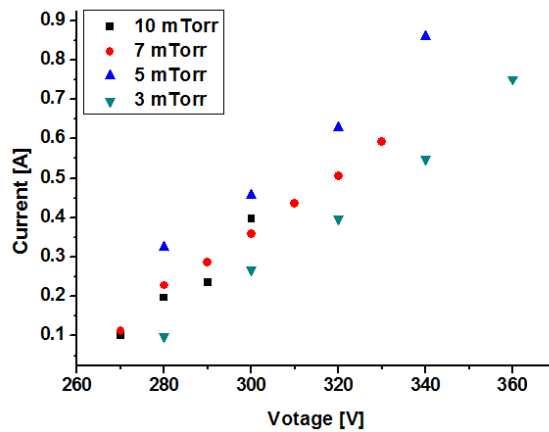


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

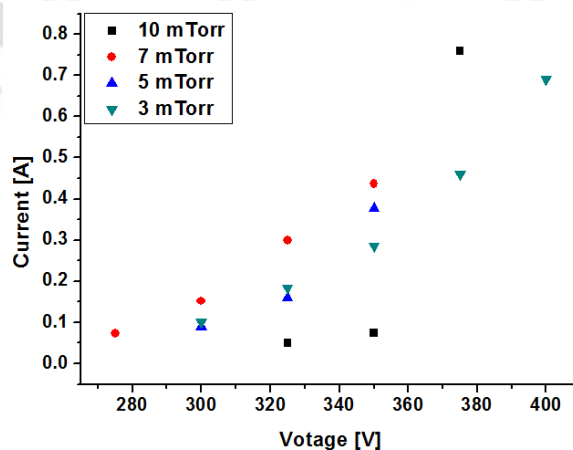
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้า (I-V characteristics)

- สปีดเตอร์เป่าไทเทเนียมในพลาสมาก๊าซอาร์กอนโดยใช้โหมด DC



ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่โหมด DC ที่ความดันต่างๆ

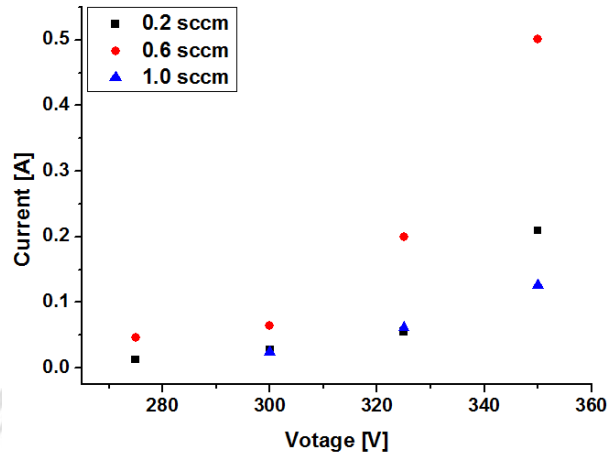
- สปีดเตอร์เป่าไทเทเนียมในพลาสมาก๊าซอาร์กอนโดยใช้โหมด Asymmetric bi-polar



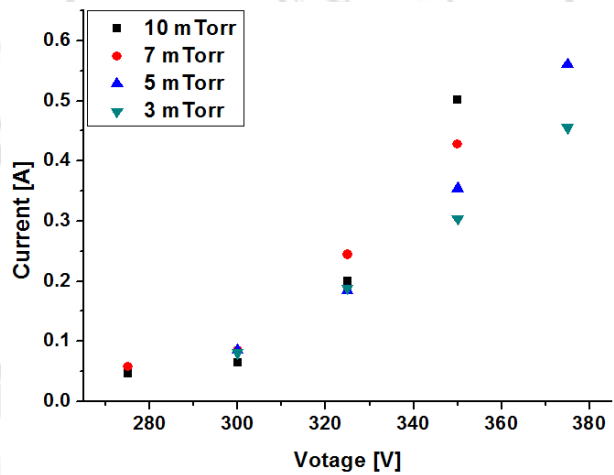
ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่โหมด Asymmetric bi-polar ที่ความดันต่างๆ

- สปีดเตอร์เป่าโทเทเนียมในพลาสมาก๊าซผสมระหว่างอาร์กอนและไนโตรเจนโดยใช้โหมด

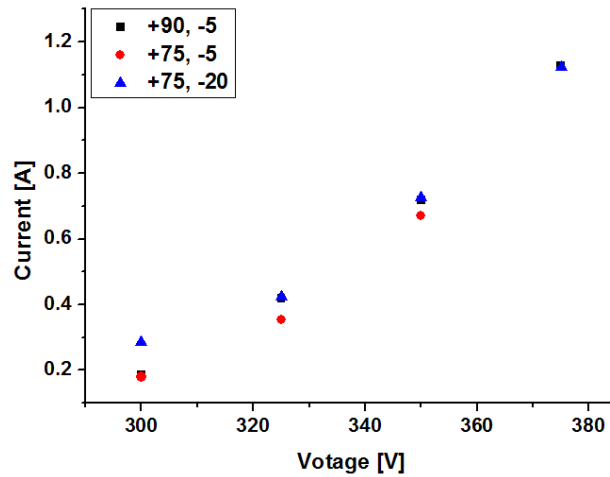
Asymmetric bi-polar



ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่โหมด Asymmetric bi-polar ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ



ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่โหมด Asymmetric bi-polar ที่ความดันต่างๆ



ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่โหมด Asymmetric bi-polar ที่ duty cycle ต่างๆ

เมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าของการดำเนินงานใน โหมด DC และ Asymmetric bi-polar พบว่ากราฟความสัมพันธ์ที่ได้นี้มีลักษณะโค้งแบบเอกซ์โพเนนเชียล โดยเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าจะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ S.R. Rossnagel และ H.R. Kaufman ในปี 1987 [34] และผลการทดลองของ D.C. Carter ในปี 2007 ที่บอกว่าความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าสำหรับระบบแมกนีตรอนสปีดเตอร์นั้นสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ $I = kV^n$ เมื่อ k คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นกับชนิดของก๊าซ ความดัน สนามแม่เหล็ก และพารามิเตอร์อื่นๆ ของระบบ ส่วน n คือ ค่าดัชนีสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (efficiency coefficient) ของแมกนีตรอน [33]

4.2 ค่าสนามแม่เหล็ก

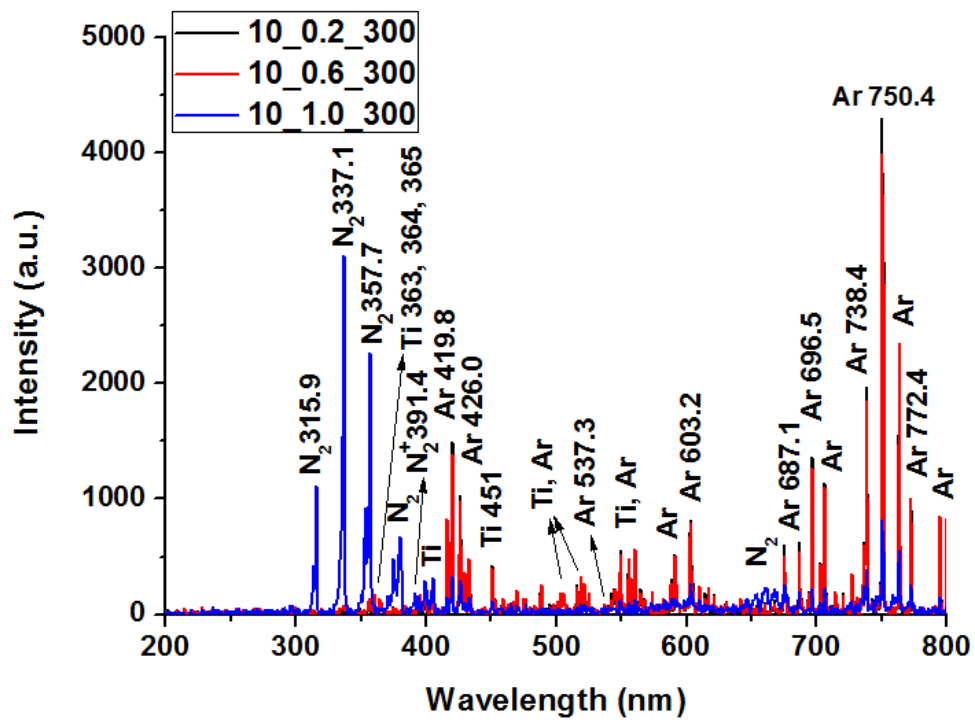
ผลของการวัดค่าสนามแม่เหล็กจากเตสตามิเตอร์ พบว่าสนามแม่เหล็กมีค่าสูงสุดคือ 16.17 มิลลิเทสลา บริเวณขั้ว และมีค่าต่ำสุดคือ 4.47 มิลลิเทสลา บริเวณที่เป่าสารเคลือบถูกสปีดเตอร์ออกมาที่สุดหรือเรียกว่าบริเวณ racetrack area ซึ่งก็คือบริเวณที่เป่าสารเคลือบเป็นร่องลึกลงไปดังภาพที่ 4.6 นั่นเอง



