

รายการอ้างอิง

1. D. Briggs and M.P. Seah, Practical Surface analysis. Chichester:John Wiley and Son (1990)
2. G. Biachi, F. Mazza and S. Torchio, Corrosion Science ,Vol.13 (1973) : p. 165-173
3. S. Torchio, Corros science , Vol 20, No.4 (1980) : p. 555-561
4. S . M . Dai , H . Liang “ Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steel OCr18Ni9 in Hydrochloric Acid Plus Sodium Chloride Media at Ambient Temperature ”, Int. Congr. on Metallic Corrosion , Vol.2 (Toronto Canada : National Research Council , 1984) : p. 216-221
5. R. Nishimura and K. Kudo, Corrosion , Vol. 45, No.4 (1989) : p. 308-316
6. N. Azzerri, F. Mancia and A. Tamba, Corrosion Science , Vol.22, No.7 (1982) : p. 675-687
7. M. Ben-Haim, U. Atzmong and N. Shamir. Corrosion , Vol.45, No.10 (1988) : p. 461-464
8. G. Fierro, G.M. Lnog and F.Mancia, Corrosion, Vol. 45, No.10 (1989) : p. 814-823
9. W. Yang, G. Zhao, M. Zharg and J. Congleton, Corrosion Science, Vol. 33 No. 1 (1991) : p. 89-102
10. W. Yang, G. Zhao, M. Zharh and J. Congleton, Corrosion , Vol. 44, No.4 (1991) : p. 226-233
11. K. Hashimoto, K. Asami and K. Teramoto, Corrosion Science, Vol.19 (1979) : p.3-14
12. K. Hashimoto and K. Asami, Corrosion Science , Vol. 19 (1979) : p. 251-260
13. I. Olefjord and B.O. Elfatrom, Corrosion , Vol.38, No.1 (1982) : p. 46-51
14. Z. Fang, Y. Wu., R.Zhu, B. Cao and F. Xiao, Corrosion , Vol. 50, No. 11 (1994) : p. 873-878
15. A. M. Beccaria, G. Castello and L. Chiaruttini “Effect of the PH on the Corrosion of 316L Stainless Steel in NaCl Aqueous Solution”, 13th International Corrosion Congress, , Melbourne Australia Vol. 4 (1996) : paper 362
16. M. Pourbaix , Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions , Houston , Texas ,USA : National Association of Corrosion Engineers (1961)
17. G. Lothongkum and H. Hoffmeister , Effect of pH and NaCl Concentration on Crevice Corrosion Current of Duplex and Super Duplex Stainless Steel (to be published)
18. G. Lothongkum and H. Hoffmeister , Crevice Corrosion Behaviour of Heat Treated Duplex and Super Duplex Stainless Steel in Artificial Seawater , NACE solution, Formation Water (to be published)

19. P. Locombe , B. Baroux and G. Beranger , Stainless Steels , Les Ulis : Les Edition de Physique (1993)
20. R. Nishimura, Interview , 28 November 1996.
21. J. Gluszek and K. Nitschi , Corrosion Science , Vol.22 , No.11 (1982) : p. 1067 - 1078
22. K. Asami, Interview , 25 November 1996.
23. K. Asami and K. Hashimoto, Corrosion Science , Vol. 17 (1977) : p. 559-570
24. Jeol , Handbook of X-Ray Photoelectron Spectroscopy (1991)
25. K. Asami, K. Hashimoto and S. Shemodaira, Corrosion Science , Vol.16 (1976) : p. 35-45
26. S. El Hajjaje , L. Aries , N. Pebere , F. Dabosi , J. P. Audouard and A. BenBachir , Corrosion , Vol. 52 , No. 11 (1996) : p. 865-871



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก. การเทียบมาตรฐานของเครื่อง XPS

ก.1 ความแม่นยำของการวิเคราะห์ค่าพลังงานยึดเหนี่ยว

ทำการเทียบค่าพลังงานยึดเหนี่ยวที่วิเคราะห์ได้กับค่ามาตรฐานโดยใช้โลหะ ทอง เงิน และ ทองแดง ทำการวิเคราะห์โดยมีสภาวะดังนี้

