



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเครื่องสังเคราะห์ห่ออนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะ
ออกไซด์บางชนิดโดยกระบวนการสปาร์ก

โดย รองศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฐ์ สิงห์ใจ

พฤศจิกายน 2554

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้ทุนวิจัยพื้นฐานแบบมุ่งเป้า “นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี” เรื่องการพัฒนาเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์บางชนิดโดยกระบวนการสปาร์ก ตามสัญญาเลขที่ DBG 5180002 ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ถึง 30 เมษายน พ.ศ. 2554 รวมตลอดระยะเวลาดำเนินการของโครงการ 3 ปี งานวิจัยนี้สำเร็จ ล่วงไปด้วยดีเนื่องจาก ได้รับการสนับสนุนทั้งในเรื่องสถานที่และเครื่องมือวิจัยที่จำเป็นต่างๆ จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และจากศูนย์เครื่องมือวิจัยและบริการจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อ และให้การช่วยเหลือแนะนำด้านต่างๆ ในโครงการวิจัยนี้มาโดยตลอด รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาทุกคนที่มีส่วนสนับสนุนในงานวิจัยนี้

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: DBG 5180002

ชื่อโครงการ: การพัฒนาเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์บางชนิดโดยกระบวนการสปาร์ก

ชื่อนักวิจัย: ดร. พิศิษฐ์ สิงห์ใจ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail address: singjai@chiangmai.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 3 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ถึง 30 เมษายน พ.ศ. 2554

การสปาร์กของขั้วโลหะสองขั้วได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเตรียมอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์เช่น สังกะสีออกไซด์ (ZnO) และ ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) อนุภาคนาโนและฟิล์มบางที่เตรียมขึ้นได้ผ่านการทดสอบ และศึกษาคุณลักษณะ อย่างเช่น ในส่วนของสมบัติโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic) อนุภาคนาโนและฟิล์มบางที่เตรียมได้สามารถใช้เป็นตัวโฟโตคะตะลิสต์ (Photocatalysts) และตัวต้านแบคทีเรีย (Antibacterial agents) ในงานวิจัยนี้จะสร้างอุปกรณ์ชนิดเคลื่อนที่ที่สามารถใช้งานได้หลากหลายพื้นที่ และทำการพัฒนาสำหรับการเคลือบ TiO_2 บนกระจกเพื่อทำเป็นหน้าต่างทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning windows) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ง่ายและต้นทุนต่ำสามารถใช้เตรียมอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะหรือโลหะออกไซด์บนพื้นผิวชิ้นงานได้ตามต้องการ

คำหลัก : กระบวนการสปาร์ก, อนุภาคนาโน, ฟิล์มบาง, โฟโตคะตะลิสต์, ทำความสะอาดตัวเอง

Abstract

Project Code: DBG 5180002

Project Title: Development of an apparatus for synthesis of some metal oxide nanoparticles and thin films by sparking process

Investigator: Dr. Pisith Singjai, Department of Physics, Faculty of Science, Chiang Mai University

E-mail Address: singjai@chiangmai.ac.th

Project Period: 3 years, from 1st May 2008 to 30th April, 2011.

A novel sparking off two metal tips has been developed for preparation of some metal oxide nanoparticles and thin films, such as ZnO and TiO₂. The nanoparticles and thin films were obtained for characterization and testing, for example, in terms of their photocatalytic property. The obtained nanoparticles and thin films can be used as photocatalysts and antibacterial agents. In this research, a mobile apparatus with ability to operate on large area in ambient air will be built and developed for coating of TiO₂ on glass as self-cleaning windows. This simple and cost-effective process can also be utilized to prepare many other metal/metal-oxide nanoparticles and thin films on any arbitrary substrate.

Keywords: Sparking process, Nanoparticles, Thin films, Photocatalyst, Self-cleaning

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สรุปโครงการ (Executive Summary)	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ประเภทของวัสดุนาโน	1
1.2 ไททานีียมไดออกไซด์	1
บทที่ 2 แผนการดำเนินงาน	
2.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	3
2.2 แผนการดำเนินงานในแต่ละปี	4
2.2.1 แผนการดำเนินงานปีที่ 1	4
2.2.2 แผนการดำเนินงานปีที่ 2	5
2.2.3 แผนการดำเนินงานปีที่ 3	6
บทที่ 3 ผลการดำเนินงาน	
3.1 ผลการดำเนินงานด้านการพัฒนาเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์	7
3.1.1 ผลการดำเนินงานปีที่ 1	7
3.1.2 ผลการดำเนินงานปีที่ 2	10
3.1.3 ผลการดำเนินงานปีที่ 3	12
3.2 ผลการดำเนินงานด้านการวิจัยอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้	18
3.2.1 ผลการดำเนินงานปีที่ 1	18
3.2.2 ผลการดำเนินงานปีที่ 2	19
3.2.3 ผลการดำเนินงานปีที่ 3	23

บทที่ 4 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	29
4.1 สรุปผลการดำเนินงาน	29
4.2 ข้อเสนอแนะ	30

บรรณานุกรม

OUTPUT

- ผลงานตีพิมพ์
- สิทธิบัตร
- อนุสิทธิบัตร

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.1 เครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก Version 1	8
รูปที่ 3.2 เครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก Version 1	8
รูปที่ 3.3 แบบร่างเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก Version 2 พร้อมร่างเลื่อนอัตโนมัติ	8
รูปที่ 3.4 เครื่องสังเคราะห์ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก Version 2 พร้อมร่างเลื่อนอัตโนมัติ	9
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของหัวสปาร์ก แบบ 9 หัว	9
รูปที่ 3.6 แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงสำหรับหัวสปาร์ก 36 หัว	11
รูปที่ 3.7 หัวสปาร์กแบบ 36 หัว	11
รูปที่ 3.8 หัวสปาร์กพร้อมระบบสายและ ชุดควบคุมความเร็วระบบสาย	11
รูปที่ 3.9 เครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนแบบ 36 หัว	12
รูปที่ 3.10 เครื่องสปาร์กแบบ 36 หัว	13
รูปที่ 3.11 เครื่องสปาร์กแบบ 36 หัว ขณะกำลังสปาร์ก	13
รูปที่ 3.12 เครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว ก่อนการพัฒนา	15
รูปที่ 3.13 เครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว ที่ทำการพัฒนาแล้ว	15
รูปที่ 3.14 เครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว ขณะกำลังสปาร์ก	15
รูปที่ 3.15 แบบร่างหัวสปาร์กเคลื่อนที่ชนิดด้ามจับสำหรับเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและ ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก	16
รูปที่ 3.16 เครื่องเคลือบฟิล์มบางแบบพกพาต้นแบบ	16
รูปที่ 3.17 แสดงการเคลือบฟิล์มบางบนผิวกระจกด้วยเครื่องเคลือบฟิล์มบางแบบพกพาต้นแบบ	17
รูปที่ 3.18 การทดสอบเคลือบกระจกด้วยหัวสปาร์กชนิดด้ามจับ	17
รูปที่ 3.19 แสดงกระจกหน้าต่างที่ทำการเคลือบด้วยหัวสปาร์กชนิดด้ามจับ	17
รูปที่ 3.20 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์มบางที่เตรียมด้วยกระบวนการสปาร์กโดยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน	18
รูปที่ 3.21 เปรียบเทียบลักษณะของกระจกระหว่างกระจกที่เคลือบฟิล์มบางและไม่เคลือบฟิล์มบาง ก่อนและหลังฉีดพ่นละอองน้ำ	18
รูปที่ 3.22 ภาพจากการทดสอบพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM	19
รูปที่ 3.23 ฟิล์มบางที่ผ่านกระบวนการลนด้วยเปลวไฟ (Flame annealed)	20

รูปที่ 3.24	ฟิล์มบางที่ผ่านกระบวนการอบที่อุณหภูมิ 700°C	20
รูปที่ 3.25	ภาพถ่าย SEM แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มบางอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกที่เตรียมโดยวิธีสปาร์ก อบที่ 400 °C ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมง	20
รูปที่ 3.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบอ่อน (Annealing Time) กับความหนา (Thickness)	21
รูปที่ 3.27	กราฟแสดงรามานสเปกตรัมของฟิล์มบางที่ได้จากการเทคนิคการสปาร์ก แล้วนำไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 0-6 h	21
รูปที่ 3.28	กราฟแสดงประสิทธิภาพการย่อยสลายสารเมทิลลีนบลูกับเวลาในการอบอ่อน	22
รูปที่ 3.29	กราฟแสดงมุมสัมผัสของหยดน้ำกับเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ 1-10 วันของฟิล์มบางอบที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1-6 h	22
รูปที่ 3.30	แสดงการติดตั้งหลอดไฟฮาโลเจนความร้อน กับชุดเคลือบฟิล์มบางขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร	23
รูปที่ 3.31	แสดงการทำงานของหลอดไฟฮาโลเจนความร้อนสูงขนาด 500 วัตต์ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	24
รูปที่ 3.32	ภาพถ่าย SEM ของฟิล์มที่เกิดจากการเคลือบสลับให้ ความร้อน 400 องศาเซลเซียส	24
รูปที่ 3.33	ภาคตัดขวางของฟิล์มบางที่เกิดจากการเคลือบสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส 20 รอบ ก่อนพ่นน้ำ	25
รูปที่ 3.34	ผล EDS ของฟิล์มที่เคลือบสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส 20 รอบ ก่อนพ่นน้ำ 20 ปี	25
รูปที่ 3.35	ผลการ EDS ของฟิล์มที่เคลือบสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส 20 รอบ หลังพ่นน้ำ 20 ปี	26
รูปที่ 3.36	ค่าความหยาบของฟิล์มบางที่เคลือบผิวสลับให้ความร้อน ก่อนพ่นน้ำและหลังพ่นน้ำ 20 ปี	26
รูปที่ 3.38	ผลการทดสอบด้วย AFM ของกระจกที่เคลือบสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส 20 รอบหลังพ่นน้ำ 20 ปี	27
รูปที่ 3.39	มุมสัมผัสหยดน้ำของกระจกที่เคลือบผิวสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส หลังพ่นน้ำ 20 ปี	27
รูปที่ 3.40	ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำของผิวเคลือบ TiO ₂ สลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส ก่อนพ่นน้ำและหลังพ่นน้ำ 20 ปี	28

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ (3 ปี)	3
ตารางที่ 2.2 แผนการดำเนินงานปีที่ 1 ครึ่งปีแรก (เดือนที่ 1 – 6)	4
ตารางที่ 2.3 แผนการดำเนินงานปีที่ 2 ครึ่งปีหลัง (เดือนที่ 7-12)	4
ตารางที่ 2.4 แผนการดำเนินงานปีที่ 2 ครึ่งปีแรก (เดือนที่ 13 – 18)	5
ตารางที่ 2.5 แผนการดำเนินงานปีที่ 2 ครึ่งปีหลัง (เดือนที่ 19 – 24)	5
ตารางที่ 2.6 แผนการดำเนินงานปีที่ 3 ครึ่งปีแรก (เดือนที่ 25 – 30)	6
ตารางที่ 2.7 แผนการดำเนินงานปีที่ 3 ครึ่งปีหลัง (เดือนที่ 31 – 36)	6
ตารางที่ 3.1 การพัฒนาเครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว	14

สรุปโครงการ (Executive summary)

1. โครงการ: การพัฒนาเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์บางชนิดโดยกระบวนการสปาร์ก

Development of an apparatus for synthesis of some metal oxide nanoparticles and thin films by sparking process

2. หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

นายพิศิษฐ์ สิงห์ใจ

หน่วยงาน : หน่วยวิจัยนาโนวัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ (053) 941921-4 ต่อ 610

โทรสาร (053) 943445

E-mail : Singjai@chiangmai.ac.th

3. สาขาวิชาที่ทำการวิจัย วัสดุศาสตร์

5. ระยะเวลาดำเนินการ 3 ปี (ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ถึง 30 เมษายน พ.ศ. 2554)

6. ได้เสนอโครงการนี้ หรือโครงการที่มีส่วนเหมือนกับเรื่องนี้บางส่วน เพื่อขอทุนต่อแหล่งอื่นที่ใดบ้าง

☒ ไม่ได้เสนอต่อแหล่งทุนอื่น

7. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การเคลือบฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ เช่น TiO_2 นั้น ปัจจุบันยังใช้เครื่องเคลือบภายใต้ระบบสุญญากาศ ทำให้การเคลือบฟิล์มบางของโลหะออกไซด์บนพื้นผิวที่มีขนาดใหญ่ เช่น บานกระจกนั้นต้องลงทุนสูง ดังนั้นบานกระจกเคลือบที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ (self-cleaning windows) จึงมีราคาสูงและยังไม่ค่อยมีการนำไปประยุกต์ใช้กันยังแพร่หลาย โดยเฉพาะใช้กับอาคาร ร้านค้า สิ่งปลูกสร้างต่างๆ และตู้โทรศัพท์สาธารณะ ฯลฯ ซึ่งต้องการความสะอาด สวยงาม และโปร่งใสของแผ่นกระจกที่ทำเป็นหน้าต่างหรือเป็นผนังเป็นสำคัญ สำหรับกระบวนการสปาร์กนั้น มีจุดเด่นที่สามารถเคลือบฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ภายใต้ความดันหนึ่งบรรยากาศของอากาศได้ ซึ่งสำหรับเครื่องสปาร์กเองก็สามารถออกแบบให้มีจำนวนหัวสปาร์กเรียงกันเป็นแถวยาวหลายหัว (arrays) เพื่อให้สามารถทำการสปาร์กได้พร้อมๆ บน

พื้นที่ขนาดใหญ่ได้ นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบให้เป็นเครื่องเคลือบฟิล์มบางแบบพกพาได้ด้วย ซึ่งคาดว่าจะสามารถเคลือบโลหะออกไซด์ โดยเฉพาะฟิล์มบางของ TiO_2 บนแผ่นกระจก หรือบนกระจกหน้าต่าง โดยไม่ต้องถอดออกจากกรอบของตัวอาคาร ดังนั้นเครื่องเคลือบโลหะออกไซด์โดยกระบวนการสปาร์ก จึงเป็นเทคโนโลยีนาโนและเป็นนวัตกรรมที่เหมาะสมมากสำหรับการเคลือบพื้นผิวขนาดใหญ่ด้วยโลหะออกไซด์ สำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านผิวทำความสะอาดตัวเอง