ภาพที่ 4.6 แสดง racetrack area ที่เป้าสารเคลือบ

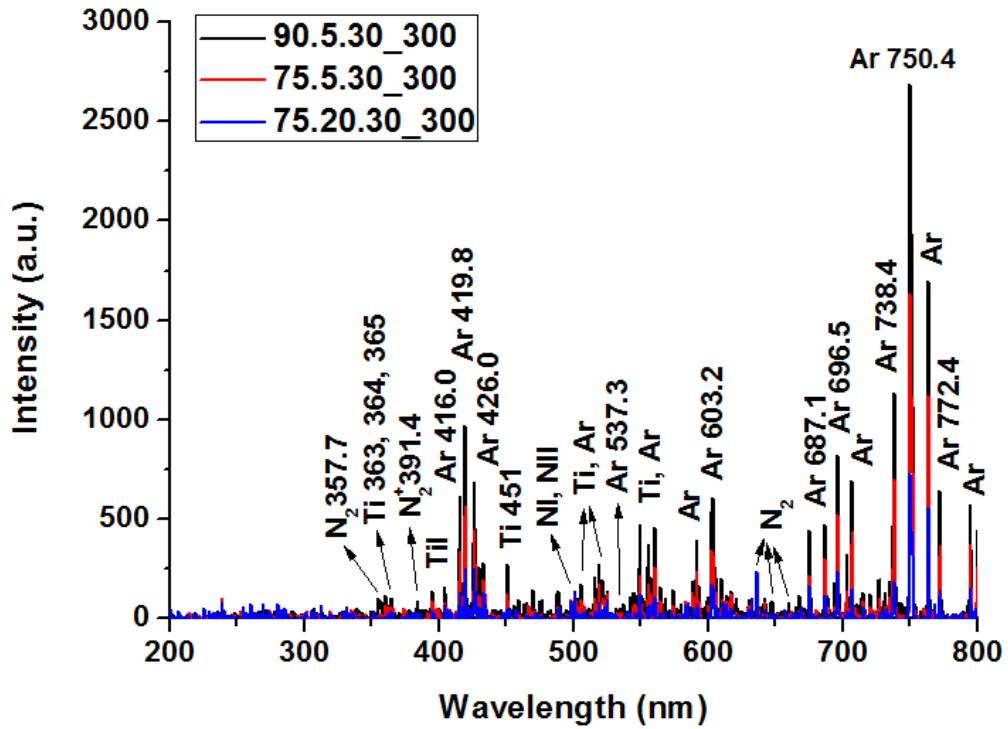
4.3 หาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์และฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์

- สำหรับฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์
 - ความเข้มของธาตุต่างๆที่พบในพลาสมาที่ปริมาณการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่างๆ



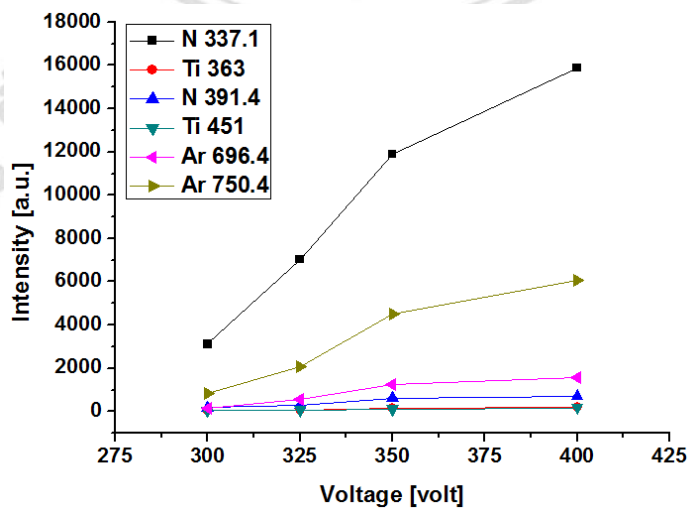
ภาพที่ 4.7 แสดงความเข้มของธาตุต่างๆที่พบในพลาสมาที่ปริมาณการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่างๆ

- ความเข้มของธาตุต่างๆที่พบในพลาสมาที่ duty cycle ต่างๆ



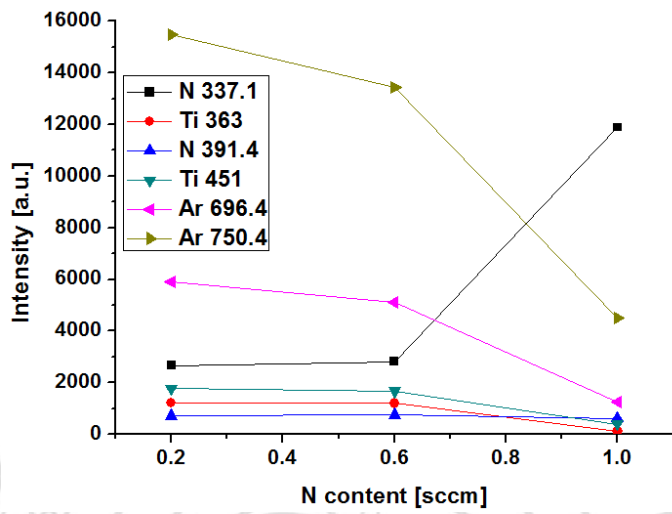
ภาพที่ 4.8 แสดงความเข้มของธาตุต่างๆที่พบในพลาสมาที่ duty cycle ต่างๆ

- เปรียบเทียบความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน และอาร์กอนในพลาสมา ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ



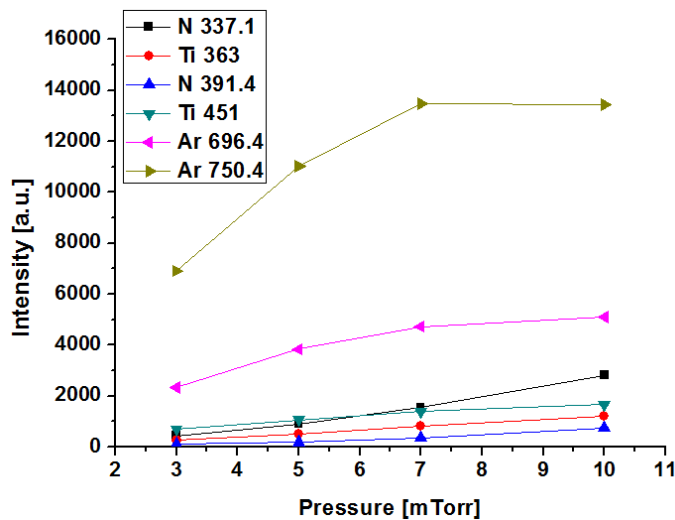
ภาพที่ 4.9 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน และอาร์กอนในพลาสมา ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ

- เปรียบเทียบความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน และอาร์กอนในพลาสมา ที่ปริมาณการไหลของไนโตรเจนต่างๆ



ภาพที่ 4.10 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน และอาร์กอนในพลาสมา ที่ปริมาณการไหลของไนโตรเจนต่างๆ