- ค่าพลังงานผ่าน (ES)	10	eV
- ค่าความกว้างของช่วงวิเคราะห์ (SW)	0.05	eV
- ลอกผิวด้วยอาร์กอนไอออน ไม่ต่ำกว่า	7	นาที

ได้ผลวิเคราะห์ดังตาราง ก.1

ตาราง ก.1 ผลการวิเคราะห์เทียบค่าพลังงานยึดเหนี่ยวที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง XPS และค่าพลังงานยึดเหนี่ยวมาตรฐาน

พีค	ค่ามาตรฐาน	ค่าที่วิเคราะห์ได้	ความแตกต่าง
Auf7/2	83.80	83.80	0.00
Ag3d5/2	368.25	368.15	0.05
Cu2p3/2	932.80	932.90	0.10

แสดงว่าค่าพลังงานยึดเหนี่ยวที่วิเคราะห์ได้มีความผิดพลาด ± 0.1 eV และจากสภาพของเครื่องมือดังกล่าวทำการหาตำแหน่งพีคของนิกเกิล เหล็ก และโครเมียม ในสภาพโลหะโดยทำการวิเคราะห์ใช้ค่า ES = 10 eV และ SW = 0.1 eV ได้ผลดังตาราง ก.2

ตาราง ก.2 ผลการวิเคราะห์เทียบค่าพลังงานยึดเหนี่ยวที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง XPS และค่าพลังงานยึดเหนี่ยวมาตรฐาน

พีค	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Ni2p3/2	853.1
Fe2p3/2	706.9
Cr2p3/2	574.2

ค่าในตาราง ก.2 สามารถใช้เป็นค่ามาตรฐานในการวิเคราะห์ และอ้างอิงได้ต่อไป

ก.2 การเทียบหาอัตราการลอกผิว

ทำการเทียบค่าหาอัตราการลอกผิวของ SiC ซึ่งมีความหนาของชั้น SiC เท่ากับ $1150 \pm 50 \text{ \AA}$ โดยใช้ปืนอาร์กอนอออนและสภาวะการลอกผิวดังนี้

- ความดันของก๊าซอาร์กอน	0.03	ปาสคาล
- ความต่างศักย์เร่งอออน	500	โวลท์
- กระแสการเร่งอออน	8.6	mA
- อัตราการลอกผิว (etching rate) ร้อยละ	30	

ผลปรากฏว่าอัตราการลอกผิวของ SiC เท่ากับ 115 $\text{\AA}/\text{นาที่}$

จากข้อมูลของ Commonwealth Scientific Co. Ltd. และ Hakuto Co. Ltd.¹⁷ ซึ่งหาอัตราการลอกผิวโดยใช้ปืนอาร์กอนอออนชนิดเดียวกัน ใช้ความต่างศักย์เร่งอออนที่ 500 โวลท์ และความหนาแน่นกระแสเท่ากับ $1 \text{ mA}/\text{cm}^2$ วิเคราะห์หาอัตราการลอกผิวของ SiC , Cr_2O_3 และ เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ได้ดังนี้

อัตราการลอกผิวของ SiC	=	320	$\text{\AA}/\text{นาที่}$
อัตราการลอกผิวของ Cr_2O_3	=	50	$\text{\AA}/\text{นาที่}$
อัตราการลอกผิวของ เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304	=	250	$\text{\AA}/\text{นาที่}$

สามารถคำนวณหาอัตราการลอกผิวในสภาวะดังกล่าวมาของปืนอาร์กอนอออนได้ผลดังนี้

อัตราการลอกผิวของ Cr_2O_3	=	18	$\text{\AA}/\text{นาที่}$
อัตราการลอกผิวของ เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304	=	90	$\text{\AA}/\text{นาที่}$

ทำการคำนวณหาอัตราการลอกผิวของชั้นฟิล์มที่มี Cr_2O_3 รวมอยู่กับโลหะเหล็กและนิกเกิล โดยทำการวิเคราะห์พีคของโครเมียม ได้เวลาของการลอกผิวที่เริ่มปรากฏพีคของโลหะโครเมียม จนไม่ปรากฏพีคของ Cr_2O_3 ใช้เวลาประมาณ 120 วินาที และจากการคำนวณค่าความลึกของการวิเคราะห์แต่ละครั้งโดย I. Oleford และคณะ⁽¹³⁾ ได้ค่าประมาณ 16 \AA ดังนั้นอัตราการลอกผิวของชั้นฟิล์มที่มี Cr_2O_3 รวมอยู่กับโลหะเหล็กและนิกเกิล มีค่าประมาณ $8 \text{ \AA}/\text{นาที่}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.3 ความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ความเข้ม