จากความสำเร็จและประโยชน์ของปัญหาที่จะทำวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ว่างานวิจัยนี้จะส่งผลกระทบทั้งในเชิงวิชาการและต่ออุตสาหกรรม กล่าวคือ ในเชิงวิชาการจะสามารถเข้าใจกระบวนการ และกลไกสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของวัสดุต่างๆ ได้อย่างลึกซึ้ง ซึ่งงานวิจัยในโครงการนี้จะสามารถสร้างหัวข้องานวิจัยใหม่ๆ ได้อีกหลายหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับนาโนวิทยาและเทคโนโลยีนาโนให้แก่บัณฑิตทั้งในระดับปริญญาโทและเอก ในส่วนของประโยชน์ที่อุตสาหกรรมหรือผู้ใช้จะได้รับในระยะต่างๆ คือ

- ในระยะสั้น จะได้แนวทางและองค์ความรู้ในการผลิตอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ต่างๆ ได้แนวทางและองค์ความรู้ในการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อใช้สังเคราะห์วัสดุโครงสร้างระดับนาโนดังกล่าว

- ในระยะกลาง สามารถผลิตเครื่องต้นแบบชนิดพกพาได้สำหรับใช้สังเคราะห์ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ต่างๆ และเครื่องต้นแบบในการผลิตอนุภาคนาโน ที่มีผลิตได้ง่าย และใช้ต้นทุนต่ำ โดยใช้วัสดุส่วนใหญ่ภายในประเทศ

- ในระยะยาว สามารถผลิตเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ ชนิดพกพาได้ และเครื่องผลิตอนุภาคนาโนเพื่อจำหน่ายในประเทศ และสามารถใช้เครื่องเหล่านี้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิววัสดุต่างๆ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทำความสะอาดตัวเองได้ ซึ่งคาดว่าจะช่วยเพิ่มตลาดและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศได้ในอนาคต

8. วัตถุประสงค์ของโครงการ

8.1 เพื่อสร้างและพัฒนาเครื่องต้นแบบชนิดพกพาได้สำหรับเคลือบฟิล์มบางของ TiO_2 และ/หรือโลหะออกไซด์อื่นๆ ลงบนแผ่นกระจกโดยกระบวนการสปาร์ก

8.2 เพื่อทดสอบสมบัติและปรับปรุงผิวเคลือบเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นผิวทำความสะอาดตัวเอง

8.3 เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ (Journal paper) และบุคลากรทางด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศ (ผลิตมหาบัณฑิตและดุษฎีบัณฑิตที่สอดคล้องกับหลักสูตรนาโนวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)

9. ระเบียบวิธีวิจัย

- 9.1 และพัฒนาเครื่องต้นสำหรับสังเคราะห์อนุภาคนาโนของ TiO_2 และ/หรือโลหะออกไซด์อื่นๆ
- 9.3 ทดลองหาเงื่อนไขต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการเติบโต (growth rate) ของฟิล์มบาง ขนาดและน้ำหนักต่อเวลาของอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ เช่น การแปรขนาดของเส้นลวดโลหะ และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ เป็นต้น
- 9.4 วิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างระดับนาโนของของ TiO_2 และ/หรือโลหะออกไซด์อื่นๆ ที่สังเคราะห์ได้ด้วย SEM, EDX, TEM, SAED และ XRD เป็นต้น
- 9.5 สร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายกลไกของการเกิดอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของ TiO_2 และ/หรือโลหะออกไซด์อื่นๆ

10. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 10.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- 10.2 เครื่องวิเคราะห์การกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์
- 10.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
- 10.4 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม
- 10.5 เครื่องรามาน
- 10.6 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์

11. วาสาระดับนานาชาติที่ได้ตีพิมพ์จากงานวิจัยนี้ จำนวน 2 เรื่อง

- 11.1 Current Applied Physics 1 เรื่อง (Impact factor = 1.291)
- 11.2 กำลังส่งตีพิมพ์ 1 เรื่อง (Impact factor = -)

12. ยื่นจดสิทธิบัตร จำนวน 1 เรื่อง และอนุสิทธิบัตร จำนวน 2 เรื่อง

- 12.1 สิทธิบัตร เรื่องเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก (เลขที่คำขอ 1001000999)
- 12.2 อนุสิทธิบัตร เรื่องหัวสปาร์กแบบมือถือสำหรับเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก (ยื่นแล้วรอเลขที่คำขอ)
- 12.3 อนุสิทธิบัตร เรื่องเครื่องวัดมุมสัมผัสหยดน้ำ (กำลังยื่นจด)

13. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 13.1 มีเครื่องต้นแบบเพื่อเคลือบฟิล์มบางของ TiO_2 และ/หรือโลหะออกไซด์อื่นๆ ลงบนแผ่นกระจกโดยกระบวนการสปาร์ก

- 13.2 มีผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติที่มี Impact factor เช่น Scripta Materialia (Impact factor 2.161) อย่างน้อยปีละ 2 Paper รวมทั้งหมดจากโครงการวิจัยนี้ ไม่ต่ำกว่า 6 Papers
- 13.3 ได้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้เพื่อทำผิวทำความสะอาดตัวเอง
- 13.4 ได้ผลิตนักวิจัยทั้งระดับปริญญาเอกและโทที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านการสังเคราะห์วัสดุ นาโนและการเคลือบผิวทำความสะอาดตัวเอง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประเภทของวัสดุนาโน

โดยปกติประเภทของวัสดุนาโนแบ่งออกเป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้งาน เช่นวัสดุนาโนบางชนิดใช้เป็นส่วนผสมสำหรับเสริมแรงในเนื้อวัสดุ หรือบางชนิดใช้วัสดุนาโนเพื่อทำฟิล์มบาง ซึ่งวัสดุนาโนแต่ละประเภทจะมีเทคนิคในการสังเคราะห์ที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดและเทคนิคการสังเคราะห์

2.4.1 วัสดุนาโนประเภทฟิล์มบาง (nano thin films)

เป็นวัสดุนาโนในรูปแบบของ nano well ที่มีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตรเพียงหนึ่งมิติแต่อีกสองมิติยังมีขนาดใหญ่ หรือเรียกว่าฟิล์มบาง เช่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความหนาของชั้นอนุภาคในระดับนาโนเมตร

2.4.2 วัสดุนาโนประเภทอนุภาค (nanadots)

จุดนาโน (nanodots) หรือจุดควอนตัม (quantum dot) คือ โครงสร้างขนาดเล็กที่สร้างขึ้นมาในของแข็ง โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 100 นาโนเมตร ในแต่ละดอทจะประกอบด้วยอะตอมประมาณ 10 – 10³ อะตอม ซึ่งจะมีค่าพอกันกับจำนวนของอิเล็กตรอน ในเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะยึดกับนิวเคลียสอย่างหนาแน่น จะมีอิเล็กตรอนอิสระเพียงเล็กน้อยหากอาศัย Current fabrication technology จะทำให้เราสามารถควบคุมขนาดและรูปร่างของดอทได้อย่างแม่นยำ ซึ่ง quantum dots มีรูปร่างหลายแบบเช่น แท่งสามเหลี่ยมสั้น , รูปร่างทรงกระบอก หรือเป็นแบบทรงกลม ขึ้นอยู่กับเทคนิควิธีการทำให้เกิดดอท

อนุภาคนาโน (nanoparticle) คือจุดหรืออนุภาคที่มีขนาดเล็กมากอยู่ในระดับ 10^{-9} m ซึ่งวงโคจรของอิเล็กตรอนภายในอะตอมของอนุภาคเล็กๆ ก่อให้เกิดระดับพลังงานที่มีค่าไม่ต่อเนื่อง ในทางตรงข้ามระดับพลังงานที่มีความต่อเนื่องก็จะเกิดขึ้นกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นผลของขนาดจึงเกี่ยวข้องกับสมบัติ และระดับพลังงานและอิเล็กตรอนภายในอนุภาคนั้นด้วย ทำให้หลายๆงานวิจัยได้ศึกษาการเตรียมจุดนาโนและศึกษาสมบัติของอนุภาคนั้นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ต่อไป

1.2 ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide : TiO₂)

ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียมซึ่งอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน ไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์สำหรับการใช้งานด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรต่อสารเคมี, ไม่มีความเป็นพิษสูง, ราคาไม่แพงมาก, และคุณสมบัติพิเศษที่เป็นประโยชน์ที่อีกหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไททาเนียมไดออกไซด์ ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในด้าน

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) และเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม (Photo catalysis) เป็นต้น เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์ มีค่าตรงขึ้นการหักเหของสูง จึงถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบป้องกันการสะท้อนของแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน (Silicon solar cell) และในอุปกรณ์ทางด้านการมองเห็นชนิดแผ่นบาง (Thin film optical device) หลายชนิด ไททาเนียมไดออกไซด์ ยังถูกนำมาใช้เป็นตัวตรวจสอบก๊าซ (Gas sensor) เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปได้ตามองค์ประกอบของก๊าซที่สภาวะบรรยากาศ เช่น สามารถใช้ตรวจสอบก๊าซออกซิเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์, และมีเทน เป็นต้น นอกจากนี้ เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์ สามารถเข้ากับร่างกายมนุษย์ได้ จึงถูกนำมาใช้เป็นวัสดุทางชีวภาพ เช่น กระดูกเทียม เป็นต้น

ไททาเนียมไดออกไซด์มีสมบัติเฉพาะเรียกว่า photocatalytic properties เป็นสมบัติทางแสงซึ่งเกิดจากการที่ระดับพลังงานของ TiO_2 มีค่าเท่ากับพลังงานของแสงในย่าน UV ดังนั้นเมื่อ TiO_2 ทำปฏิกิริยากับแสงในย่าน UV (ประมาณ 3.2 eV) ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) และเกิดช่องว่างของอิเล็กตรอน (hole) ในบริเวณเดิม เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจนในอากาศโดยรอบทำให้เกิด hydroxyl radicals ($\text{OH}^\cdot$) และ superoxide radical anion ($\text{O}_2^\cdot$) ซึ่งจะไปทำอันตรกิริยากับสารอินทรีย์ เช่นเกิดการเสื่อมสลาย จึงทำให้ฝุ่นละอองไม่สามารถเกาะพื้นผิวของ TiO_2 จึงทำให้สารชนิดนี้ถูกนำมาใช้ในการเคลือบพื้นผิวเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง (Self cleaning)

บทที่ 2

แผนการดำเนินงาน

2.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ตารางที่ 2.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ (3 ปี)

รายการ	เดือนที่ 1-6	เดือนที่ 7-12	OUTPUT
ปีที่ 1			
ออกแบบ สร้างและพัฒนาเครื่องสังเคราะห์ พร้อม ผลิตอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์	*****		เครื่องต้นแบบ version 1
ทดสอบสมบัติ Photocatalytic	*****	*****	องค์ความรู้ใหม่
รวบรวมข้อมูลเพื่อเขียนและเสนอตีพิมพ์ผลงานวิจัย		*****	2 papers
ปีที่ 2			
ปรับปรุงเครื่องสังเคราะห์	*****		เครื่องต้นแบบ version 2
ทดลองโดยแปรค่าปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	*****	*****	องค์ความรู้ใหม่
รวบรวมข้อมูลเพื่อเขียนและเสนอตีพิมพ์ผลงานวิจัย		*****	2 papers
ปีที่ 3			
ปรับปรุงเครื่องสังเคราะห์	*****		เครื่องต้นแบบ version 3
ทดลองโดยแปรค่าปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	*****	*****	องค์ความรู้ใหม่
รวบรวมข้อมูลเพื่อเขียนและเสนอตีพิมพ์ผลงานวิจัย		*****	2 papers

2.2 แผนการดำเนินงานในแต่ละปี

2.2.1 แผนการดำเนินงานปีที่ 1

ตารางที่ 2.2 แผนการดำเนินงานปีที่ 1 ครึ่งปีแรก (เดือนที่ 1 – 6)

รายการ	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6
1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	←→					
2. ออกแบบเครื่องสังเคราะห์		←→				
3. สร้างเครื่องต้นแบบ Version 1			←→			
4. ทดลองสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบาง					←→	
5. พัฒนาเครื่องต้นแบบและเทคนิควิธีการสังเคราะห์				←→		

ตารางที่ 2.3 แผนการดำเนินงานปีที่ 1 ครึ่งปีหลัง (เดือนที่ 7-12)

รายการ	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8	เดือนที่ 9	เดือนที่ 10	เดือนที่ 11	เดือนที่ 12
1. ออกแบบเครื่องต้นแบบ Version 2	←→					
2. ออกแบบระบบการทำงานของเครื่องให้ใช้งานได้สะดวก		←→				
3. ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ Version 2 พร้อมระบบการทำงาน			←→			
4. ทดสอบระบบ และแก้ไขจุดบกพร่อง				←→		
5. ทดลองสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบาง					←→	
6. ศึกษาวิจัยอนุภาคนาโนและฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้ในเบื้องต้น					←→	

2.2.2 แผนการดำเนินงานปีที่ 2

ตารางที่ 2.4 แผนการดำเนินงานปีที่ 2 ครึ่งปีแรก (เดือนที่ 13 – 18)

รายการ	เดือนที่ 13	เดือนที่ 14	เดือนที่ 15	เดือนที่ 16	เดือนที่ 17	เดือนที่ 18
1. ออกแบบ High voltage power supply สำหรับเครื่องสังเคราะห์ แบบ 36 หัว (Version 3)	←→	I				
2. ออกแบบหัวสปาร์ก แบบ 36 หัว		←→				
3. ออกแบบระบบรางเลื่อนอัตโนมัติ			←→			
4. สร้าง High voltage power supply สำหรับเครื่องสังเคราะห์ แบบ 36 หัว			←→	←→	←→	
5. สร้าง หัวสปาร์ก แบบ 36 หัว					←→	
6. สร้างรางเลื่อนอัตโนมัติ					←→	←→
7. ศึกษาวิจัยอนุภาคนาโนและฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้	←→					←→