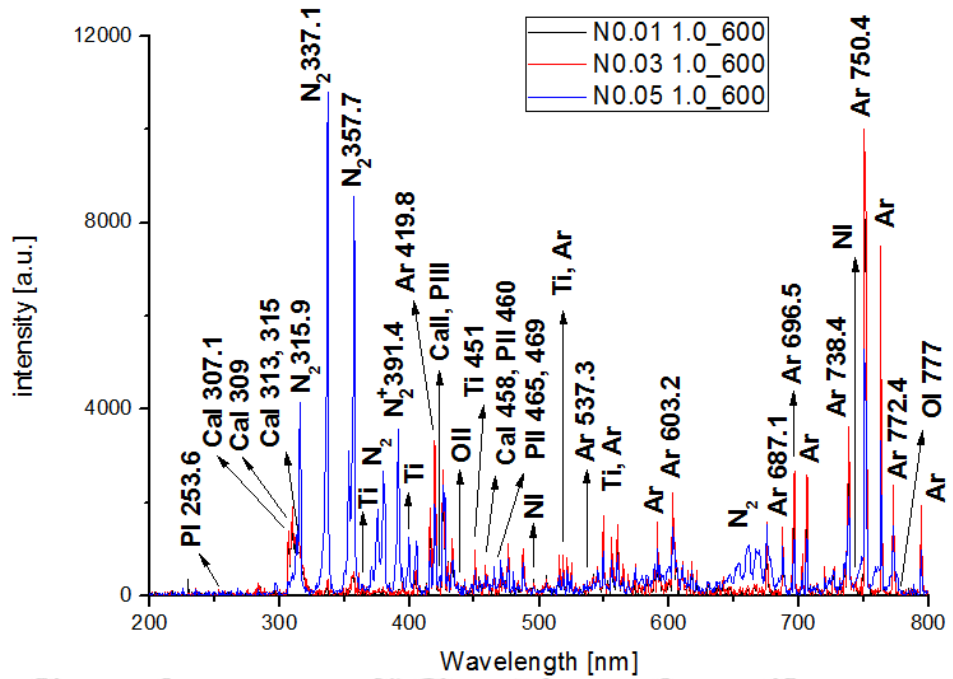
- เปรียบเทียบความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน และอาร์กอนในพลาสมา ที่ความดันต่างๆ



ภาพที่ 4.11 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน และอาร์กอนในพลาสมา ที่ความดันต่างๆ

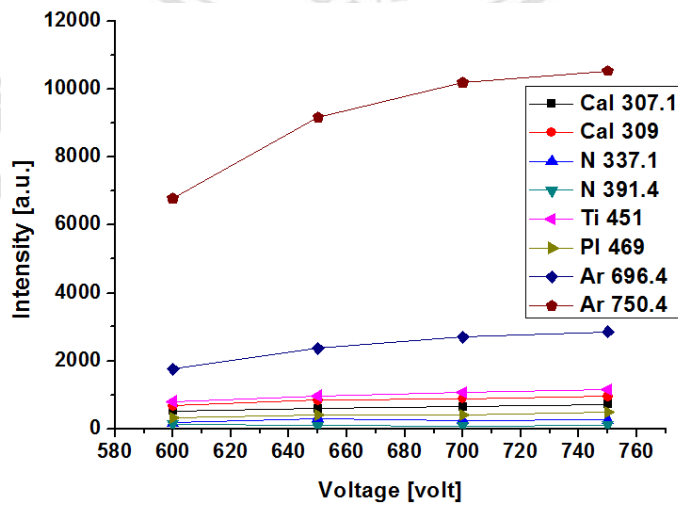
- สำหรับฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์

- ความเข้มของธาตุต่างๆที่พบในพลาสมาที่ปริมาณการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่างๆ



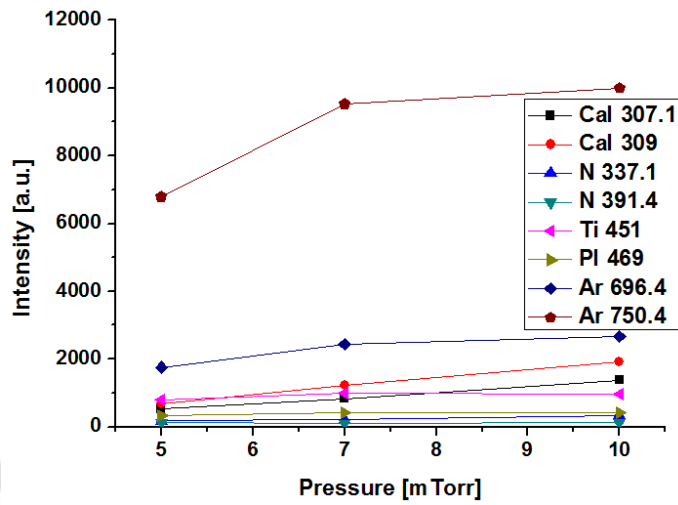
ภาพที่ 4.12 แสดงความเข้มของธาตุต่างๆที่พบในพลาสมาที่ปริมาณการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่างๆ

- เปรียบเทียบความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน อาร์กอน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในพลาสมา ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ



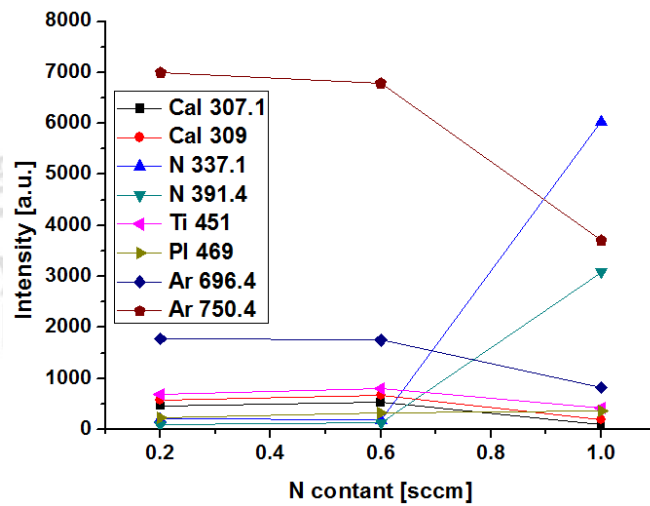
ภาพที่ 4.13 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน อาร์กอน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในพลาสมา ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ

- เปรียบเทียบความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน อาร์กอน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในพลาสมา ที่ความดันต่างๆ



ภาพที่ 4.14 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน อาร์กอน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในพลาสมา ที่ความดันต่างๆ

- เปรียบเทียบความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน อาร์กอน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในพลาสมา ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ



ภาพที่ 4.15 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน อาร์กอน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในพลาสมา ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมของ Ar-N₂-Ti และ Ar-N₂-Ti-HA ในช่วงความยาวคลื่น 200 – 800 นาโนเมตร โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจาก NIST Atomic Spectra Database [30] พบว่าจากภาพที่ 4.7, 4.10, 4.12 และ 4.15 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจน (0.2 และ 0.6 sccm) ความเข้มของทุกธาตุองค์ประกอบในพลาสมาจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนเป็น 1 sccm ความเข้มของ N (742.3 และ 746.8 nm), N₂⁺ (391.4 nm) และ N₂ (315.9, 337.1 และ 357.7 nm) จะเพิ่มขึ้น แต่ความเข้มของ Ar และบางธาตุองค์ประกอบจะลดลง ซึ่ง N₂⁺, N₂, N, Ti, Ca, P และ Ar เป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับกระบวนการเติบโตของฟิล์ม [2] เนื่องจาก reactive gas เป็นก๊าซประเภทที่จะทำปฏิกิริยาเคมีกับวัสดุที่มาสัมผัส ซึ่งก๊าซไนโตรเจนจะกลายเป็น reactive gas เมื่ออยู่ในกระบวนการดิสชาร์จพลาสมา เนื่องจากมีการชนกับอนุภาคที่มีพลังงานแล้วแยกเป็นองค์ประกอบของ N และ N₂⁺ [31] ดังนั้นการเพิ่ม reactive gas ในบางครั้งจึงถูกใช้เพื่อเพิ่มกระบวนการตกสะสมหลัก