ค่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ความเข้มที่ช่วงต่าง ๆ แสดงในตาราง ก.3 จะเห็นว่าเมื่อความเข้มของพีคลดลง ความคลาดเคลื่อนจะสูงขึ้นเนื่องจากสัดส่วนของสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณของพีคสูงขึ้น ความคลาดเคลื่อนมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ความคลาดเคลื่อน} = \frac{(\text{ผลต่างของค่าความเข้มเฉลี่ย กับ ความเข้มสูงสุดหรือความเข้มต่ำสุด}) \times 100}{\text{ความเข้มเฉลี่ย}}$$

ตาราง ก.3 แสดงความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ที่ความเข้มของพีคต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ด้วยเครื่อง XPS

พีค	ความเข้มของพีค	ความคลาดเคลื่อน (± ร้อยละ)
Cr2p3/2	1790	52
	2364	31
	5661	18
	9923	12
Fe2p3/2	3091	53
	6242	26
	10252	24
	37230	13
Ni2p3/2	2260	54
	3305	30
	4151	25
	6861	11
O1s	549	53
	5865	28
	13303	8

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม

ข.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อหาว่าพีคที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นสารประกอบชนิดใด โดยใช้การเปรียบเทียบค่าพลังงานยึดเหนี่ยวจากการวิเคราะห์กับค่าพลังงานยึดเหนี่ยวมาตรฐานจากเอกสารต่างๆซึ่งมีการตีพิมพ์เอาไว้ ในที่นี้แสดงค่าพลังงานยึดเหนี่ยวที่ได้รับการยืนยันและตีพิมพ์ดังใน ตารางข.1 ตารางข.2 ตารางข.3 และตาราง ข.4

ตาราง ข.1 แสดงค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของออกซิเจน (O1s) ในสภาวะต่างๆ

สภาวะ	ค่าพลังงานยึดเหนี่ยว (eV)	เอกสารอ้างอิง
Fe ₃ O ₄	530.17	23
Fe ₂ O ₃	529.98	23
	530.1	24
FeO	529.8	24,25
FeOOH (M-O)	530.2	23
	530.1	24
FeOOH (M-OH)	531.2	24
Fe(OH) ₃	531.3	24
Cr ₂ O ₃	529.98	23
Cr(OH) ₃	530.9	25
CrO ₃	530	23
NiO	529.5	1
Ni(OH) ₂	531.2	1
H ₂ O	533.1	1,15,24
O ²⁻ (M-O)	529-530	15
	530.1	26
OH ⁻ (M-OH)	531-532	15
	531.5	26

ตาราง ข.2 แสดงค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของโครเมียม (Cr2p3/2) ในสภาวะต่าง ๆ

ชนิด	ค่าพลังงานยึดเหนี่ยว (eV)	เอกสารอ้างอิง
Cr ₂ O ₃	576.52	23
	576.0	24
	576.6	1
CrO ₃	579.07	23
	578.9	24
	580.1	1
Cr(OH) ₃ .0.4H ₂ O	577.03	23
Cr(OH) ₃	577.3	24
CrOOH	577.0	24
CrO ₂ ⁺	576.1	23
Cr (met)	574.14	24
	574.3	1
	574.2	ผลงานชิ้นนี้

ตาราง ข.3 แสดงค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของเหล็ก (Fe2p3/2) ในสภาวะต่าง ๆ

สภาวะ	ค่าพลังงานยึดเหนี่ยว (eV)	เอกสารอ้างอิง
Fe ₃ O ₄	710.95	23
	710.8	24
Fe ₂ O ₃	710.97	23
	710.9	1,24
FeO	708.5	25
	709.6	1,24
Fe ²⁺ - Fe ³⁺ (M-O)	708.7	26
γ-FeOOH	711.6	23
α-FeOOH	711.3	24
	711.44	23
FeOOH	711.8	24
	711.25	23
Fe ³⁺ (M-OH)	710.6	26
Fe(met)	706.82	23
	706.9	24
	706.74	25
	707	26
	706.9	ผลงานชิ้นนี้