ตารางที่ 2.5 แผนการดำเนินงานปีที่ 2 ครึ่งปีหลัง (เดือนที่ 19 – 24)

รายการ	เดือนที่ 13	เดือนที่ 14	เดือนที่ 15	เดือนที่ 16	เดือนที่ 17	เดือนที่ 18
1. สร้างเครื่องสังเคราะห์ Version 3 พร้อมระบบป้องกันงานให้สมบูรณ์	←→	←→				
2. ออกแบบปรับปรุงเครื่องสังเคราะห์ Version 2 ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น		←→	←→			
3. ดำเนินการปรับปรุงเครื่องสังเคราะห์ Version 2			←→	←→	←→	
4. ทดสอบประสิทธิภาพ และปรับปรุงข้อบกพร่องของเครื่องทั้งสองรุ่น			←→	←→	←→	←→
5. ศึกษาวิจัยอนุภาคนาโนและฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้	←→	←→	←→	←→	←→	←→

2.2.3 แผนการดำเนินงานปีที่ 3

ตารางที่ 2.6 แผนการดำเนินงานปีที่ 3 ครึ่งปีแรก (เดือนที่ 25 – 30)

รายการ	เดือนที่ 25	เดือนที่ 26	เดือนที่ 27	เดือนที่ 28	เดือนที่ 29	เดือนที่ 30
1. ดำเนินการสร้างสายพานลำเลียงสำหรับเครื่องสปาร์กแบบ 36 หัวให้แล้วเสร็จ	←→					
2. ติดตั้งหัวสปาร์กเข้ากับสายพานลำเลียง		←→				
3. พัฒนาเครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว			←→			
4. ออกแบบเครื่องสปาร์กแบบ 108 หัว (หน้ากว้าง 30 cm)				←→		
5. ออกแบบเครื่องสปาร์กแบบเคลื่อนที่						←→
7. ศึกษาลักษณะของฟิล์มที่สังเคราะห์ได้			←→			←→

ตารางที่ 2.7 แผนการดำเนินงานปีที่ 3 ครึ่งปีหลัง (เดือนที่ 31 – 36)

รายการ	เดือนที่ 31	เดือนที่ 32	เดือนที่ 33	เดือนที่ 34	เดือนที่ 35	เดือนที่ 36
1. ดำเนินการสร้างเครื่องสปาร์กแบบ 108 หัวให้แล้วเสร็จ	←→					
2. สร้างหัวสปาร์กแบบเคลื่อนที่		←→				
3. ศึกษาลักษณะของฟิล์มที่สังเคราะห์ได้และพัฒนาเทคนิคการเคลือบฟิล์มบาง	←→					←→

บทที่ 3

ผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานในแต่ละปีจะแบ่งการดำเนินงานเป็นสองส่วน โดยการทำงานในส่วนที่ 1 คือ การพัฒนาเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ และส่วนที่ 2 คือการวิจัยอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นรวมถึงการพัฒนาฟิล์มบางให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงและมีประสิทธิภาพสูงสุด

1. ผลการดำเนินงานด้านการพัฒนาเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์

1.1 ผลการดำเนินงานปีที่ 1

ช่วงแรกของการดำเนินงานได้ดำเนินการสร้างเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์บางชนิดด้วยกระบวนการสปาร์ก Version 1 โดยเริ่มจากการสร้างแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง (High voltage power supply) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการสปาร์ก เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงที่คิดค้นขึ้นมานี้ยังต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกเพื่อจ่ายไฟให้กับส่วนของแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงผู้วิจัยจึงได้ออกแบบแหล่งจ่ายไฟเพื่อใช้กับแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงแล้วพัฒนาให้ทั้งสองส่วนรวมเข้าด้วยกันเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

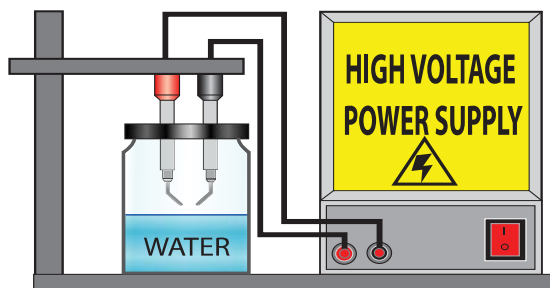
เมื่อได้แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงที่สมบูรณ์แล้วก็ดำเนินการสร้างเครื่องสังเคราะห์ Version 1 โดยเครื่องต้นแบบนี้สามารถสังเคราะห์ได้ครั้งละ 1 หัว หลังจากเครื่องสังเคราะห์ Version 1 เสร็จสมบูรณ์ได้ทำการทดลองสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะชนิดต่างๆ เช่น ไททาเนียม, เงิน, ทองคำ, เหล็ก และนิกเกิล

เครื่องสังเคราะห์ ต้นแบบ Version 1 สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนที่มีขนาดน้อยกว่า 50 นาโนเมตร แต่ยังไม่สะดวกในการสังเคราะห์ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ จึงได้ทำการพัฒนาเครื่องสังเคราะห์ Version 2 ให้สามารถสังเคราะห์ได้ปริมาณมากขึ้นและง่ายต่อการสังเคราะห์ฟิล์มบางพื้นที่กว้างขึ้นโดยการออกแบบให้มีจำนวนหัวมากขึ้น เริ่มจาก 3 หัว แล้วพัฒนาจนถึง 9 หัว พร้อมทั้งประดิษฐ์รางเลื่อนระบบอัตโนมัติสำหรับวางชิ้นงานที่ต้องการเคลือบฟิล์มบางรวมทั้งแหล่งจ่ายไฟความดันสูงก็ได้มีการพัฒนาให้สามารถปรับค่าของความต่างศักย์ได้ในขั้นตอนนี้อยู่ระหว่างการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเพื่อให้ได้ระบบที่มีความสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ผลที่ได้รับ

การดำเนินงานตลอดระยะเวลา 1 ปี ที่ผ่านมาผลที่ได้รับ คือ

1. เครื่องสังเคราะห์ Version 1 มีหัวสปาร์ก เพียง 1 หัว (ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2) สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะออกไซด์ที่มีขนาดน้อยกว่า 50 นาโนเมตรที่มีอัตราการผลิตประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

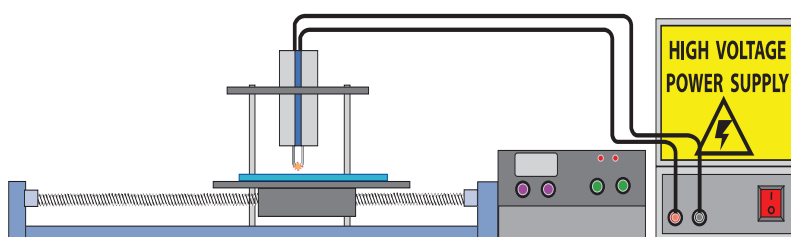


รูปที่ 3.1 เครื่องสังเคราะห์หอนาโนของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก Version 1



รูปที่ 3.2 เครื่องสังเคราะห์หอนาโนของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก Version 1

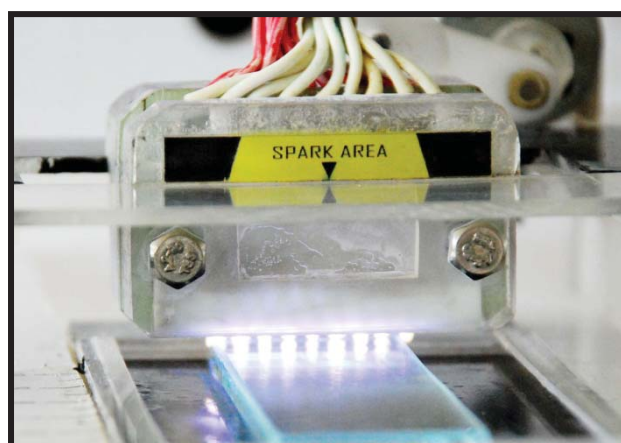
2. เครื่องสังเคราะห์ Version 2 ที่พัฒนาให้มีหัวสปาร์ก 9 หัว (ดังรูปที่ 3.3, 3.4, 3.5 และ 3.6) สามารถสังเคราะห์หอนาโนของโลหะออกไซด์ที่มีขนาดน้อยกว่า 50 นาโนเมตร ได้ในปริมาณที่มากขึ้น พร้อมกับระบบรางเลื่อนอัตโนมัติ ที่ช่วยให้สามารถเคลือบฟิล์มบางบนพื้นผิวของวัสดุได้สะดวก รวดเร็ว ซึ่งเครื่องสังเคราะห์ Version 2 นี้สามารถสร้างฟิล์มบางลงบนวัตถุนานองใดๆ เช่น กระดาษที่มีความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีการสปาร์กที่อัตราการเพิ่มประมาณ 2 นาโนเมตร/รอบ ที่อัตราการเคลื่อนที่ของหัวสปาร์ก 5 มิลลิเมตร/รอบ



รูปที่ 3.3 แบบร่างเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก Version 2 พร้อมรางเลื่อนอัตโนมัติ



รูปที่ 3.4 เครื่องสังเคราะห์ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์กVersion 2
พร้อมรางเลื่อนอัตโนมัติ



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของหัวสปาร์ก แบบ 9 หัว

1.2 ผลการดำเนินงานปีที่ 2

การดำเนินการพัฒนาเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์บางชนิดโดยกระบวนการสปาร์กให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ในช่วงแรกได้มีการวางแผนงานโดยคำนึงถึงอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น ความรวดเร็วในการสร้างฟิล์มบาง ระบบควบคุมการทำงานที่สะดวกและปลอดภัย จึงทำการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญ ดังนี้

(1) แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง (High voltage power supply) ออกแบบเพื่อรองรับจำนวนหัวสปาร์ก 36 หัว อาศัยหลักการเดียวกับเครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว (Version 2) เพิ่มระบบระบายความร้อน พร้อมระบบควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ

(2) หัวสปาร์ก จำนวน 36 หัว ออกแบบให้สามารถเคลือบฟิล์มบางลงบนชิ้นงานที่มีความกว้าง 10 เซนติเมตร และมีอัตราการผลิตอนุภาคนาโนของโลหะออกไซด์ประมาณ 36 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

(3) ระบบสายสำหรับหัวสปาร์กพร้อมชุดควบคุมความเร็วในการส่าย เพื่อความสม่ำเสมอของฟิล์มบาง ออกแบบโดยอาศัยหลักการของข้อเหวี่ยง ทำงานด้วยมอเตอร์กระแสตรง ชุดควบคุมความเร็วใช้วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

(4) รางเลื่อนสำหรับป้อนชิ้นงาน ออกแบบโดยใช้ระบบของสายพานลำเลียง

(5) ระบบควบคุมรางเลื่อน ควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียงด้วยอินเวอร์เตอร์

หลังจากออกแบบส่วนประกอบหลักต่างๆ ได้ดำเนินการสร้างตามลำดับต่อไปนี้

- แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง เป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับสปาร์กครั้งละ 36 หัว เริ่มแรกได้สร้างชุดวงจรไฟแรงดันสูง, ส่วนจ่ายไฟสำหรับชุดวงจรไฟแรงดันสูงและวงจรภายในอื่นๆ, ระบบระบายความร้อน และส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ นำส่วนประกอบที่สมบูรณ์แล้วประกอบเข้าด้วยกัน

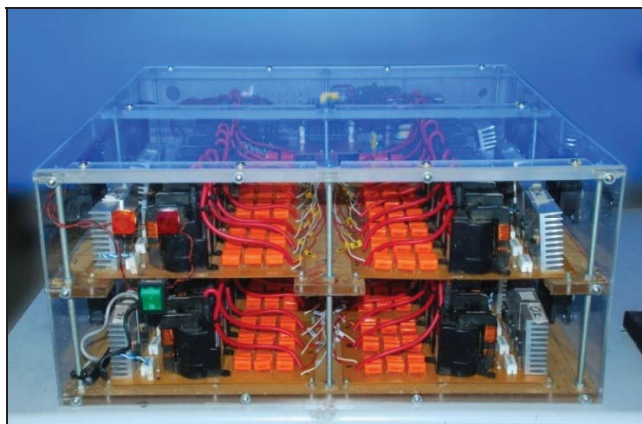
- หัวสปาร์ก 36 หัว ขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ในการสร้างหัวสปาร์กนี้ได้สร้างโดยอาศัยหลักการเดียวกันกับเครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว เนื่องด้วยความยาวของหัวสปาร์กที่เพิ่มขึ้นทำให้จับกับลวดไม่แน่นพอจึงเพิ่มตัวกดลวด

- ระบบสายของหัวสปาร์กพร้อมชุดควบคุมความเร็วในการส่าย สร้างรางสไลด์ที่ติดตั้งกับข้อเหวี่ยงและมอเตอร์ขับเคลื่อนพร้อมชุดควบคุมความเร็ว ส่วนของรางสไลด์จะเป็นตัวยึดกับหัวสปาร์กเพื่อให้สามารถถอดเปลี่ยนได้

- ระบบรางเลื่อนอัตโนมัติ ใช้ระบบสายพานลำเลียงอยู่ระหว่างดำเนินการสร้าง

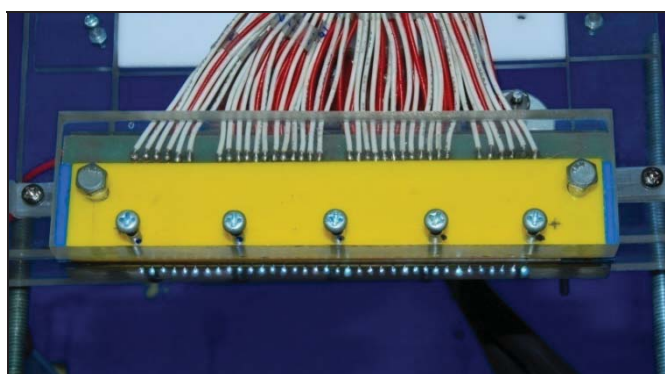
ผลที่ได้รับ

1. แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง (High voltage power supply) สำหรับ 36 หัว