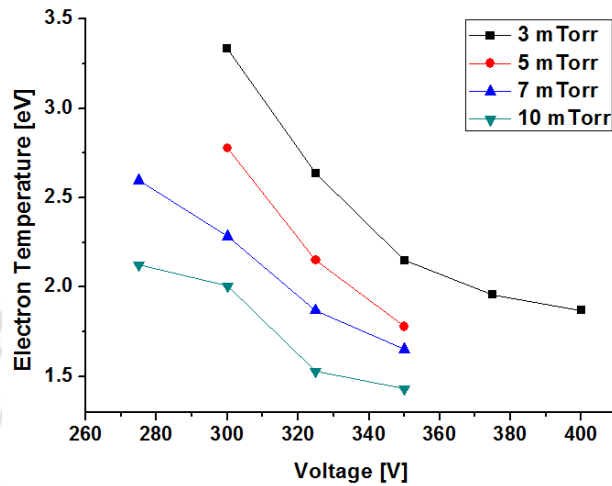
จากรูป 4.9 และ 4.13 พบว่าเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการดิสชาร์จพลาสมา แล้วความเข้มของทุกธาตุองค์ประกอบพลาสมาจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยด้วย ยกเว้น Ar เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าเป็นการเพิ่มพลังงานของอนุภาคเพื่อที่จะไปกระตุ้นธาตุองค์ประกอบอื่นๆในระบบพลาสมา

จากภาพที่ 4.11 และ 4.14 จากการศึกษาของ S.M. Borah (2008) พบว่ารูปแบบของฟิล์มไทเทเนียมไนไตรด์ขึ้นอยู่กับจำนวนของอะตอมของไทเทเนียมที่ถูกสปีดเตอร์จากเป้าสารเคลือบซึ่งทำปฏิกิริยากับอะตอมของไนโตรเจน และเมื่อเพิ่มก๊าซไนโตรเจนในก๊าซผสมจะส่งผลให้อัตราการตกสะสมเพิ่มขึ้น [33]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

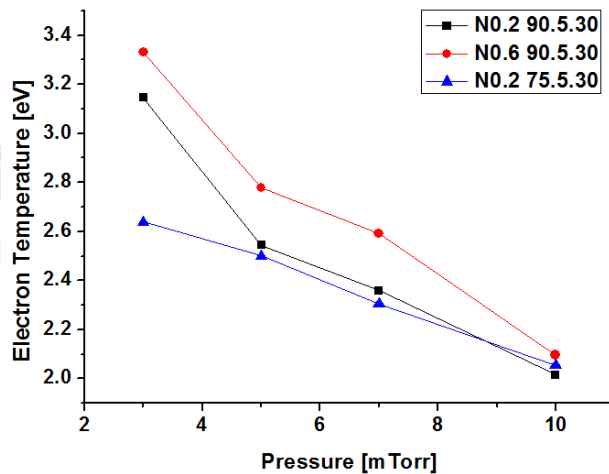
4.4 หาอุณหภูมิอิเล็กตรอน

- เงื่อนไขสำหรับฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์
 - เปรียบเทียบอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ความดันต่างๆ



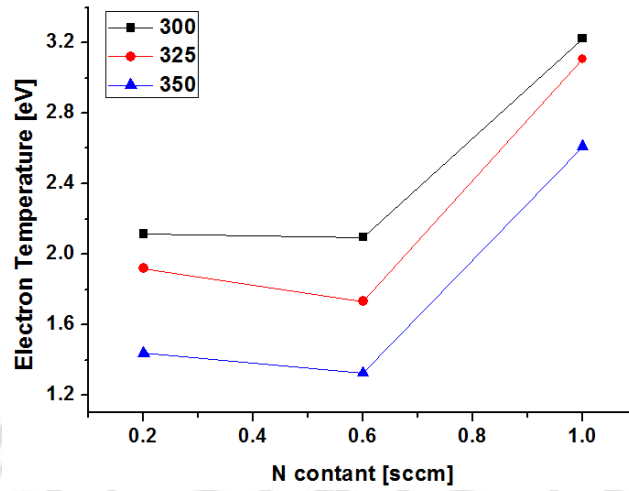
ภาพที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ความดันต่างๆ

- เปรียบเทียบอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ duty cycle ต่างๆ ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ และที่ความดันต่างๆ



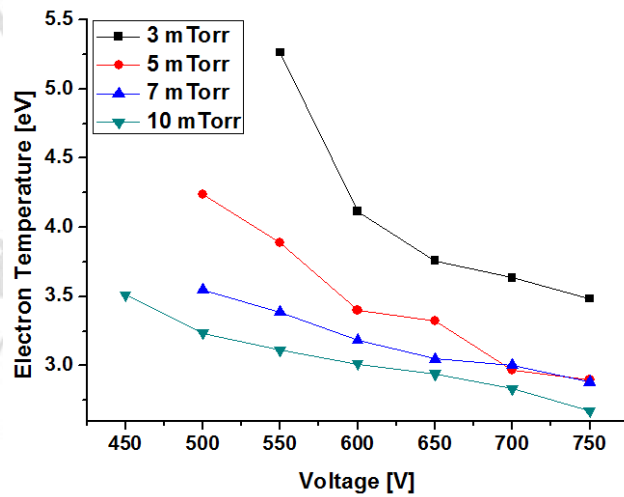
ภาพที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ duty cycle ต่างๆ ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ และที่ความดันต่างๆ

- เปรียบเทียบอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ



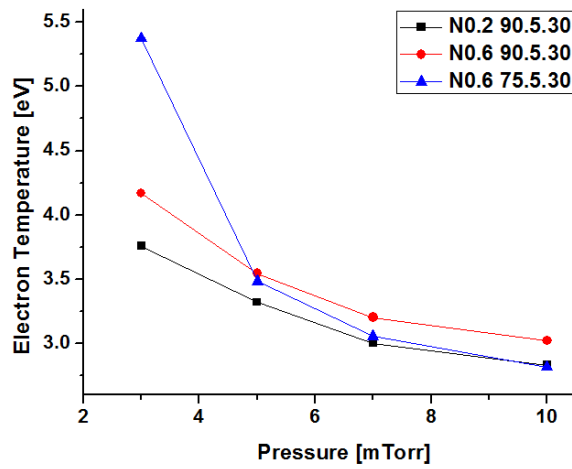
ภาพที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ

- เงื่อนไขสำหรับฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์
 - เปรียบเทียบอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ความดันต่างๆ



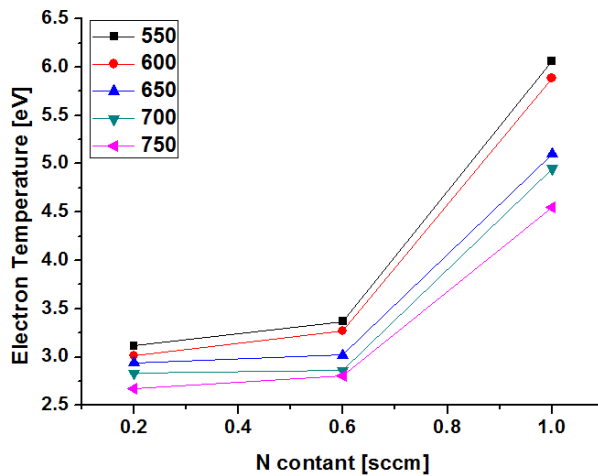
ภาพที่ 4.19 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ความดันต่างๆ

- เปรียบเทียบอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ duty cycle ต่างๆ ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ และที่ความดันต่างๆ



ภาพที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ duty cycle ต่างๆ ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ และที่ความดันต่างๆ

- เปรียบเทียบอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ



ภาพที่ 4.21 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ

จากภาพที่ 4.16 – 4.21 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอิเล็กตรอนจะลดลงเมื่อความดันและศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความดันหมายความว่าองค์ประกอบของพลาสมาหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ระยะทางเคลื่อนที่