ตาราง ข.4 แสดงค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของของนิกเกิล ($Ni_{2p_{3/2}}$) ในสภาวะต่าง ๆ

สภาวะ	ค่าพลังงานยึดเหนี่ยว (eV)	เอกสารอ้างอิง
Ni_2O_3	856.0	1,24
NiO	853.5	24
$Ni^{2+}(M-O)$	854.4	1
$Ni(OH)_2$	854	26
$Ni^{2+}(M-OH)$	856.0	24
	855.9	1
	856.5	26
Ni (met)	852.9	24
	852.7	1,24
	852.8	26
	853.1	ผลงานชิ้นนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 การคำนวณหาความหนาของชั้นฟิล์มบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XPS 1 ครั้ง ความลึกที่วิเคราะห์ได้มีค่าประมาณ 16 \AA° ⁽¹³⁾ ถ้าทราบระยะที่ผิวเหล็กกล้าไร้สนิมถูกลอกออกไปเมื่อเทียบกับระยะพื้นผิวเดิม จะสามารถคำนวณความหนาของชั้นฟิล์มที่วิเคราะห์ขณะนั้นได้ กล่าวคือ

$$\text{ความหนา} = \text{ความลึกฟิล์มที่ถูกลอก} + \text{ความลึกที่วิเคราะห์ได้} \times 1 \text{ ครั้ง}$$

การหาระยะหรือความลึกที่ฟิล์มถูกลอกออกไป จะคำนวณจากอัตราการลอกผิวดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก.2 ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการลอกผิวขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์ม ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอาร์กอนไอออน และกระแสการเร่งไอออน ในที่นี้กำหนดความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอาร์กอนไอออนคือ 500 โวลต์ และกระแสการเร่งไอออนเป็น 8.6 mA ดังนั้นอัตราการลอกผิวขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์ม ในความเป็นจริงแล้วฟิล์มที่ผิวเหล็กกล้าไร้สนิมจะประกอบด้วยออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ของ โครเมียม ของเหล็ก และ/หรือ ของนิกเกิล แล้วแต่ระยะความลึกจากพื้นผิวเดิม ดังนั้นแม้ว่าจะใช้ ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอาร์กอนไอออน และกระแสการเร่งไอออนเท่ากัน แต่อัตราการลอกผิวที่ความลึกต่าง ๆ จะไม่เท่ากัน การคำนวณความหนาของชั้นฟิล์มที่ถูกต้องจริง ๆ จึงกระทำได้ยาก เพื่อความง่ายในการคำนวณหาความหนาของชั้นฟิล์ม จึงสมมุติให้ชั้นฟิล์มนอกสุดเป็นออกไซด์ของ โครเมียม (Cr_2O_3) ทั้งหมด ดังรูป ข.1 ความหนาของชั้นฟิล์มนี้สามารถหาได้จากการพิจารณาพีคของเหล็กและนิกเกิล ซึ่งปรากฏลอกผิวนาน 5 วินาที (ประมาณ 1.5 \AA°) แสดงว่าเหล็ก และนิกเกิล อยู่ลึกลงไปเป็นระยะเท่ากับความลึกของการวิเคราะห์บวกกับระยะผิวที่ถูกลอก กล่าวคือ $1.5 + 16$ หรือประมาณ 18 \AA° ซึ่งเทียบเท่ากับความลึกที่ใช้เวลาลอกผิว 60 วินาที เพราะอัตราการลอกผิวของ Cr_2O_3 เท่ากับ $18 \text{ \AA}^{\circ}/\text{นาที่}$ (ภาคผนวก ก.2)

ที่ผิวชั้นในสุด (ระยะจากผิวดั้งแต่ 18 \AA°) จนกระทั่งถึงเนื้อโลหะ องค์ประกอบของชั้นฟิล์มคือ Cr_2O_3 รวมอยู่กับ เหล็กและนิกเกิลในสภาวะโลหะ มีอัตราการลอกผิวเท่ากับ $8 \text{ \AA}^{\circ}/\text{นาที่}$ (ภาคผนวก ก.2)

