึ่งผิวเคลือบของแผ่นมาตรฐานที่ถูกใช้งานไปแล้ว ก็จะเสียไป ไม่สามารถให้งานซ้ำได้ ทั้งแผ่นมาตรฐาน และสารละลายอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้ จำเป็นต้องสั่งซื้อจากบริษัทผู้ผลิตในราคาแพง
4. ในกรณีที่ชั้นผิวเคลือบโครเมียมมีสารอินทรีย์ปนอยู่มากเกินไป ซึ่งมักเกิดจากสารละลายหรือน้ำยาที่ใช้ในขั้นตอนการชุบมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง หรือการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนหรือหลังการชุบไม่ดีพอ ชั้นผิวเคลือบที่มีลักษณะเช่นนี้ มักจะทำให้เกิดปัญหาในการวัดด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก เนื่องจาก สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการวัดความหนาของผิวเคลือบโครเมียม อาจจะไม่สามารถละลายชั้นผิวเคลือบออกไปได้ในอัตราเร็วสม่ำเสมอ ตามที่กำหนด หรืออาจทำให้ความต่างศักย์ภายในเซลล์ทดสอบ (test cell) ไม่คงที่ คือ เปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ อยู่ตลอดเวลา ทำให้เครื่องมือ ไม่สามารถหาจุดยุติที่ถูกต้องได้ ส่งผลให้ค่าที่วัดได้ ไม่ถูกต้องตามไปด้วย
5. จากข้อมูลที่ผ่านมา ตัวอย่างผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล ที่กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 2 กองฟิสิกส์และวิศวกรรม ได้เคยวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริกมาแล้ว พบว่า ส่วนมาก กว่า 90 % ของตัวอย่างทั้งหมด ความหนาผิวเคลือบ

โครเมียม จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.3 ไมโครเมตร (μm) และที่ความหนาในช่วงนี้ ไม่สามารถวัดได้ด้วยวิธีไมโครสโคปิก (Microscopic method) ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลถูกต้องแม่นยำ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป เพราะวิธีไมโครสโคปิก จะใช้ได้เมื่อตัวอย่างมีความหนาผิวเคลือบ ตั้งแต่ 0.8 ไมโครเมตร ขึ้นไป

จากปัญหาต่าง ๆ ที่กล่าวมาในข้างต้น ทำให้เกิดแนวความคิดที่จะทดลอง และพัฒนาวิธีวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิลด้วยวิธีอื่นขึ้นมา โดยที่วิธีใหม่ซึ่งจะพัฒนาขึ้นมาจะ ต้องให้ผลการวัดที่เทียบเท่า หรือดีกว่าการวัดด้วยวิธีคูลอมป์เมตริก และควรจะเป็นวิธีที่ทำได้ สะดวก รวดเร็วกว่า ให้ผลในการวัดที่ถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป เช่นเดียวกับวิธีคูลอมป์เมตริกที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จากการศึกษาเอกสารทางวิชาการต่าง ๆ พบว่า มีเทคนิคหนึ่ง ที่น่าสนใจมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่มีคุณลักษณะต่าง ๆ ตรงตามที่ต้องการ และยังเป็นเทคนิคที่ไม่ต้องทำลายผิวของตัวอย่าง (non-destructive) อีกด้วย เทคนิคนี้ อาศัยหลักการของการเกิดเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence) ของธาตุต่าง ๆ เมื่อถูกระดมยิง (bombard) ด้วยลำอิเล็กตรอน (electron beam) พลังงานสูง ซึ่งเทคนิคที่กล่าวถึงนี้ มักจะเรียกกันโดยย่อ ๆ ว่า EPMA หรือ Electron Probe Micro Analysis

เนื่องจาก กรมวิทยาศาสตร์บริการ ไม่มีเครื่อง EPMA ที่ใช้สำหรับวัดความหนาผิวเคลือบโดยตรง แต่มีเครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDXS) ต่ออยู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ซึ่งสามารถสร้างลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานอยู่ในช่วง 0.1-30.0 keV ได้ พร้อมทั้งมีโปรแกรมสำหรับช่วยในการวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์สเปกตรัม ดังนั้น จึงคิดว่าเครื่องมือชุดนี้ น่าจะนำมาประยุกต์ใช้วัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล (Cr/Ni) ของตัวอย่าง โดยใช้หลักการของ EPMA ได้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาวิธีวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล โดยใช้หลักการของ EPMA และเปรียบเทียบ กับวิธีคูลอมป์เมตริก

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้เทคนิคการวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล โดยใช้หลักการของ EPMA ซึ่งสามารถวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ เช่นเดียวกับการวัดด้วยวิธีคูลอมป์เมตริก และยังมีข้อดีกว่าการวัดด้วยวิธีคูลอมป์เมตริก หลายประการ คือ สามารถวัดได้สะดวก รวดเร็วกว่า สามารถวัดซ้ำที่ตำแหน่งเดิมได้ และไม่ต้องทำลายผิวเคลือบของตัวอย่างอีกด้วย

1.4 ระยะเวลาดำเนินการ

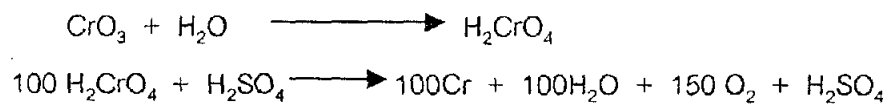
3 มิถุนายน 2542 - 31 กรกฎาคม 2544

บทที่ 2

ทฤษฎี

โครเมียม ธาตุลำดับที่ 24 ในตารางธาตุ มีน้ำหนักอะตอม 51.996 เป็นโลหะที่มีความเงาใส สีขาวอมฟ้าอ่อน ๆ แข็งและเปราะ แต่มีความทนทานต่อการเสียดสีและการกัดกร่อนได้ดีพอสมควร นิยมนำมาเคลือบผิวโลหะ เพื่อให้เกิดความเงางาม และเพิ่มความทนทานให้กับผิวของชิ้นงาน

ขบวนการชุบโครเมียม (Chromium Plating) จะใช้ไฟฟ้ากระแสตรง และสารละลายซึ่งเป็นส่วนผสมของกรดโครมิก (Chromic acid) และกรดกำมะถัน โดยที่กรดกำมะถันจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ช่วยให้โครเมียมมาเกาะที่ขั้วลบ (Cathode) ได้รวดเร็ว และดีขึ้น อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ ประมาณ 100 : 1 ของกรดโครมิก ต่อ กรดกำมะถัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังสมการ



การชุบโครเมียม สามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการนำชิ้นงานนั้นไปใช้งาน แต่ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน พอจะสรุปได้ ดังนี้

1. Decorative Bright Chromium Plating

การชุบวิธีนี้ เป็นการชุบเพื่อให้เกิดความเงางาม ผิวของชิ้นงานที่ชุบเสร็จแล้ว จะมีสีขาวอมฟ้าใส ก่อนชุบ จะต้องทำความสะอาดผิวหน้าของชิ้นงานที่จะชุบด้วยสบู่ และน้ำ แล้วขัดผิวหน้าด้วยผ้านุ่ม หรือขนสัตว์ เพื่อกำจัดฝุ่นหรือสิ่งสกปรกออกเสียก่อน การชุบแบบ Bright Chromium นี้ นิยมชุบเป็นชั้นสุดท้าย โดยชิ้นงานมักจะชุบด้วยทองแดง และนิกเกิลก่อน แล้วจึงจะชุบเพื่อเคลือบผิวหน้าของชั้นนิกเกิลอีกทีหนึ่ง

โดยทั่วไป ความหนาจะอยู่ในช่วง 0.2-0.8 ไมครอน น้ำยาที่ชุบ จะประกอบด้วยสารละลายของ Chromic anhydride (CrO_3) โดยมีเกลือซัลเฟต หรือกรดกำมะถันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2. Hard Chromium Deposition

นิยมใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรง และความทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น งานส่วนที่อยู่ภายนอกของงานก่อสร้าง

การชุบโดยวิธีนี้ จะต่างจากการชุบแบบ Bright Chromium คือ จะชุบหนากว่า และไม่มี การชุบรองพื้นด้วยทองแดง หรือ นิกเกิล และมีราคาสูงกว่า ความหนาจะอยู่ระหว่าง 0.3-0.4 มม.

3. Decorative Black and Colour Chromium Plating

ปัจจุบันมีการชุบแบบนี้มากขึ้น เช่น ในการตกแต่งเฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้สำนักงาน อุปกรณ์ก่อสร้าง น้ำยาที่ใช้ชุบจะประกอบด้วยกรดโครมิก และกรดอะซิติก หรืออาจใช้ส่วนผสมของกรดโครมิกกับฟลูออไรด์ หรือสารประกอบเชิงซ้อนของฟลูออไรด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ชิ้นงานที่ชุบแล้ว จะมีสี ฟ้ำ-เทา สีรุ้ง สีทอง และสีดำ

การวัดความหนาของผิวเคลือบด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนาของผิวเคลือบด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก เรียกว่า คูโลสโคป (Couloscope) ซึ่งทำงานโดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Properties) วิธีนี้เป็นการนำกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) มาใช้ กฎนี้เกี่ยวกับการแยกสลายด้วยกระแสไฟฟ้า โดยที่ปริมาณสารซึ่งถูกแยกออกมา หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขั้วไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทั้งนี้ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปต้องคงที่ ดังสมการที่ 1

$$Q = nFW/M \quad (1)$$

เมื่อ Q = ปริมาณกระแสไฟฟ้า หน่วยเป็น คูลอมบ์

n = จำนวน equivalents

F = Faraday constant , 1 F = 96500 คูลอมบ์

W = น้ำหนักของสาร หน่วยเป็น กรัม

M = มวลโมเลกุลของสาร

ปริมาณของสารที่แยกหรือสลายออกมา สามารถคำนวณได้จากปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในปฏิกิริยา

จากสมการที่ 1 จะเห็นว่า ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการแยกหรือสลายชั้นของผิวเคลือบ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักของโลหะซึ่งเป็นผิวเคลือบนั้น ดังนั้น ถ้าให้กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลาย และพื้นที่ของผิวเคลือบที่ถูกแยกสลายนั้น คงที่ จะได้ว่า เวลาที่ใช้ในการแยกสลายผิวเคลือบนั้น จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาของผิวเคลือบนั้น

การวัดความหนาผิวเคลือบด้วยเครื่องคูโลสโคป จะเกิดขบวนการสลายชั้นของผิวเคลือบด้วยกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในเซลล์สำหรับวัด (measuring cell) ที่บรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ซึ่งเฉพาะเจาะจงกับชนิดของผิวเคลือบ ส่วนล่างของเซลล์สำหรับวัดจะมีประเก็น (gasket) ปิดอยู่ ประเก็นนี้จะมีรูกลมตรงกลาง ซึ่งมีพื้นที่แน่นอน (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 , 2.2 หรือ 3.2 มม. การจะเลือกใช้ขนาดใด ขึ้นกับมาตรฐานการทดสอบแต่ละมาตรฐาน และวัดมีความโค้งพื้นผิวของตัวอย่างบริเวณที่ต้องการวัด) บริเวณรูกลมตรงกลางของประเก็นนี้ จะเป็นส่วนที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์สัมผัสกับผิวเคลือบของตัวอย่าง และเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาแยก

สลายชั้นผิวเคลือบ ขั้วไฟฟ้าจะจมอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และอีกขั้วหนึ่งจะต่ออยู่กับผิวเคลือบของตัวอย่าง