อิสระเฉลี่ย (mean free path) ของอิเล็กตรอนลดลง ดังนั้นอุณหภูมิของอิเล็กตรอนจึงลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการไหลของก๊าซในโตรเจนที่ความดันเดียวกันและปริมาณก๊าซอาร์กอนเท่ากัน แล้วอุณหภูมิอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากก๊าซในโตรเจนจะทำปฏิกิริยาเคมีกับธาตุองค์ประกอบพลาสมาที่มาสัมผัสเพิ่มขึ้น

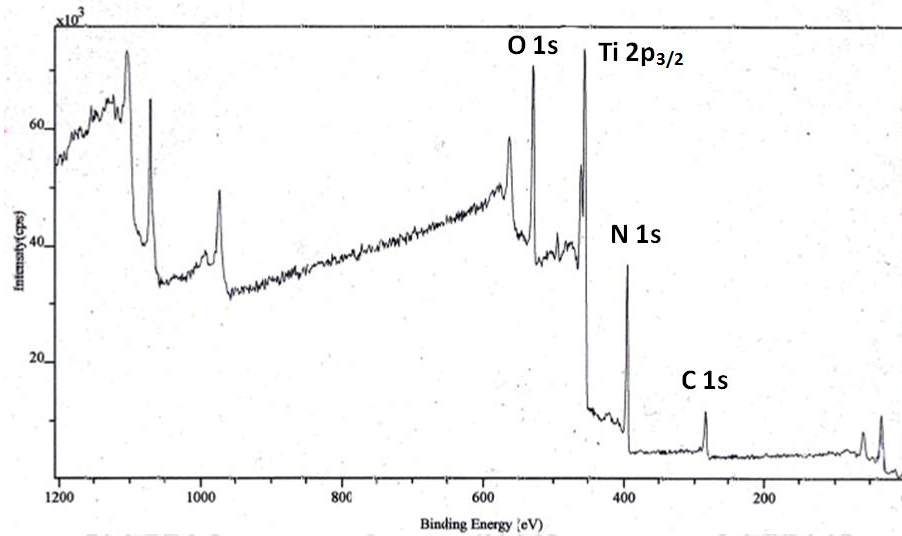
เมื่อพิจารณาผล OES ร่วมกับอุณหภูมิอิเล็กตรอน สำหรับไทเทเนียมในไตรด์พบว่า ที่อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจน 1 sccm จะให้อุณหภูมิอิเล็กตรอนสูงสุดทุกศักย์ไฟฟ้า ที่ duty cycle (-90, +5) ให้อุณหภูมิอิเล็กตรอนสูงสุดทุกความดัน และที่ความดัน 3 mTorr ให้อุณหภูมิอิเล็กตรอนสูงสุดทุกศักย์ไฟฟ้า แต่เมื่อพิจารณาจากผลของ OES แล้วกลับพบว่าที่ความดัน 10 mTorr จะให้ความเข้มของธาตุองค์ประกอบของพลาสมาสูงสุด ส่วนศักย์ไฟฟ้าที่ให้ความเข้มของธาตุองค์ประกอบของพลาสมาสูงสุดคือ 400 โวลต์ ต่อมาสำหรับไทเทเนียมในไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทด์พบว่า ที่อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจน 1 sccm จะให้อุณหภูมิอิเล็กตรอนสูงสุดทุกศักย์ไฟฟ้า ที่ duty cycle (-90, +5) ให้อุณหภูมิอิเล็กตรอนสูงสุดของความดันตั้งแต่ 5 ถึง 10 mTorr และที่ความดัน 3 mTorr ให้อุณหภูมิอิเล็กตรอนสูงสุดทุกศักย์ไฟฟ้า แต่เมื่อพิจารณาจากผลของ OES แล้วกลับพบว่าที่ความดัน 10 mTorr จะให้ความเข้มของธาตุองค์ประกอบของพลาสมาสูงสุด ส่วนศักย์ไฟฟ้าที่ให้ความเข้มของธาตุองค์ประกอบของพลาสมาสูงสุดคือ 700 โวลต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 ศึกษาสมบัติทางเคมีที่ระดับพื้นผิวของฟิล์ม ด้วยเทคนิค XPS

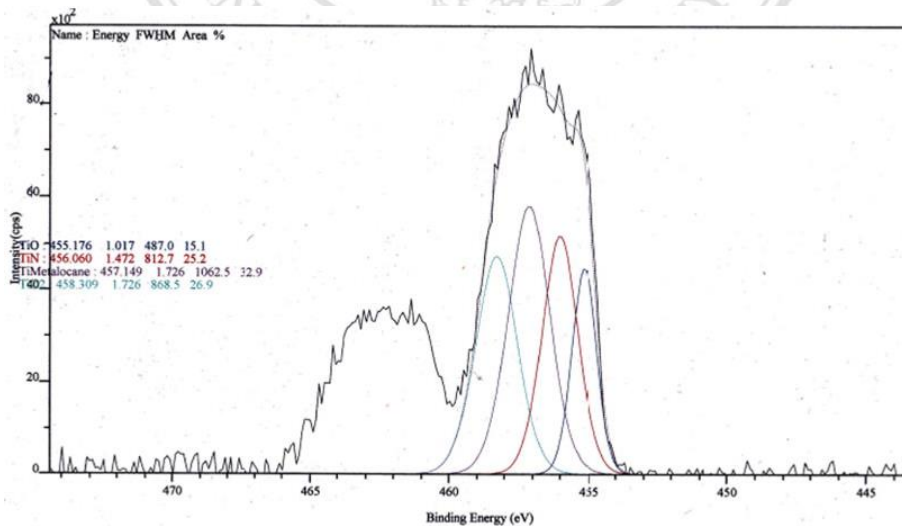
- ฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์

- XPS survey ฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนกระจกสไลด์



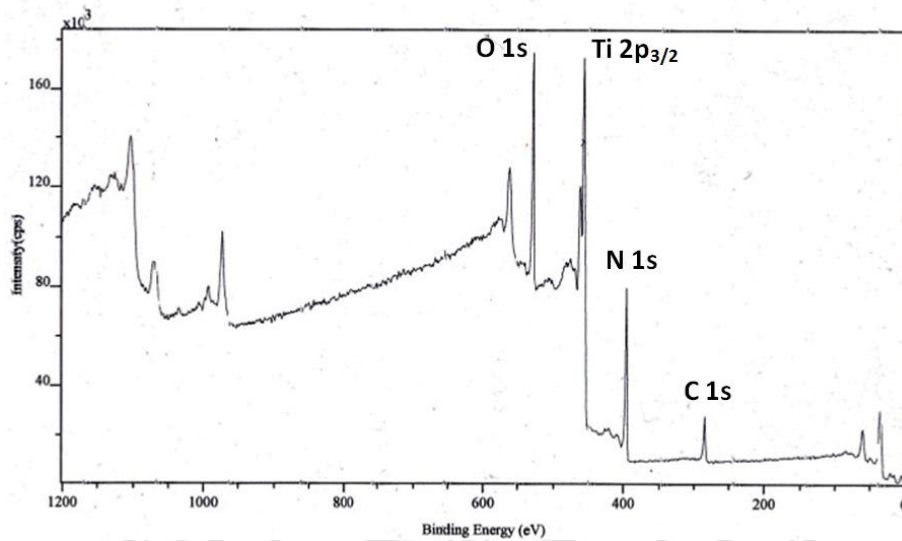
ภาพที่ 4.22 แสดง XPS survey ฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนกระจกสไลด์

- พันธะไทเทเนียมของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนกระจกสไลด์



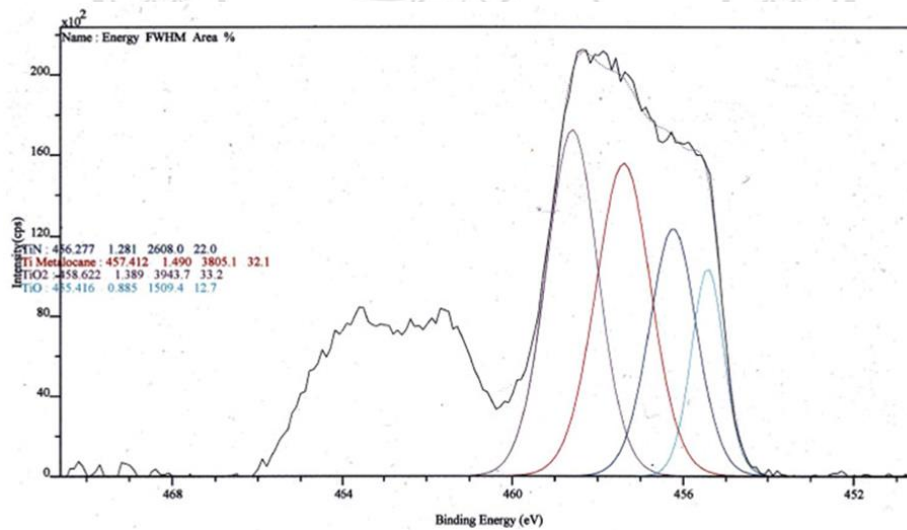
ภาพที่ 4.23 แสดงพันธะไทเทเนียมของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนกระจกสไลด์

- XPS survey फिल्मबगไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนซิลิกอนเวเฟอร์



ภาพที่ 4.24 แสดง XPS survey फिल्मबगไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนซิลิกอนเวเฟอร์

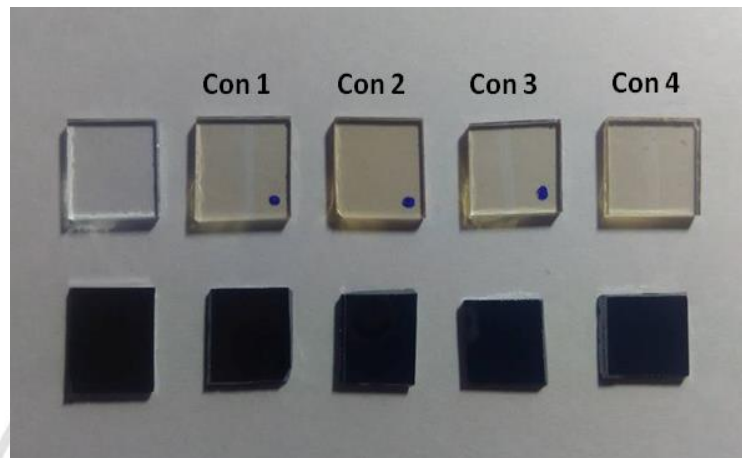
- พันธะไทเทเนียมของ फिल्मबगไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนซิลิกอนเวเฟอร์



ภาพที่ 4.25 แสดงพันธะไทเทเนียมของ फिल्मबगไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนซิลิกอนเวเฟอร์

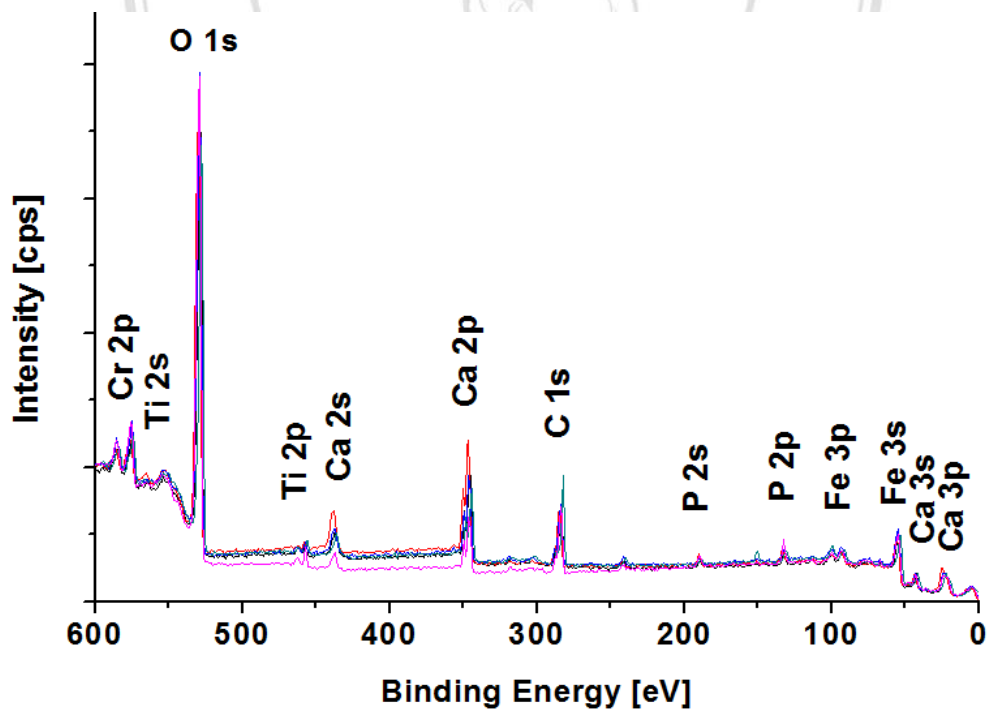
จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบพื้นผิวของ फिल्मबगไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ดังภาพที่ 4.22 และ 4.24 พบว่าพบว่ามีนอกจาก O 1s, N 1s และ Ti 2p ที่ต้องการแล้ว สเปกตรัมของ C 1s ก็ถูกตรวจวัดได้ด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาพันธะของไทเทเนียมโดยละเอียดดังภาพที่ 4.23 และ 4.25 จะพบว่าไทเทเนียมมีการสร้างพันธะกับไนโตรเจนเป็นไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) และยังมีการสร้างพันธะกับออกซิเจนเป็นไทเทเนียมออกไซด์ทั้ง TiO และ TiO₂ ด้วย

- फिल्मบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์
 - ตัวอย่างฟิล์มที่สังเคราะห์ได้



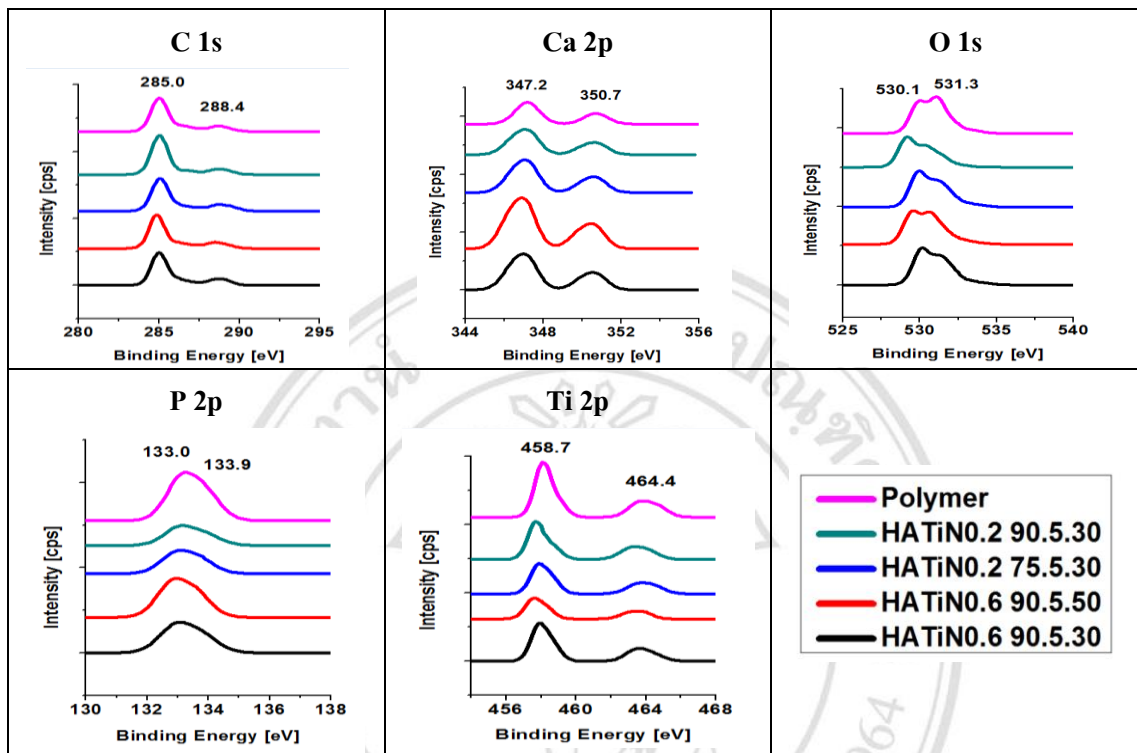
ภาพที่ 4.26 แสดงตัวอย่างฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้

- XPS survey



ภาพที่ 4.27 แสดงความเข้มของธาตุองค์ประกอบพื้นผิวที่พบบนผิวฟิล์ม

- เปรียบเทียบธาตุองค์ประกอบที่พบบนผิวฟิล์มที่เงื่อนไขต่างๆ
ตารางที่ 4.1 แสดงธาตุองค์ประกอบที่พบบนผิวฟิล์มที่เงื่อนไขต่างๆ



- องค์ประกอบพื้นผิวของฟิล์ม
ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบพื้นผิวของฟิล์ม

	C 1s	O 1s	P 2p	Ca 2p	Ti 2p	Fe 2p	Cr 2p
HATiN0.6 90.5.30	20.89	51.92	1.47	5.03	0.60	16.46	3.63
HATiN0.6 90.5.50	19.76	49.51	2.37	7.96	0.15	14.92	2.89
HATiN0.2 75.5.30	20.83	51.41	1.77	4.92	0.23	17.50	3.35
HATiN0.2 90.5.30	26.41	47.71	1.70	4.49	0.71	15.84	3.14
Polymer	20.60	52.96	3.59	2.76	0.80	15.28	4.01

- อัตราส่วน Ca/P ที่เงื่อนไขต่างๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราส่วน Ca/P ที่เงื่อนไขต่างๆ

	Ca 2p	P 2p	Ca/P
HATiN0.6 90.5.30	5.03	1.47	3.49
HATiN0.6 90.5.50	7.96	2.37	3.36
HATiN0.2 75.5.30	4.92	1.77	2.78
HATiN0.2 90.5.30	4.49	1.70	2.64
Polymer	2.76	3.59	0.77

จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์ บนซิลิกอนเวเฟอร์และพอลิเมอร์ พบว่า นอกจาก O 1s , P 2p , Ca 2p และ Ti 2p ที่ต้องการแล้ว สเปกตรัมของ Fe 2p , Cr 2p และ C 1s ก็ถูกตรวจวัดได้ด้วยเช่นกัน โดยสเปกตรัมของ C 1s มาจากการดูดซับของ hydrocarbon impurities ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการศึกษาผลการวิเคราะห์ อีกทั้งยังมีประโยชน์เนื่องจากถูกใช้เพื่อ calibrate สเกลของพลังงาน โดยการตั้งค่า C-C component ไว้ที่ 285.0 eV ซึ่ง C 1s สเปกตรัมก็อาจจะมี oxidized C เช่น alcohol (ประมาณ 286 eV, เจอทุกตัวอย่าง), carbonyl (ประมาณ 287 eV, เจอใน $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ หรือ HA) [26]

จากสเปกตรัมของ O 1s พบว่ามีพีคหลักๆอยู่ 3 พีค คือ 530.1 eV เป็น O 1s ใน TiO_2 ส่วนที่ binding energy (BE) ประมาณ 531.3 eV สัมพันธ์กับ O 1s ในกลุ่มของ P=O- (โดย $\alpha\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ และ HA) ส่วน BE ประมาณ 532.8 eV เป็น O 1s ในกลุ่มของ -OH (โดย HA) [27]

จากสเปกตรัมของ P 2p ที่ BE ประมาณ 133.9 eV มี 2 ระดับชั้นพลังงานคือ $\text{P } 2p_{3/2}$ และ $\text{P } 2p_{1/2}$ [28] ส่วนที่ BE ประมาณ 133.0 เป็น P 2p ใน HA [29]

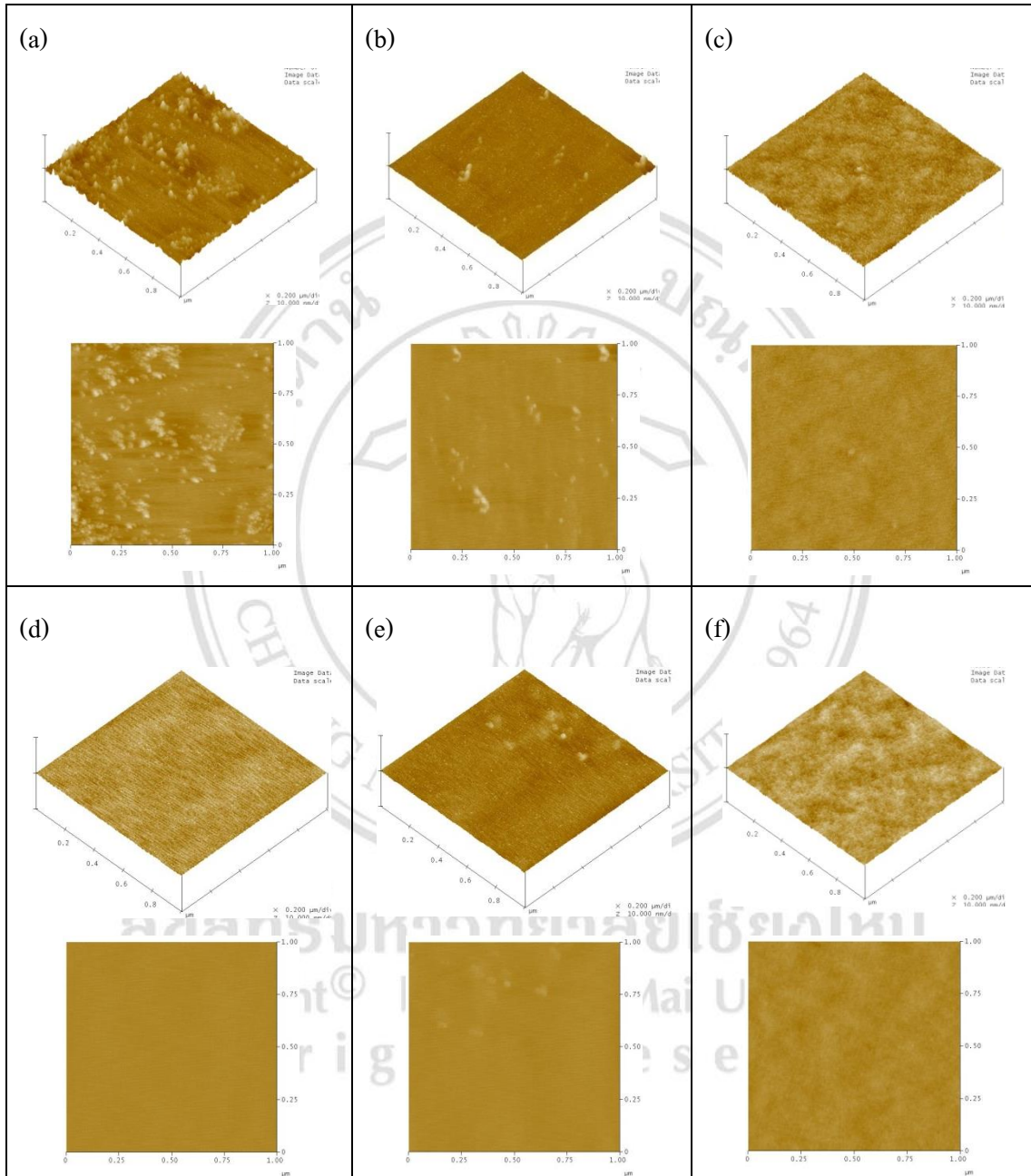
จากสเปกตรัมของ Ca 2p แยกเป็น 2 ระดับชั้นพลังงาน คือ $\text{Ca } 2p_{3/2}$ ที่ BE ประมาณ 347.2 eV และ $\text{Ca } 2p_{1/2}$ ที่ BE ประมาณ 350.7 eV โดยสัมพันธ์กับ HA [28]

จากสเปกตรัมของ Ti 2p แยกเป็นระดับชั้นพลังงาน $\text{Ti } 2p_{3/2}$ และ $\text{Ti } 2p_{1/2}$ ที่ BE ประมาณ 458.7 eV (เป็น $\text{Ti } 2p_{3/2}$ ใน TiO_2) [28] และ 464.4 eV

เมื่อพิจารณาอัตราส่วน Ca/P พบว่าความถี่และ duty cycle มีผลต่ออัตราส่วนของ Ca/P โดยเมื่อความถี่และ duty cycle เพิ่มขึ้นอัตราส่วน Ca/P จะเข้าใกล้อัตราส่วน Ca/P ของไฮดรอกซีอะพาไทต์คือ 1.67 มากขึ้น

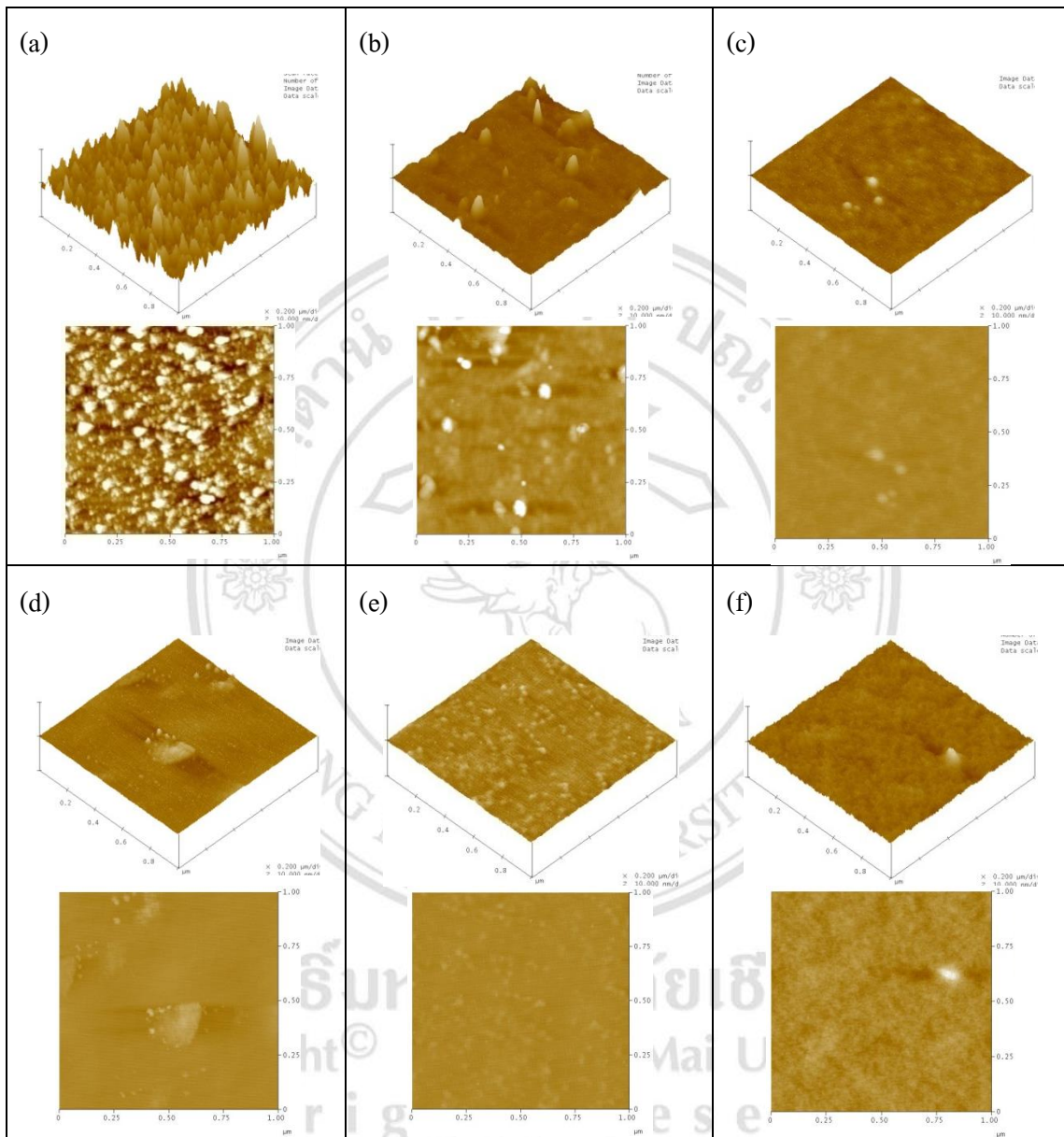
4.6 ศึกษาพื้นผิวและความหนาของฟิล์ม ด้วยเทคนิค AFM

- ฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ตกสะสมบนซิลิกอนเวเฟอร์



ภาพที่ 4.28 (a) และ (b) แสดงผิวของซิลิกอนเวเฟอร์ก่อนและหลังทำความสะอาด ส่วน (c) ถึง (f) แสดงผิวของฟิล์มที่ตกสะสมด้วยเงื่อนไข N0.6 90.5.30, N0.6 90.5.50, N0.2 75.5.30 และ N0.2 90.5.30 ตามลำดับ โดยความดันคงที่ที่ 10 mTorr, ศักย์ไฟฟ้าคงที่ที่ 600 V และเวลาดังที่ 2 ชั่วโมง

- พิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ตกสะสมบนกระจกสไลด์และวัสดุพอลิเมอร์



ภาพที่ 4.29 (a) แสดงผิวของกระจกสไลด์ก่อนตกสะสมฟิล์ม ส่วน (b) ถึง (e) แสดงผิวของฟิล์มที่ตกสะสมด้วยเงื่อนไข N0.6 90.5.30, N0.6 90.5.50, N0.2 75.5.30 และ N0.2 90.5.30 ตามลำดับ และ (f) แสดงผิวของฟิล์มที่ตกสะสมบนวัสดุพอลิเมอร์ โดยความดันคงที่ที่ 10 mTorr, ศักย์ไฟฟ้าคงที่ที่ 600 V และเวลาคงที่ที่ 2 ชั่วโมง

- ความขรุขระ ความหนา และอัตราการตกสะสมของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์

	ความขรุขระพื้นผิว Ra (nm)	ความหนา (nm)	อัตราการตกสะสม (nm/min)
ซิลิกอนเวเฟอร์ก่อนทำ ความสะอาด	0.334	-	-
ซิลิกอนเวเฟอร์หลังทำ ความสะอาด	0.159	-	-
HATiN0.6 90.5.30 บน Si	0.169	20.057	0.167
HATiN0.6 90.5.50 บน Si	0.052	-	-
HATiN0.2 75.5.30 บน Si	0.058	11.596	0.097
HATiN0.2 90.5.30 บน Si	0.065	15.358	0.127
กระจกสไลด์เปล่า	1.281	-	-
HATiN0.6 90.5.30 บน G	0.365	19.822	0.165
HATiN0.6 90.5.50 บน G	0.075	-	-
HATiN0.2 75.5.30 บน G	0.090	11.384	0.095
HATiN0.2 90.5.30 บน G	0.083	15.307	0.127
HATiN บนพอลิเมอร์	0.215	-	-

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความขรุขระ ความหนา และอัตราการตกสะสมของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเทคนิค AFM พบว่าเมื่อความดันและศักย์ไฟฟ้าที่ใช้คงที่ ถ้า duty cycle เพิ่มขึ้น อัตราการตกสะสมก็จะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jung Won Cho (2002) [6] นอกจากนี้ยังพบว่าความถี่มีผลต่อความขรุขระของฟิล์มคือ ถ้าความถี่เพิ่มขึ้นความขรุขระจะลดลง