หากทำการลอกผิวเป็นเวลา t วินาที ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย XPS ครั้งต่อไป จะได้พีคของโครเมียมทั้งในรูปออกไซด์ (Cr_{ox}) และ โครเมียมในรูปของโลหะ (Cr_{met}) ดังรูป ข.3 เมื่อทำการแยกพีค (Peak seperation) จะหาสัดส่วนของ โครเมียมในรูปออกไซด์ และ โครเมียมในรูปของโลหะได้ ความหนาของออกไซด์ (T) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$T = 18 + (t - 60) \times 8 + (\text{Cr}_{\text{ox}}/\text{Cr}_{\text{tot}}) \times E \quad \text{\AA}^{\circ}$$

เมื่อ T คือ ความหนาของออกไซด์ฟิล์ม

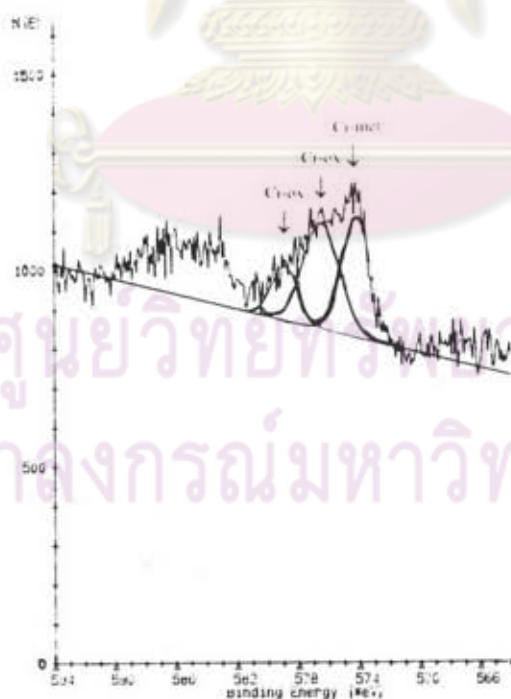
t คือ เวลาของการลอกผิวจนถึงชั้นที่ได้พีค ซึ่งจะนำมาแยกพีค

$\text{Cr}_{\text{ox}}/\text{Cr}_{\text{tot}}$ คือ สัดส่วนของโครเมียมในรูปออกไซด์ ต่อ โครเมียมทั้งหมดของพีค ซึ่งได้จากการวิเคราะห์หลังจากลอกผิวเป็นเวลา t

E คือ ความลึกของการวิเคราะห์ มีค่าประมาณ 16 \AA°



รูป ข.1 แสดงชั้นฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L



รูป ข.2 แสดงพีคของโครเมียมที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L หลังผ่าน
การลอกผิวเป็นเวลา t

ข.3 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

คำนวณหาความเข้มข้นของแต่ละธาตุโดยใช้พื้นที่ใต้พีค (ใช้ช่วงพลังงานยึดเหนี่ยวตามตาราง ข.5) เป็นดัชนีในการบอกปริมาณของแต่ละธาตุ และจากการเทียบค่าความเข้มข้นของพีคสามารถใช้ค่าความเข้มข้นของพีคที่หาได้จากเนื้อโลหะเทียบแนวน้ำมันปริมาณของแต่ละธาตุ จากเอกสารบางฉบับ⁽¹⁾⁽²⁴⁾ อ้างว่าปริมาณของธาตุจะเป็นสัดส่วนกับค่าความเข้มข้นของพีคนี้ อย่างไรก็ตามยังมีความผิดพลาดของการคำนวณที่สูง (ประมาณร้อยละ 30) และเนื่องจากการรายงานผลเป็นร้อยละขององค์ประกอบให้ความหมายการวิเคราะห์เชิงปริมาณผิดพลาดได้ เช่น สมมติว่าความเข้มข้นของธาตุ A และ ธาตุ B เป็น 5,000 เมื่อมีสภาวะที่เปลี่ยนไปได้ความเข้มข้นของธาตุ A และ B เป็น 4,000 ซึ่งแสดงว่าองค์ประกอบของชิ้นฟิล์มเปลี่ยนไปโดยมีปริมาณทั้ง A และ B ลดลง แต่การรายงานผลโดยใช้ร้อยละขององค์ประกอบจะได้ธาตุ A และ B ร้อยละ 50 เท่าเดิม ดังนั้นในที่นี้จึงรายงานผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นค่าความเข้มข้นของพีค