รูปที่ 3.6 แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงสำหรับหัวสปาร์ก 36 หัว

2. หัวสปาร์ก จำนวน 36 หัว สามารถสร้างฟิล์มบางบนชิ้นงานที่มีความยาว 10 เซนติเมตร



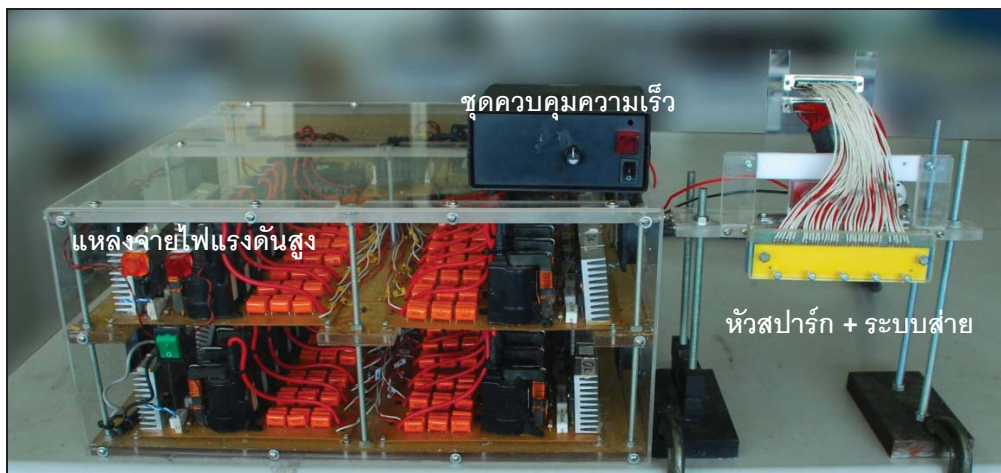
รูปที่ 3.7 หัวสปาร์กแบบ 36 หัว

3. ระบบสายสำหรับหัวสปาร์ก พร้อมชุดควบคุมความเร็วในการสาย



รูปที่ 3.8 หัวสปาร์กพร้อมระบบสายและ ชุดควบคุมความเร็วระบบสาย

5. เครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนแบบ 36 หัว ประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง หัวสปาร์ก 36 หัวพร้อมระบบสายและชุดควบคุมความเร็วหัวสาย



รูปที่ 3.9 เครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนแบบ 36 หัว

1.3 ผลการดำเนินงานปีที่ 3

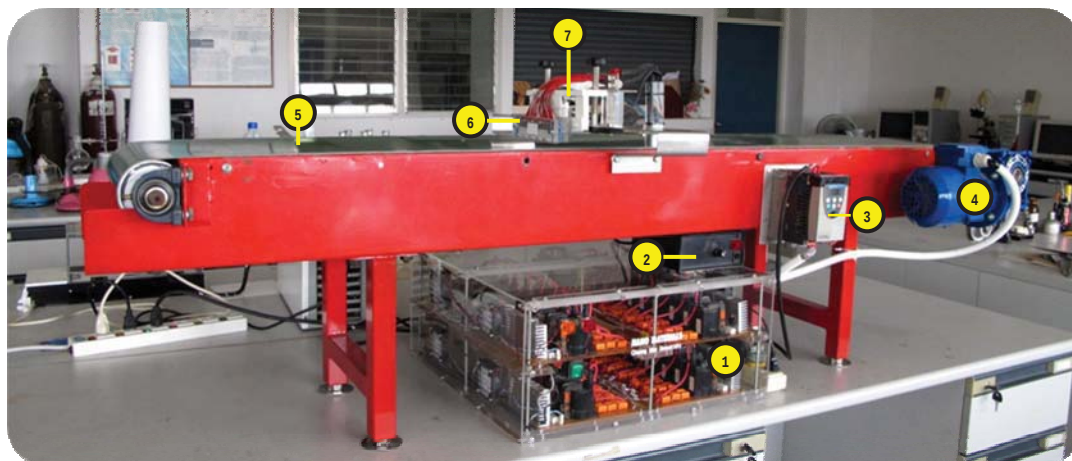
ในปีที่ 3 ได้ดำเนินงานสร้างเครื่องสปาร์กแบบ 36 หัว พร้อมแท่นป้อนชิ้นงาน ต่อเนื่องมาจากปีที่ 2 รวมถึงพัฒนาเครื่องสปาร์กแบบ 9 หัวให้มีประสิทธิภาพและมีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น และออกแบบเครื่องสปาร์กแบบเคลื่อนที่ให้สามารถทำงานนอกสถานที่ได้

ผลที่ได้รับ

1. ได้ดำเนินการสร้างเครื่องสปาร์กแบบ 36 หัวพร้อมแท่นป้อนชิ้นงานระบบสายพานลำเลียงขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ความยาว 150 เซนติเมตร สามารถรองรับขนาดใหญ่ที่สุดขนาด 30×75 เซนติเมตร ในการป้อนชิ้นงานสามารถควบคุมความเร็วในการป้อนชิ้นงานได้ตั้งแต่ 3 – 900 เซนติเมตรต่อ นาทีและสามารถควบคุมทิศทางในการป้อนชิ้นงานได้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วและทิศทาง ติดตั้งหัวสปาร์กเข้ากับสายพานลำเลียง นำหัวสปาร์กพร้อมกับแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงที่สร้างเสร็จแล้วมาประกอบเข้าด้วยกันโดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

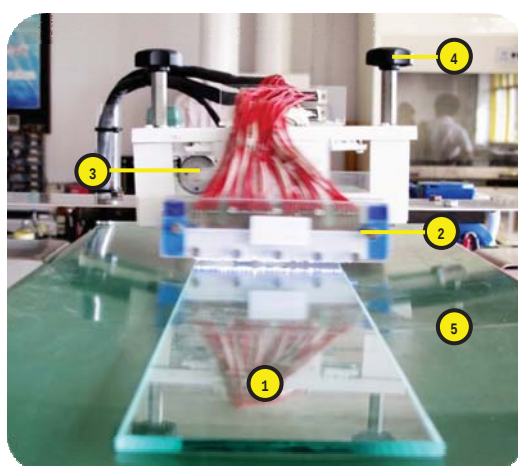
- ระบบสายหัวสปาร์กพร้อมชุดควบคุมความเร็วในการสายเพื่อความสม่ำเสมอของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้
- คานปรับระดับใช้ปรับระดับความสูง – ต่ำของหัวสปาร์กเพื่อให้พอดีกับชิ้นงาน
- ฝาครอบเพื่อลดเสียงและป้องกันการฟุ้งของสารที่สังเคราะห์ออกมา

โดยจะนำส่วนต่างๆ ประกอบเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 เครื่องสปาร์กแบบ 36 หัว

(1) High voltage power supply, (2) ชุดควบคุมความเร็วระบบสายหัวสปาร์ก, (3) อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของสายพาน, (4) มอเตอร์ขับเคลื่อนสายพาน, (5) สายพานลำเลียง, (6) หัวสปาร์ก, (7) คานปรับระดับและระบบสาย



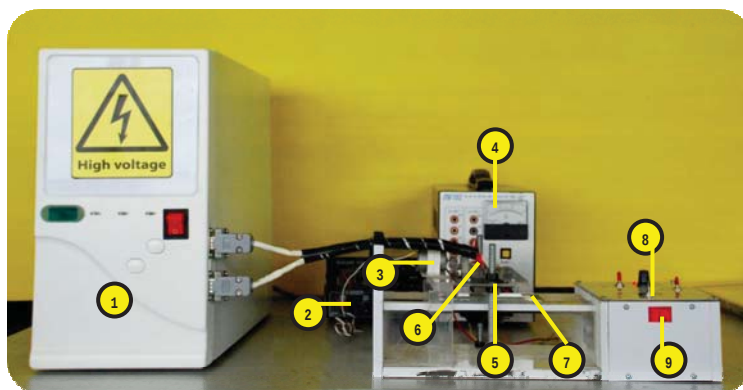
รูปที่ 3.11 เครื่องสปาร์กแบบ 36 หัว ขณะกำลังสปาร์ก

(1) ชิ้นงาน, (2) หัวสปาร์ก, (3) ระบบสาย, (4) ที่หมุนปรับสำหรับระดับความสูงของหัวสปาร์ก, (5) สายพาน

2. สำหรับเครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว รวมทั้งชุดแท่นเลื่อน สามารถเตรียมฟิล์มบางลงบนชิ้นงาน ขนาดความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ความยาวสูงสุด 15 เซนติเมตร เหมาะสำหรับการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง สำหรับงานวิจัย ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยที่จะศึกษาลักษณะของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ขึ้นมา จึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือนี้ให้สามารถใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และในรูปที่ 3.12, 3.13 และ 3.14

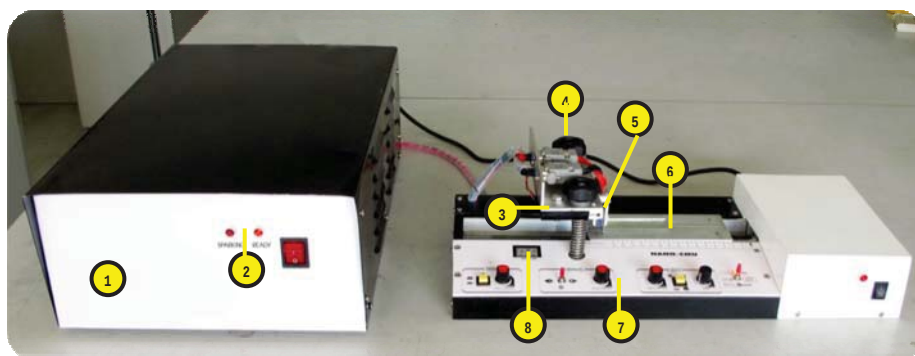
ตารางที่ 3.1 การพัฒนาเครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว

ส่วนที่ทำการพัฒนา	เครื่องสปาร์กแบบเดิม	เครื่องสปาร์กหลังจากพัฒนา
1. แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง	- บรรจุและจัดวางวงจรโดยทำการดัดแปลงให้เข้ากันได้กับกล่องสำเร็จรูป	- ออกแบบและสร้างกล่องให้เหมาะสมสำหรับบรรจุและจัดวางอุปกรณ์และวงจรภายใน - มีสัญญาณไฟแสดงสถานะในการทำงาน
2. หัวสปาร์ก	- การถอดเปลี่ยนหัวสปาร์กค่อนข้างยาก - สายไฟที่ต่อกับหัวสปาร์กยาวเกินไปทำให้ระบบสายทำงานติดขัด	- ถอดเปลี่ยนหัวสปาร์กได้สะดวก - สายไฟที่หัวสปาร์กสั้นลงและมีปลั๊กทำให้สะดวกในการเปลี่ยนหัวสปาร์กและไม่ทำให้ระบบสายติดขัด
3. คานปรับระดับ	- ไม่มีตัวหมุนปรับระดับความสูงให้พอดีกับชิ้นงาน ต้องใช้ประแจในการปรับระดับ - ระบบสายไม่สามารถเคลื่อนที่ขึ้น – ลงได้พร้อมกับคาน ทำให้การปรับระดับมีการติดขัด	- มีตัวหมุนปรับระดับความสูงสามารถหมุนปรับระดับได้ทันที - ระบบสายเคลื่อนที่ขึ้น – ลงได้พร้อมกับการปรับระดับของคานทำให้การปรับระดับไม่มีการติดขัด
4. แท่นเลื่อน	- อาศัยแหล่งจ่ายไฟจากหม้อแปลงภายนอกเพื่อป้อนให้กับวงจรขับเคลื่อน - การเปลี่ยนระบบอัตโนมัติและแมนนวลไม่ค่อยสะดวกมากนัก	- มีแหล่งจ่ายกระแสไฟอยู่ภายในไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอก - ระบบอัตโนมัติและแมนนวลแยกจากกันอิสระเปลี่ยนระบบได้ง่าย - ปรับความเร็วได้ 3 – 30 เซนติเมตร/นาที่
5. ระบบขับเคลื่อนแท่นเลื่อน	- ระบบขับเคลื่อนแรงบิดต่ำจึงต้องใช้รอบสูงในการขับเคลื่อนทำให้แท่นเลื่อนมีความเร็วสูงเกินไป ต้องเคลื่อนชิ้นงานผ่านหลายรอบ (15 – 20 รอบ) จึงจะได้ความหนาของฟิล์มตามต้องการ (~100 nm) - ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟจากหม้อแปลงภายนอกเพื่อขับเคลื่อน - โครงสร้างเป็นอะคริลิก	- ระบบขับเคลื่อนแรงบิดสูงใช้รอบต่ำในการขับเคลื่อนได้ ทำให้เคลื่อนชิ้นงานผ่าน 1 หรือ 2 รอบ ก็จะได้ความหนาของฟิล์มตามต้องการ (~100 nm) - มีแหล่งจ่ายไฟภายในเพื่อขับเคลื่อน - โครงสร้างเป็นโลหะอลูมิเนียม



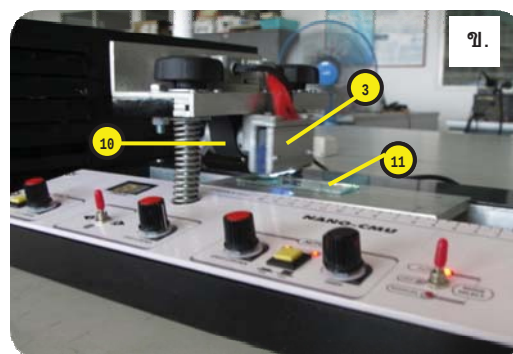
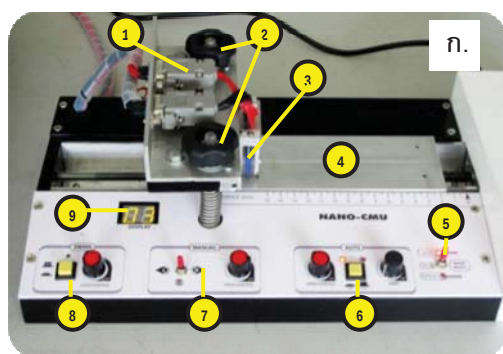
รูปที่ 3.12 เครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว ก่อนการพัฒนา

- (1)High voltage power supply (2)แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าภายนอก ตัวที่ 1 (3)ระบบสาย (4)แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าภายนอก ตัวที่ 2 (5)คานปรับระดับ (6)หัวสปาร์ก (7)แท่นเลื่อน (8)แผงควบคุมแท่นเลื่อน (9)หน้าจอแสดงจำนวนรอบในการทำงานระบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.13 เครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว ที่ทำการพัฒนาแล้ว

- (1)High voltage power supply (2)สัญญาณไฟแสดงสถานะการทำงาน (3)คานปรับระดับและระบบสาย (4)ตัวหมุนปรับระดับ (5)หัวสปาร์ก (6)แท่นเลื่อน (7)แผงควบคุมแท่นเลื่อน (8)หน้าจอแสดงจำนวนรอบในการทำงานระบบอัตโนมัติ



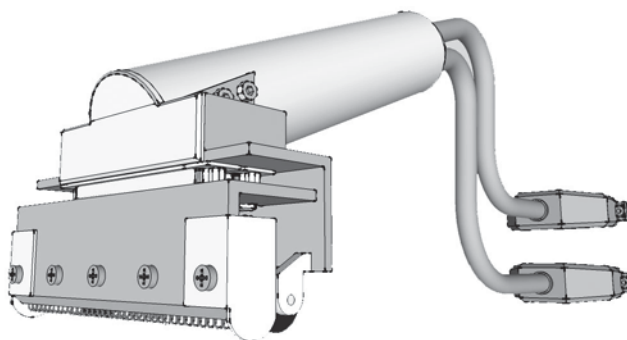
รูปที่ 3.14(ก.) แท่นเลื่อน (ข.) เครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว ขณะกำลังสปาร์ก

- (1)ปลั๊กต่อหัวสปาร์ก (2)ตัวหมุนปรับระดับ (3)หัวสปาร์ก (4)แท่นเลื่อน (5)ปุ่มเลือกระบบการทำงาน (6)แผงควบคุมแท่นเลื่อนระบบอัตโนมัติ (7)แผงควบคุมแท่นเลื่อนระบบแมนนวล (8)แผงควบคุมระบบสายของหัวสปาร์ก (9)หน้าจอแสดงจำนวนรอบในการทำงานระบบอัตโนมัติ (10)ระบบสาย (11)ชิ้นงาน

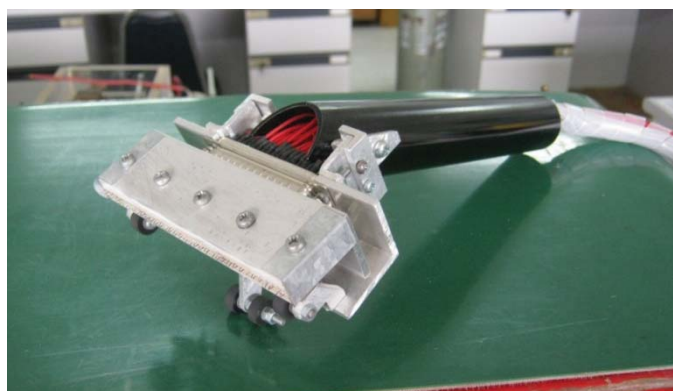
3. ออกแบบพัฒนาสร้างหัวสหัวสปาร์กเคลื่อนที่ชนิดด้ามจับ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมาจากเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ และนำไปเคลือบฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ได้ในทุกพื้นที่

วัตถุประสงค์หลักของการประดิษฐ์เครื่องมือนี้เพื่อใช้ในการเคลือบอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์บนพื้นผิวต่างๆ ได้สะดวกมากขึ้นในทุกสถานที่ เช่น การเคลือบฟิล์มบางของไททาเนียมไดออกไซด์บนกระจกอาคารต่างๆ เพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นกระจกทำความสะอาดตัวเอง (self cleaning glasses) เป็นต้น

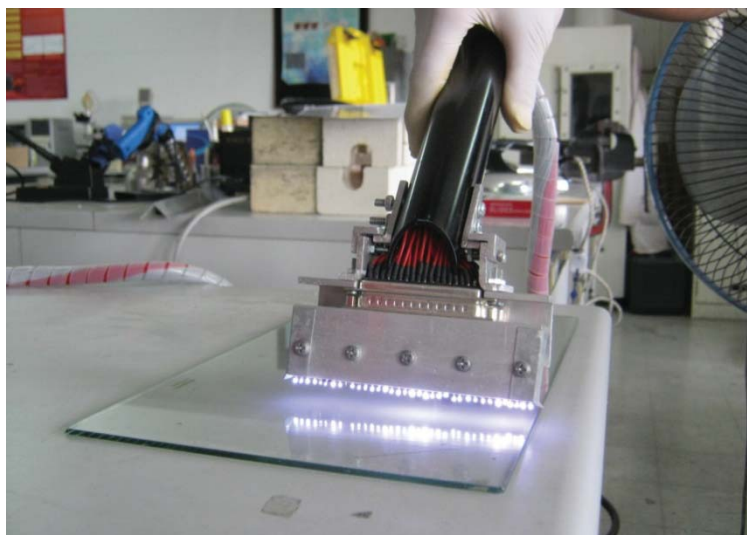
โดยหัวสปาร์กจะประกอบด้วยด้ามจับที่มีช่องเสียบหัวสปาร์ก และหัวสปาร์กที่ถอดเปลี่ยนได้ การใช้งานทำได้โดยนำหัวสปาร์กต่อเข้ากับด้ามจับแล้วต่อกับแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงที่สร้างขึ้นในปีที่ผ่านมา



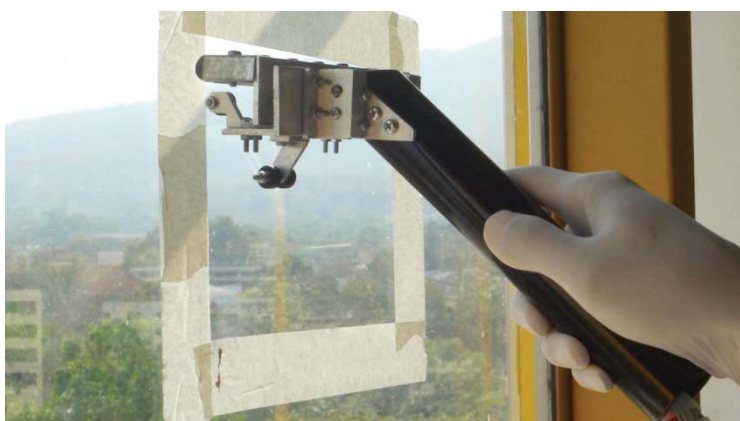
รูปที่ 3.15 แบบร่างหัวสปาร์กเคลื่อนที่ชนิดด้ามจับสำหรับเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก



รูปที่ 3.16 เครื่องเคลือบฟิล์มบางแบบพกพาต้นแบบ



รูปที่ 3.17 แสดงการเคลือบฟิล์มบางบนผิวกระจกด้วยเครื่องเคลือบฟิล์มบางแบบพกวาดันแบบ



รูปที่ 3.18 การทดสอบเคลือบกระจกด้วยหัวสปาร์กชนิดด้ามจับ



บริเวณที่เคลือบ
ฟิล์มบาง
บริเวณที่ไม่เคลือบ
ฟิล์มบาง

รูปที่ 3.19 แสดงกระจกหน้าต่างที่ทำการเคลือบด้วยหัวสปาร์กชนิดด้ามจับ เปรียบเทียบระหว่างบริเวณที่เคลือบด้วย TiO_2 (ไม่เป็นหยดน้ำ) และบนผิวกระจกปกติที่ไม่ได้เคลือบด้วย TiO_2 (มีหยดน้ำเกาะ)

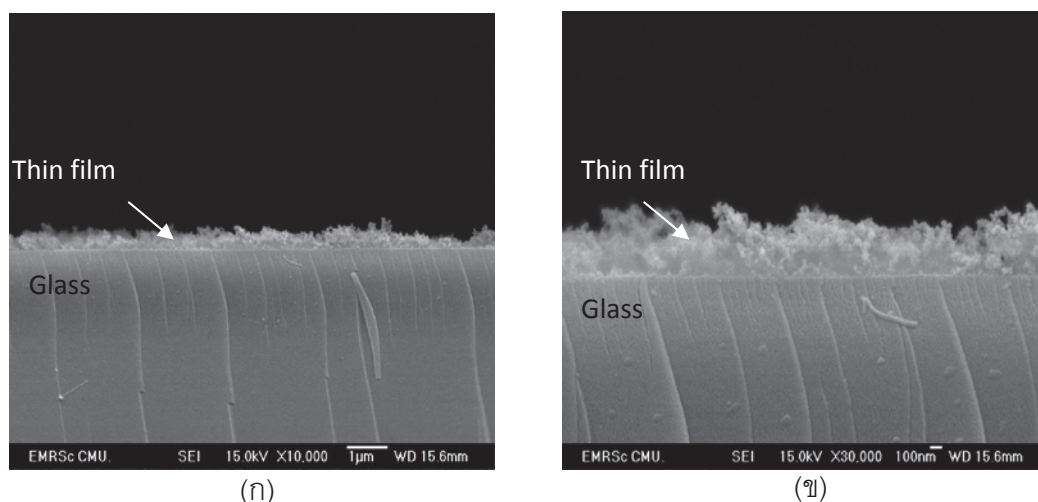
2. ผลการดำเนินงานด้านการวิจัยอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

2.1 ผลการดำเนินงานปีที่ 1

ในส่วนของการวิจัย ได้ศึกษาขนาดของอนุภาคที่ได้จากการสปาร์ก, ความหนาของฟิล์มบาง, ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบาง, มุมสัมผัสระหว่างน้ำกับผิวของฟิล์มบาง

ผลที่ได้รับ

ในเบื้องต้นพบว่า อนุภาคที่ได้จากเครื่องสังเคราะห์ที่สร้างขึ้นมีขนาดน้อยกว่า 50 นาโนเมตร ความหนาของฟิล์มบางสามารถควบคุมให้อยู่ในระดับของหลายสิบกถึงหลายร้อยนาโนเมตรได้ ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางมีการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21 มุมสัมผัสระหว่างน้ำกับผิวฟิล์มบาง TiO_2 มีค่าประมาณ 1.5 องศา ความคงทนของฟิล์มบางและการเตรียมฟิล์มบางแบบหลายชั้นยังอยู่ระหว่างการทดสอบ



รูปที่ 3.20 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์มบางที่เตรียมด้วยกระบวนการสปาร์กโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ก) กำลังขยาย 10,000 เท่า, (ข) กำลังขยาย 50,000 เท่า



รูปที่ 3.21 เปรียบเทียบลักษณะของกระจกที่เคลือบฟิล์มบางและไม่เคลือบฟิล์มบางก่อนและหลังฉีดพ่นละอองน้ำ

2.2 ผลการดำเนินงานปีที่ 2

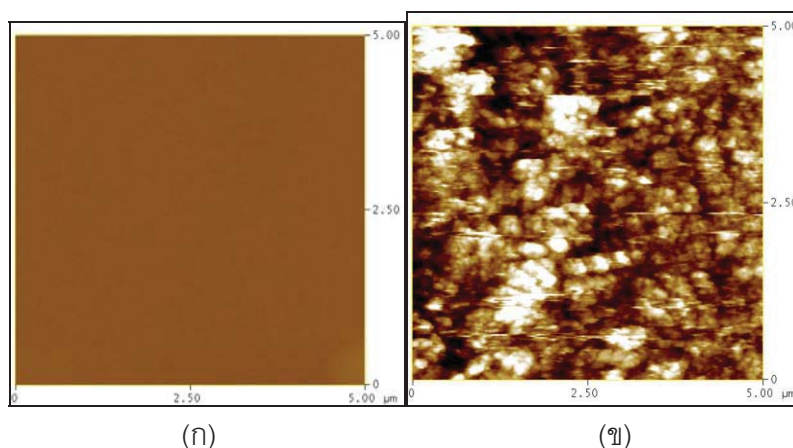
ส่วนของการวิจัยได้ทำการศึกษาพื้นผิวฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยเครื่องสังเคราะห์ที่สร้างขึ้น (แบบ 9 หัว) โดยนำฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้ผ่านเงื่อนไขในการทดสอบ ได้แก่

- (1) วิเคราะห์ผลจากกระบวนการทางความร้อนโดยการอบในเตา (Annealing) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส หรือลนด้วยเปลวไฟ (Flame annealing) แล้วนำไปพ่นด้วยละอองน้ำและจำลองสภาวะฝนตกเพื่อทดสอบคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง (self cleaning) ของฟิล์มบาง หลังผ่านกระบวนการทดสอบในเงื่อนไขต่างๆ แล้วศึกษาพื้นผิวด้วยเครื่อง Atomic force microscope (AFM)
- (2) หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบอ่อนกับความหนาของฟิล์ม
- (3) การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของฟิล์มบางด้วยเครื่อง Raman spectroscopy
- (4) วิเคราะห์การย่อยสลายอินทรีย์สาร โดยการย่อยสลายเมทิลลีนบูล
- (5) วิเคราะห์มุมสัมผัสของหยดน้ำ (คุณสมบัติ superhydrophilic) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอายุของฟิล์มบาง

ผลที่ได้รับ

ส่วนของงานวิจัย ได้ทำการวิจัยลักษณะของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นดังนี้

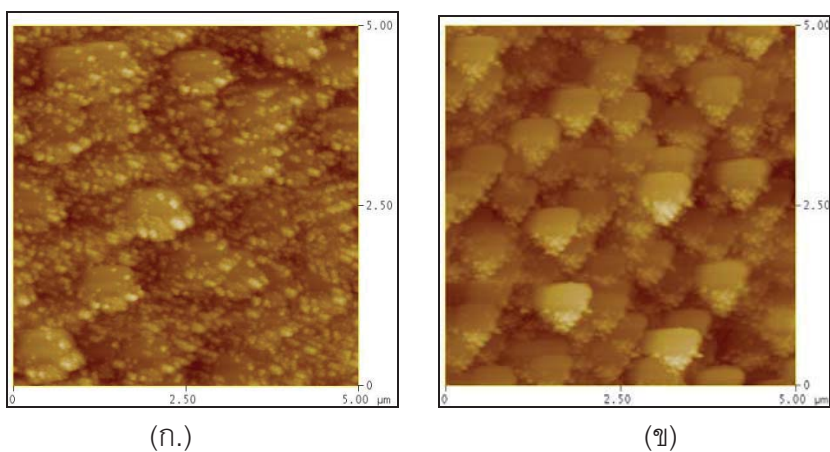
1. การวิเคราะห์กระบวนการทางความร้อน พบว่ากระบวนการทางความร้อนมีผลต่อลักษณะพื้นผิวและคุณสมบัติของฟิล์มบางที่เตรียมได้ (รูปที่ 3.22) ในกระบวนการลนด้วยเปลวไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ (รูปที่ 3.23 (ก)) ในการทดลองยังได้ศึกษาภายใต้สภาวะของการถูกพ่นด้วยละอองน้ำ (รูปที่ 3.23 (ข)) และในกระบวนการอบในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 700 °C ทั้งก่อนพ่นด้วยละอองน้ำ (รูปที่ 3.24 (ก)) และหลังพ่นด้วยละอองน้ำ (รูปที่ 3.24 (ข)) นอกจากนี้ยังได้ทดสอบภายใต้สภาวะฝนตกจำลอง



รูปที่ 3.22 ภาพจากการทดสอบพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM

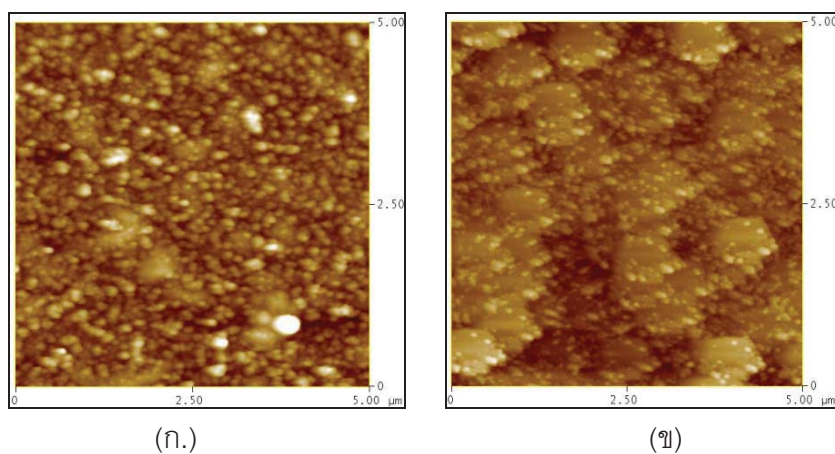
(ก) พื้นผิวกระจกยังไม่ได้เคลือบฟิล์มบาง

(ข) พื้นผิวฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้และยังไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน



รูปที่ 3.23 फिल्मบางที่ผ่านกระบวนการลนด้วยเปลวไฟ (Flame annealed)

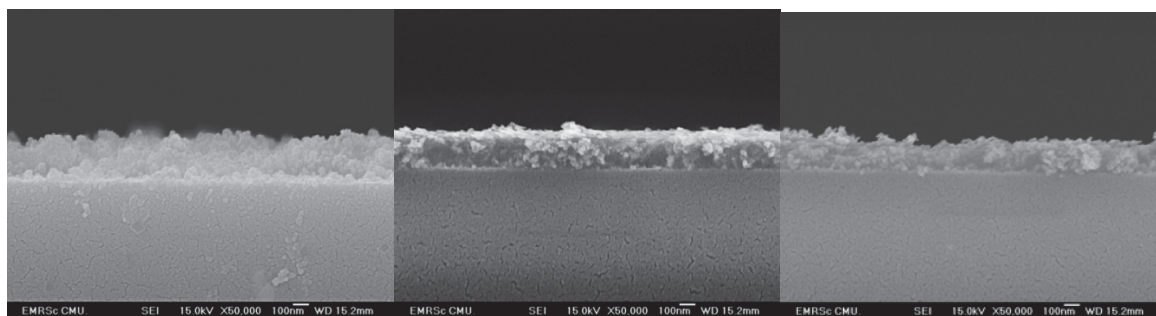
(ก.) ก่อนพ่นละอองน้ำ (ข.) หลังพ่นละอองน้ำ



รูปที่ 3.24 फिल्मบางที่ผ่านกระบวนการอบที่อุณหภูมิ 700°C

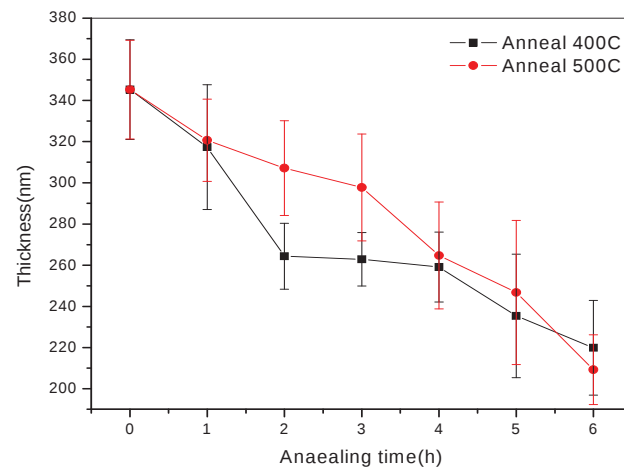
(ก.) ก่อนพ่นละอองน้ำ (ข.) หลังพ่นละอองน้ำ

2. หาคความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบอ่อนกับความหนาของฟิล์มพบว่าความหนาของฟิล์มมีค่าลดลง เมื่ออบอ่อนด้วยเวลาที่นานขึ้น



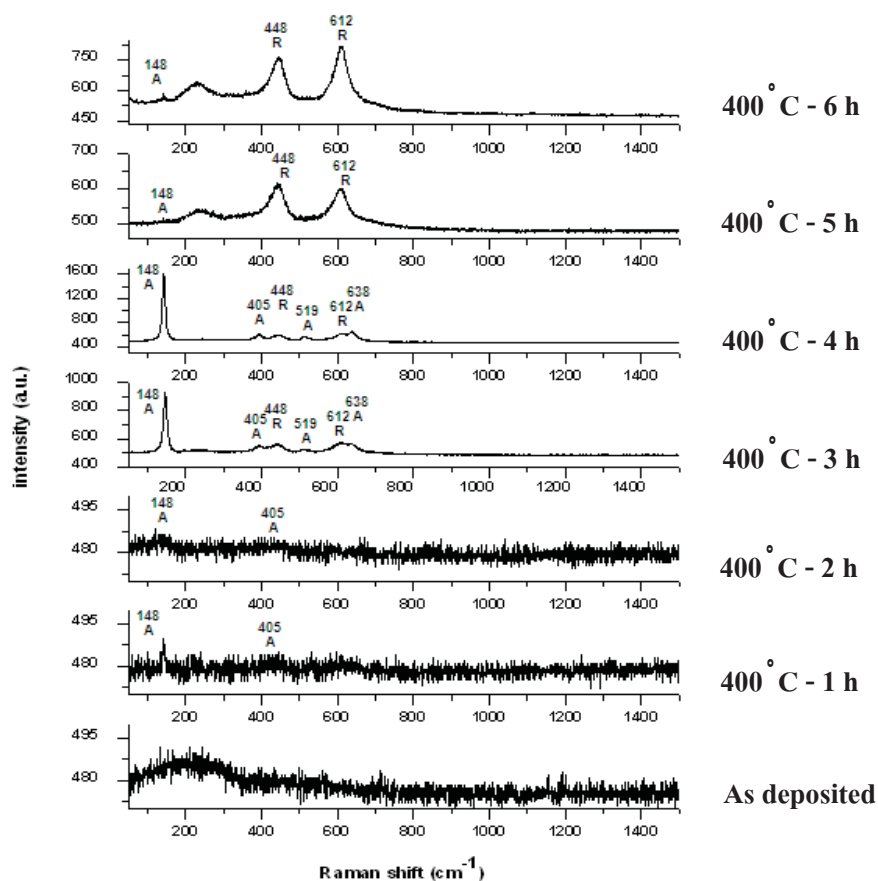
รูปที่ 3.25 ภาพถ่าย SEM แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มบางอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกที่เตรียมโดย

วิธีสปาร์ก อบที่ 400 °C ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมง



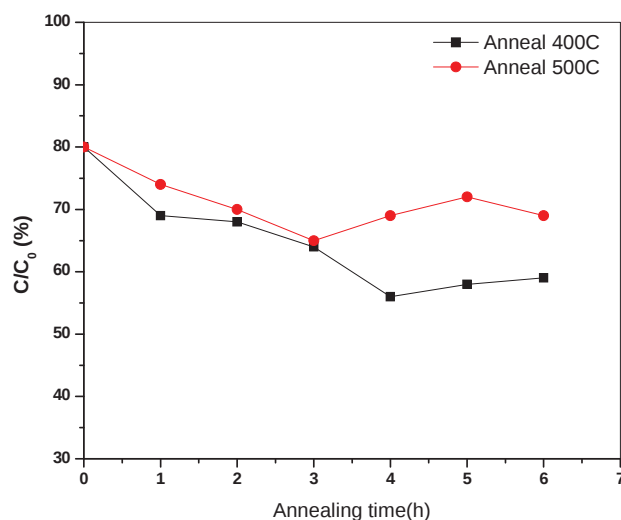
รูปที่ 3.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบอ่อน (Annealing Time) กับความหนา (Thickness)

3. การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของฟิล์มบางด้วยเครื่อง Raman spectroscopy พบว่าเวลาในการอบอ่อนทำให้โครงสร้างทางเคมีของฟิล์มบางอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เปลี่ยนจากออสตราไปเป็นรูไทด์



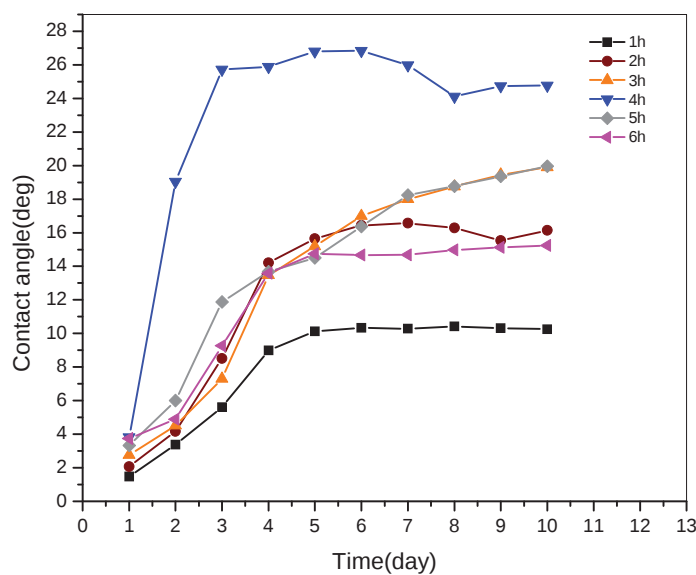
รูปที่ 3.27 กราฟแสดงรามานสเปกตรัมของฟิล์มบางที่ได้จากการเทคนิคการสปาร์ก แล้วนำไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 0-6 h

4. วิเคราะห์การย่อยสลายอินทรีย์สาร พบว่าฟิล์มบางที่อบอ่อนที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สามารถย่อยสลายเมทิลลีนบลูได้ดีที่สุด ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับโครงสร้างทางเคมีของเฟสอะนาเทสที่มีมากที่สุดเมื่ออบอ่อนที่เงื่อนไขดังกล่าว แสดงว่าโครงสร้างแบบอะนาเทสของไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของฟิล์มบางอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธีสปาร์ก



รูปที่ 3.28 กราฟแสดงประสิทธิภาพการย่อยสลายสารเมทิลลีนบลูกับเวลาในการอบอ่อน

5. วิเคราะห์มุมสัมผัสของหยดน้ำ พบว่าอายุของฟิล์มบางตั้งแต่เตรียมเสร็จมีผลต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำ โดยมีการเปลี่ยนแปลงดังกราฟ พบว่าฟิล์มบางที่อบอ่อนจะมีค่าของมุมสัมผัสของหยดน้ำที่สามารถแยกได้ชัดเจน เนื่องจากเมื่อตั้งทิ้งไว้จะมีชั้นฟิล์มบางของน้ำและสารประกอบต่างๆในบรรยากาศมาเคลือบพื้นผิวของฟิล์มทำให้คุณสมบัติ superhydrophilic ลดลง



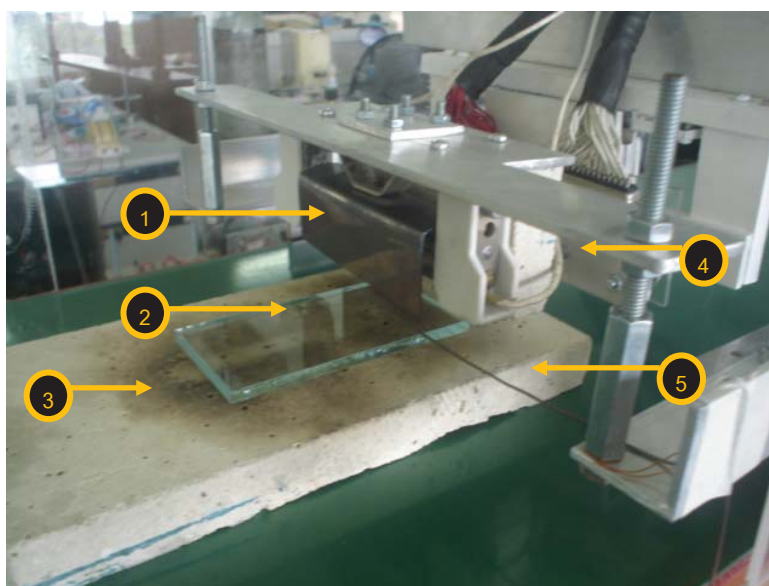
รูปที่ 3.29 กราฟแสดงมุมสัมผัสของหยดน้ำกับเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ 1-10 วันของฟิล์มบาง อบที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1-6 h

2.3 ผลการดำเนินงานปีที่ 3

ได้ทำการวิจัยพัฒนาผิวเคลือบให้มีอายุการใช้งาน ให้ยาวนานขึ้น โดยออกแบบเทคนิคการเคลือบในแบบต่างๆ เพื่อให้ฟิล์มยึดเกาะผิวกระจกได้ดีขึ้น เช่น การเคลือบผิวในขณะที่ยังงานร้อนโดยใช้แผ่นความร้อนวางใต้ชิ้นงานตลอดเวลาที่เคลือบผิว ใช้หลอดฮาโลเจนความร้อนสูงส่องเหนือชิ้นงานขณะเคลือบผิว หรือใช้แสงเลเซอร์หลอมผิวหน้าฟิล์มขณะเคลือบผิว

หลังจากทดสอบด้วยวิธีการต่างๆ ในเบื้องต้นแล้วจึงเลือกใช้วิธีให้ความร้อนด้วยหลอดฮาโลเจนความร้อนสูงมาทำการวิจัยต่อ เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน ค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไป และความร้อนไม่ส่งผลต่อระบบขับเคลื่อนซึ่งเป็นสายพานยาง

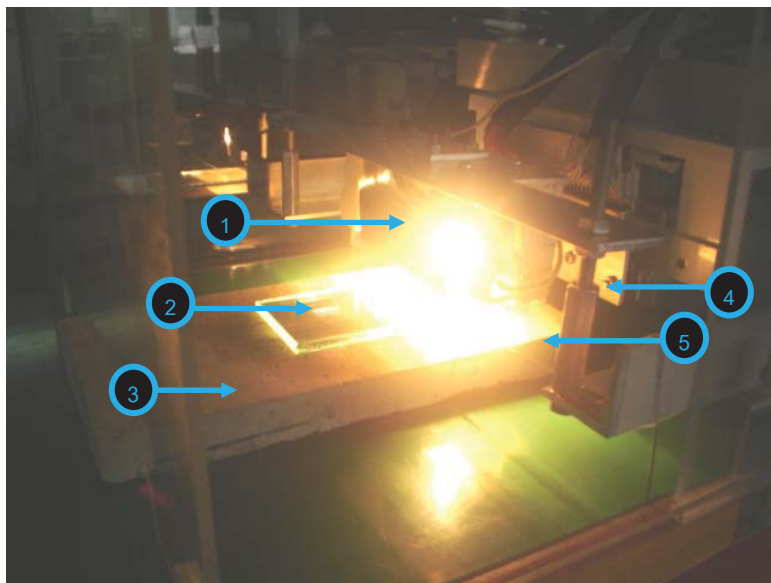
วิธีการทดสอบต้องติดตั้งหลอดฮาโลเจนความร้อนสูงขนาด 500 วัตต์ เหนือชิ้นงานในแนวขนานกับชิ้นงาน ปรับระยะห่างระหว่างหลอดไฟและชิ้นงานให้ได้อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นการให้ความร้อนสลับเคลือบฟิล์มบางในหนึ่งรอบการทำงาน จากนั้นทดลองเคลือบผิวโดยแปรผันจำนวนรอบการเคลือบผิวเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุด แล้วนำกระจกไปทดสอบอายุของฟิล์มโดยการจำลองปริมาณน้ำฝน 20 ปี แล้วนำไปวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องมือต่างๆ



รูปที่ 3.30 แสดงการติดตั้งหลอดไฟฮาโลเจนความร้อน กับชุดเคลือบฟิล์มบางขนาด ความกว้าง 10 เซนติเมตร

(1.)หลอดฮาโลเจนความร้อนสูงติดตั้งในโคมบังคับแสง (2.) ชิ้นงาน (3.) แผ่นฉนวนความร้อน

(4.) ชุดสปาร์ก (5.) เทอร์โมคัปเปิ้ล



รูปที่ 3.31 แสดงการทำงานของหลอดไฟฮาโลเจนความร้อนสูงขนาด 500 วัตต์ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศา

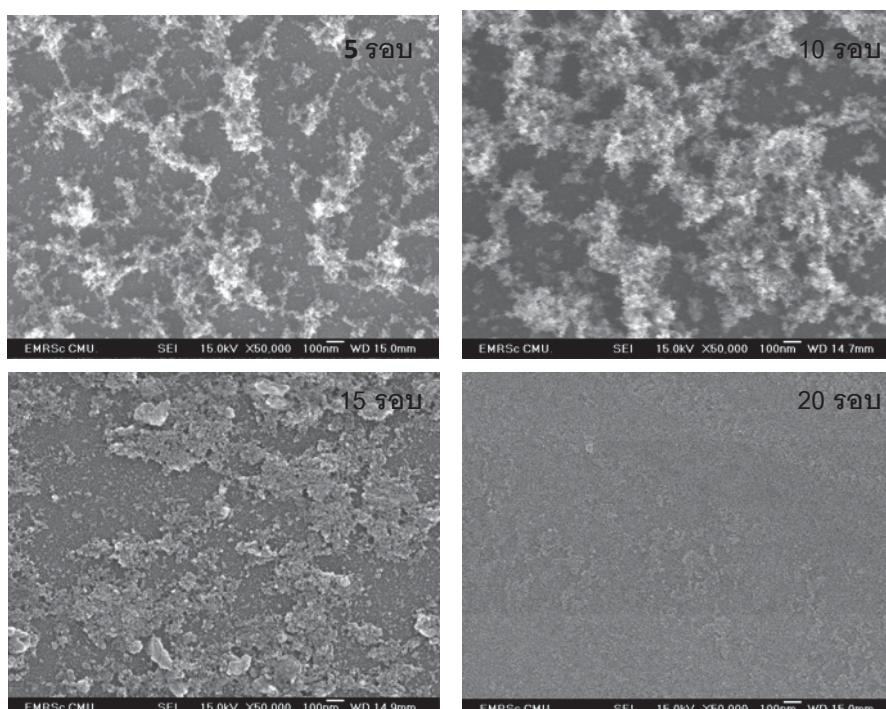
เซลเซียส

- (1.)หลอดฮาโลเจนความร้อนสูงติดตั้งในโคมบังคับแสง (2.) ชิ้นงาน (3.) แผ่นฉนวนความร้อน
(4.) ชุดสปาร์ก (5.) เทอร์โมคัปเปิ้ล

ผลที่ได้รับ

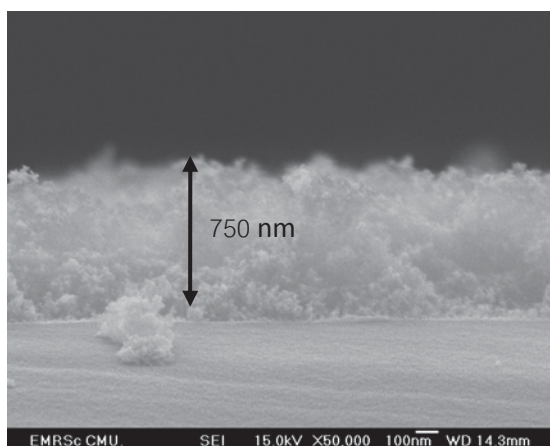
ในส่วนของการวิจัยได้ผลการวิจัยออกมาดังนี้

1. หลังจากทดสอบเคลือบผิวสลับให้ความร้อนจำนวน 5 , 10, 15 และ 20 รอบ นำไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) กำลังขยาย 50,000 เท่า ได้ภาพถ่ายพื้นผิวด้านบนของฟิล์มบางดังแสดงในรูปที่ 3.32



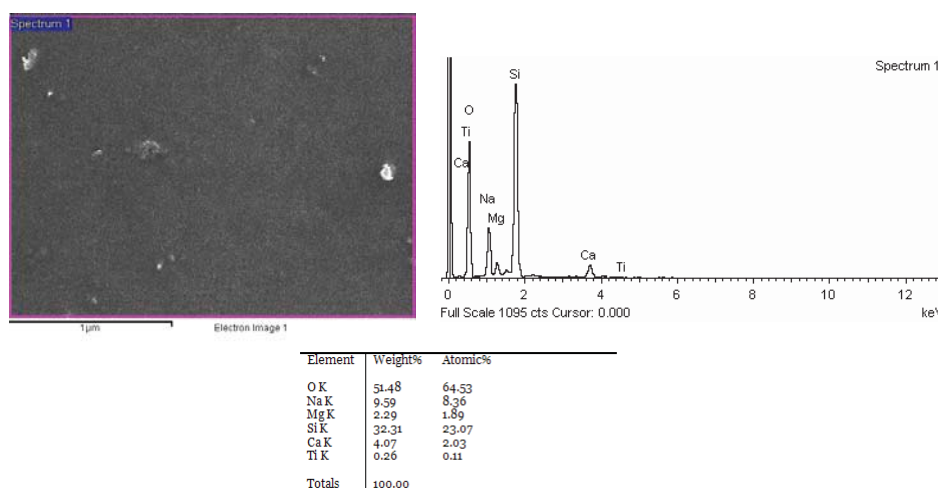
รูปที่ 3.32 ภาพถ่าย SEM ของฟิล์มที่เกิดจากการเคลือบสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส 5, 10, 15, 20 รอบ

จากรูปที่ 3.32 พบว่า การเคลือบฟิล์มบางสลับให้ความร้อนจำนวน 20 รอบ ฟิล์มมีการกระจายตัวทั่วพื้นผิวกระจกมากที่สุด จึงเลือกสภาวะนี้ใช้ทดสอบพ่นน้ำ 20 ปี

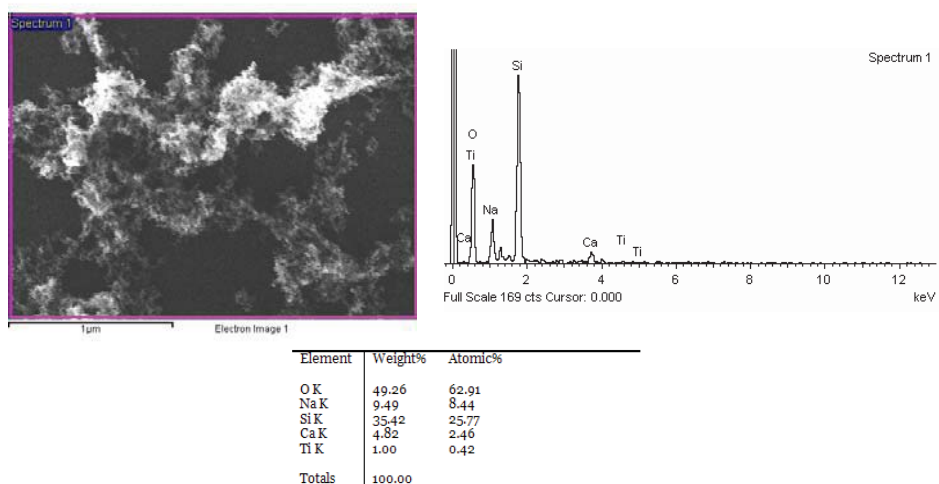


รูปที่ 3.33 ภาคตัดขวางของฟิล์มบางที่เกิดจากการเคลือบสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส 20 รอบก่อนพ่นน้ำ มีความหนาฟิล์มประมาณ 750 นาโนเมตร

2. จากการทดสอบพ่นน้ำ 20 ปีและนำไปทดสอบ SEM อีกครั้ง พบว่า ยังมีฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เหลืออยู่บนผิวกระจก แล้วทำการวิเคราะห์ EDS แสดงปริมาณของไททาเนียมที่ ยังคงเหลืออยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.34 และ 3.35

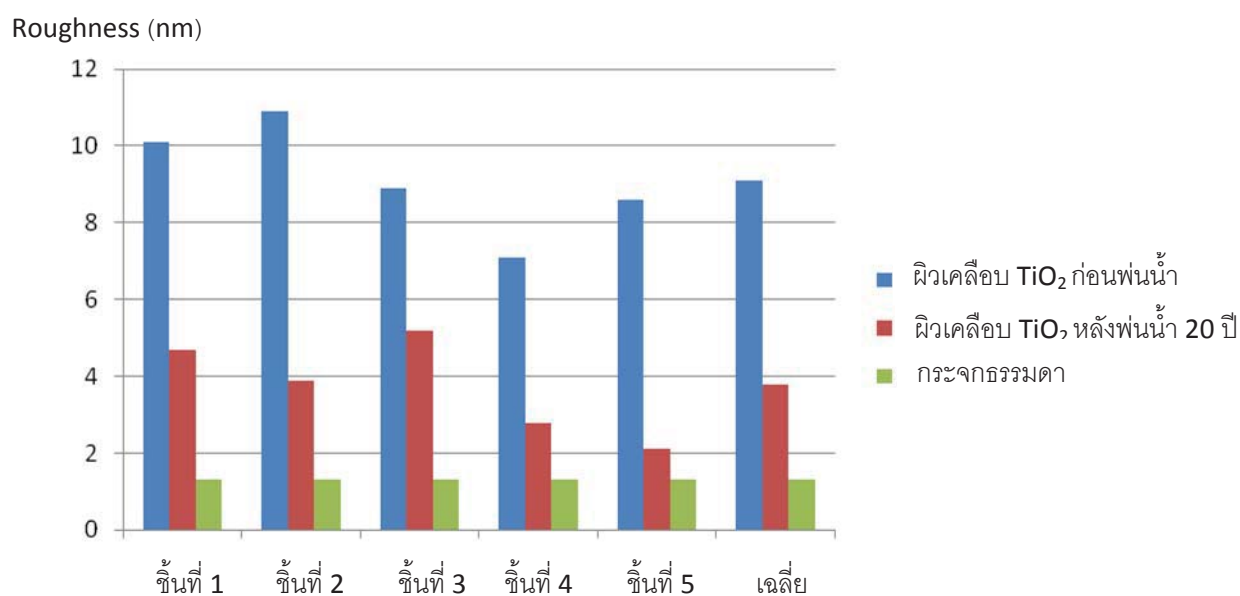


รูปที่ 3.34 ผล EDS ของฟิล์มที่เคลือบสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส 20 รอบก่อนพ่นน้ำ 20 ปี

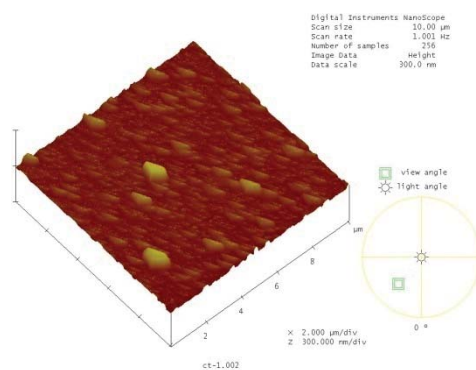


รูปที่ 3.35 ผลการ EDS ของฟิล์มที่เคลือบสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส 20 รอบหลังพ่นน้ำ 20 ปี

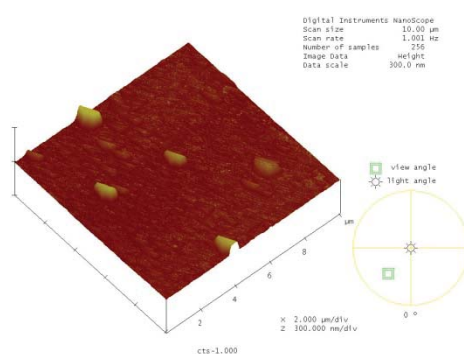
3. จากการทดสอบโดย เครื่อง AFM ค่าความหยาบของผิวเคลือบ หลังจากถูกพ่นน้ำ ค่าความหยาบมีค่าลดลง จากก่อนพ่นน้ำ และค่าความหยาบมีค่าอยู่ระหว่างกระจกธรรมดาที่ไม่ผ่านการเคลือบกับกระจกที่ไม่ผ่านการพ่นน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 ค่าความหยาบของฟิล์มบางที่เคลือบผิวสลับให้ความร้อน ก่อนพ่นน้ำและหลังพ่นน้ำ 20 ปี

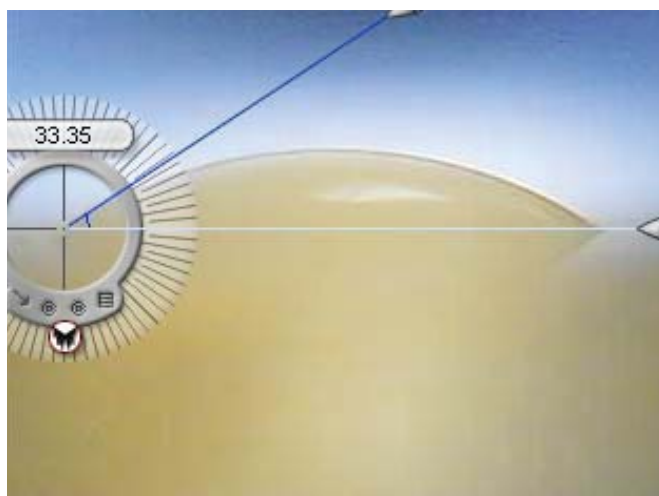


รูปที่ 3.37 ผลการทดสอบด้วย AFM ของกระจกที่เคลือบสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส 20 รอบก่อนพ่นน้ำ



รูปที่ 3.38 ผลการทดสอบด้วย AFM ของกระจกที่เคลือบสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส 20 รอบหลังพ่นน้ำ 20 ปี

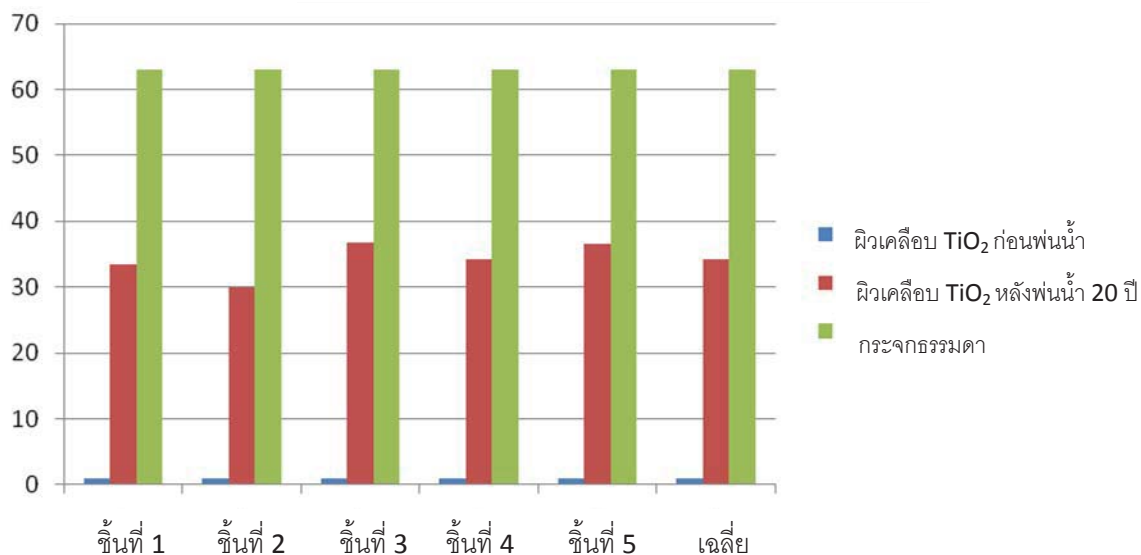
4. กระจกที่เคลือบผิวสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียสก่อนพ่นน้ำและหลังพ่นน้ำ 20 ปี พบว่า มุมสัมผัสหยดน้ำก่อนพ่นน้ำมีค่าน้อยมาก ไม่สามารถวัดมุมได้ แต่หลังจากทดสอบพ่นน้ำ 20 ปี แล้วมุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ 32.44 องศา ซึ่งก็ยังมีค่าน้อยกว่ากระจกที่ไม่มีผิวเคลือบ (~52 องศา)



รูปที่ 3.39 มุมสัมผัสหยดน้ำของกระจกที่เคลือบผิวสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียสหลังพ่นน้ำ 20 ปี

จากรูปที่ 22. สามารถเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสหยดน้ำของฟิล์มบาง TiO_2 ที่เคลือบผิวสลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส ก่อนพ่นน้ำและหลังพ่นน้ำ ดังนี้

ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ (องศา)



รูปที่ 3.40 ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำของผิวเคลือบ TiO_2 สลับให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียสก่อนพ่นน้ำและหลังพ่นน้ำ 20 ปี

ผลการวิจัยพบว่า การปรับเทคนิคการเคลือบผิวขณะกระจกร้อนด้วยวิธีใช้หลอดไฟฮาโลเจนความร้อนสูงติดตั้งเหนือกระจกและปรับระยะห่างระหว่างหลอดและกระจกให้ได้อุณหภูมิที่ผิวกระจก 400 องศา และเคลือบ 20 รอบนั้น มีความเป็นไปได้ที่จะช่วยให้ฟิล์มบางยึดเกาะผิวกระจกได้แน่นกว่าเดิม โดยดูจากผล AFM ที่ยังคงมีฟิล์มบางเหลืออยู่หลังจากทดสอบพ่นน้ำ 20 ปีและมุมสัมผัสหยดน้ำ ที่ยังมีค่านูนน้อยกว่ากระจกที่ไม่ได้เคลือบฟิล์มบางที่ผิว

บทที่ 4

สรุปผลการดำเนินงาน

1. สรุปผลการพัฒนาเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์

การดำเนินงานตลอดระยะเวลา 3 ปี ได้มีการพัฒนาเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์มีดังนี้

1.1 เครื่องสังเคราะห์ Version 1 มีหัวสปาร์ก เพียง 1 หัว สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะออกไซด์ที่มีขนาดน้อยกว่า 50 นาโนเมตรที่มีอัตราการผลิตประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

1.2 เครื่องสังเคราะห์ Version 2 ที่พัฒนาให้มีหัวสปาร์ก 9 หัว สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะออกไซด์ที่มีขนาดน้อยกว่า 50 นาโนเมตร ได้ในปริมาณที่มากขึ้น พร้อมกับระบบรางเลื่อนอัตโนมัติ ที่ช่วยให้สามารถเคลือบฟิล์มบางบนพื้นผิวของวัสดุได้สะดวกรวดเร็ว

1.3 เครื่องสปาร์กแบบ 36 หัวพร้อมแท่นป้อนชิ้นงานระบบสายพานลำเลียงขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ความยาว 150 เซนติเมตร สามารถรองรับขนาดใหญ่ที่สุดขนาด 30×75 เซนติเมตร ในการป้อนชิ้นงานสามารถควบคุมความเร็วในการป้อนชิ้นงานได้ตั้งแต่ 3 – 900 เซนติเมตรต่อนาที และสามารถควบคุมทิศทางในการป้อนชิ้นงานได้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วและทิศทาง

1.4 เครื่องสปาร์กแบบ 9 หัว พร้อมกับระบบรางเลื่อนอัตโนมัติ ที่ได้พัฒนาเพื่อให้สามารถใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีระบบอัตโนมัติ จอแสดงผลบอกจำนวนรอบ และมีระบบเซฟตี้

1.5 หัวสปาร์กเคลื่อนที่ชนิดด้ามจับ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมาจากเครื่องสังเคราะห์อนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ด้วยกระบวนการสปาร์ก เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ และนำไปเคลือบฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ได้ในทุกพื้นที่

2. สรุปผลการวิจัยอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของโลหะออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

2.1 อนุภาคที่ได้จากเครื่องสังเคราะห์ที่สร้างขึ้นมีขนาดน้อยกว่า 50 นาโนเมตร ความหนาของฟิล์มบางสามารถควบคุมให้อยู่ในระดับของหลายสิบถึงหลายร้อยนาโนเมตรได้

2.2 การวิเคราะห์กระบวนการทางความร้อน

2.2.1 ในกระบวนการลดด้วยเปลวไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ พบว่าความร้อนมีผลทำให้ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางที่เตรียมได้ เปลี่ยนจากพื้นผิวที่มีลักษณะเป็นอสัณฐาน กลายเป็นพื้นผิวที่มีลักษณะคล้ายผลึกเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ

2.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบอ่อนกับความหนาของฟิล์มพบว่าความหนาของฟิล์มมีค่าลดลง เมื่ออบอ่อนด้วยเวลาที่นานขึ้น

2.2.3 เวลาในการอบอ่อนทำให้โครงสร้างทางเคมีของฟิล์มบางอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เปลี่ยนจากโครงสร้างแบบอสังฐานไปเป็นอนาเทส (400°C 4 ชั่วโมง) และรูไทด์ (400°C 5 - 6 ชั่วโมง) เมื่อเวลาในการอบเพิ่มขึ้น

2.2.4 เทคนิคการให้ความร้อนด้วยหลอดไฟฮาโลเจน แล้วปรับอุณหภูมิที่ผิวกระจกเป็น 400°C 4 ชั่วโมง มีแนวโน้มที่จะช่วยให้ฟิล์มบางยึดเกาะผิวกระจกได้ดีขึ้น จากผล AFM ที่มีฟิล์มบางเหลืออยู่หลังจากทดสอบพ่นน้ำ 20 ปี และมุมสัมผัสหยดน้ำที่ยังมีค่าน้อยกว่ากระจกที่ไม่ได้เคลือบฟิล์มบาง

2.3 การย่อยสลายอินทรีย์สารของฟิล์มบางที่อบอ่อนที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สามารถย่อยสลายเมทิลีนบลูได้ดีสอดคล้องกับโครงสร้างทางเคมีที่เป็นเฟสอะนาเทส

2.4 วิเคราะห์มุมสัมผัสของหยดน้ำ มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มบาง TiO_2 มีค่าประมาณ 1.5 องศา แต่อายุของฟิล์มบางตั้งแต่เตรียมเสร็จมีผลต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำ เนื่องจากเมื่อตั้งทิ้งไว้จะมีชั้นฟิล์มบางของน้ำและสารประกอบต่างๆ ในบรรยากาศมาเคลือบพื้นผิวของฟิล์มทำให้คุณสมบัติ superhydrophilic ลดลง

บรรณานุกรม

- [1] S. Thongtem, P. Singjai, T. Thongtem, S. Preyachoti, "Growth of carbon nanoflowers on glass slides using sparked iron as a catalyst" *Materials Science and Engineering A* 423 (2006) 209-213.
- [2] S. Thongtem, P. Singjai, T. Thongtem, S. Daothong, "Growth of CNTs on 304 stainless steel using sparked iron as a catalyst" *Materials Science Forum* 510-511 (2006) 470-473.
- [3] T. Kumpika, W. Thongsuwan, P. Singjai, "Atomic force microscopy imaging of ZnO nanodots deposited on quartz by sparking off different tip shapes" *Surface and Interface Analysis* 39 (2007) 58-63.
- [4] T. Kumpika, W. Thongsuwan, P. Singjai, "Optical and electrical properties of ZnO nanoparticle thin films deposited on quartz by sparking process" *Thin Solid Films* (2007) (in press) doi:10.1016/j.tsf.2007.07.062
- [5] W. Thongsuwan, T. Kumpika, P. Singjai, "Photocatalytic property of colloidal TiO₂ nanoparticles prepared by sparking process" *Current Applied Physics* (2007) (in press) doi:10.1016/j.cap.2007.10.004