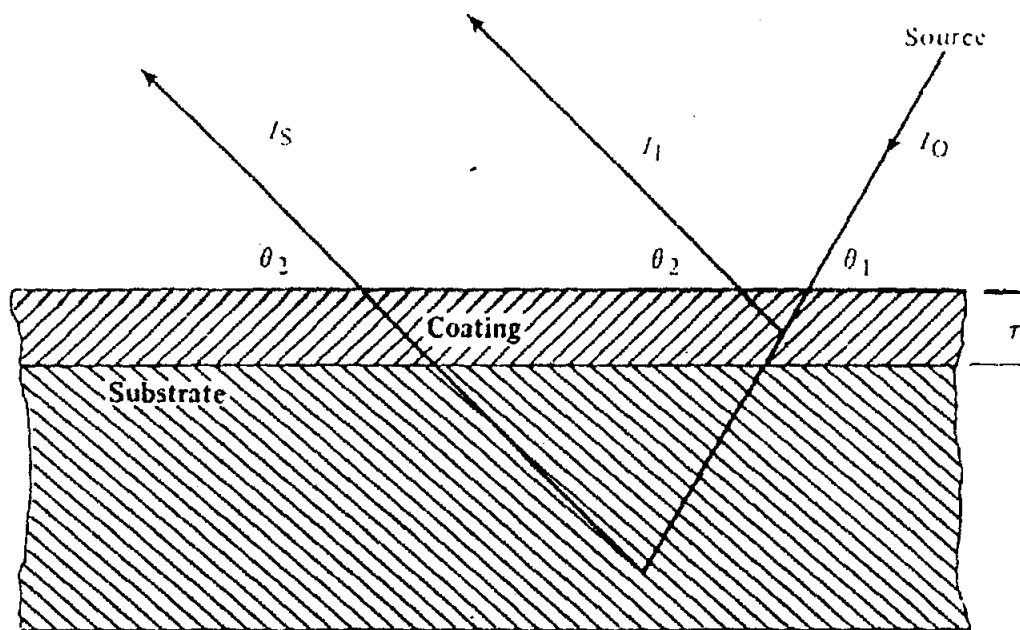
เมื่อเริ่มการวัด กระแสไฟฟ้าซึ่งคงที่จะถูกส่งผ่านเข้าสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทำให้เกิดการแยกสลายชั้นของผิวเคลือบซึ่งเป็นโลหะ ค่าความหนาผิวเคลือบที่ถูกสลายออกไป จะถูกคำนวณจากปริมาณไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้าไปในเซลล์สำหรับวัด และเวลาที่ผ่านไป แล้วแสดงค่าความหนาผิวเคลือบของตัวอย่างเป็นตัวเลขบนหน้าปัทม์ของเครื่อง ตัวเลขนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาที่ผ่านไป ขณะที่เครื่องป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่เซลล์สำหรับวัดนี้ เครื่องจะวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (cell voltage) ไปพร้อม ๆ กันด้วย และอาศัยหลักการที่ว่า ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ จะมีค่าแตกต่างกันไป จากวัสดุหนึ่งเทียบกับวัสดุอีกชนิดหนึ่ง ทำให้เครื่องสามารถหาจุดยุติ (end point) คือ จุดที่ผิวเคลือบบริเวณที่ต้องการวัดความหนานั้นถูกสลายออกไปจนหมดแล้วได้ เนื่องจากขณะที่ชั้นผิวเคลือบของตัวอย่าง ถูกสลายออกไปอย่างสมบูรณ์ ชั้นของวัสดุพื้น (substrate material) จะสัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ค่าของศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ขณะนั้น จึงเป็นค่าความต่างศักย์ระหว่างวัสดุพื้น และวัสดุซึ่งเป็นผิวเคลือบ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน เครื่องจะถูกโปรแกรมให้ยุติการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่เซลล์สำหรับวัดทันทีที่ค่าศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์สำหรับวัดเปลี่ยนแปลงไปถึงค่าที่ตั้งโปรแกรมไว้ ปฏิบัติการแยกสลายชั้นผิวเคลือบจึงยุติลง พร้อมกันนี้ เครื่องก็จะแสดงตัวเลขสุดท้ายค้างอยู่บนหน้าปัทม์ ซึ่งตัวเลขนี้ ก็คือ ความหนาผิวเคลือบที่วัดได้ นั่นเอง

เทคนิค EPMA (Electron Probe Micro Analysis)

เทคนิคนี้เป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์สารระดับไมโคร ด้วย electron probe ซึ่งเรียกย่อ ๆ ว่า EPMA เป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive) โดยการใช้ลำอิเล็กตรอนขนาดพลังงาน 10-50 keV โฟกัสให้ตกลงไปบนตำแหน่งที่ต้องการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ธาตุเหล่านั้นจะถูกกระตุ้น และปลดปล่อยเอ็กซ์เรย์ออกมา ซึ่งเอ็กซ์เรย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า เอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) ปริมาณหรือความเข้มของเอ็กซ์เรย์ที่เกิดขึ้นนี้ สามารถนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของธาตุในตัวอย่างได้ โดยเทียบกับปริมาณเอ็กซ์เรย์ที่เกิดขึ้นจากสารมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มชั้น

สำหรับการใช้เทคนิค EPMA เพื่อหาความหนาของโลหะที่เคลือบบนวัสดุนั้น สามารถคำนวณหาได้โดยใช้วิธีวัดความเข้มของเอ็กซ์เรย์ที่เฉพาะ (Characteristic X-ray) จากวัตถุนั้น (substrate) เมื่อมีการชุบหรือเคลือบด้วยโลหะแล้ว (I_s) และวัดความเข้มของเอ็กซ์เรย์ที่เฉพาะของสารที่เคลือบ (I_f) ดังรูปที่ 1 ข้อมูลที่ได้นี้ นำไปอ่านจากกราฟมาตรฐาน (standard curve) ที่

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มของเอ็กซ์เรย์กับความหนาผิวเคลือบซึ่งทราบค่าแน่นอน ของแผ่นมาตรฐาน ก็จะหาความหนาผิวเคลือบของตัวอย่างได้ วิธีนี้ทำได้ง่าย รวดเร็ว และไม่ต้องทำลายตัวอย่าง



รูปที่ 1 แสดงการหาความหนาของวัตถุที่ชุบหรือเคลือบ

I_0 = electron beam

I_F = X-ray of the coating

I_S = X-ray of the Substrate

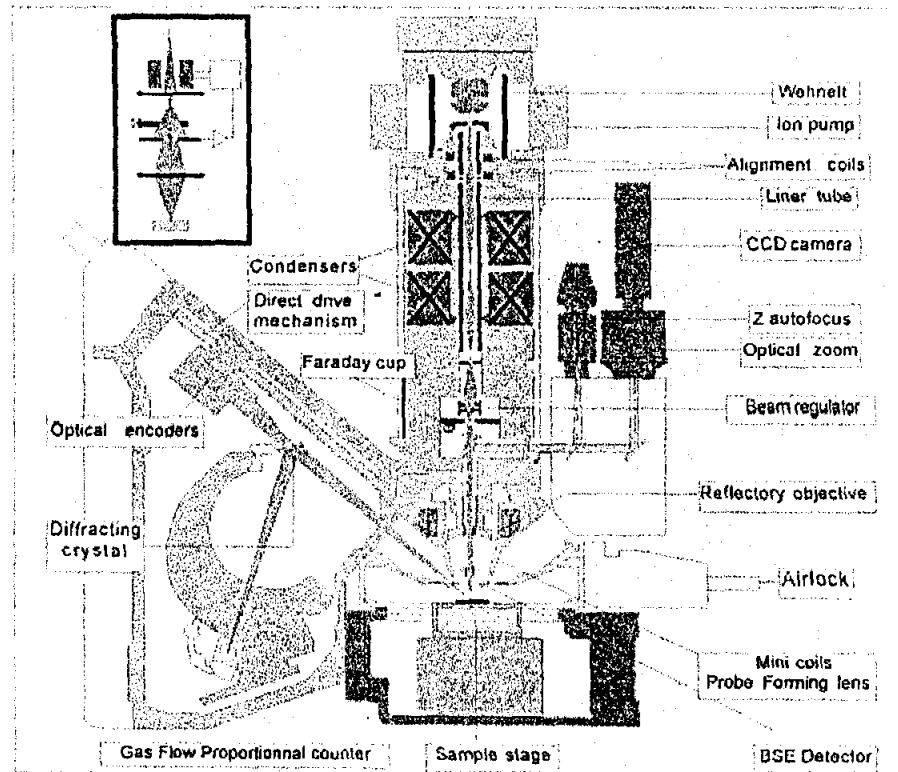
τ = The coating thickness, μm

เครื่อง EPMA มีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. electron optical system เป็นส่วนที่ผลิตลำอิเล็กตรอนที่มีความเสถียร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมโครเมตร หรือน้อยกว่า
2. optical viewing system ใช้สำหรับส่องดูบริเวณเล็ก ๆ ที่กำลังวิเคราะห์
3. specimen holder เป็นส่วนที่ใส่ตัวอย่าง
4. X-ray spectrometer เป็นส่วนที่ใช้วัดรังสีที่เกิดขึ้น

แผนภาพส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง EPMA ซึ่งมีผู้ผลิตออกมาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2

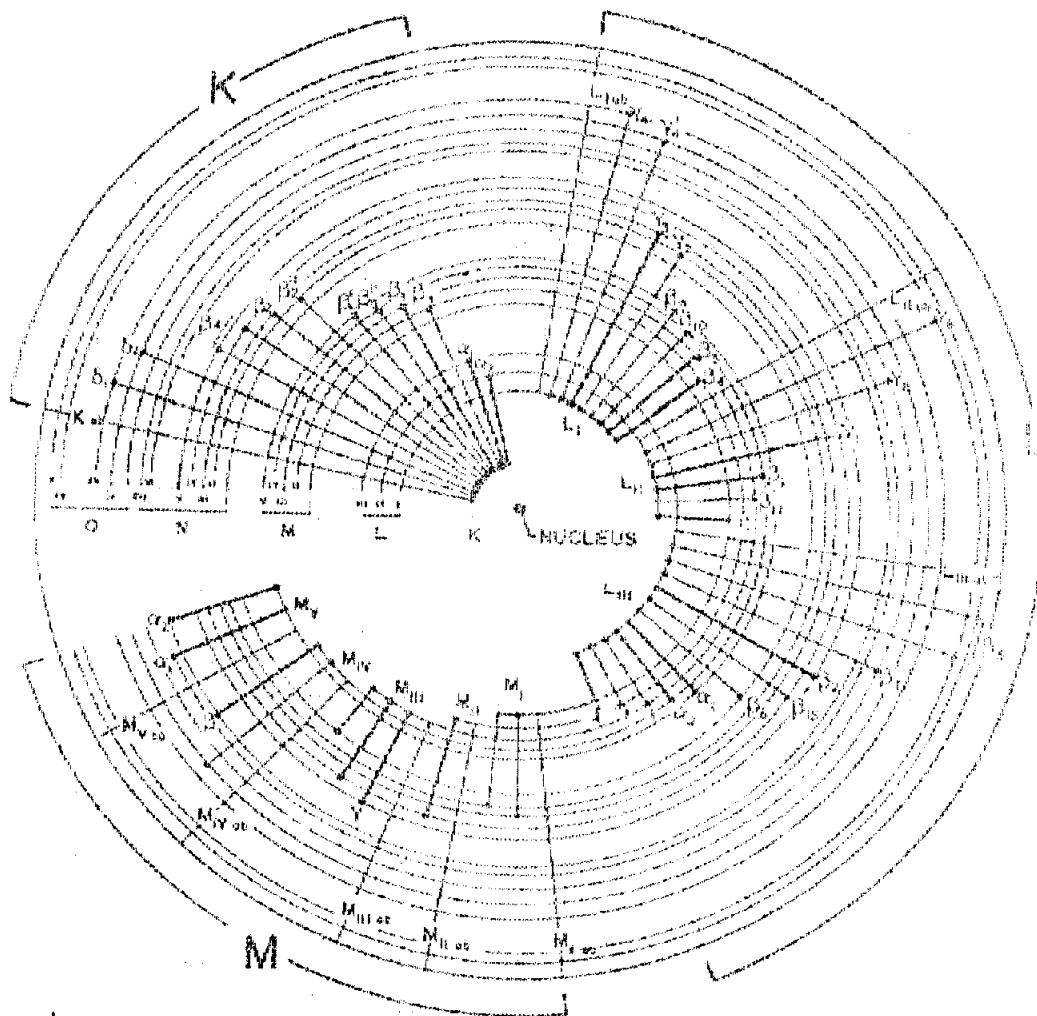
Electron Probe Micro-Analyzer



รูปที่ 2 แผนภาพของเครื่อง EPMA

หลักการทั่วไปในการเกิดเอ็กซ์เรย์สเปกตรัม

เอ็กซ์เรย์เกิดขึ้นได้ โดยการระดมยิง (bombard) วัตถุ เช่น โลหะ หรือสารประกอบ ด้วยอนุภาคที่มีพลังงานสูง เช่น ลำอิเล็กตรอน (electron beam) โปรตอน หรือโฟตอน (เอ็กซ์เรย์หรือรังสีแกมมา) ทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในเชลล์ (shell) ใน หลุดออกไป จึงเกิดที่ว่างขึ้น อิเล็กตรอนจากเชลล์นอกซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะเข้ามาแทนที่ แล้วปล่อยพลังงานส่วนที่เกินออกมาในรูปของเอ็กซ์เรย์ การเข้ามาแทนที่ของอิเล็กตรอนจากเชลล์นอกมีได้หลายลักษณะ เช่น จาก L หรือ M \rightarrow K, M \rightarrow L หรือ N \rightarrow M ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการเกิดแท่งรังสีของอิเล็กตรอนโดยใช้อะตอมมิก โมเดล (atomic model)

อิเล็กตรอนที่เกิดจากอิเล็กตรอนจากเชลล์นอก เคลื่อนเข้ามาแทนที่อิเล็กตรอนในเชลล์ K จะเรียกว่าเอกซ์เรย์ชนิด K Line เช่น $L \rightarrow K$ จะเรียกว่า K_α หรือ K_α ถ้าเกิดจาก $M \rightarrow K$ จะเรียกว่า K_β หรือ K_β และถ้าเป็นอิเล็กตรอนที่เกิดจาก อิเล็กตรอนจากเชลล์นอก เคลื่อนเข้ามาแทนที่อิเล็กตรอนในเชลล์ L ก็เรียกว่าเอกซ์เรย์ชนิด L Line เช่น $M \rightarrow L$ จะเรียกว่า L_α หรือ L_α เป็นต้น

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีดำเนินการ

3.1 รายละเอียดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างทั้งหมด ที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นเครื่องสุญญากาศ จำนวน 10 ตัวอย่าง ทุกตัวอย่าง ทำด้วยทองเหลือง เคลือบด้วยทองแดง นิกเกิล และโครเมียม ตามลำดับ โดยมีชื่อตัวอย่างตามที่ถูกส่งเรียก ดังต่อไปนี้

| ตัวอย่างที่ | ชื่อตัวอย่างตามที่ถูกส่งเรียก |
|-------------|-------------------------------|
| 1 | มือบิด K818 |
| 2 | ก๊อกลูกสูบอิมพีเรียล |
| 3 | บอดีฟลักซ์วาล์วชักโครก |
| 4 | บอดีวาล์วน้ำเข้าชักโครก |
| 5 | ก๊อกอ่างล้างหน้าเซรามิค |
| 6 | แฮนเดิล เลเวอร์ |
| 7 | สามตาชักโครก |
| 8 | สี่ตาชักโครก |
| 9 | ก๊อกลูกสูบอิมพีเรียล |
| 10 | แฮนเดิล เลเวอร์ |

3.2 วัสดุ และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องคูโลสโคป (Couloscope) รุ่น S บริษัท Helmut Fischer GMBH + Co.

3.2.2 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น JSM-T330A บริษัท Jeol Ltd.
และ Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDXS) รุ่น eXL II
บริษัท Oxford Instruments (UK) Ltd.

3.2.3 แผ่นมาตรฐานผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล ความหนา $0.54 \mu\text{m} \pm \%$ บริษัท Helmut Fischer GMBH + Co.

3.2.4 สารละลายอิเล็กโตรไลต์ ชนิด F1 บริษัท Helmut Fischer GMBH + Co.

3.3 ขั้นตอนดำเนินการ

3.3.1 วัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิลของตัวอย่าง ด้วยเครื่องคูโลสโคป บันทึกผล

3.3.2 รวบรวม และศึกษาข้อมูลทางวิชาการจากเอกสารอ้างอิง

3.3.3 กำหนดขั้นตอนการทดลอง

3.3.4 เตรียมแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล (Cr/Ni) ให้มีความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni อยู่ในช่วง 0-0.3 μm โดยใช้เครื่องคูโลสโคป และสารละลายอิเล็กโตรไลต์ ชนิด F1 ละลายชั้นผิวเคลือบออกไป ให้เหลือความหนาผิวเคลือบตามที่ต้องการ

3.3.5 นำแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล ความหนาต่าง ๆ ที่เตรียมได้ ใส่ในเครื่อง SEM&EDXS วัดปริมาณเอกซ์เรย์ที่เกิดขึ้นจากบริเวณผิวเคลือบโครเมียม ที่ความหนาต่าง ๆ คำนวณหาพื้นที่ที่ได้พิก (หน่วยเป็น %) ของทุกพิกที่เกิดขึ้นในเอกซ์เรย์สเปกตรัมแต่ละสเปกตรัม

3.3.6 คำนวณหาสมการถดถอย และเส้นถดถอย (Regression Equation and Regression Line) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) แล้วสร้างกราฟมาตรฐาน ระหว่างพื้นที่ที่ได้พิก (%) ของ CrKa (เป็นแกน X) และความหนาของผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล (Cr/Ni, μm เป็นแกน Y)

3.3.7 วัดปริมาณเอกซ์เรย์บนผิวเคลือบ Cr/Ni ของตัวอย่าง ตำแหน่งใกล้เคียงกับบริเวณที่วัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมด้วยเครื่องคูโลสโคป โดยแต่ละตัวอย่าง จะวัดซ้ำตำแหน่งเดียวกัน 3 ครั้ง คำนวณหาพื้นที่ที่ได้พิก CrKa ของแต่ละตัวอย่าง คำนวณหาค่าความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni ของแต่ละตัวอย่าง จากสมการถดถอยที่ได้ในข้อ 6.

3.3.8 เปรียบเทียบความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni ของแต่ละตัวอย่าง ซึ่งวัดด้วยวิธีคูลอมป์เมตริก และเทคนิค EPMA

3.3.9 สรุปผลการทดลอง

3.4 วิธีทดลอง

3.4.1 การวัดความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni ด้วยวิธีคูลอมป์เมตริก

3.4.1.1 ทำความสะอาดแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบ Cr/Ni ความหนา 0.54 $\mu\text{m} \pm 10\%$ ด้วย อะซีโตน แล้วเช็ดให้แห้ง

3.4.1.2 วัดความหนา Cr/Ni ของแผ่นมาตรฐาน ด้วยเครื่องคูโลสโคป บันทึกผล แล้วตรวจสอบว่าค่าที่เครื่องวัดได้นั้น อยู่ในช่วงความหนา 0.54 $\mu\text{m} \pm 10\%$ ตามที่ระบุไว้บนแผ่นมาตรฐานหรือไม่ หากค่าที่เครื่องวัดได้ อยู่ในช่วงดังกล่าว ก็สามารถดำเนินการวัดความหนาผิวเคลือบของตัวอย่างต่อไปได้ทันที แต่ถ้าค่าที่เครื่องวัดได้นั้นสูง หรือต่ำกว่าค่าที่ระบุไว้บนแผ่นมาตรฐาน จะต้องวัดความหนาผิวเคลือบของแผ่นมาตรฐานนั้นใหม่ โดยปรับค่า Correction บนเครื่อง จนกว่าเครื่องจะวัดความหนาผิวเคลือบของแผ่นมาตรฐานได้ถูกต้อง ตามที่ระบุไว้ จึงจะวัดความหนาผิวเคลือบของตัวอย่างต่อไปได้

3.4.1.3 วัดความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni ของตัวอย่าง ตามวิธีวัดในภาคผนวก ง
ตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง บันทึกผล แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.4.2 การวัดความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni โดยใช้หลักการของ EPMA

3.4.2.1 การเตรียมแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบ Cr/Ni

เตรียมแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบ Cr/Ni ให้มีความหนา เท่ากับ 0.00 , 0.05 , 0.08 , 0.10 , 0.13 , 0.15 , 0.18 , 0.20 , 0.23 , 0.25 , 0.28 และ 0.30 μm ตามลำดับ

3.4.2.1.1 ทำความสะอาดแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบ Cr/Ni ความหนา 0.54 μm
 $\pm 10\%$ ด้วย อะซิโตน แล้วเช็ดให้แห้ง

3.4.2.1.2 สลายผิวเคลือบ Cr/Ni ของแผ่นมาตรฐาน ความหนา 0.54 $\mu\text{m} \pm 10\%$
ด้วยเครื่องคูโลสโคป และสารละลายอิเล็กโตรไลต์ ชนิด F1 โดยดำเนินการตามขั้นตอนต่าง ๆ เช่นเดียวกับการวัดความหนาผิวเคลือบ ในภาค
ผนวก ง แต่จะให้เครื่องหยุดการทำงาน เมื่อเครื่องสลายชั้นผิวเคลือบ
Cr/Ni ของแผ่นมาตรฐานออกไป จนกระทั่งเหลือชั้นของผิวเคลือบมี
ความหนาตามที่ต้องการ ดังนี้

| จุดที่ | ความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni ของแผ่น มาตรฐาน ที่ถูกสลายออกไป , μm | ความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni ของแผ่น มาตรฐาน ที่เหลืออยู่ , μm |
|--------|---|--|
| 1 | 0.54 | 0.00 |
| 2 | 0.49 | 0.05 |
| 3 | 0.46 | 0.08 |
| 4 | 0.44 | 0.10 |
| 5 | 0.41 | 0.13 |
| 6 | 0.39 | 0.15 |
| 7 | 0.36 | 0.18 |
| 8 | 0.34 | 0.20 |
| 9 | 0.31 | 0.23 |
| 10 | 0.29 | 0.25 |
| 11 | 0.26 | 0.28 |
| 12 | 0.24 | 0.30 |

* หมายเหตุ ที่ความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni นี้ จะให้เครื่องวัดจนถึงจุดยุติ ซึ่งเครื่องจะหยุดการทำงาน
โดยอัตโนมัติ เมื่อผิวเคลือบโครเมียมถูกสลายออกไปจนหมด

3.4.2.2 การวัดความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni ของแผ่นมาตรฐานที่เตรียมได้ โดยใช้หลักการของ EPMA

3.4.2.2.1 ทำความสะอาดแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบ ด้วยอะซิโตน แล้วเช็ดให้แห้ง

3.4.2.2.2 ในเครื่อง SEM ปิดฝาคอลัมน์ และดูอากาศภายในคอลัมน์ออก ให้เหลือความดันภายใน ต่ำกว่า 2.5×10^{-5} mbar

3.4.2.2.3 เปิด Electron gun โดยให้พลังงานของอิเล็กตรอน เท่ากับ 20.0 keV ปรับโฟกัสให้ลำอิเล็กตรอนตกลงบนแผ่นมาตรฐาน บริเวณที่มีความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni เท่ากับ 0.00 , 0.05 , 0.08 , 0.10 , 0.13 , 0.15 , 0.18 , 0.20 , 0.23 , 0.25 , 0.28 และ 0.30 μm ที่ได้เตรียมไว้ตามลำดับ บันทึกเอ็กซ์เรย์สเปกตรัมของแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบ Cr/Ni ที่ความหนาต่าง ๆ แล้วคำนวณพื้นที่ที่ได้พิคของแต่ละสเปกตรัม โดยแต่ละความหนาผิวเคลือบของแผ่นมาตรฐานจะวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่ได้พิคของแต่ละสเปกตรัม (ดูผลการวัดเอ็กซ์เรย์สเปกตรัม และพื้นที่ที่ได้พิคที่คำนวณได้ ในภาคผนวก ก)

3.4.2.2.4 นำค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่ได้พิค CrKa ของแต่ละสเปกตรัม และค่าความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni ของแผ่นมาตรฐาน ไปสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้พิค CrKa กับความหนาผิวเคลือบโครเมียม ในรูปสมการเส้นตรง ($y = Ax + B$) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

3.4.2.3 การวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่าง โดยใช้หลักการของ EPMA

3.4.2.3.1 ทำความสะอาดผิวของตัวอย่างบริเวณที่ต้องการวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียม ด้วย อะซิโตน แล้วเช็ดให้แห้ง

3.4.2.3.2 วางตัวอย่างในคอลัมน์ของเครื่อง SEM ปิดฝา แล้วดูอากาศออกจนความดันภายในคอลัมน์ ต่ำกว่า 2.5×10^{-5} mbar

3.4.2.3.3 เปิด Electron gun โดยให้พลังงานของอิเล็กตรอน เท่ากับ 20.0 keV ปรับโฟกัสให้ลำอิเล็กตรอนตกลงบนผิวเคลือบ Cr/Ni ของตัวอย่าง โดยเลือกพื้นผิวเคลือบบริเวณใกล้เคียงกับจุดที่ได้วัดความหนาผิวเคลือบไปแล้วด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก บันทึกเอ็กซ์เรย์สเปกตรัมของแต่ละตัวอย่าง แล้วคำนวณพื้นที่ที่ได้พิคของแต่ละสเปกตรัม โดยที่แต่ละตัวอย่าง จะวัดซ้ำ 3 ครั้ง ที่ตำแหน่งเดิม แล้วคำนวณพื้นที่ที่ได้พิค CrKa ของแต่ละสเปกตรัม (ดูผลการวัดเอ็กซ์เรย์สเปกตรัม และพื้นที่ที่ได้พิคที่คำนวณได้ ในภาคผนวก ก)

นำค่าพื้นที่ที่ได้พิค CrKa จากเอ็กซ์เรย์สเปกตรัมของแต่ละตัวอย่าง แทนค่าในสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานที่ได้สร้างไว้แล้ว คำนวณหาความหนาผิวเคลือบโครเมียมของแต่ละตัวอย่าง

บทที่ 4
ผลการทดลอง และการคำนวณ

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมด้วยวิธีคูอมบ์เมตริก

| ตัวอย่าง ที่ | ชื่อตัวอย่าง | ความหนาผิวเคลือบโครเมียม , ไมโครเมตร | | | |
|-----------------|--------------------------|--------------------------------------|----------|----------|--------|
| | | จุดที่ 1 | จุดที่ 2 | จุดที่ 3 | เฉลี่ย |
| 1 | มือบิด K818 | 0.21 | 0.23 | 0.18 | 0.21 |
| 2 | ก๊อกคอกสูงอิมพีเรียล | 0.08 | 0.12 | 0.12 | 0.11 |
| 3 | บอดี้ฟิลล์วาล์วซึกโครก | 0.18 | 0.16 | 0.15 | 0.16 |
| 4 | บอดี้วาล์วน้ำเข้าซึกโครก | 0.2 | 0.16 | 0.18 | 0.18 |
| 5 | ก๊อกอ่างล้างหน้าเซรามิค | 0.14 | 0.12 | 0.15 | 0.14 |
| 6 | แฮนเดิล เลเวอร์ | 0.27 | 0.32 | 0.32 | 0.30 |
| 7 | สามตาซึกโครก | 0.24 | 0.24 | 0.26 | 0.25 |
| 8 | สี่ตาซึกโครก | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| 9 | ก๊อกคอกสูงอิมพีเรียล | 0.32 | 0.31 | 0.29 | 0.31 |
| 10 | แฮนเดิล เลเวอร์ | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.14 |

ตารางที่ 1 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่าง ด้วยวิธีคูอมบ์เมตริก

4.1.2 การวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียม โดยใช้หลักการของ EPMA

4.1.2.1 ผลการวัดเอ็กซ์เรย์สเปกตรัม และพื้นที่ใต้พีคเอ็กซ์เรย์สเปกตรัม ของแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบ Cr/Ni ความหนา 0.00 - 0.30 μm

| พื้นที่ใต้พีค CrKa , % | | | | ความหนาผิวเคลือบโครเมียมของแผ่นมาตรฐาน Cr/Ni , μm |
|------------------------|---------------|---------------|--------|--|
| วัดครั้งที่ 1 | วัดครั้งที่ 2 | วัดครั้งที่ 3 | เฉลี่ย | |
| 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 9.35 | 9.18 | 10.00 | 9.51 | 0.05 |
| 16.39 | 16.69 | 15.31 | 16.13 | 0.08 |
| 21.78 | 21.58 | 22.14 | 21.83 | 0.10 |
| 28.10 | 28.22 | 27.51 | 27.94 | 0.13 |
| 33.20 | 33.38 | 33.27 | 33.28 | 0.15 |
| 38.59 | 38.58 | 37.71 | 38.29 | 0.18 |
| 42.16 | 42.10 | 41.91 | 42.01 | 0.20 |
| 46.03 | 46.14 | 46.06 | 46.08 | 0.23 |
| 50.18 | 50.38 | 50.12 | 50.23 | 0.25 |
| 53.31 | 53.28 | 53.41 | 53.33 | 0.28 |
| 57.00 | 57.22 | 57.62 | 57.28 | 0.30 |

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีค CrKa , % และความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni , μm ของแผ่นมาตรฐาน

เอ็กซ์เรย์สเปกตรัม และพื้นที่ใต้พีคเอ็กซ์เรย์สเปกตรัมของแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบโครเมียม ที่ความหนา 0.00 - 0.30 μm ดูภาคผนวก ก หน้า 24-35

คอลัมน์ที่ 8 (%AGE TOTAL) คือ พื้นที่ใต้พีคเอ็กซ์เรย์สเปกตรัมของแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบโครเมียม

M#1 , M#2 และ M#3 คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัดเอ็กซ์เรย์สเปกตรัมที่จุดเดียวกัน วัดซ้ำ 3 ครั้ง (วัดครั้งที่ 1 , 2 และ 3 ตามลำดับ)

พื้นที่ใต้พีค CrKa เฉลี่ย (%) และความหนาผิวเคลือบ Cr/Ni (μm) ของแผ่นมาตรฐาน แสดงในตารางที่ 2

4.1.2.2 ผลการวัดเอ็กซ์เรย์สเปกตรัม และพื้นที่ใต้พีค CrKa ของตัวอย่าง

| ตัวอย่าง ที่ | วัดครั้งที่ | พื้นที่ใต้พีค CrKa , % | ความหนาผิวเคลือบ โครเมียม , μm | ตัวอย่าง ที่ | วัดครั้งที่ | พื้นที่ใต้พีค CrKa , % | ความหนาผิวเคลือบ โครเมียม , μm |
|-----------------|-------------|---------------------------|--|-----------------|-------------|---------------------------|--|
| 1 | 1 | 37.84 | 0.19 | 6 | 1 | 52.96 | 0.26 |
| | 2 | 37.88 | 0.19 | | 2 | 53.47 | 0.27 |
| | 3 | 38.30 | 0.19 | | 3 | 52.96 | 0.26 |
| 2 | 1 | 21.06 | 0.10 | 7 | 1 | 46.22 | 0.23 |
| | 2 | 21.02 | 0.10 | | 2 | 46.74 | 0.23 |
| | 3 | 20.48 | 0.10 | | 3 | 47.00 | 0.23 |
| 3 | 1 | 32.94 | 0.16 | 8 | 1 | 37.47 | 0.19 |
| | 2 | 33.40 | 0.16 | | 2 | 37.42 | 0.19 |
| | 3 | 33.86 | 0.17 | | 3 | 36.70 | 0.18 |
| 4 | 1 | 37.30 | 0.18 | 9 | 1 | 56.96 | 0.28 |
| | 2 | 37.03 | 0.18 | | 2 | 56.31 | 0.28 |
| | 3 | 36.71 | 0.18 | | 3 | 56.98 | 0.28 |
| 5 | 1 | 28.34 | 0.14 | 10 | 1 | 27.45 | 0.13 |
| | 2 | 27.71 | 0.14 | | 2 | 27.09 | 0.13 |
| | 3 | 29.11 | 0.14 | | 3 | 26.84 | 0.13 |

ตารางที่ 3 แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่าง โดยใช้หลักการของ EPMA

คอลัมน์ที่ 8 (%AGE TOTAL) ในภาคผนวก ก หน้า 36-45 คือ พื้นที่ใต้พีคเอ็กซ์เรย์สเปกตรัมของตัวอย่าง, M#1, M#2 และ M#3 คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัดเอ็กซ์เรย์สเปกตรัมบนผิวเคลือบของตัวอย่างที่จุดเดียวกัน วัดซ้ำ 3 ครั้ง (วัดครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ)

4.1.3 ผลการเปรียบเทียบความหนาผิวเคลือบโครเมียมเจเลีย ซึ่งวัดด้วยวิธีคู ลอมบ์เมตริก และวัดโดยใช้หลักการของ EPMA

| ตัวอย่าง ที่ | ชื่อตัวอย่าง | ความหนาผิวเคลือบโครเมียมเจเลีย , ไมโครเมตร | |
|-----------------|---------------------------|--|-----------------------------|
| | | วัดด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก | วัดโดยใช้หลักการของ EPMA |
| 1 | มีอนிட K818 | 0.21 | 0.19 |
| 2 | ก๊อกคอสุงอิมพีเรียล | 0.11 | 0.10 |
| 3 | บอดีฟล์ซวาลซ์ชั๊กโครก | 0.16 | 0.16 |
| 4 | บอดี้วาล์วน้ำเข้าชั๊กโครก | 0.18 | 0.18 |
| 5 | ก๊อกข้างล่างหน้าเซรามิค | 0.14 | 0.14 |
| 6 | แฮนเดิ้ล เลเวอร์ | 0.30 | 0.26 |
| 7 | สามตาชั๊กโครก | 0.25 | 0.23 |
| 8 | สี่ตาชั๊กโครก | 0.18 | 0.19 |
| 9 | ก๊อกคอสุงอิมพีเรียล | 0.31 | 0.28 |
| 10 | แฮนเดิ้ล เลเวอร์ | 0.14 | 0.13 |

ตารางที่ 4 แสดงค่าความหนาผิวเคลือบโครเมียมเจเลีย ของตัวอย่าง ซึ่งวัดด้วยวิธี
คูลอมบ์เมตริก และวัดโดยใช้หลักการของ EPMA

4.2 การคำนวณความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่าง จากสมการของกราฟมาตรฐาน

นำค่าพื้นที่ใต้พีค CrKa ของแต่ละตัวอย่าง (จากผลการวัดเอกซเรย์สเปกตรัมของตัวอย่าง ใน
ภาคผนวก ก หน้า36-45) แทนลงในสมการที่ (4) ในภาคผนวก ข หน้า46 จะได้ค่าความหนาผิว
เคลือบโครเมียมของแต่ละตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 คำนวณหาค่าความหนาผิวเคลือบโครเมียมเจเลีย แต่ละตัวอย่าง แล้วนำ
ไปเปรียบเทียบกับค่าความหนาผิวเคลือบโครเมียมซึ่งวัดด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริกในตารางที่ 1 ได้ผล
ดังแสดงในตารางที่ 4

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

1. จากข้อมูลในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างซึ่งมีความหนาผิวเคลือบโครเมียม อยู่ในช่วง 0.1-0.2 ไมครอน เมื่อวัดโดยใช้หลักการของ EPMA จะให้ผลใกล้เคียงกับการวัดด้วยวิธีคลอมบ์เมตริกมาก คือ ต่างกันไม่เกิน ± 0.01 ไมครอน เท่านั้น ส่วนตัวอย่างที่มีความหนาผิวเคลือบโครเมียม มากกว่า 0.2 ไมครอน การวัดโดยใช้หลักการของ EPMA จะให้ผลต่างไปจากการวัดด้วยวิธีคลอมบ์เมตริกมากขึ้น คือ จะวัดได้น้อยกว่าการวัดด้วยวิธีคลอมบ์เมตริก 0.02-0.04 ไมครอน
2. จากตารางที่ 2 การวัดพื้นที่ได้พีค CrKa ของแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบ ที่ความหนาของผิวเคลือบโครเมียม เท่ากับ $0.08 \mu\text{m}$ ซ้ำที่จุดเดียวกัน 3 ครั้ง ได้ค่าพื้นที่ได้พีค CrKa ต่างกันมากที่สุด คือ 1.38 % (พิสัย = 16.69-15.31 %) ส่วนที่ความหนาผิวเคลือบอื่น ๆ จะมีค่าพิสัย น้อยกว่า 1 % สำหรับการวัดพื้นที่ได้พีค CrKa ของตัวอย่าง จากตารางที่ 3 ก็พบว่า ตัวอย่างที่ 5 มีค่าพิสัยมากที่สุด เท่ากับ 1.40 % และตัวอย่างอื่น ๆ จะมีค่าพิสัย น้อยกว่า 1 % แสดงให้เห็นว่า การทดลองวัดความหนาผิวเคลือบโดยใช้หลักการของ EPMA ในครั้งนี้ มีความเที่ยงสูง (high precision) เพราะการวัดซ้ำที่จุดเดียวกัน 3 ครั้ง ทั้งแผ่นมาตรฐาน และตัวอย่าง ต่างให้ผลสอดคล้องกัน ส่วนใหญ่ ค่าพื้นที่ได้พีค CrKa ที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ มีค่าพิสัย น้อยกว่า 1 % และจะมีค่าพิสัยมากที่สุด เท่ากับ 1.40 % เท่านั้น
3. สมการของกราฟมาตรฐาน ที่คำนวณได้ ในหน้า 46 มีค่าความชัน (slope) เท่ากับ +0.0051 และตัดแกน y ที่ -0.0058 ดังนั้น ถ้าค่า x ซึ่งก็คือ พื้นที่ได้พีค CrKa น้อยกว่า 1.137 % จะทำให้ค่าของ y คือ ค่าความหนาผิวเคลือบโครเมียม ติดลบ ซึ่งไม่เป็นจริง ฉะนั้น หากพื้นที่ได้พีค CrKa อยู่ในช่วงดังกล่าว จึงควรสรุปว่าความหนาผิวเคลือบโครเมียมเป็น 0 หรือไม่มีชั้นโครเมียมเคลือบอยู่
4. การตรวจสอบว่า ผลของการวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมที่ได้จากทั้งสองวิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ สามารถทำได้โดยการหาความแตกต่างระหว่างผลการวัดที่ได้จากทั้งสองวิธีของแต่ละตัวอย่าง (D_i) หาค่าเฉลี่ยของผลต่าง (\bar{D}) ของตัวอย่างทั้งหมด หาค่าเบี่ยงเบนของผลต่างที่เกิดขึ้นของวิธีวัดทั้งสองที่มีต่อตัวอย่างแต่ละตัวอย่างกับค่า \bar{D} จากนั้นจึงคำนวณหาค่า sd และค่า t จากสมการ

$$sd = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{N-1}}$$

$$t = \frac{\bar{D}}{sd} \sqrt{N}$$

D_i คือ ความแตกต่างระหว่างผลการวัดที่ได้จากวิธีทั้งสอง ของตัวอย่างแต่ละตัวอย่าง

\bar{D} คือ ค่าเฉลี่ยของ D_i

N คือ จำนวนตัวอย่าง ($N = 10$)

| ตัวอย่าง ที่ | ความหนาผิวเคลือบโครเมียมเฉลี่ย, ไมโครเมตร | | D_i | $D_i - \bar{D}$ | $(D_i - \bar{D})^2$ |
|-----------------|---|--------------------|-------|----------------------------|---------------------|
| | วัดด้วยวิธีคูอมบ์เมตริก | วัดด้วยเทคนิค EPMA | | | |
| 1 | 0.21 | 0.19 | 0.02 | 0.01 | 0.0001 |
| 2 | 0.11 | 0.10 | 0.01 | 0.00 | 0.0000 |
| 3 | 0.16 | 0.16 | 0.00 | -0.01 | 0.0001 |
| 4 | 0.18 | 0.18 | 0.00 | -0.01 | 0.0001 |
| 5 | 0.14 | 0.14 | 0.00 | -0.01 | 0.0001 |
| 6 | 0.30 | 0.26 | 0.04 | 0.03 | 0.0009 |
| 7 | 0.25 | 0.23 | 0.02 | 0.01 | 0.0001 |
| 8 | 0.18 | 0.19 | -0.01 | -0.02 | 0.0004 |
| 9 | 0.31 | 0.28 | 0.03 | 0.02 | 0.0004 |
| 10 | 0.14 | 0.13 | 0.01 | 0.00 | 0.0000 |
| SUM = | | | 0.12 | $\sum (D_i - \bar{D})^2 =$ | 0.0022 |

$$\bar{D} = \frac{0.12}{10} = 0.01$$

$$sd = \sqrt{\frac{0.0022}{10-1}} = 0.0156$$

$$t = \frac{0.01}{0.0156} \sqrt{10} = 2.03$$

จากตาราง t ในภาคผนวก ที่จำกัดความเชื่อมั่น 95% และค่า degree of freedom = 9 ($N-1$) ค่า $t = 2.26$ แต่เนื่องจากค่า t ที่คำนวณได้ เท่ากับ 2.03 ซึ่งน้อยกว่าค่า t จากตาราง จึงสรุปได้ว่า ผลการทดลองวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมของตัวอย่าง ด้วยวิธีคูอมบ์เมตริก และโดยใช้หลักการของ EPMA ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่จำกัดความเชื่อมั่น 95%

การทดลอง วัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิลโดยใช้หลักการของ EPMA ที่ได้พัฒนาขึ้นในครั้งนี สามารถนำไปใช้วัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิลของตัวอย่างได้จริง โดยที่ผิวเคลือบนั้นจะต้องมีความหนา อยู่ในช่วง 0.00 - 0.30 ไมครอน เนื่องจาก ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า ความหนาผิวเคลือบในช่วงดังกล่าว การวัดโดยใช้หลัก

การของ EPMA จะให้ผล ไม่แตกต่างจากการวัดด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก อย่างมีนัยสำคัญ ที่ลิมิตความเชื่อมั่น 95% หรืออาจกล่าวได้ว่า ที่ความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล ในช่วง 0.00 - 0.30 ไมครอน การวัดโดยใช้หลักการของ EPMA ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ ให้ผลการวัดเทียบเท่ากับการวัดด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก ซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบัน

สำหรับผิวเคลือบโครเมียม ซึ่งมีความหนามากกว่า 0.30 ไมครอน ผู้ทดลองยังมีได้ทำการทดลองครอบคลุมไปถึง แต่เชื่อว่า เมื่อความหนาโครเมียมมากกว่า 0.30 ไมครอน จะมีความเป็นไปได้อย่างมาก ที่การวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียม บนนิกเกิลโดยใช้หลักการของ EPMA จะให้ผลต่างจากการวัดด้วยวิธีคูลอมบ์เมตริก อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ เนื่องจาก เมื่อความหนาผิวเคลือบโครเมียมเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ พื้นที่ที่วัด CrKa และความหนาผิวเคลือบโครเมียม ก็มีแนวโน้มที่จะไม่มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ดังนั้น การคำนวณความหนาผิวเคลือบโครเมียม โดยใช้สมการของกราฟมาตรฐานที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ จึงไม่น่าจะให้ผลการวัดที่ถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

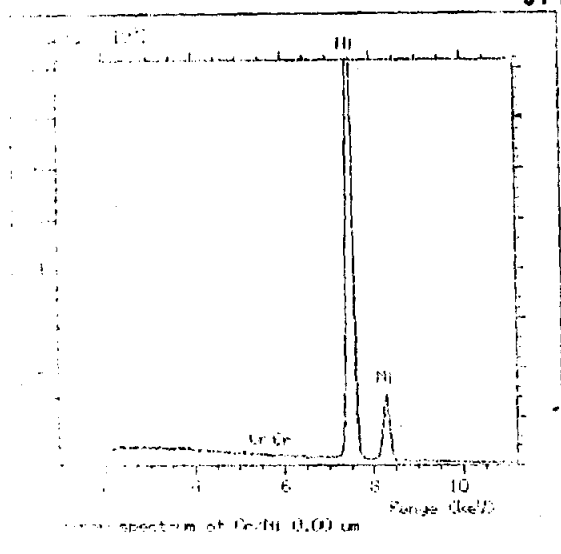
ขอขอบคุณ คุณเปรมใจ อรรถกิจการค้า ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และเชื้อเพื่อ
เอกสารทางวิชาการต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการจัดทำรายงานฉบับนี้

บรรณานุกรม

1. รศ. แม้น อมรดิษฐ์ "หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ" พิมพ์ครั้งที่ 1
ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์ กรุงเทพฯ พ.ศ.2534
2. สุวัฒน์ ศรีวิทยารักษ์ "สถิติเบื้องต้น" พิมพ์ครั้งที่ 5 ศรีเมืองการพิมพ์ กรุงเทพฯ พ.ศ. 2529
3. "Operating Instructions of Couloscope S" Helmut Fischer GMBH + Co.
Germany, Printed in West Germany, December 1985

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.00 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 2090 | 7 | 1.00 | .91 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 2088 | -62 | 1.00 | -.14 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 76748 | 39607 | 1.00 | 91.17 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 10790 | 3890 | 1.00 | 8.95 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.00 UM M#2

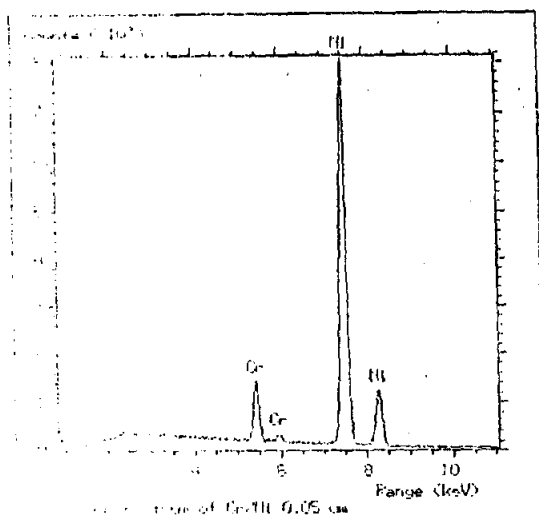
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 2188 | 10 | 1.00 | .02 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 2086 | -29 | 1.00 | -.07 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 77186 | 39649 | 1.00 | 91.20 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 10824 | 3844 | 1.00 | 8.84 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.00 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 2145 | 3 | 1.00 | .01 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 2121 | 66 | 1.00 | .15 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 76445 | 38941 | 1.00 | 91.41 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 10781 | 3591 | 1.00 | 8.43 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.05 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 9901 | 3664 | 1.00 | 9.35 | 773.00 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 2859 | 474 | 1.00 | 1.21 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 61719 | 31937 | 1.00 | 81.51 | 6737.66 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 9473 | 3108 | 1.00 | 7.93 | 655.70 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.05 UM M#2

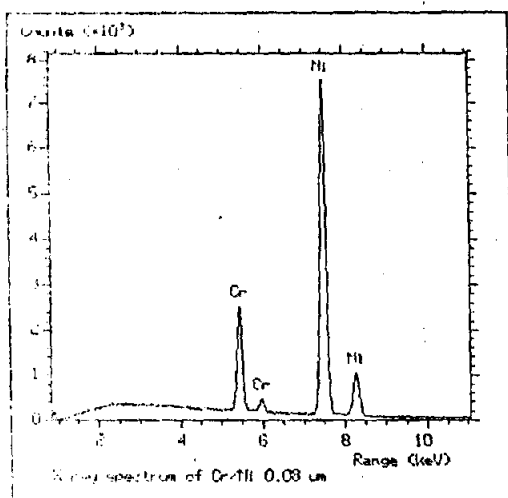
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 9990 | 3564 | 1.00 | 9.18 | 652.75 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 2896 | 546 | 1.00 | 1.41 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 61998 | 31732 | 1.00 | 81.74 | 5811.63 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7999 | 2979 | 1.00 | 7.67 | 545.60 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.05 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 9936 | 3879 | 1.00 | 10.00 | 672.27 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 2797 | 577 | 1.00 | 1.49 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 61176 | 31559 | 1.00 | 81.34 | 5469.41 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 8691 | 2786 | 1.00 | 7.18 | 482.84 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.08 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 16809 | 6536 | 1.00 | 16.39 | 748.63 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 3758 | 873 | 1.00 | 2.19 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 57540 | 29364 | 1.00 | 73.65 | 3363.52 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 8017 | 3097 | 1.00 | 7.77 | 354.75 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.08 UM M#2

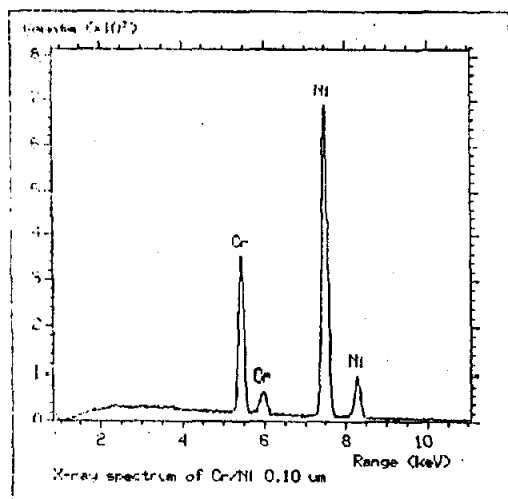
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 16808 | 6593 | 1.00 | 16.69 | 607.09 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 3796 | 1086 | 1.00 | 2.75 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 57161 | 28952 | 1.00 | 73.28 | 2665.88 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 8389 | 2879 | 1.00 | 7.29 | 265.10 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.08 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 16712 | 6097 | 1.00 | 15.31 | 666.28 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 3770 | 915 | 1.00 | 2.30 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 57012 | 29925 | 1.00 | 75.16 | 3270.44 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 8206 | 2876 | 1.00 | 7.22 | 314.32 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.10 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 24275 | 8570 | 1.00 | 21.78 | 795.73 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5677 | 1077 | 1.00 | 2.74 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 51955 | 26996 | 1.00 | 68.60 | 2506.59 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7297 | 2707 | 1.00 | 6.88 | 251.35 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.10 UM M#2

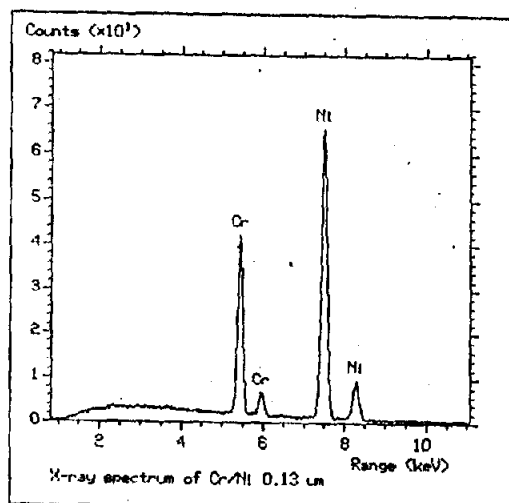
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 21490 | 8665 | 1.00 | 21.58 | 772.97 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 4596 | 1121 | 1.00 | 2.79 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 53746 | 27709 | 1.00 | 69.01 | 2471.81 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7777 | 2657 | 1.00 | 6.62 | 237.02 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.10 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 21425 | 8663 | 1.00 | 22.14 | 670.51 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 4602 | 1292 | 1.00 | 3.30 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 53279 | 26571 | 1.00 | 67.92 | 2056.58 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7617 | 2597 | 1.00 | 6.64 | 201.01 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.13 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 27511 | 11280 | 1.00 | 28.10 | 624.90 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5295 | 1805 | 1.00 | 4.50 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 49180 | 24760 | 1.00 | 61.68 | 1371.75 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7114 | 2299 | 1.00 | 5.73 | 127.37 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.13 UM M#2

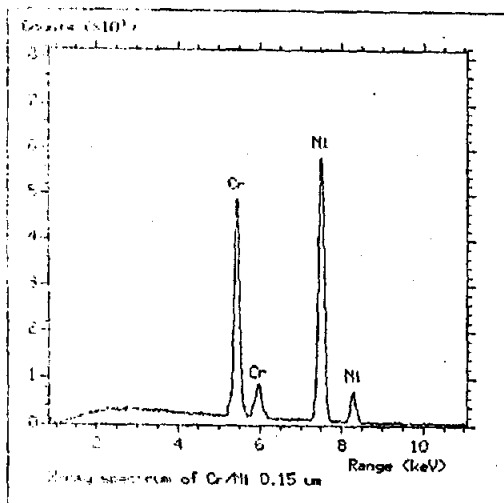
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 27737 | 11591 | 1.00 | 28.22 | 710.67 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5226 | 1631 | 1.00 | 3.97 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 49117 | 25462 | 1.00 | 61.99 | 1561.10 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7295 | 2390 | 1.00 | 5.82 | 146.24 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.13 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 27573 | 11238 | 1.00 | 27.51 | 693.70 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5280 | 1620 | 1.00 | 3.97 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 49427 | 25409 | 1.00 | 62.20 | 1568.43 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7281 | 2581 | 1.00 | 6.32 | 159.32 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.15 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 33199 | 13323 | 1.00 | 33.20 | 729.20 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 7012 | 1827 | 1.00 | 4.55 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 44746 | 23016 | 1.00 | 57.36 | 1259.74 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5320 | 1960 | 1.00 | 4.88 | 107.28 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.15 UM M#2

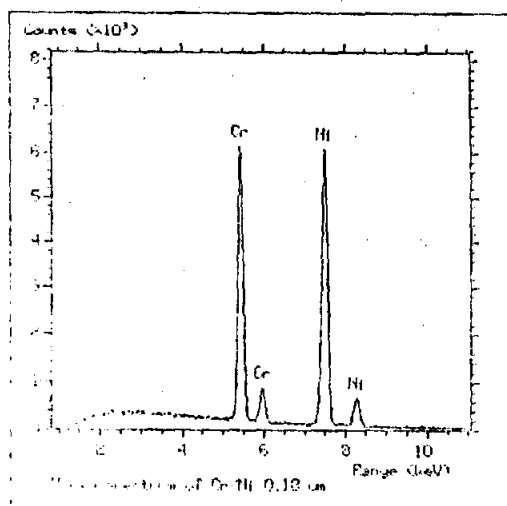
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 32368 | 13545 | 1.00 | 33.38 | 725.47 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 7002 | 1867 | 1.00 | 4.60 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 45068 | 23228 | 1.00 | 57.25 | 1244.11 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5483 | 1933 | 1.00 | 4.76 | 103.54 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.15 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 34451 | 13004 | 1.00 | 33.27 | 607.66 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 7570 | 2140 | 1.00 | 5.48 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 44738 | 22441 | 1.00 | 57.41 | 1048.65 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 4411 | 1501 | 1.00 | 3.84 | 70.14 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.18 UM M#1
LIVETIME = 100 s

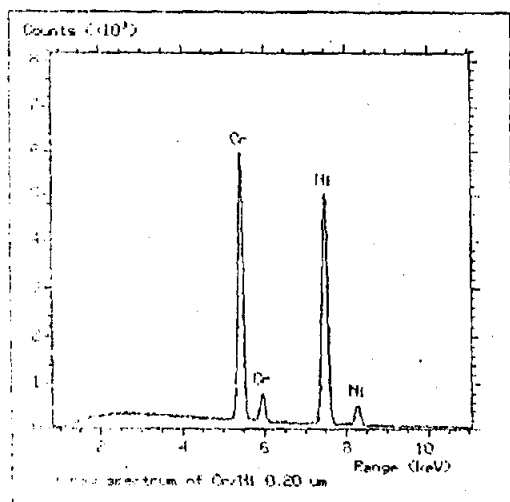
| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 40563 | 17150 | 1.00 | 38.59 | 733.51 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6608 | 2338 | 1.00 | 5.26 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 45956 | 23230 | 1.00 | 52.27 | 993.58 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5310 | 1725 | 1.00 | 3.88 | 73.76 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.18 UM M#2
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 40425 | 17169 | 1.00 | 38.58 | 730.91 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6979 | 2349 | 1.00 | 5.28 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 45189 | 23200 | 1.00 | 52.14 | 987.65 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5326 | 1781 | 1.00 | 4.00 | 75.82 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.18 UM M#3
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 41633 | 17207 | 1.00 | 37.71 | 692.71 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 7014 | 2484 | 1.00 | 5.44 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 45759 | 23946 | 1.00 | 52.48 | 964.01 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6351 | 1991 | 1.00 | 4.36 | 80.15 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.20 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 38614 | 16555 | 1.00 | 42.16 | 824.4 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5773 | 2008 | 1.00 | 5.11 | 100.0 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 38241 | 19156 | 1.00 | 48.79 | 953.9 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 4292 | 1547 | 1.00 | 3.94 | 77.0 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.20 UM M#2

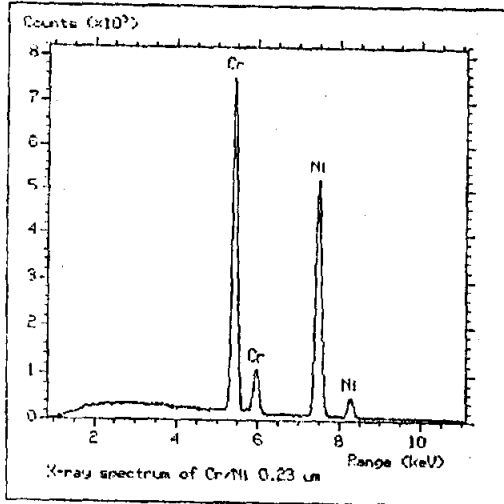
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 46067 | 20116 | 1.00 | 42.10 | 808.50 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6643 | 2488 | 1.00 | 5.21 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 45786 | 23115 | 1.00 | 48.37 | 929.00 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6080 | 2065 | 1.00 | 4.32 | 83.00 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.20 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 50838 | 21782 | 1.00 | 41.91 | 827.25 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 7298 | 2633 | 1.00 | 5.07 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 48469 | 25320 | 1.00 | 48.72 | 961.62 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5983 | 2233 | 1.00 | 4.30 | 84.81 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.23 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 49343 | 21443 | 1.00 | 46.03 | 670.30 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 8469 | 3199 | 1.00 | 6.87 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 39821 | 20637 | 1.00 | 44.30 | 645.11 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 3957 | 1302 | 1.00 | 2.80 | 40.70 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.23 UM M#2

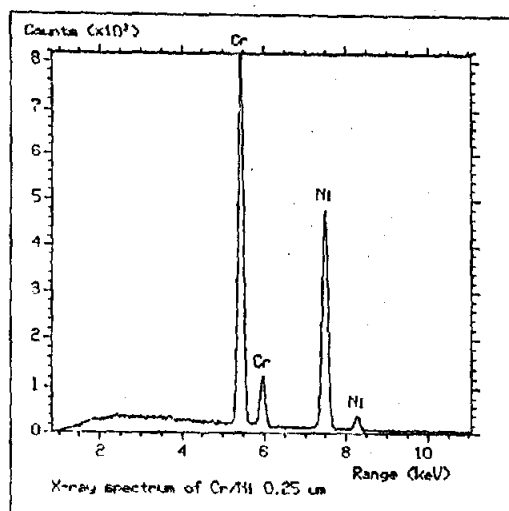
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 49501 | 20683 | 1.00 | 46.14 | 645.16 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 8392 | 3157 | 1.00 | 7.04 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 39731 | 19876 | 1.00 | 44.34 | 629.59 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 3321 | 1111 | 1.00 | 2.48 | 35.19 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.23 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 48530 | 21058 | 1.00 | 46.06 | 690.86 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 8243 | 3048 | 1.00 | 6.67 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 40802 | 20336 | 1.00 | 44.48 | 667.21 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 4169 | 1274 | 1.00 | 2.79 | 41.80 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.25 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 55600 | 23232 | 1.00 | 50.18 | 625.34 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 9070 | 3715 | 1.00 | 8.02 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 36554 | 18173 | 1.00 | 39.26 | 489.18 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 3169 | 1174 | 1.00 | 2.54 | 31.60 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.25 UM M#2

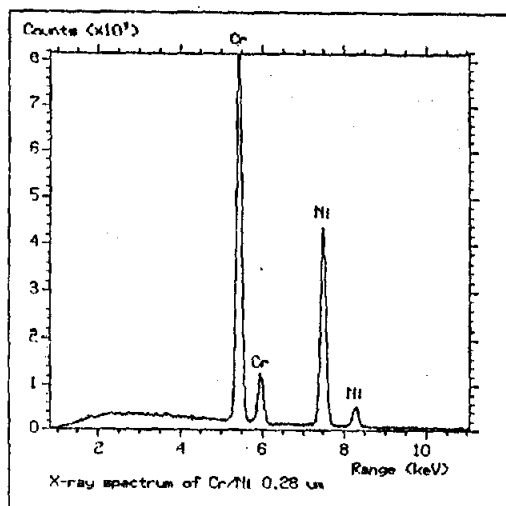
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 55020 | 23439 | 1.00 | 50.38 | 703.03 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 8909 | 3334 | 1.00 | 7.17 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 36153 | 18454 | 1.00 | 39.67 | 553.51 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 3805 | 1295 | 1.00 | 2.78 | 38.84 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.25 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 53146 | 23514 | 1.00 | 50.12 | 668.57 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 8602 | 3517 | 1.00 | 7.50 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 36856 | 18596 | 1.00 | 39.63 | 528.75 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 4557 | 1292 | 1.00 | 2.75 | 36.74 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.28 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 57739 | 24745 | 1.00 | 53.31 | 685.08 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 9332 | 3612 | 1.00 | 7.78 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 33007 | 16650 | 1.00 | 35.87 | 460.96 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 4220 | 1410 | 1.00 | 3.04 | 39.04 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.28 UM M#2

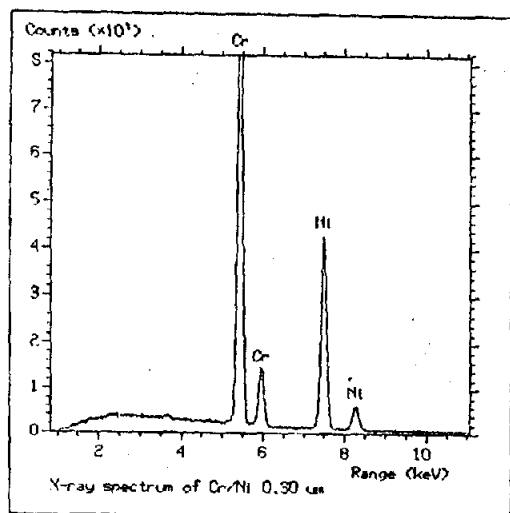
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 58265 | 24452 | 1.00 | 53.28 | 691.52 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 9376 | 3536 | 1.00 | 7.70 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 32055 | 16287 | 1.00 | 35.48 | 459.56 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 4743 | 1623 | 1.00 | 3.54 | 45.90 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.28 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 58044 | 24785 | 1.00 | 53.41 | 671.85 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 9484 | 3689 | 1.00 | 7.95 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 32502 | 16756 | 1.00 | 36.11 | 454.20 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 3723 | 1178 | 1.00 | 2.54 | 31.93 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.30 UM M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 67280 | 28976 | 1.00 | 57.00 | 631.97 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 10750 | 4585 | 1.00 | 9.02 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 31699 | 15760 | 1.00 | 31.00 | 343.73 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 4868 | 1513 | 1.00 | 2.98 | 33.00 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.30 UM M#2

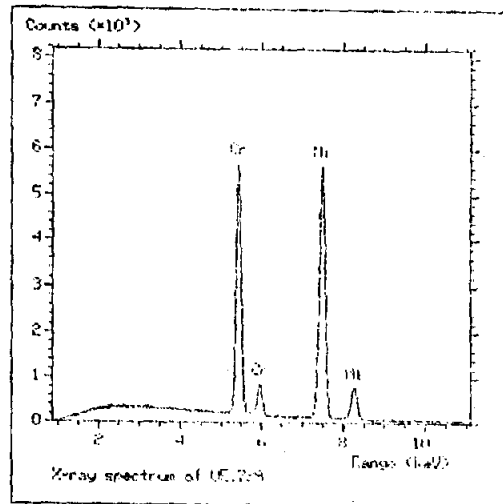
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 69558 | 29801 | 1.00 | 57.22 | 688.71 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 11067 | 4327 | 1.00 | 8.31 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 32520 | 16196 | 1.00 | 31.10 | 374.30 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5231 | 1761 | 1.00 | 3.38 | 40.70 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI 0.30 UM M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 69416 | 30194 | 1.00 | 57.62 | 685.92 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 11177 | 4402 | 1.00 | 8.40 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 32965 | 16289 | 1.00 | 31.09 | 370.04 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5235 | 1515 | 1.00 | 2.89 | 35.04 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 1. M#1
LIVETIME = 100 s

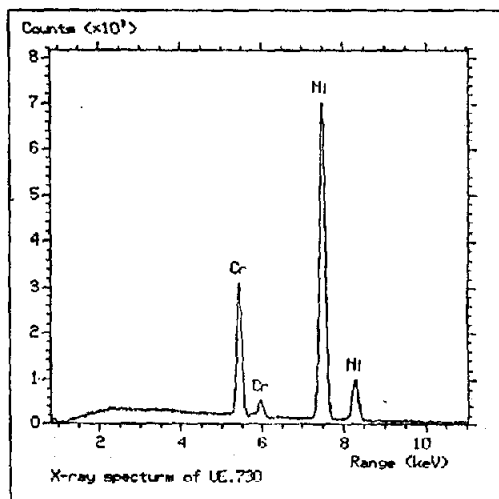
| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 36849 | 15798 | 1.00 | 37.45 | 70.00 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6426 | 2236 | 1.00 | 5.36 | 10.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 42767 | 21422 | 1.00 | 51.27 | 98.00 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6354 | 2289 | 1.00 | 5.93 | 10.00 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 1. M#2
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 37292 | 15985 | 1.00 | 37.82 | 70.00 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6504 | 2264 | 1.00 | 5.37 | 10.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 43194 | 21634 | 1.00 | 51.27 | 98.00 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6417 | 2312 | 1.00 | 5.48 | 10.00 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 1. M#3
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 37255 | 15970 | 1.00 | 38.30 | 70.00 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6497 | 2257 | 1.00 | 5.67 | 10.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 42340 | 21209 | 1.00 | 50.77 | 98.00 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6291 | 2266 | 1.00 | 5.27 | 10.00 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 2, M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 20757 | 8346 | 1.00 | 21.06 | 741.21 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 4411 | 1126 | 1.00 | 2.84 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 53736 | 27474 | 1.00 | 69.32 | 2439.92 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7843 | 2688 | 1.00 | 6.78 | 238.72 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 2, M#2

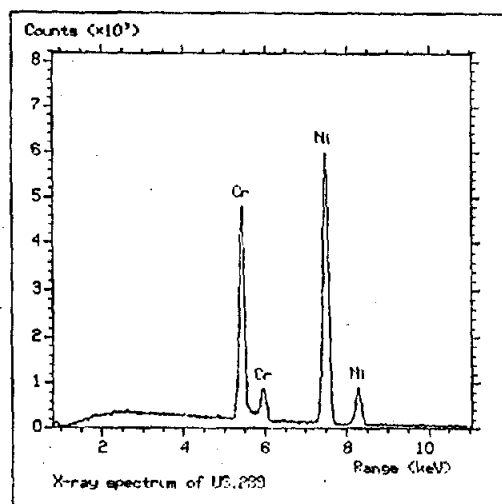
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 21173 | 8510 | 1.00 | 21.02 | 740.00 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 4500 | 1150 | 1.00 | 2.84 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 54917 | 28077 | 1.00 | 69.36 | 2441.48 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 8016 | 2746 | 1.00 | 6.78 | 238.72 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 2, M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 21491 | 8639 | 1.00 | 20.48 | 740.27 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 4567 | 1167 | 1.00 | 2.77 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 57672 | 29485 | 1.00 | 69.91 | 2526.52 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 8422 | 2887 | 1.00 | 6.84 | 247.39 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 3, M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 32077 | 13429 | 1.00 | 32.94 | 725.11 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6937 | 1852 | 1.00 | 4.54 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 45068 | 23228 | 1.00 | 56.97 | 1254.18 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6421 | 2261 | 1.00 | 5.55 | 122.08 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 3, M#2

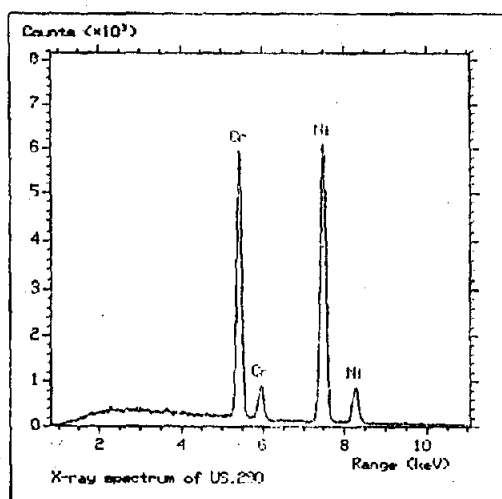
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 33041 | 13831 | 1.00 | 33.40 | 724.87 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 7143 | 1908 | 1.00 | 4.61 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 45384 | 23390 | 1.00 | 56.49 | 1225.87 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6465 | 2275 | 1.00 | 5.49 | 119.23 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 3, M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 33868 | 14176 | 1.00 | 33.86 | 724.74 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 7321 | 1956 | 1.00 | 4.67 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 45520 | 23460 | 1.00 | 56.03 | 1199.36 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6486 | 2281 | 1.00 | 5.45 | 119.12 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 4. M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 39291 | 16616 | 1.00 | 37.30 | 689.73 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6804 | 2409 | 1.00 | 5.41 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 46094 | 23297 | 1.00 | 52.30 | 967.06 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6862 | 2227 | 1.00 | 5.00 | 92.45 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 4. M#2

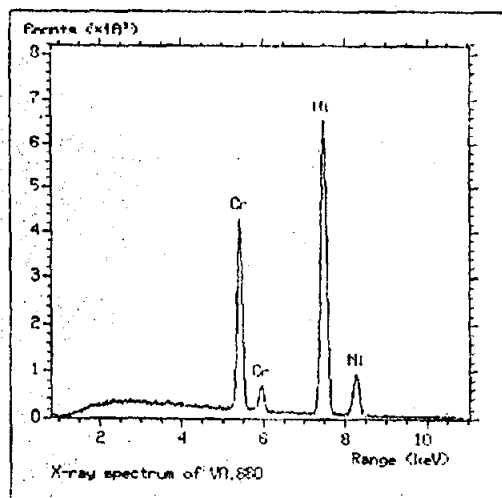
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 38505 | 16280 | 1.00 | 37.03 | 690.10 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6669 | 2359 | 1.00 | 5.37 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 45725 | 23109 | 1.00 | 52.57 | 979.61 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6808 | 2213 | 1.00 | 5.03 | 93.81 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 4. M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 38121 | 16116 | 1.00 | 36.71 | 689.60 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6602 | 2337 | 1.00 | 5.32 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 45956 | 23230 | 1.00 | 52.92 | 994.01 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 6842 | 2217 | 1.00 | 5.05 | 94.87 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 5, M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 27793 | 11616 | 1.00 | 28.34 | 712.17 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5236 | 1631 | 1.00 | 3.98 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 48920 | 25358 | 1.00 | 61.87 | 1554.75 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7265 | 2380 | 1.00 | 5.81 | 145.92 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 5, M#2

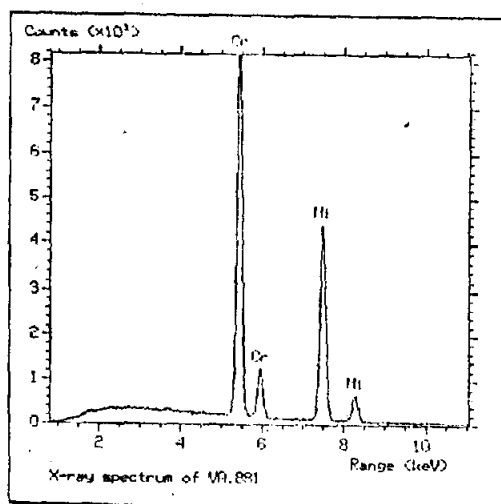
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 26959 | 11268 | 1.00 | 27.71 | 713.13 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5080 | 1580 | 1.00 | 3.89 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 49067 | 25434 | 1.00 | 62.54 | 1609.72 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7287 | 2387 | 1.00 | 5.87 | 151.92 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 5, M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 29116 | 12169 | 1.00 | 29.11 | 712.31 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5486 | 1706 | 1.00 | 4.98 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 49263 | 25536 | 1.00 | 61.08 | 1496.84 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7316 | 2396 | 1.00 | 5.77 | 146.92 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 6, M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 57955 | 24840 | 1.00 | 52.96 | 685.61 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 9368 | 3623 | 1.00 | 7.72 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 33095 | 16694 | 1.00 | 35.59 | 460.78 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5240 | 1750 | 1.00 | 3.73 | 46.60 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 6, M#2

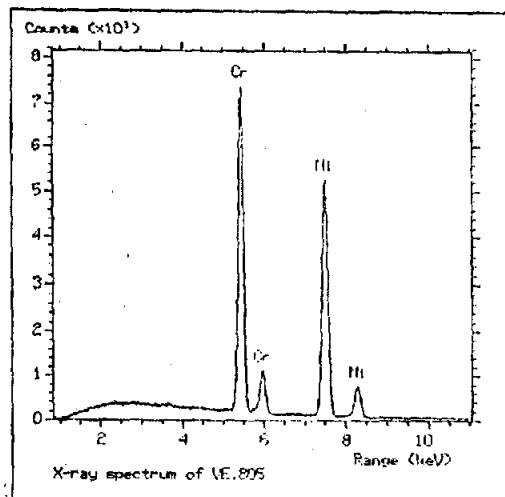
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 59692 | 25587 | 1.00 | 53.47 | 685.23 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 9649 | 3734 | 1.00 | 7.80 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 33258 | 16780 | 1.00 | 35.06 | 449.38 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5266 | 1756 | 1.00 | 3.67 | 47.03 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 6, M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 58498 | 25072 | 1.00 | 52.96 | 685.60 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 9458 | 3658 | 1.00 | 7.73 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 33393 | 16844 | 1.00 | 35.59 | 460.78 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5289 | 1764 | 1.00 | 3.73 | 46.60 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 7, M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 48971 | 21251 | 1.00 | 46.22 | 691.31 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 8319 | 3074 | 1.00 | 6.69 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 39806 | 19836 | 1.00 | 43.14 | 645.27 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5940 | 1815 | 1.00 | 3.95 | 59.04 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 7, M#2

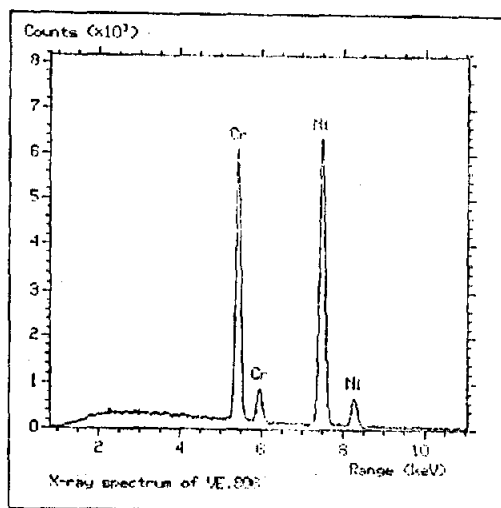
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 50097 | 21738 | 1.00 | 46.74 | 692.07 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 8511 | 3141 | 1.00 | 6.75 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 39766 | 19818 | 1.00 | 42.61 | 630.93 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5933 | 1808 | 1.00 | 3.89 | 57.96 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 7, M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 50948 | 22108 | 1.00 | 47.00 | 692.59 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 8657 | 3192 | 1.00 | 6.79 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 39963 | 19915 | 1.00 | 42.34 | 623.92 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5965 | 1820 | 1.00 | 3.87 | 57.02 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 8, M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 40361 | 17065 | 1.00 | 37.47 | 712.00 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6774 | 2394 | 1.00 | 5.24 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 48033 | 24284 | 1.00 | 53.33 | 1051.92 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5549 | 1799 | 1.00 | 3.95 | 77.14 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 8, M#2

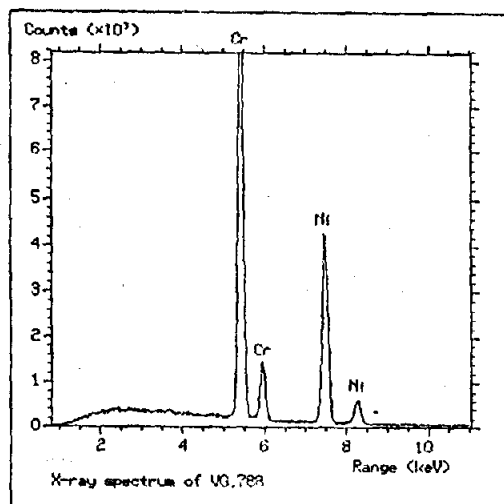
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 39876 | 16859 | 1.00 | 37.47 | 712.00 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6692 | 2367 | 1.00 | 5.24 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 47554 | 24042 | 1.00 | 53.33 | 1051.92 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5494 | 1784 | 1.00 | 3.95 | 77.14 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 8, M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 40874 | 17281 | 1.00 | 36.70 | 712.00 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 6859 | 2424 | 1.00 | 5.15 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 50407 | 25487 | 1.00 | 54.13 | 1051.92 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 5824 | 1894 | 1.00 | 4.02 | 77.14 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 9. M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 67266 | 28971 | 1.00 | 56.96 | 631.86 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 10750 | 4585 | 1.00 | 9.01 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 31764 | 15792 | 1.00 | 31.05 | 344.43 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 4878 | 1513 | 1.00 | 2.97 | 33.00 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 9. M#2

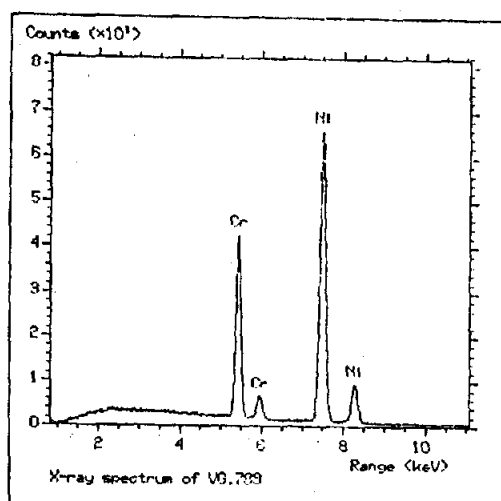
LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 65583 | 28247 | 1.00 | 56.31 | 631.77 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 10481 | 4471 | 1.00 | 8.91 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 32017 | 15919 | 1.00 | 31.73 | 356.04 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 4918 | 1528 | 1.00 | 3.05 | 34.18 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 9. M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 68207 | 29377 | 1.00 | 56.98 | 631.89 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 10899 | 4649 | 1.00 | 9.02 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 32179 | 15998 | 1.00 | 31.03 | 344.12 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 4940 | 1530 | 1.00 | 2.97 | 32.91 |



MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 10, M#1

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 27518 | 11215 | 1.00 | 27.45 | 692.25 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5270 | 1620 | 1.00 | 3.97 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 49477 | 25437 | 1.00 | 62.26 | 1570.16 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7290 | 2585 | 1.00 | 6.33 | 159.57 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 10, M#2

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 27243 | 11102 | 1.00 | 27.09 | 691.25 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5216 | 1606 | 1.00 | 3.92 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 49922 | 25662 | 1.00 | 62.63 | 1597.85 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7355 | 2605 | 1.00 | 6.36 | 162.20 |

MEM1: PEAK AREA OF CR/NI ; ตัวอย่างที่ 10, M#3

LIVETIME = 100 s

| WINDOW LABEL | START KEV | END KEV | WIDTH CHANS | GROSS INTEGRAL | NET INTEGRAL | EFF. FACTOR | %AGE TOTAL | %AGE RATIO |
|--------------|-----------|---------|-------------|----------------|--------------|-------------|------------|------------|
| CRKA | 5.32 | 5.48 | 9 | 26700 | 10878 | 1.00 | 26.84 | 691.99 |
| CRKB | 5.84 | 6.02 | 10 | 5112 | 1572 | 1.00 | 3.88 | 100.00 |
| NIKA | 7.36 | 7.56 | 11 | 49576 | 25486 | 1.00 | 62.89 | 1621.25 |
| NIKB | 8.16 | 8.34 | 10 | 7305 | 2590 | 1.00 | 6.39 | 164.76 |

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาสมการถดถอย และเส้นถดถอย (Regression Equation and Regression Line) ของกราฟมาตรฐาน

จากข้อมูลในตารางที่ 2 เมื่อนำค่าพื้นที่ที่ได้พิก CrKa เจลลีย์ และค่าความหนาผิวเคลือบโครเมียมของแผ่นมาตรฐาน มาสร้างกราฟมาตรฐาน โดยให้ค่าพื้นที่ที่ได้พิก CrKa เจลลีย์ เป็นแกน x และค่าความหนาผิวเคลือบโครเมียมของแผ่นมาตรฐาน เป็นแกน y แล้วใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) เพื่อลากเส้นตรง ที่เรียกว่า เส้นถดถอย (Regression Line) ตามกราฟในภาคผนวก ค โดยกราฟเส้นตรงนี้ จะมีสมการเป็น

$$y = A + Bx \quad \text{-----} \quad (1)$$

ค่า A และ B เรียกว่า สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$B = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$A = \bar{y} - B\bar{x} ; \left(\bar{y} = \frac{\sum y}{n}, \bar{x} = \frac{\sum x}{n} \right) \quad \text{-----} \quad (3)$$

เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ (2) และ (3) จะได้ว่า

$$B = \frac{12(83.1396) - (395.92)(1.95)}{12(16717.8388) - (156752.6464)} = 0.005144184 \\ \approx 0.0051$$

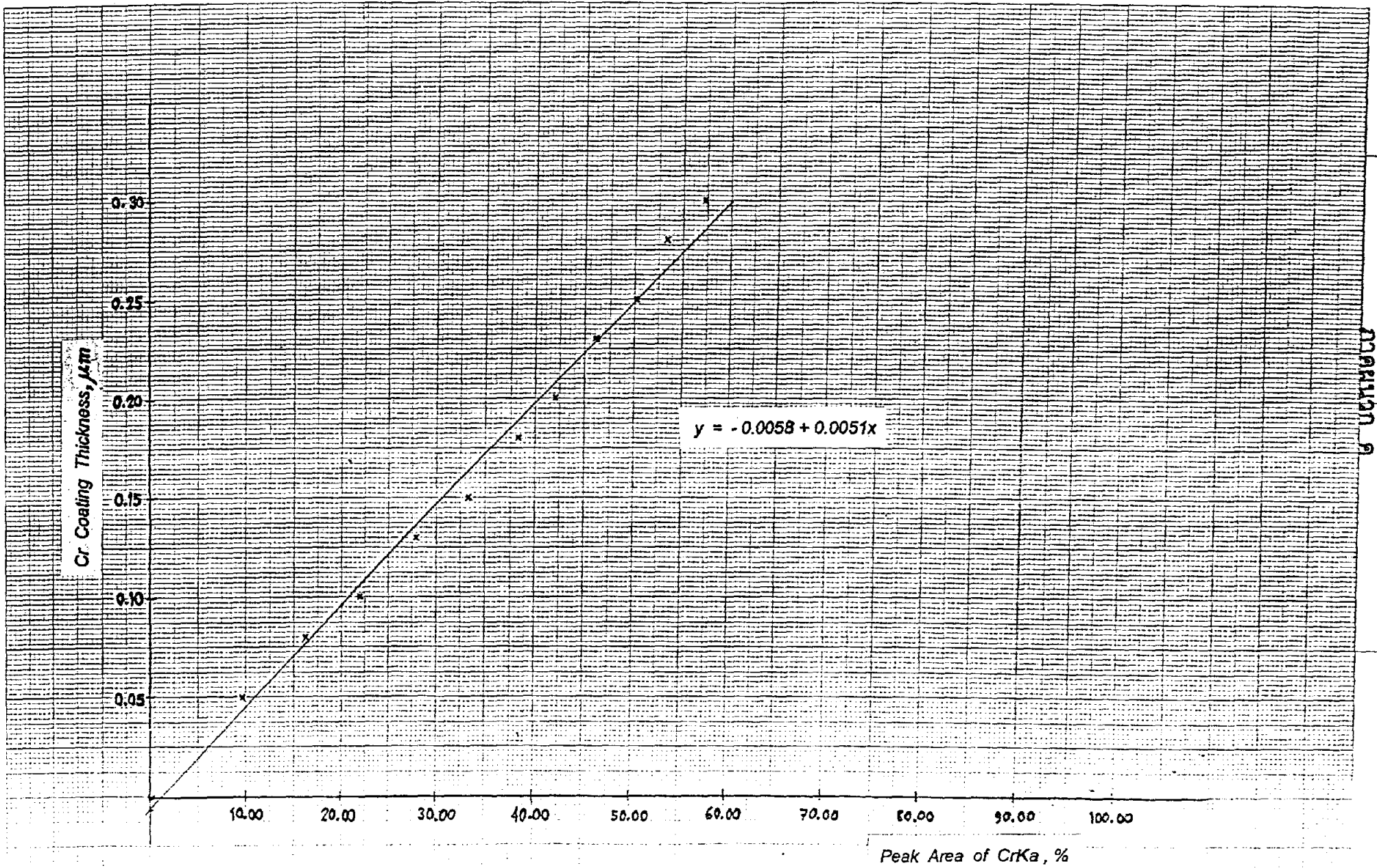
$$A = 0.16 - 0.0051(32.99) = -0.005766 \\ \approx -0.0058$$

ดังนั้น กราฟมาตรฐาน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้พิก CrKa กับความหนาผิวเคลือบโครเมียมของแผ่นมาตรฐานผิวเคลือบ จะมีสมการเป็น

$$y = -0.0058 + 0.0051x \quad \text{-----} \quad (4)$$

เมื่อ x คือ พื้นที่ที่ได้พิก CrKa ของแผ่นมาตรฐาน, %

y คือ ความหนาผิวเคลือบโครเมียม ของแผ่นมาตรฐาน, μm



ภาคผนวก ๑

กราฟมาตรฐาน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีค CrKa กับความหนาผิวเคลือบโครเมียมของแผ่นมาตรฐาน

ภาคผนวก ง

การวัดความหนาผิวเคลือบโครเมียมบนนิกเกิล ด้วยเครื่องคูโลสโคป

1. ทำความสะอาดพื้นผิวของตัวอย่าง วางตัวอย่างบนแท่นวางตัวอย่าง แล้วปรับระดับให้พื้นผิวบริเวณที่ต้องการทดสอบ อยู่ในแนวราบ (horizontal position) หนีบสายดิน (grounding cable) ที่ตัวอย่าง หรือแท่นที่วางตัวอย่าง
2. ปรับระดับ ให้เซลล์สำหรับวัด (measuring cell) อยู่เหนือตำแหน่งที่ต้องการวัด ประมาณ 8 มม.
3. เลื่อนเซลล์สำหรับวัดลง ให้ส่วนปะเก็น (gasket) ของเซลล์สำหรับวัดสัมผัสอย่างแน่นสนิทกับผิวของตัวอย่างบริเวณที่ต้องการวัด
4. ยกอิเล็กโทรดขึ้นจากเซลล์สำหรับวัด เต็มสารละลายอิเล็กโทรไลต์ F1 ลงในเซลล์สำหรับวัด จนถึงขีดบอกระดับ วางอิเล็กโทรดกลับไปในเซลล์สำหรับวัด ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ รั่วออกจากเซลล์สำหรับวัด โดยเฉพาะบริเวณที่ปะเก็น สัมผัสกับผิวของตัวอย่าง
5. ตรวจสอบให้แน่ใจว่า ไฟที่แสดงจุดยุติ (end-of-measurement light) กะพริบอยู่ ซึ่งแสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะทำงาน
6. กดปุ่ม START เพื่อเริ่มทำการวัด
7. ที่จุดยุติ ความต่างศักย์ในเซลล์สำหรับวัดจะเพิ่มขึ้นทันที อย่างรวดเร็ว จนถึง +1.5 โวลต์ เครื่องจะหยุดขบวนการสลายชั้นผิวเคลือบของตัวอย่างโดยอัตโนมัติทันที และแสดงค่าความหนาผิวเคลือบที่วัดได้เป็นตัวเลข ค้างบนหน้าจอของเครื่อง

Table G.2 - Value of $t_p(\nu)$ from the t -distribution for degrees of freedom ν that defines an interval $-t_p(\nu)$ to $+t_p(\nu)$ that encompasses the fraction p of the distribution

| Degrees of freedom ν | Fraction p in percent | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|----------------------|-------|----------------------|
| | 68,27 ^(a) | 90 | 95 | 95,45 ^(a) | 99 | 99,73 ^(a) |
| 1 | 1,84 | 6,31 | 12,71 | 13,97 | 63,66 | 138,80 |
| 2 | 1,32 | 2,92 | 4,30 | 4,53 | 9,92 | 19,31 |
| 3 | 1,20 | 2,35 | 3,18 | 3,31 | 5,84 | 9,22 |
| 4 | 1,14 | 2,13 | 2,78 | 2,87 | 4,60 | 6,62 |
| 5 | 1,11 | 2,02 | 2,57 | 2,65 | 4,03 | 5,51 |
| 6 | 1,09 | 1,94 | 2,45 | 2,52 | 3,71 | 4,96 |
| 7 | 1,08 | 1,89 | 2,36 | 2,43 | 3,50 | 4,55 |
| 8 | 1,07 | 1,86 | 2,31 | 2,37 | 3,36 | 4,28 |
| 9 | 1,06 | 1,83 | 2,26 | 2,32 | 3,25 | 4,09 |
| 10 | 1,05 | 1,81 | 2,23 | 2,28 | 3,17 | 3,96 |
| 11 | 1,05 | 1,80 | 2,20 | 2,25 | 3,11 | 3,88 |
| 12 | 1,04 | 1,78 | 2,18 | 2,23 | 3,05 | 3,76 |
| 13 | 1,04 | 1,77 | 2,16 | 2,21 | 3,01 | 3,69 |
| 14 | 1,04 | 1,76 | 2,14 | 2,20 | 2,98 | 3,64 |
| 15 | 1,03 | 1,75 | 2,13 | 2,18 | 2,95 | 3,59 |
| 16 | 1,03 | 1,75 | 2,12 | 2,17 | 2,92 | 3,54 |
| 17 | 1,03 | 1,74 | 2,11 | 2,16 | 2,90 | 3,51 |
| 18 | 1,03 | 1,73 | 2,10 | 2,15 | 2,88 | 3,48 |
| 19 | 1,03 | 1,73 | 2,09 | 2,14 | 2,86 | 3,45 |
| 20 | 1,03 | 1,72 | 2,09 | 2,13 | 2,85 | 3,42 |
| 25 | 1,02 | 1,71 | 2,06 | 2,11 | 2,79 | 3,33 |
| 30 | 1,02 | 1,70 | 2,04 | 2,09 | 2,75 | 3,27 |
| 35 | 1,01 | 1,70 | 2,03 | 2,07 | 2,72 | 3,23 |
| 40 | 1,01 | 1,68 | 2,02 | 2,06 | 2,70 | 3,20 |
| 45 | 1,01 | 1,68 | 2,01 | 2,06 | 2,69 | 3,18 |
| 50 | 1,01 | 1,68 | 2,01 | 2,05 | 2,68 | 3,16 |
| 100 | 1,005 | 1,660 | 1,984 | 2,025 | 2,626 | 3,077 |
| ∞ | 1,000 | 1,645 | 1,960 | 2,000 | 2,576 | 3,000 |

^(a)For a quantity z described by a normal distribution with expectation μ_z and standard deviation σ , the interval $\mu_z \pm k\sigma$ encompasses $p = 68,27, 95,45,$ and $99,73$ percent of the distribution for $k = 1, 2,$ and $3,$ respectively.