ตาราง ข.5 แสดงช่วงพลังงานยึดเหนี่ยวที่ใช้ในการคำนวณหาพื้นที่ใต้พีค

ธาตุ	ช่วงพลังงานยึดเหนี่ยว (eV)
นิกเกิล	850-860
เหล็ก	704-718
โครเมียม	571-582
ออกซิเจน	527-536

จากการทดลองหาค่าความเข้มข้นของพีค นิกเกิล เหล็ก และโครเมียม ที่เนื้อของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ที่ใช้ในการทดลองได้ค่าความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นของพีค นิกเกิล} = 6861$$

$$\text{ความเข้มข้นของพีค เหล็ก} = 37230$$

$$\text{ความเข้มข้นของพีค โครเมียม} = 5661$$

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์ชั้นฟิล์มด้วยเครื่อง XPS

ตาราง ก.1 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการจุ่มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 1)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ ฟิสิกัล	ความเข้มของ ฟิสิกัล	ความเข้มของ ฟิสิกัลโครเมียม	ความเข้มของ ฟิสิกัลออกซิเจน
0	1368	3789	6452	12496
5	3660	11795	13250	14518
10	3249	13389	11856	13802
20	3483	14799	11894	13141
40	6417	15716	11057	12648
60	7794	16855	15431	9896
90	5115	20640	9868	8361
120	8098	25483	7237	5019
600	7271	38719	5743	1097

ตาราง ก.2 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับสารละลาย HCl เข้มข้น 0.01 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 2)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ ฟิสิกัล	ความเข้มของ ฟิสิกัล	ความเข้มของ ฟิสิกัลโครเมียม	ความเข้มของ ฟิสิกัลออกซิเจน
0	2260	5274	9923	13296
5	2989	10254	13346	13420
10	2455	11188	14078	12668
20	3132	13224	12743	11770
40	4259	21284	12149	10739
60	6385	21769	9512	8299
90	7375	34300	6962	4642
120	10027	36160	7371	2010

ตาราง ก.3 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl เข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 3)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกเกิด	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	2228	4702	8649	16061
5	2291	9494	12328	15372
10	2201	4674	13632	13982
20	3712	7890	12724	13623
90	5739	28712	6910	4023
120	6280	28069	7057	3702
150	8254	30926	5219	2406
180	5730	30293	6980	2495

ตาราง ก.4 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl เข้มข้น 0.4 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 4)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกเกิด	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	4283	5526	2364	15373
5	3305	8492	3351	13857
10	4906	11956	4300	13564
20	3405	14526	4352	12848
90	4623	26814	3882	4633
120	5946	26317	4550	4150
150	8590	25211	5324	2606

ตาราง ก.5 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชิ้นที่ 5)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกเกิล	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	3242	3776	2328	15345
5	4151	6966	2859	13374
10	3651	6708	5021	13993
20	3499	8007	3895	11382
90	5035	16426	3530	7549
120	4650	19489	2337	5586
150	5227	25030	3491	3918
180	5771	21023	3605	3365

ตาราง ก.6 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl เข้มข้น 4 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชิ้นที่ 6)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกเกิล	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	2484	4833	1449	12836
5	2538	8324	1523	12065
10	2902	9894	2330	11189
20	3731	11019	2255	10530
90	5069	16267	1825	5865
120	5671	14716	4227	5042
150	3607	15575	3652	4740
180	5000	16674	2338	4282

ตาราง ก.7 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl เข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชิ้นที่ 7)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกเกิด	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	1004	3306	8473	13909
5	2723	4757	12895	13715
10	2492	6776	11495	12643
20	3678	8256	13052	11146
90	5488	17207	8356	4306

ตาราง ก.8 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชิ้นที่ 8)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกเกิด	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	3679	2871	1758	15000
5	4811	6242	2606	8666
10	6715	5173	3876	12392
20	6948	4700	3300	11195
90	6188	11074	3496	7147
120	7531	13077	3467	5158
180	6511	20105	5196	5919

ตาราง ก.9 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl เข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 9)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกเกิด	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	2056	2903	5315	13819
5	3145	4233	9181	15173
10	2373	4192	11165	15354
20	2545	5759	10226	14320
40	2311	8511	13930	11784
60	5351	10493	10284	10477
90	4479	16726	9327	8553
120	4736	20497	6872	4908

ตาราง ก.10 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 10)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกเกิด	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	1480	3091	650	10379
5	1962	6140	1484	9984
10	1174	5753	1756	7295
20	2973	6157	1731	7871
90	2604	9478	1051	4793
120	3961	10209	3578	4285
180	3503	13122	3607	2680
240	3925	13876	3519	3133

ตาราง ค.11 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย NaCl เข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 11)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ ฟิสิกัลเกิด	ความเข้มของ ฟิสิกัลเหล็ก	ความเข้มของ ฟิสิกัลโครเมียม	ความเข้มของ ฟิสิกัลออกซิเจน
0	1510	7789	6712	15390
5	2463	12081	8903	12922
10	3660	15075	9788	14098
20	1540	14632	9334	13087
90	5594	28944	6314	2940

ตาราง ค.12 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย NaCl เข้มข้น 0.4 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 12)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ ฟิสิกัลเกิด	ความเข้มของ ฟิสิกัลเหล็ก	ความเข้มของ ฟิสิกัลโครเมียม	ความเข้มของ ฟิสิกัลออกซิเจน
0	639	5838	6725	15335
5	2277	12739	11371	14096
10	1845	16332	12594	13477
20	2652	19053	13487	12171
40	6666	24732	11173	9048
60	5680	28428	8643	3715
90	8249	39308	7493	2707
120	6946	34682	7152	4336
180	8020	36302	5757	4098
210	9448	43494	7751	2737

ตาราง ก.13 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย NaCl เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 13)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกเมนต์เกิด	ความเข้มของ พิกเมนต์เหล็ก	ความเข้มของ พิกเมนต์โครเมียม	ความเข้มของ พิกเมนต์ออกซิเจน
0	1034	5214	6098	13825
5	3306	13399	10148	12703
10	2299	12934	12424	10304
20	4021	14174	11700	10680
90	5581	33262	6950	678
120	6157	30477	5842	679
150	4368	32691	5259	913

ตาราง ก.14 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย NaCl เข้มข้น 4 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 14)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกเมนต์เกิด	ความเข้มของ พิกเมนต์เหล็ก	ความเข้มของ พิกเมนต์โครเมียม	ความเข้มของ พิกเมนต์ออกซิเจน
0	1438	7272	6013	15839
5	2431	14302	7226	12639
10	2659	16029	7962	12860
20	2436	15034	10802	13382
40	4021	21263	11118	13122
60	5811	22855	10893	8749
90	6084	28467	8612	5484
120	7929	36545	7461	4110
150	6158	36014	6576	2435
180	8390	38600	6222	1109

ตาราง ค.15 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย NaCl เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 15)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกเกิล	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	2751	3995	5712	15137
5	2569	13500	8805	14838
10	2045	14244	10263	12984
20	1727	13360	10778	12908
90	9411	24894	8414	4943
120	5307	28747	6207	4142

ตาราง ค.16 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย NaCl เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 16)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกเกิล	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	2269	4527	4557	18023
5	2054	11318	9384	17908
10	1310	10639	9542	17275
20	1713	13510	8971	15740
90	4335	19099	9975	11285
120	4666	24208	6305	6945

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.17 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl 0.1 โมล ผสม NaCl 0.4 โมล ในสารละลาย 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชิ้นที่ 17)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของฟลักไซด์	ความเข้มของฟลักไซด์	ความเข้มของฟลักไซด์	ความเข้มของฟลักไซด์
0	1410	3339	5578	16199
5	4534	8510	8970	14093
10	2177	6842	10037	15196
20	1474	11664	12209	12760
90	5825	31830	7611	2581
120	6505	36901	7422	1241

ตาราง ค.18 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl 0.01 โมล ผสม NaCl 1 โมล ในสารละลาย 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชิ้นที่ 18)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของฟลักไซด์	ความเข้มของฟลักไซด์	ความเข้มของฟลักไซด์	ความเข้มของฟลักไซด์
0	1199	840	6498	13681
5	3781	9097	11263	13721
20	3600	7503	11940	12407
90	5838	14811	9796	5965
120	7728	23448	8006	2936
150	5411	27924	7926	3081

ตาราง ก.19 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl 0.1 โมลผสม NaCl 0.9 โมลในสารละลาย 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชิ้นที่ 19)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกกิต	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	1905	3547	3009	16515
5	2178	8858	4282	14853
10	1589	10210	4602	14760
20	3251	12035	7109	13424
90	4993	23323	7213	6204
120	5543	24573	5285	4688
150	11407	25540	4766	3764
180	5196	30615	6529	2968
210	5740	29191	6434	4437

ตาราง ก.20 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl 0.01 โมลผสม NaCl 4 โมลในสารละลาย 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชิ้นที่ 20)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พิกนิกกิต	ความเข้มของ พิกเหล็ก	ความเข้มของ พิกโครเมียม	ความเข้มของ พิกออกซิเจน
0	2383	5671	2954	13303
5	3463	9875	4354	12924
10	3091	8781	5523	12209
20	4216	10894	4081	10276
90	5013	19734	3800	7449
120	4548	19795	5445	4531
150	6809	24547	4433	3313

ตาราง ก.21 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl 0.1 โมล ผสม NaCl 4 โมล ในสารละลาย 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชิ้นที่ 21)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พีคินิกเกิล	ความเข้มของ พีคเหล็ก	ความเข้มของ พีคโครเมียม	ความเข้มของ พีคออกซิเจน
0	2615	4140	1790	13680
5	4859	7890	1790	12862
10	5253	6034	3392	12075
20	7352	9265	3643	10689
90	9854	14022	3323	7718

ตาราง ก.22 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl 1 โมล ผสม NaCl 4 โมล ในสารละลาย 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชิ้นที่ 22)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ พีคินิกเกิล	ความเข้มของ พีคเหล็ก	ความเข้มของ พีคโครเมียม	ความเข้มของ พีคออกซิเจน
0	2442	3994	1703	12297
5	3363	9024	2713	11544
10	3982	11484	2121	11108
20	2677	10967	2853	10994
90	5984	19704	3279	3383
120	3701	23368	3271	2488
150	4143	19727	3751	2868
180	5111	25526	4073	1614

ตาราง ค.23 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl 0.1 โมล ผสม NaCl 0.9 โมล ในสารละลาย 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 23)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ ฟิสิกนิกเกิล	ความเข้มของ ฟิสิกเหล็ก	ความเข้มของ ฟิสิกโครเมียม	ความเข้มของ ฟิสิกออกซิเจน
0	2143	5425	3248	13604
5	3884	7078	4316	11122
10	4953	7899	5751	11432
20	5577	7625	6841	9855
90	3843	18662	6278	6142
120	3671	22194	3999	3512

ตาราง ค.24 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L ซึ่งผ่านการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย HCl 0.1 โมล ผสม NaCl 0.9 โมล ในสารละลาย 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง (ตัวอย่างชั้นที่ 24)

เวลาของการลอกผิว (วินาที)	ความเข้มของ ฟิสิกนิกเกิล	ความเข้มของ ฟิสิกเหล็ก	ความเข้มของ ฟิสิกโครเมียม	ความเข้มของ ฟิสิกออกซิเจน
0	1503	1672	2563	11319
5	3744	4990	3061	10916
10	5046	4016	2288	10446
20	4268	5083	4008	8646
90	5639	11129	4457	5573
120	4877	13615	2268	4061

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายจรัส ทรัพย์เสรี	
วันเกิด	11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2511 จังหวัด กรุงเทพมหานคร	
ที่อยู่	757/81 แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร โทร. 4246029	
ประวัติการศึกษา	1. ประถม 1 - 6 โรงเรียนพิมลวิทย์	พ.ศ. 2517 - 2523
	2. มัธยม 1 - 6 โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย	พ.ศ. 2523 - 2529
	3. วศบ. (โลหการ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ. 2529 - 2533
ประวัติการทำงาน	1. บ. ซีโนทักเอนจิเนียริงแอนด์คอนสตรัคชั่น จำกัด	พ.ศ. 2533 - 2534
	2. บ. การบินไทย จำกัด	พ.ศ. 2534 - 2537
	3. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ. 2537 - 2540



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย