



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสังเคราะห์เส้นใยนาโนคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO ที่มีประสิทธิภาพ  
การเร่งปฏิกิริยาดำวยแสงที่เพิ่มขึ้นภายใต้แสงที่มองเห็น เพื่อประยุกต์ใช้  
งานด้านสิ่งแวดล้อม

Synthesis of N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO nanocomposite fibers with enhanced  
photocatalytic activity under visible light for  
environment applications

นายวิษณุ เพชรภา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



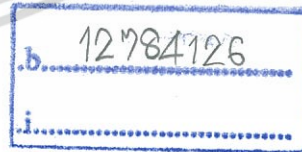
## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสังเคราะห์เส้นใยนาโนคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO ที่มีประสิทธิภาพ  
การเร่งปฏิกิริยาดำรงแสงที่เพิ่มขึ้นภายใต้แสงที่มองเห็น เพื่อประยุกต์ใช้  
งานด้านสิ่งแวดล้อม

Synthesis of N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO nanocomposite fibers with enhanced  
photocatalytic activity under visible light for  
environment applications

RCH  
046811  
2555

เลขที่.....  
เลขทะเบียน.....  
วันเดือนปี..... 6 ส.ย. 2559



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ชื่อโครงการ** การสังเคราะห์เส้นใยนาโนคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO ที่มีประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาดังแสงที่เพิ่มขึ้นภายใต้แสงที่มองเห็น เพื่อประยุกต์ใช้งานด้านสิ่งแวดล้อม

**แหล่งเงิน** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ประจำปีงบประมาณ** 2554      **จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน** 254,400.00      **บาท**

**ระยะเวลาทำการวิจัย** 1 ปี      **ตั้งแต่** 1 ตุลาคม 2554      **ถึง** 30 กันยายน 2555

**หัวหน้าโครงการ** นายวิษณุ เพชรภา      **คณะ** วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

**มหาวิทยาลัย** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

การสังเคราะห์เส้นใยนาโนคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาดังแสงที่เพิ่มขึ้นภายใต้แสงที่มองเห็น โดยการสังเคราะห์เส้นใยนาโนใช้วิธีการฉีดยเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ หรือระบบอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) โดยในการเตรียมจะทำการเปรียบเทียบผลของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ไม่มีการเจือไนโตรเจน และแบบที่เจือไนโตรเจนเป็นปริมาณ 1,3 และ 5% ตามลำดับ และทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จะทำให้ได้สร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นแบบนาโนทิว ทำการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction ; XRD) ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสาร วิเคราะห์สเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray photoelectron spectroscopy ; XPS) เพื่อทำการวิเคราะห์ธาตุ และปริมาณการเจือไนโตรเจนที่มีอยู่ในไทเทเนียมไดออกไซด์ และทำการทดสอบการย่อยสลายสีย้อม (Rhodamine B ; RhB) โดยวิธีทางแสง และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพภายใต้แสงในย่านที่ตามองเห็นได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับสารไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ยังไม่มีการเจือไนโตรเจน จากนั้นจึงนำเส้นใยนาโนที่มีการเจือไนโตรเจนดังกล่าวมาผสมเข้ากับคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เพื่อนำไปใช้ประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังแสงในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากและประยุกต์ใช้งานทางด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป

**คำสำคัญ :** ไทเทเนียมไดออกไซด์, คอปเปอร์ออกไซด์, ไนโตรเจน, อิเล็กโตรสปินนิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** Synthesis of N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO nanocomposite fibers with enhanced photocatalytic activity under visible light for environment applications

**Researcher:** Mr. Wisanu Pecharapa

**Faculty** College of Nanotechnology

### **Abstract**

The preparation of Nitrogen-doped TiO<sub>2</sub>/CuO nanofibers with enhanced photocatalytic activity under visible light is reported. First, Nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers were prepared by electrospinning process. The different amount of nitrogen doping of 1, 3 and 5% was introduced into the fibers followed by annealing process at 500 °C for 2 hrs, resulting to the formation of Anatase TiO<sub>2</sub>. The structural properties of nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). XRD results indicated that the crystallinity of as-prepared fibers and after calcined corresponds to phase of TiO<sub>2</sub> independent on nitrogen content. XPS indicates that nitrogen was doped effectively into the fibers. Nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofiber materials were utilized as the photocatalyst in dye photodegradation under visible light. The significant absorption enhancement in visible region was obtained by nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers relating to the improvement of photocatalytic efficiency comparing to undoped-TiO<sub>2</sub>. Nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers were further used for the preparation of Nitrogen-doped TiO<sub>2</sub>/CuO composite as potential candidate for various environment applications.

**keywords :** titanium dioxide, copper oxide, nitrogen, electrospinning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งเงินงบประมาณแผ่นดิน/เงินรายได้ ที่ให้แหล่งเงินทุนในการทำงานวิจัยและอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ที่เป็นส่วนสำคัญในการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง และคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในการสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณบทความวิจัย หนังสือที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่ใช้สำหรับศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับงานวิจัย เพื่อความเข้าใจและไขข้อสงสัย

รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา

สินีนาง สุพรรณกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	จ
สารบัญภาพ .....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม .....	4
2.1 แนวคิด ทฤษฎีหลักตามประเด็นให้ครอบคลุมเรื่องที่วิจัย .....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม .....	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	14
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	14
3.2 ขั้นตอนการเตรียมสาร .....	17
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	19
4.1 ผลการสังเคราะห์และวิเคราะห์เส้นใยนาโน N-doped TiO <sub>2</sub> ที่เตรียมได้ .....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการวิเคราะห์สารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์.....	26
4.3 ผลการวิเคราะห์วัสดุนาโนคอมโพสิต N-doped TiO <sub>2</sub> /CuO.....	28
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	35

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ประวัตินักวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

2.1 ผลการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง

โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสงเป็นวัสดุคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub>

ที่เจือและไม่เจืออะตอมของวานาเดียมเกิดปฏิกิริยาการย่อย..... 11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างผลึกของไทเทเนียม	4
2.2 กลไกการทำงานของสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์	5
2.3 ส่วนประกอบและหลักการของวิธีอิเล็กโตรสปินนิง	6
2.4 แสดงค่าการดูดกลืนของแสงกับความยาวคลื่นเมื่อมีการเจือ N ลงใน $\text{TiO}_2$	8
2.5 แสดงอัตราการย่อยสลายของปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเจือ N ลงในท่อนาโน $\text{TiO}_2$ ภายใต้การฉายแสงที่ตามองเห็น	8
2.6 การย่อยสลายปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เทียบกับปริมาณการเติม CuO	9
2.7 การเพิ่มของความหนาแน่นของกระแสเมื่อมีการใช้วัสดุไฮบริดคอมโพสิต $\text{TiO}_2/\text{CuPc}$ ในอุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมเมื่อเทียบกับไทเทเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว	10
2.8 แสดงประสิทธิภาพการย่อยสลายแก๊สโทลูอินซึ่งมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงกลับมาใช้ใหม่ ภายใต้การฉายแสงที่ตามองเห็น	11
2.9 แสดงการย่อยสลายของไซนาไมด์เทียบกับเวลาการฉายแสงของ $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ ที่มีปริมาณ CuO 0.10% ของน้ำหนักโดยมวล	12
2.10 แสดงปฏิกิริยาการเกิดแก๊สไฮโดรเจนโดยใช้วัสดุคอมโพสิต $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ ที่มีการเจือปริมาณ CuO และเผาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	12
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	16
3.2 ภาพขณะทำการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์	18
4.1 ลักษณะทางการเกิดภาพของเส้นใยที่เตรียมได้	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.2 การวิเคราะห์ XRD ของ N-doped TiO <sub>2</sub> ของก่อนการเผา และหลังทำการเผา ที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	20
4.3 การวิเคราะห์ FE-SEM ของ Undoped และ N-doped TiO <sub>2</sub> ของก่อนการเผา และหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	22
4.4 ภาพถ่ายกำลังขยายต่ำของเส้นใยนาโน N-doped TiO <sub>2</sub> ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5%.....	23
4.5 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของเส้นใยนาโน N-doped TiO <sub>2</sub> ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5%.....	24
4.6 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนอิเล็กตรอนของเส้นใยนาโน N-doped TiO <sub>2</sub> ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5%.....	24
4.7 การวิเคราะห์ด้วย XPS ที่ N-doped TiO <sub>2</sub> ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5%.....	25
4.8 การวิเคราะห์ XRD ของ CuO ของก่อนการเผา และหลังทำการเผา ที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	26
4.9 การวิเคราะห์ SEM ของ CuO ของก่อนการเผา และหลังทำการเผา ที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	27
4.10 การวิเคราะห์ XRD ของนาโนคอมโพสิต N-doped TiO <sub>2</sub> /CuO เมื่อทำการเผา ที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	28
4.11 การวิเคราะห์ SEM ของนาโนคอมโพสิต N-doped TiO <sub>2</sub> /CuO เมื่อทำการเผา ที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่

หน้า

4.12 แสดงค่าการดูดกลืนของแสงของการเจือในโพลีเมอร์ ที่ undoped 1%, 3% และ 5%

ที่ค่าเวลาต่างๆ..... 32

4.13 การวิเคราะห์ด้วย Photodegradation ที่ undoped 1%, 3% และ 5% ที่เวลา 120 นาที.... 32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหาเกี่ยวกับมลภาวะสิ่งแวดล้อมเริ่มที่จะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำและอากาศ อาทิเช่น มลพิษทางน้ำที่ถูกปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม ปรากฏการณ์เรือนกระจก และภาวะอากาศเป็นพิษ เป็นต้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสง (Photocatalyst) ประเภทสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ในการลดปริมาณสารก่อมลภาวะ เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความสนใจและมีการศึกษาอย่างแพร่หลายซึ่งสามารถนำประยุกต์ใช้งานทางด้านสิ่งแวดล้อมได้จริง โดยการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสงจะเกิดจากการที่อนุภาคของสารมีส่วนร่วมในการทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยที่ตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ ทำให้สารที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีการนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) เป็นสารกึ่งตัวนำแถบพลังงานกว้างที่มีสมบัติเด่นที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสงตัวหนึ่ง ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของไททาเนียมไดออกไซด์อย่างแพร่หลาย โดยไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียม ซึ่งอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชันนอกจากนั้นสมบัติเด่นอื่นๆ ที่น่าสนใจของไททาเนียมไดออกไซด์ คือ มีความเสถียรต่อสารเคมี ราคาไม่แพงมาก อีกทั้งไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye Sensitized Solar Cell; DSSC) กระบวนการแยกโมเลกุลน้ำ (Water splitting reaction) เพื่อผลิตพลังงานไฮโดรเจน การกำจัดสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำหรืออากาศ และการยับยั้งแบคทีเรีย เป็นต้น เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์มีการนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น ขณะนี้นาโนเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุ โดยการสังเคราะห์ให้อยู่รูปโครงสร้างขนาดเล็กระดับนาโน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาไททาเนียมไดออกไซด์ให้อยู่ในรูปของโครงสร้างนาโน เพื่อทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี ซึ่งมีการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างนาโน อาทิเช่น แผ่นนาโน (nanosheet), ท่อนาโน (nanotube), อนุภาคนาโน

(nanoparticle) และเส้นใยนาโน (nanofiber) แต่ถ้ายึดต้องการนำไททาเนียมไดออกไซด์ไปใช้งานทางด้านสิ่งแวดล้อม ควรจะสังเคราะห์ให้อยู่รูปเส้นใยนาโน เนื่องจากสามารถนำไปใช้เป็นชั้นเยื่อหุ้มผ่านได้ (membrane) ได้ ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้งานจริงมากกว่า

อย่างไรก็ตามไททาเนียมไดออกไซด์จะมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงได้ ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขการฉายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet irradiation) เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีค่าแถบพลังงานคูกกลืนกว้างประมาณ 3.2 eV ดังนั้นการฉายด้วยแสงอาทิตย์ยังเป็นข้อจำกัดของการทำงานของไททาเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากในแสงอาทิตย์มีส่วนประกอบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตประมาณ 3-5% ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาประสิทธิภาพของไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อให้สามารถคูกกลืนแสงในแสงย่านที่ตามองเห็นได้ (Visible Light) นอกจากนี้ข้อด้อยอีกประการหนึ่งของไททาเนียมไดออกไซด์ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง คือ การรวมตัวกันของคู่อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยแสงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน จำเป็นต้องหาวิธีการลดการรวมตัวกันที่รวดเร็วของคู่อิเล็กตรอนและโฮลดังกล่าว ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการลดข้อจำกัดทั้งสองของไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของไททาเนียมไดออกไซด์ การเจือด้วยธาตุไนโตรเจน (Nitrogen; N) ลงไปในไททาเนียมไดออกไซด์ (N-doped TiO<sub>2</sub>) จะสามารถทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์คูกกลืนแสงในย่านที่ตามองเห็นได้ จะช่วยให้ไททาเนียมไดออกไซด์สามารถคูกกลืนพลังงานแสงในช่วงตามองเห็นได้ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถดำเนินได้ภายใต้แสงย่านที่ตามองเห็นและแสงอาทิตย์ และการลดข้อจำกัดของการรวมตัวของคู่อิเล็กตรอนโฮล จะทำโดยการทำให้อยู่ในรูปคอมโพสิตกับสารกึ่งตัวนำที่ช่วยในการแยกคู่อิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ CuO เนื่องจากมีสมบัติเด่นหลายประการ อาทิเช่น เป็นสารกึ่งตัวนำแบบ P-type ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย อีกทั้งยังใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และแก๊สที่เป็นพิษที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น ไซยาไนด์ (Cyanide), อะซีทอลดีไฮด์ (acetaldehyde) และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide; CO) ได้ ดังนั้นเมื่อนำสมบัติเด่นของแต่ละสารมารวมกันในรูปของวัสดุคอมโพสิตของการเจือไนโตรเจนลงในไททาเนียมไดออกไซด์เส้นใยนาโนและคอปเปอร์ออกไซด์ (N-doped TiO<sub>2</sub> nanofiber/CuO) ซึ่งเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานวัสดุคอมโพสิตเพียงตัวเดียวแต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแสงอาทิตย์จากธรรมชาติ และงานต่างๆได้หลากหลายมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการเตรียมเส้นใยนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีอิเล็กโตรสปินนิง (electrospinning)

1.2.2 ศึกษาวิธีการเจือไนโตรเจนลงในเส้นใยนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ และผลของการเจือต่อสมบัติการดูดกลืนแสงในย่านที่ตามองเห็นของเส้นใยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

1.2.3 ศึกษาวิธีการเตรียมเส้นใยนาโนคอมโพสิต N-doped  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  และผลของ CuO ต่อประสิทธิภาพการทำงานของเส้นใยนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสง

1.2.4 ศึกษาสมบัติทางโครงสร้าง สมบัติทางพื้นผิว สัณฐานวิทยา และสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเส้นใยนาโนคอมโพสิต N-doped  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$

1.2.5 เพื่อสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการเตรียมวัสดุนาโนคอมโพสิต N-doped  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$

1.2.6 เพื่อใช้เป็นวัสดุใหม่ที่มีสมบัติที่เหมาะสมในการประยุกต์ในด้านสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น การบำบัดน้ำเสีย การฆ่าเชื้อแบคทีเรีย การกำจัดก๊าซที่เป็นมลภาวะ เป็นต้น

1.2.7 เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้ไปตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ และนานาชาติ รวมทั้งการเสนอผลงานแก่นักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เตรียมเส้นใยนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี electrospinning ให้ได้เส้นใยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ติดต่อการนำไปใช้งาน

1.3.2 เตรียมเส้นใยนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยไนโตรเจนด้วยวิธี electrospinning และหาเงื่อนไขการเตรียมที่เหมาะสม

1.3.3 เตรียมวัสดุนาโนคอมโพสิตของ N-doped  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  ที่มีอัตราส่วนระหว่าง N-doped  $\text{TiO}_2$  และ CuO ค่าต่างๆ ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (dip coating) และการ Calcination

1.3.4 ตรวจสอบสมบัติทางโครงสร้าง สมบัติทางพื้นผิว สมบัติทางแสง รวมทั้งการยับยั้งแบคทีเรีย ของวัสดุนาโนคอมโพสิต N-doped  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  ที่เตรียมได้

1.3.5 ตรวจสอบสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสงเพื่อประยุกต์ใช้ในงานการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือการยับยั้งแบคทีเรียหรือเชื้อรา

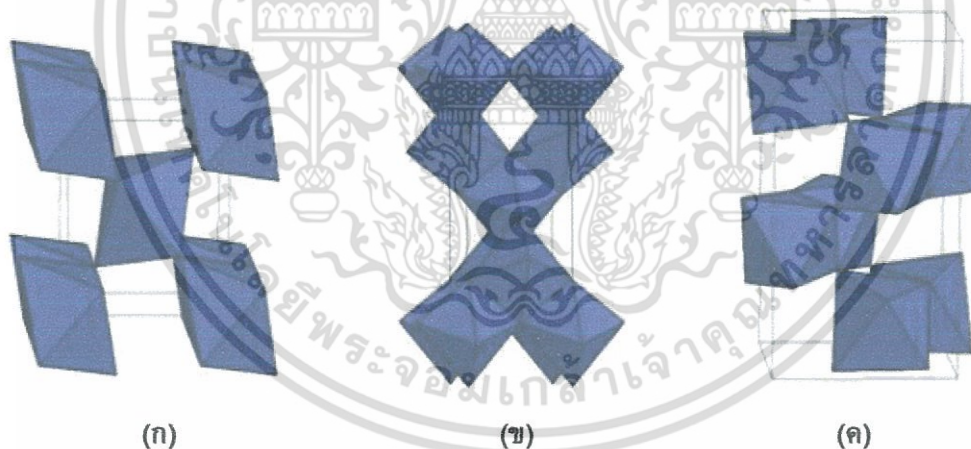
## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 แนวคิด ทฤษฎีหลักตามประเด็นให้ครอบคลุมเรื่องที่วิจัย

##### 2.1.1 สมบัติของไททาเนียมไดออกไซด์

ไททาเนียมไดออกไซด์ หรือเรียกว่า Titanium (IV) oxide หรือ Titania มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{TiO}_2$  ซึ่งจะมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไททาเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้าง 3 แบบ ดังภาพที่ 2.1 คือ Anatase, Rutile และ Brookite โดย Anatase และ Rutile จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ tetragonal ส่วน Brookite จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ orthorhombic ไททาเนียมไดออกไซด์ส่วนมากจะอยู่ในรูปของ Rutile มากที่สุด ซึ่งเป็นสถานะที่เสถียรที่สุด ส่วน Anatase และ Brookite จะเกิดจากการนำ Rutile ไปเข้าสู่กระบวนการให้ความร้อน จะทำให้ได้ทั้งสองตัวนี้ออกมา ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำแถบพลังงานกว้าง ซึ่งมีค่าแถบพลังงานเป็น 3.2 eV ซึ่งมีสมบัติพิเศษอื่นๆ ที่เหมาะสมต่อการใช้งานด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ยับยั้งและฆ่าเชื้อโรคได้ดี ไม่มีกลิ่นและมีความสามารถในการดูดซับ มีความคงทนต่อสารเคมีได้ดี เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์

(ก) Rutile

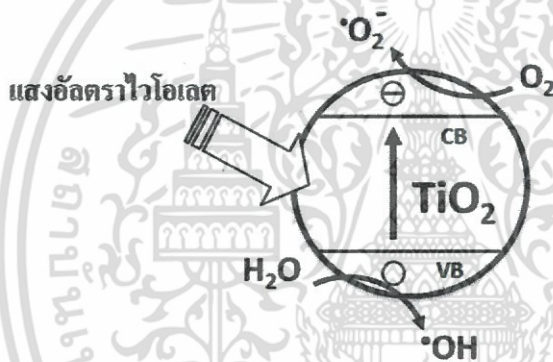
(ข) Anatase

(ค) Brookite

ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/varticle/27809>

### 2.1.2 การตัวเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสงของไททาเนียมไดออกไซด์

การเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสง คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงและตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดปฏิกิริยา โดยไททาเนียมไดออกไซด์สามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เมื่ออยู่ภายใต้การฉายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมที่ทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์ถูกกระตุ้นและเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮล โดยอิเล็กตรอนจะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดอนุมูลเปอร์ออกซิเจน ( $O_2^-$  radical) ส่วนโฮลจะไปทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดอนุมูลไฮดรอกซิล ( $\cdot OH$  radical) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งทั้งสองอนุมูลจะเป็นบทบาทสำคัญที่จะนำไปย่อยสลายพันธะของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ จากสมบัตินี้ของไททาเนียมไดออกไซด์จึงได้นำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์และแบคทีเรียที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำและอากาศ แต่เนื่องจากการรวมตัวที่รวดเร็วของคู่อิเล็กตรอนและโฮล ของไททาเนียมไดออกไซด์ และไม่สามารถถูกกระตุ้นด้วยแสงธรรมชาติได้ จึงเป็นข้อต่อที่ต้องมีการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น



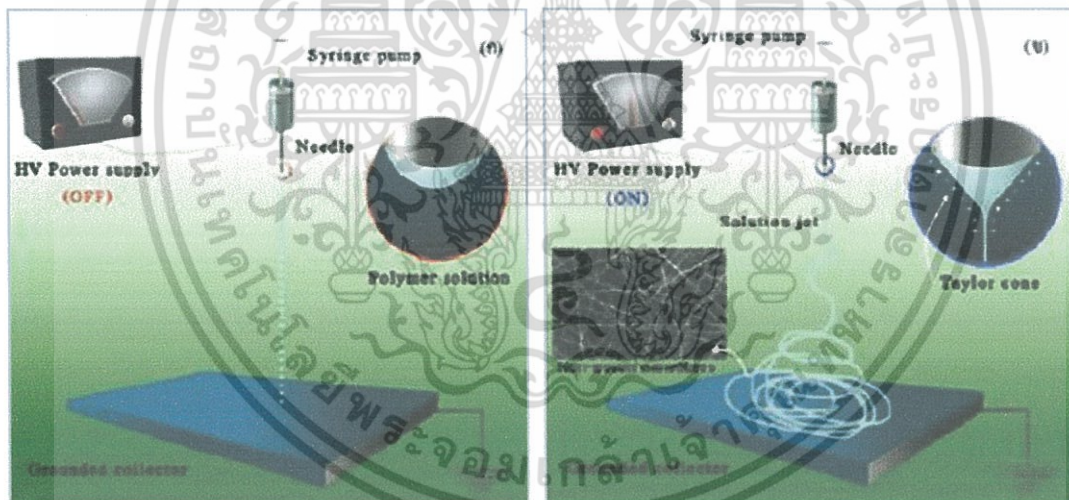
ภาพที่ 2.2 กลไกการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสงของไททาเนียมไดออกไซด์

### 2.1.3 การเตรียมเส้นใยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีอิเล็กโตรสปินนิง

เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์สามารถนำไปประยุกต์ในงานได้หลากหลายแล้ว เพื่อเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของไททาเนียมไดออกไซด์ให้ดีขึ้น จึงได้มีการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ให้เป็นโครงสร้างระดับนาโน ซึ่งจะมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แผ่นฟิล์มบาง ( $TiO_2$  Thin film), ท่อนาโน ( $TiO_2$  nanotube), แผ่นนาโน ( $TiO_2$  nanosheet), อนุภาคนาโน ( $TiO_2$  nanoparticle) และเส้นใยนาโน ( $TiO_2$  nanofiber) เป็นต้น ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) ให้มากขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้สนใจการทำเส้นใยนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งจะสังเคราะห์ได้ด้วยระบบอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) หรือวิธีการฉีดเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ซึ่งมีหลักการดำเนินงานดังภาพที่ 2.3 คือ เมื่อยังไม่ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบ สารละลายจำนวนหนึ่งจะรวมตัวกันเป็นหยดรูปร่างครึ่งทรงกลมที่บริเวณปลายเข็มโลหะ อันเป็นผลเนื่องมาจากแรงดึงดูด

(Surface tension) แต่เมื่อให้ความต่างศักย์กำลังสูงจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าครอบคลุมส่วนปลายของเข็มโลหะ และมีประจุเกิดขึ้นที่ผิวของสารละลาย จึงเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic repulsion) ขึ้นในทิศตรงกันข้ามกับแรงตึงผิว ดังนั้นถ้าสนามไฟฟ้ามีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดแรงผลักมากกว่าแรงตึงผิว จะส่งผลให้รูปร่างครึ่งทรงกลมของสารละลายที่อยู่ปลายเข็มยืดยาวออกเป็นรูปร่างทรงกรวยที่เรียกว่า “กรวยของเทเลอร์” (Taylor’s cone) และเมื่อสนามไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่ามากขึ้นจนกระทั่งถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่ง จะเกิดแรงขับดันให้สารละลายพุ่งออกมาเป็นลำ (Solution jet) ต่อมาลำของสารละลายนี้จะยืดยาวจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงถึงระดับนาโนเมตรแล้วตกลงบนวัสดุรองรับ ในลักษณะที่ไม่เกิดการถักทอ (non-woven - nanofiber)

ความไม่เสถียรของการบิดโค้งของเส้นใย บริเวณที่ลำของสารละลายได้ยืดยาวออกมาห่างจากจุดเริ่มต้นระยะหนึ่ง พบว่าสารละลายถูกเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ผิวของสารละลายและด้วยสนามไฟฟ้าภายนอกที่เกิดจากความต่างศักย์ระหว่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับที่เป็นตัวนำ จึงส่งผลให้เกิดลำของประจุขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงเกิดแรงที่ไม่สมดุลทำให้ลำสารละลายยืดยาว ในเส้นทางที่ซับซ้อน อันนำมาซึ่งเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลงอย่างมากและยิ่งรอบของการบิดโค้งมีจำนวนมากขึ้น จะทำให้สารละลายยืดยาวเป็นเส้นที่เล็ก กอปรกับการระเหยออกของตัวทำละลาย ในที่สุดเกิดเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กในระดับนาโนเมตรได้



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบและหลักการของวิธีอิเล็กโตรสปินนิง

(ก) ช่วงก่อนการให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง

(ข) ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงที่มีค่ามากพอแก่ระบบจนกระทั่งเกิดเส้นใยนาโนขึ้น

ที่มา : NUE 2003-2004, Dr.Susan E.Hill, 2006

### 2.1.4 สมบัติของคอปเปอร์ออกไซด์

คอปเปอร์ออกไซด์ หรือเรียกว่า Copper (II) oxide หรือ Cupric oxide มีสูตรทางเคมีว่า  $\text{CuO}$  มีลักษณะเป็นผงสีดำ สามารถเตรียมได้จากสารตั้งต้นที่หาได้ทั่วไปด้วยวิธีการให้ความร้อน เช่น คอปเปอร์ไนเตรด (copper (II) nitrate), คอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ (copper (II) hydroxide) หรือคอปเปอร์คาร์บอเนต (copper (II) carbonate) คอปเปอร์ออกไซด์มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ monoclinic อีกทั้งมีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p-type โดยมีแถบพลังงานแคบเท่ากับ 1.2 eV และยังมีสมบัติทางด้านเซลล์ไฟฟ้าเคมีและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงได้มีการนำคอปเปอร์ออกไซด์ไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ เช่น ตัวตรวจจับแก๊ส, อุปกรณ์ทางแสง, ขั้วนำไฟฟ้าของแบตเตอรี่เทียม และเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

### 2.1.5 สมบัติของธาตุไนโตรเจน

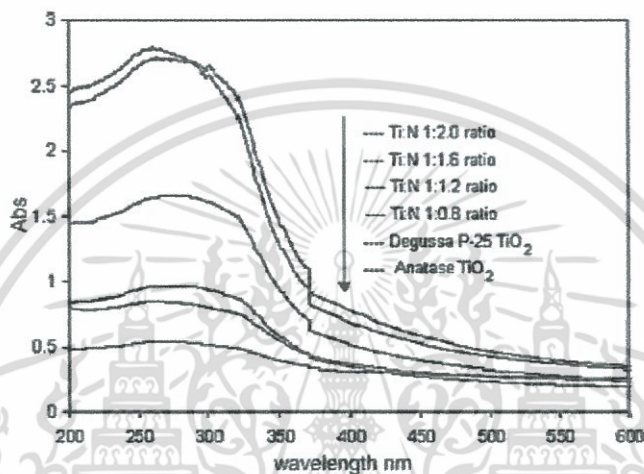
ไนโตรเจนเป็นธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ N และเลขอะตอม 7 เป็นโลหะที่มีสถานะเป็นแก๊สที่มีอยู่ทั่วไป โดยปกติไม่มีสี กลิ่น หรือรส แต่ละโมเลกุล มี 2 อะตอม ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของบรรยากาศของโลกถึง 78 เปอร์เซ็นต์ และเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อในสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบในสารประกอบที่สำคัญหลายชนิด เช่น กรดอะมิโน แอมโมเนีย กรดไนตริก และสารจำพวกไซยาไนด์

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง / การทบทวนวรรณกรรม

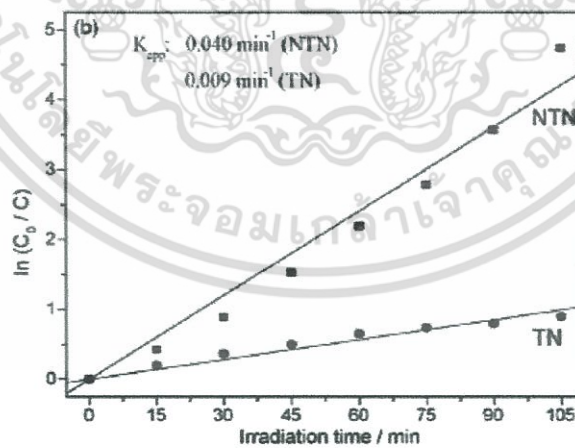
วัสดุโลหะออกไซด์นั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น  $\text{NiO}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{ZnO}$  และ  $\text{TiO}_2$  แต่อย่างไรก็ตาม  $\text{TiO}_2$  ยังคงถูกเลือกนำมาศึกษาอย่างแพร่หลายและนำมาประยุกต์ใช้งานด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง มีความคงทนต่อออกซิเดชันและสารเคมี ราคาไม่แพงมาก มีสมบัติการทำความสะอาดด้วยตัวเอง อีกทั้งไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ [1-2]  $\text{TiO}_2$  จะมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงได้ เมื่ออยู่ภายใต้การฉายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากมีแถบพลังงานการดูดกลืนกว้างประมาณ 3.2 eV ทำให้ไม่สามารถถูกกระตุ้นด้วยแสงธรรมชาติได้ และมีการรวมตัวกันที่รวดเร็วของคู่อิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งเป็นข้อด้อยของ  $\text{TiO}_2$  ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่พยายามที่จะทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์สามารถถูกกระตุ้นด้วยแสงในช่วงที่ตามองเห็น เช่นการเจือด้วยโลหะทรานซิชัน [3] หรือธาตุโลหะเช่น กำมะถัน [4] ฟอสฟอรัส [5] และไนโตรเจน [6] เป็นต้น การเจือด้วยธาตุไนโตรเจนมีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น สารเริ่มต้นมีต้นทุนต่ำ มีอยู่ในธรรมชาติมาก เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ซึ่งได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเสนอวิธีการในการเพิ่มประสิทธิภาพของ  $\text{TiO}_2$  ที่แสดงให้เห็นว่า N-doped  $\text{TiO}_2$  สามารถถูกกระตุ้นด้วยแสงธรรมชาติได้และช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงได้ J. Senthilnathan และคณะ [6] ได้ทำการเตรียมอนุภาค N-doped  $\text{TiO}_2$  และพบว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณการเจือ N จะส่งผลให้  $\text{TiO}_2$  มีการดูดกลืนแสงในย่านตามองเห็น โดยเฉพาะย่านความยาวคลื่น 400-600 nm ได้ดีขึ้น ดังภาพที่ 2.4 จึงส่งผลให้แถบพลังงานการดูดกลืนแสงลดลงเมื่อเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ  $\text{TiO}_2$  เพียงอย่างเดียว โดยแถบพลังงานการดูดกลืนมีการเลื่อนจาก 3.20 eV ไปยัง 2.91 eV ซึ่งการลดลงของแถบพลังงานดังกล่าวทำให้อิเล็กทรอนิกส์กระตุ้นและส่งผ่านได้ง่ายจากแถบวาเลนซ์ไปยัง แถบนำกระแส ส่วน J. Xu และคณะ [7] ได้ทำการเจือไนโตรเจนลงในโครงสร้างท่อนาโนของ  $\text{TiO}_2$  (NTN) ด้วยวิธีจุ่มเคลือบและเผาที่อุณหภูมิสูง (Dip-calcination method) พบว่าท่อนาโน N-doped  $\text{TiO}_2$  ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงในย่านตามองเห็นซึ่งแสดงผลในภาพที่ 2.5 โดยมีการวิเคราะห์ผลจากการคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา (K) ซึ่งมีค่ามากกว่า  $\text{TiO}_2$  เพียงอย่างเดียว ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจาก  $0.009 \text{ min}^{-1}$  เป็น  $0.040 \text{ min}^{-1}$



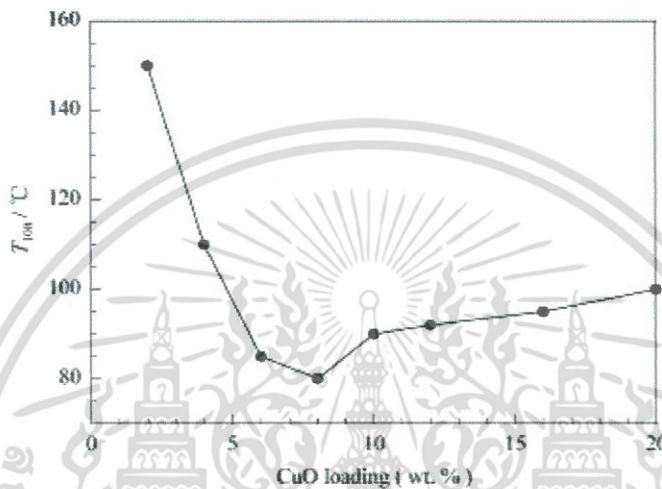
ภาพที่ 2.4 แสดงค่าการดูดกลืนของแสงกับความยาวคลื่นเมื่อมีการเจือ N ลงใน  $\text{TiO}_2$   
ที่มา : รายงานการวิจัย, J. Senthilnathan และคณะ, 2011



ภาพที่ 2.5 แสดงอัตราการย่อยสลายของปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเจือ N ลงในท่อนาโน  $\text{TiO}_2$   
ภายใต้การฉายแสงที่ตามองเห็น  
ที่มา : รายงานการวิจัย, J. Xu และคณะ, 2005

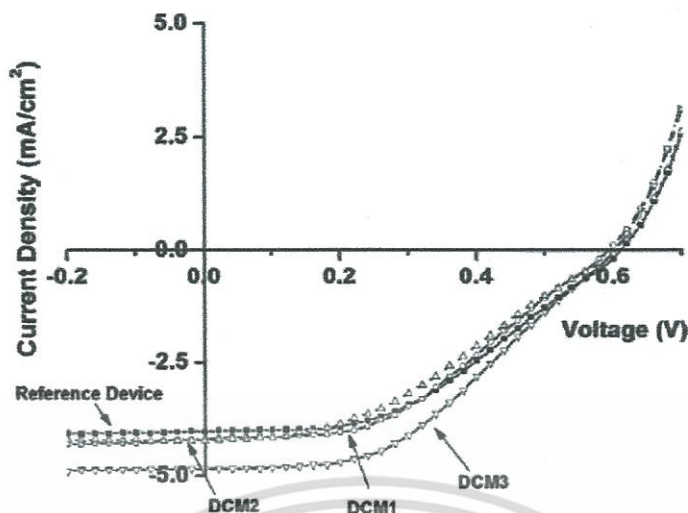
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่เดียวกันได้มีงานวิจัยที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุคอมโพสิต N-doped  $\text{TiO}_2$  โดยการเจืออะตอมของโลหะหรือโลหะออกไซด์ลงไป ซึ่งได้นำไปใช้ประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสงในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก อาทิเช่น K. Li และคณะ [8] ได้เติมคอปเปอร์ออกไซด์ ( $\text{CuO}$ ) ด้วยวิธีการคนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirring) ลงในวัสดุคอมโพสิตระหว่างทินออกไซด์และไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่า การเติม  $\text{CuO}$  ที่ 8% ของน้ำหนักทั้งหมดในวัสดุคอมโพสิต จะให้ผลการย่อยสลายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้มากที่สุดดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงการย่อยสลายปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เทียบกับปริมาณการเติม  $\text{CuO}$   
ที่มา : รายงานการวิจัย, K. Li และคณะ, 1998

นอกจากนั้นการพัฒนาประสิทธิภาพของไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปแบบของวัสดุไฮบริดคอมโพสิต โดยเป็นการผสมระหว่างสารอินทรีย์และไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งนับว่าเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจ เนื่องจากสามารถหลีกเลี่ยงการเผาสารที่อุณหภูมิสูงได้ W. Mekprasart และคณะ [9] ได้สังเคราะห์วัสดุไฮบริดคอมโพสิตระหว่างไททาเนียมไดออกไซด์และคอปเปอร์ฟทาโลไซยานีนด้วยกระบวนการบดด้วยลูกบด ซึ่งพบว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้ทำให้สารมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นและเมื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นขั้วทำงานในเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมจะพบว่า อุปกรณ์ที่มีการใช้วัสดุไฮบริดคอมโพสิตระหว่างไททาเนียมไดออกไซด์และคอปเปอร์ฟทาโลไซยานีนเป็นขั้วทำงาน จะให้ค่าความหนาแน่นของกระแสมากกว่าเมื่อเทียบกับขั้วทำงานที่ทำจากไททาเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว โดยค่าความหนาแน่นของกระแสมากที่สุดอยู่ที่  $4.84 \text{ mA/cm}^2$  ดังภาพที่ 2.7



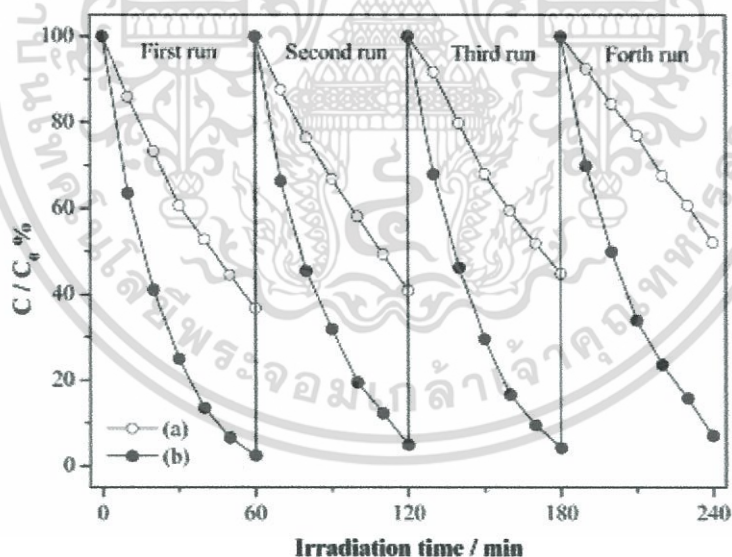
ภาพที่ 2.7 แสดงการเพิ่มของความหนาแน่นของกระแสเมื่อมีการใช้วัสดุไฮบริดคอมโพสิต  $\text{TiO}_2/\text{CuPc}$  ในอุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมเมื่อเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว  
ที่มา : รายงานการวิจัย, W. Mekprasart และคณะ, 2010

S. Higashimoto และคณะ [10] ได้ศึกษาการเจืออะตอมของวานาเดียม (Vanadium; V) ลงในวัสดุคอมโพสิต N-doped  $\text{TiO}_2$  ด้วยวิธี hydrolysis พบว่า เมื่อมีการเจืออะตอมของ V ลงในตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของวัสดุคอมโพสิต จะสลายภายใต้แสงในย่านตามองเห็นได้ดีกว่า จากตารางที่ 2.1 จะพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา  $\text{VCl}_3/\text{N-TiO}_2$  มีผลของการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ทุกตัวมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา  $\text{N-TiO}_2$  ส่วนการเจืออะตอมของเหล็ก (Iron; Fe) ลงในวัสดุคอมโพสิต N-doped  $\text{TiO}_2$  ด้วยวิธี incipient wetness impregnation ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการย่อยสลายแก๊สโทลูอินได้เช่นเดียวกัน เมื่อเทียบกับไม่มีการเจือด้วยอะตอมของ Fe อีกทั้งยังทำให้วัสดุคอมโพสิตที่เจือด้วย Fe มีความคงทนต่อสารเคมี และสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกครั้งแสดงในภาพที่ 2.8 ซึ่งเป็นงานวิจัยของ F. Dong และคณะ [11] จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาของ  $\text{N-TiO}_2$  กลับมาใช้ใหม่

Table 2  
Yields of CO<sub>2</sub> for the photo-decomposition of various VOC in aqueous solutions on N-TiO<sub>2</sub> and VCl<sub>3</sub>/N-TiO<sub>2</sub> under visible light irradiation ( $\lambda > 420$  nm) for 3 h

Entry	Yields of CO <sub>2</sub> /μmol	
	N-TiO <sub>2</sub>	VCl <sub>3</sub> /N-TiO <sub>2</sub>
Methanol	0.2	1.1
Ethanol	0.3	0.5
Formaldehyde	4.6	21.6
Acetaldehyde	4.1	35.0
Formic acid	0.7	4.8
Acetic acid	1.2	17.0
Acetone	0.7	11.4
Ethyl acetate	1.3	10.6
Dichloromethane	2.4	4.1
Trichloromethane	1.5	4.1
1, 1-Dichloroethane	0.7	4.8
<i>trans</i> -1,2-Dichloroethylene	1.0	5.7

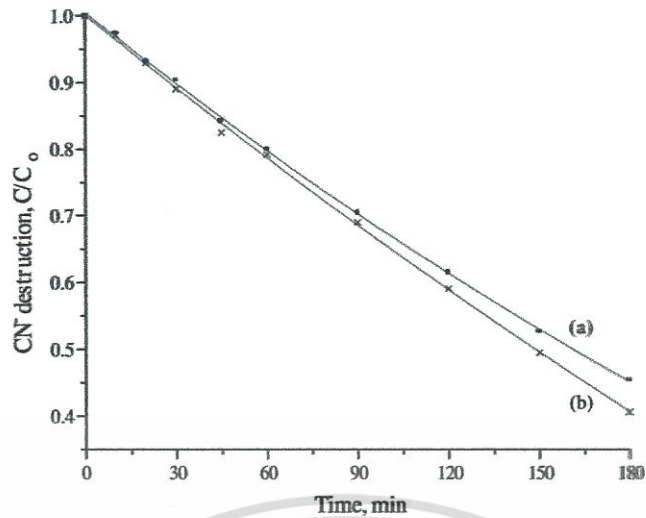
ตารางที่ 2.1 ผลการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงเป็นวัสดุคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub> ที่เจือและไม่เจืออะตอมของวานาเดียมเกิดปฏิกิริยาการย่อย  
ที่มา : รายงานการวิจัย, S. Higashimoto และคณะ, 2001



ภาพที่ 2.8 แสดงประสิทธิภาพการย่อยสลายแก๊สโทลูอินซึ่งมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงกลับมาใช้ใหม่ (a) N-doped TiO<sub>2</sub> และ (b) Fe/N-TiO<sub>2</sub>-0.02% ภายใต้การฉายแสงที่ตามองเห็น

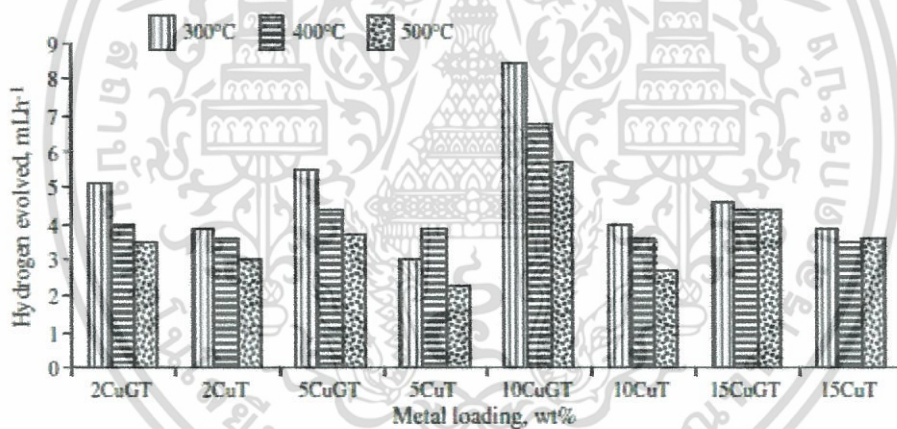
ที่มา : รายงานการวิจัย, F. Dong และคณะ, 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 แสดงการย่อยสลายของไซนาไมด์เทียบกับเวลาการฉายแสง โดยที่ (a)  $TiO_2$  P25 และ (b) วัสดุคอมโพสิตของ  $TiO_2/CuO$  ที่มีปริมาณ  $CuO$  0.10% ของน้ำหนักโดยมวล

ที่มา : รายงานการวิจัย, K. Chiang และคณะ, 1990



ภาพที่ 2.10 แสดงปฏิกิริยาการเกิดแก๊สไฮโดรเจนโดยใช้วัสดุคอมโพสิต  $TiO_2/CuO$  ที่มีการเจือปริมาณ  $CuO$  และเผาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ที่มา : รายงานการวิจัย, L.S. Yoong และคณะ, 2009

ในครั้งที่สองจะพบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายแก๊สโทลูอินจะลดลงจาก 63% เหลือ 48% ในขณะที่นำวัสดุคอมโพสิต  $Fe/N-TiO_2$  นำกลับมาใช้ใหม่ยังคงมีการย่อยสลายแก๊สโทลูอินให้หมดได้ภายในหนึ่งชั่วโมงเช่นเดียวกับการใช้งานในครั้งแรก ส่วนการเจือโลหะคอปเปอร์ (Copper; Cu) ในรูปของคอปเปอร์ออกไซด์ (Copper oxide;  $CuO$ ) ลงในวัสดุคอมโพสิตของ  $TiO_2$  ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตนี้ อาทิเช่น การใช้วัสดุคอมโพสิต  $TiO_2/CuO$  ในการ

ย่อยสลายสารไซยาไนด์ โดยการเจือ CuO เข้าไปนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวดักจับอิเล็กตรอนบนพื้นผิวของ  $\text{TiO}_2$  ทำให้สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ แสดงในภาพที่ 2.9 จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเจือ CuO ลงในวัสดุคอมโพสิตจะทำให้ย่อยสลายไซยาไนด์ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับ  $\text{TiO}_2$  เพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นงานวิจัยของ K. Chiang และคณะ [12] และยังสามารถนำวัสดุคอมโพสิต  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำรงแสงในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้ จะพบว่าปริมาณการเจือคอปเปอร์ 10% ของน้ำหนักโดยมวลลงในไททาเนียมไดออกไซด์และเผาสารที่อุณหภูมิ  $300^\circ\text{C}$  จะให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายที่ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนมากที่สุด โดยสามารถผลิตได้  $8.5 \text{ mLh}^{-1}$  เมื่อเทียบกับ  $\text{TiO}_2$  อย่างเดียวผลิตได้เพียง  $2.5 \text{ mLh}^{-1}$  แสดงในภาพที่ 2.10 ซึ่งเป็นงานวิจัยของ L.S. Yoong และคณะ [13]

อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมวัสดุนาโนคอมโพสิตของ N-doped  $\text{TiO}_2$  กับสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาดำรงแสง ยังคงเป็นที่สนใจ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีความสนใจในการพัฒนาเตรียมวัสดุนาโนคอมโพสิต N-doped  $\text{TiO}_2$  ในรูปของเส้นใยนาโน เนื่องจากยังมีงานวิจัยที่ศึกษาทางด้านนี้ไม่มีมากนัก และจะทำการเคลือบ CuO บนเส้นใยนาโนของ N-doped  $\text{TiO}_2$  ซึ่งจะเป็นการสังเคราะห์สารในรูปแบบของ N-doped  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  nanocomposite fibers โดยวิธีการสังเคราะห์วัสดุคอมโพสิตนี้จะเน้นใช้กระบวนการที่ไม่ยุ่งยากในการเตรียม อีกทั้งยังสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงตามจุดประสงค์ ขณะเดียวกันเชื่อว่าจะสามารถต่อยอดงานวิจัย เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาบุคลากรทางด้านนี้ได้อีกประการหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมเส้นใยนาโนคอมโพสิตของการเจือไนโตรเจน ในไทเทเนียมไดออกไซด์/คอปเปอร์ออกไซด์ (N-doped  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ ) ซึ่งการเตรียมเส้นใยนาโนคอมโพสิตนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการใหญ่ โดยกระบวนการแรก จะแบ่งวิธีการเตรียมออกเป็น 2 ส่วน คือ ละลายโพลีเมอร์ในสารละลายเอทานอลจนมีความหนืดในระดับที่เหมาะสม และในส่วนของ 2 จะเป็นการเตรียมสารตั้งต้นของไททาเนียมไอโซโพรอกไซด์ (TiP) แอมโมเนียมอะซิเตต ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) (แหล่งกำเนิดไนโตรเจน) ภายใต้การเจือไนโตรเจนที่แตกต่างกัน คือ 1%, 3% และ 5% จากนั้น นำสารตั้งต้นที่เตรียมได้ ไปผสมเข้ากับสารละลายโพลีเมอร์ ทำการปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จึงนำสารที่ได้ไปปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำสารที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และนำสารที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน สเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอ็กซ์ และสมบัติทางแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ ในกระบวนการถัดมา นำคอปเปอร์ไนเตรต ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ) มาละลายในตัวทำละลาย จากนั้นจึงหยด ไดเอทานอลเอมายด์ (DEA) ลงไป แล้วทำการปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก พร้อมทั้งให้อุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส จนสารละลายมีความหนืด จากนั้น นำเส้นใยของ N-doped  $\text{TiO}_2$  ผสมลงไปในสารละลาย จนสารละลายแห้ง และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารที่สังเคราะห์ไปวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และสมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- ไททาเนียมไอโซโพรอกไซด์ [Titanium (IV) isopropoxide ; TiP]
- แอมโมเนียม อะซิเตต (Ammonium Acetate ;  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ )
- คอปเปอร์ไนเตรต (Copper(II) Nitrate ;  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone ; PVP)
- เมทท็อกซีเอทานอล (2-Methoxyethanol ;  $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ )
- ไดเอทานอลเอมายด์ (Diethanolamine ; DEA)
- คั่วทำลายเอทานอล 95% (95% Ethanol Solution)
- กรดอะซิติก (Acetic Acid)

### 3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrospin)
- เครื่องกวนสารโดยใช้แท่งแม่เหล็กที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ (Magnetic Stirrer)
- หลอดจีดยา ขนาด 10 มิลลิลิตร
- หัวเข็มขนาด 24 G\*1/2"
- บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
- คุชเบิล (Crucible)



เครื่องชั่งสาร



เครื่องกวนสารละลาย



คุชเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เตาอบความร้อน



เตาเผาสาร



เครื่องปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์

ภาพที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

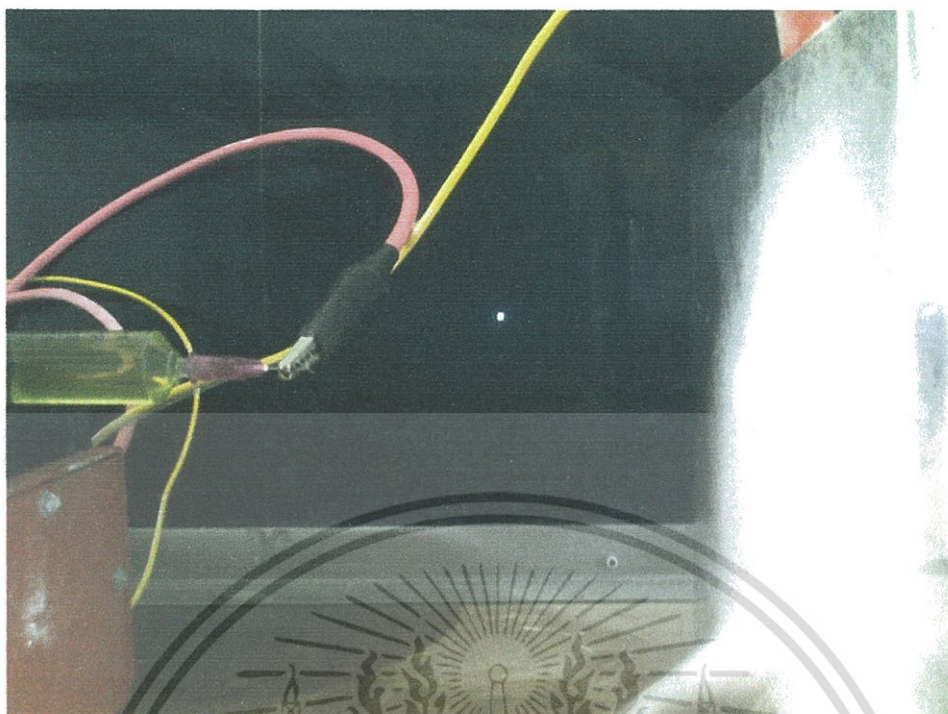
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ขั้นตอนการเตรียมสาร

#### 3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมสาร N-doped TiO<sub>2</sub> Nanofibers

- 1) คำนวณหาอัตราส่วนระหว่าง TiP:CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (แหล่งกำเนิดไนโตรเจน) โดยจะใช้ TiP ปริมาณ 1.4 กรัม แต่จะเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือ CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>(แหล่งกำเนิดไนโตรเจน) ลงไปเป็นจำนวน 1, 3 และ 5 %ของน้ำหนักโดยมวลของ TiP
- 2) เตรียมสารละลายของพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP ; M<sub>w</sub> 40,000) จำนวน 4 กรัม ละลายในตัวทำละลายเอทานอล 95% จำนวน 8 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้โพลิเมอร์ละลายจนหมด หรือมีความหนืดในระดับที่เหมาะสม
- 3) จากข้อ 1) ละลาย CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (แหล่งกำเนิดไนโตรเจน) ที่คำนวณได้ ละลายใน 2-Methoxyethanol จนหมด จากนั้นเติม TiP จำนวน 1.4 กรัมลงในสารละลาย และตามด้วย Acetic Acid จำนวน 2 มิลลิลิตร ทำให้สารละลายเข้ากันได้โดยใช้เครื่องปั่นความเร็วรอบสูง เป็นระยะเวลา 15 นาที
- 4) นำสารละลายในข้อ 3) ที่เตรียมได้ ผสมลงในสารละลายของพอลิเมอร์ในข้อ 2) จากนั้นทำให้สารละลายเข้ากันได้โดยใช้เครื่องปั่นความเร็วรอบสูง เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง (มีความหนืดที่เหมาะสมในการนำไปปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์)
- 5) นำสารในข้อ 4) ใส่ลงในหลอดฉีดยา ขนาด 10 มิลลิลิตร ขนาดหัวเข็ม 24 G\*1/2" แล้วนำไปปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ โดยกำหนดอัตราเร็วของการปั่นเส้นใยที่ 0.5 มิลลิลิตร ต่อชั่วโมง ระยะทางระหว่างหัวเข็ม และฐานรองรับ ที่ 15 เซนติเมตร และจ่ายแรงดันไฟฟ้ากำลังสูงที่ 16 กิโลโวลต์
- 6) นำสารที่ได้จากข้อ 5 เข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำสารที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง
- 7) นำสาร N-doped TiO<sub>2</sub> Nanofibers ไปวิเคราะห์ เพื่อหาสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 ภาพขณะทำการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์

### 3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมคอมโพสิตของ N-doped $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ Nanofibers

- 1) นำ  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  ละลายในในตัวทำละลายเอทานอล 95% จำนวน 10 มิลลิลิตร โดยใช้เครื่องปั่นความเร็วรอบสูง ทำให้สารละลาย ละลายจนหมด
- 2) นำ DEA จำนวน 1 มิลลิลิตร หยดลงในสารละลายใน ข้อ 1) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พร้อมทั้งให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส และเครื่องปั่นความเร็วรอบสูงเพื่อให้สารละลายมีความหนืด
- 3) จากนั้น นำ N-doped  $\text{TiO}_2$  Nanofibers ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน จำนวน 4 มิลลิกรัม ผสมลงไปในสารละลายในข้อ 2) โดยใช้เครื่องปั่นความเร็วรอบสูง และความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ปั่นจนกระทั่งสารละลายแห้ง
- 4) นำสารที่ได้ในข้อ 3) ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารที่สังเคราะห์ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการสังเคราะห์และวิเคราะห์เส้นใยนาโน N-doped TiO<sub>2</sub> ที่เตรียมได้



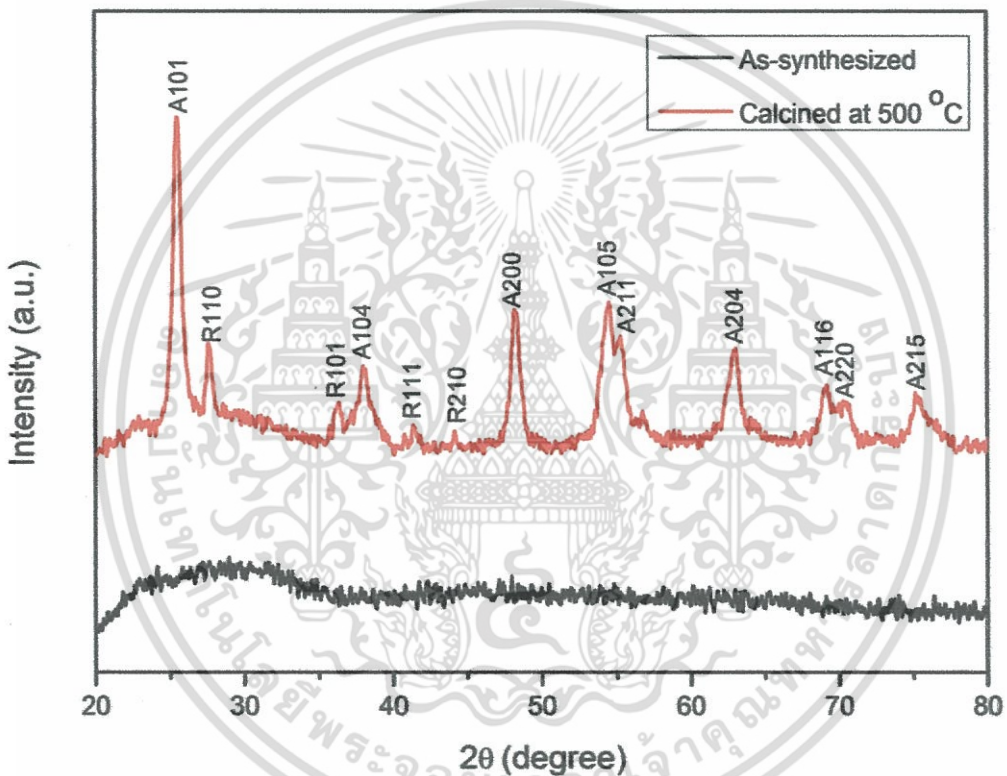
ภาพที่ 4.1 ลักษณะทางการภาพของเส้นใยที่เตรียมได้

จากภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะทางการภาพของเส้นใยที่เตรียมได้ ซึ่งเป็นกลุ่มของเส้นใยขนาดเล็กสีขาวและมีขนาดสม่ำเสมอ

##### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

กราฟการวิเคราะห์ XRD ของ N-doped TiO<sub>2</sub> ของก่อนการเผาและหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 4.2 พบว่าเส้นใยที่เตรียมได้ก่อนการเผาไม่ปรากฏสัญญาณการเลี้ยวเบนของไททาเนียมไดออกไซด์แสดงให้เห็นถึงความเป็นอสัณฐานของเส้นใยที่เตรียมได้โดยยังไม่ก่อตัวเป็นผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ และเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ

500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะปรากฏสัญญาณเลี้ยวเบนที่เด่นชัดที่มุม  $2\theta = 25.5^\circ, 38.0^\circ, 48.2^\circ, 54.5^\circ, 55.3^\circ, 63.06^\circ, 69.2^\circ, 70.4^\circ$  และ  $75.2^\circ$  ซึ่งตรงกับอานาเทสเฟส (Anatase; A) ของระนาบ (101), (104), (200), (105), (211), (204), (116), (220) และ (215) ของสารประกอบ  $\text{TiO}_2$  ตามลำดับ และที่มุม  $2\theta = 27.58^\circ, 36.2^\circ, 41.2^\circ$  และ  $44.0^\circ$  ตรงกับรูไทล์เฟส (Rutile; R) ที่ระนาบ (110), (101), (111) และ (210) ตามลำดับ [14] แสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่เตรียมได้เป็นเส้นใยของ  $\text{TiO}_2$  จริง โดยมีเฟสผสมระหว่างอานาเทสและรูไทล์โดยเส้นใยที่ได้มีความเป็นผลึกสูงสังเกตได้จากความเข้มสูงของสัญญาณการเลี้ยวเบน นอกจากนี้ยังพบว่า การเจือไนโตรเจนใน  $\text{TiO}_2$  ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ  $\text{TiO}_2$  และเส้นใยที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์สูงซึ่งสังเกตได้จากความเด่นชัดของสัญญาณการเลี้ยวเบน

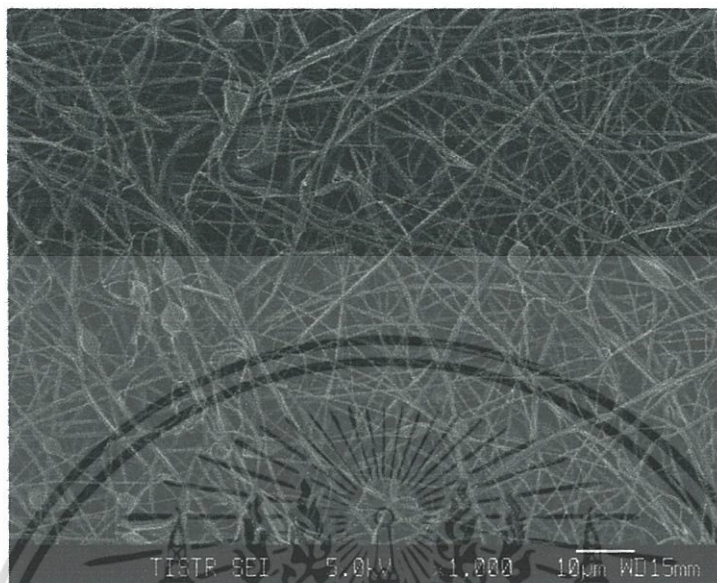


ภาพที่ 4.2 การวิเคราะห์ด้วย XRD ของ N-doped  $\text{TiO}_2$  ของก่อนการเผา และหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง

กราด

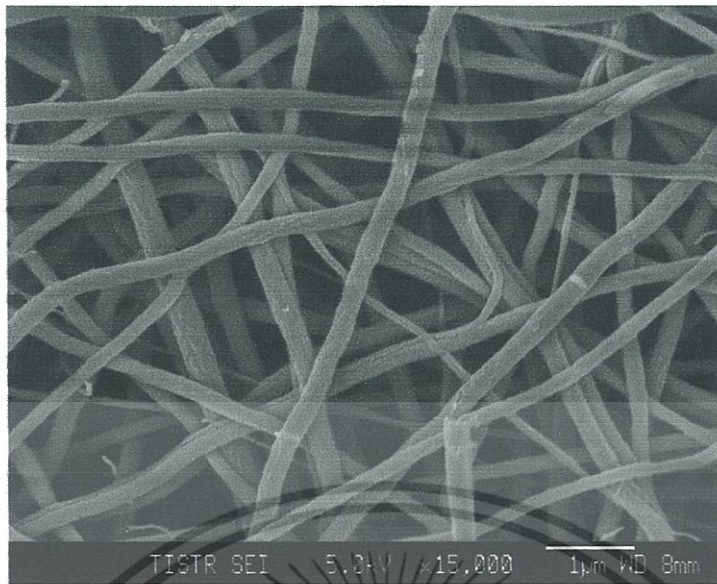


(ก)

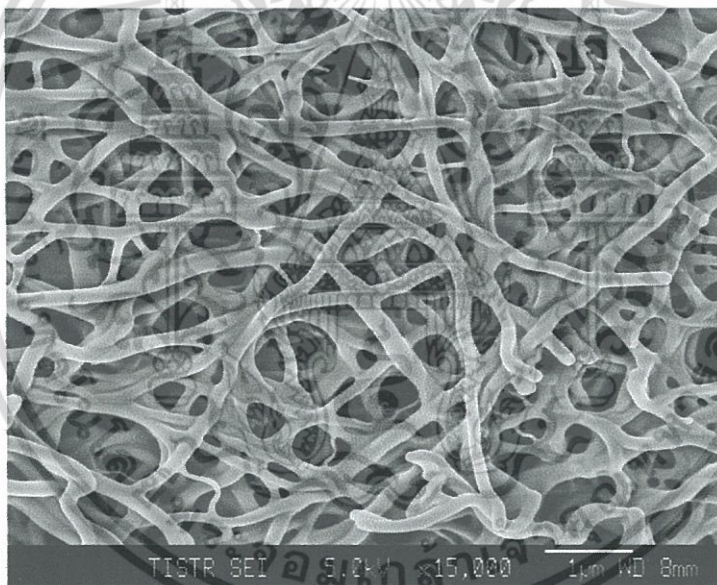


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ง)

ภาพที่ 4.3 การวิเคราะห์ด้วย FE-SEM ของก่อนการเผา (ก) Undoped-TiO<sub>2</sub> , (ข) N-doped TiO<sub>2</sub> และหลังเผาที่ 500 °C 2 ชั่วโมง (ค) Undoped-TiO<sub>2</sub>, (ง) N-doped TiO<sub>2</sub>

จากผลการวิเคราะห์สภาพโครงสร้างโดยภาพถ่าย FE-SEM ของ N-doped TiO<sub>2</sub> ก่อนการเผาและหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C ซึ่งก่อนการเผา ลักษณะเส้นใยที่ได้จะมีลักษณะยังไม่เป็นเส้นใยที่เรียบและยังไม่ก่อตัวเป็นเส้นใยที่สมบูรณ์ รวมทั้งเกิดปม (Bead) กระจายตัวตามแนวเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยไม่สม่ำเสมอมีขนาดตั้งแต่ 0.5-3 ไมโครเมตร สังเกตได้จาก ภาพที่ 4.3 (ก) และ (ข) แต่เมื่อทำการเผา ลักษณะที่เส้นใยที่ได้จะมีลักษณะที่เรียบ ลักษณะที่เป็นปม จะหายไป และได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กและสม่ำเสมอมากขึ้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 200 nm เนื่องจากสารละลายและโพลิเมอร์จะสลายตัวเนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิสูงๆ ทำให้เส้นใยที่ได้มี ลักษณะที่เรียบขึ้น ดังภาพที่ 4.3 (ค) และ (ง) จากการวิเคราะห์ภาพสรุปได้ว่า ลักษณะพื้นผิวของ N-doped TiO<sub>2</sub> ในแบบที่ไม่ทำการเจือไนโตรเจน และแบบการเจือไนโตรเจน ไนโตรเจนไม่ส่งผลต่อ ขนาดและลักษณะของเส้นใย โดยขนาดของเส้นใยนาโนจะมีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 140-180 นาโนเมตร

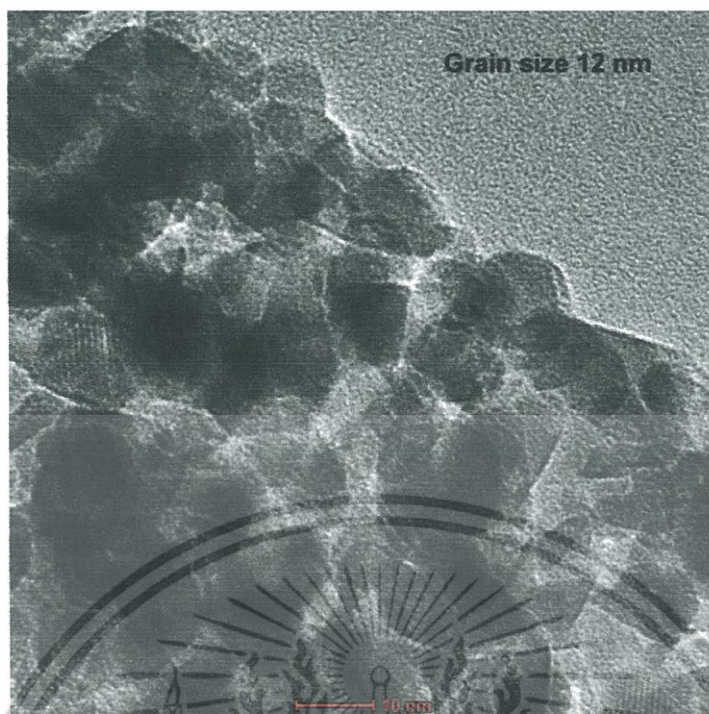
#### 4.1.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



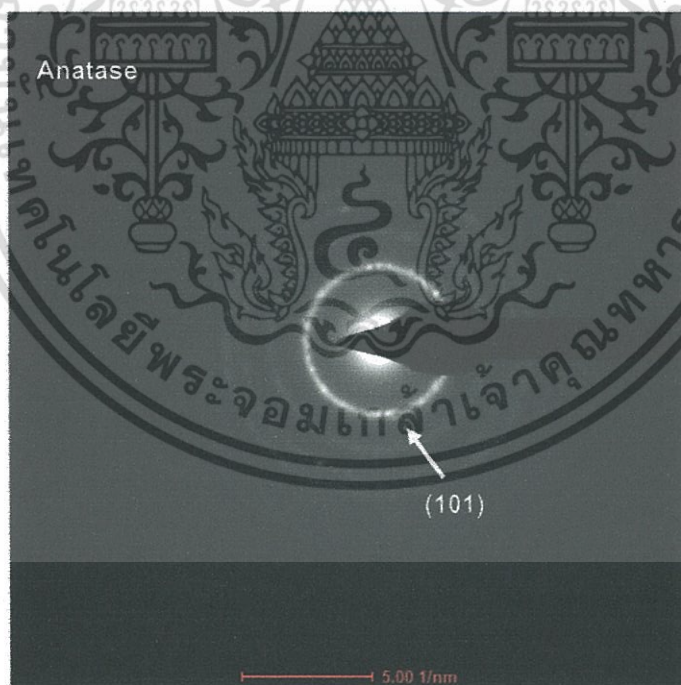
ภาพที่ 4.4 ภาพถ่ายกำลังขยายต่ำของเส้นใยนาโน N-doped TiO<sub>2</sub> ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5%

ภาพที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายกำลังขยายต่ำของเส้นใยนาโน N-doped TiO<sub>2</sub> ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5% จากภาพจะเห็นได้ว่าเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้หลังจากผ่านการให้ความร้อนมีลักษณะเป็นเส้น ใยที่สม่ำเสมอ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 200 nm และสังเกตเห็นว่าเส้นใยที่เตรียมได้ ประกอบด้วยผลึกของ TiO<sub>2</sub> ขนาดเล็กและสม่ำเสมอรวมตัวกันอย่างหนาแน่นเป็นเส้นใยที่ดีของ TiO<sub>2</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของเส้นใยนาโน N-doped  $\text{TiO}_2$  ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5%

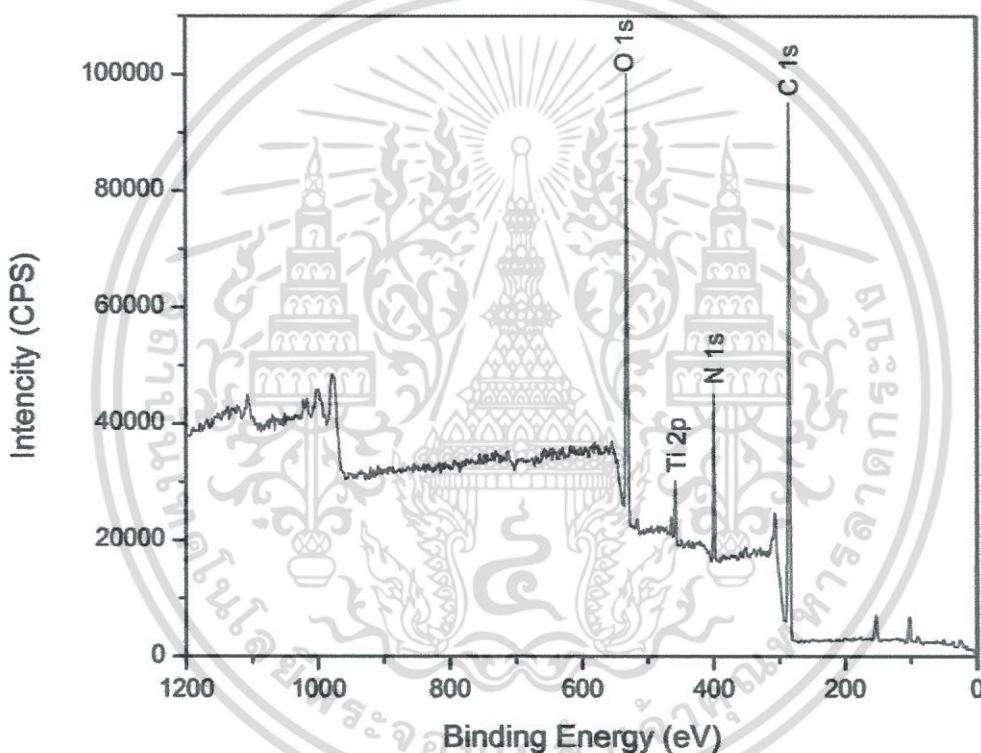


ภาพที่ 4.6 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนอิเล็กตรอนของของเส้นใยนาโน N-doped  $\text{TiO}_2$  ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.5 เป็นภาพถ่ายกำลังขยายสูงของเส้นใยนาโน N-doped  $\text{TiO}_2$  ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5% แสดงให้เห็นเม็ดผลึกที่สม่ำเสมอโดยมีขนาดผลึกของ  $\text{TiO}_2$  ที่มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบอนาเทสเฟส ที่ระนาบ (101) และมีขนาดของผลึกอยู่ที่ 12 นาโนเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส เพื่อจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการนำเส้นใยนาโนที่ได้ ไปประยุกต์ใช้งานได้มากยิ่งขึ้น และจากภาพที่ 4.6 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนอิเล็กตรอนของของเส้นใยนาโน N-doped  $\text{TiO}_2$  ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5% ซึ่งแสดงระนาบการเลี้ยวเบน (101) ที่เด่นชัดและระนาบอื่น ๆ ด้วย แสดงความเป็น Polycrystalline ของ  $\text{TiO}_2$  ที่เตรียมได้

#### 4.1.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยระบบ X-ray photoemission spectroscopy (XPS)



ภาพที่ 4.7 การวิเคราะห์ด้วย XPS ที่ N-doped  $\text{TiO}_2$  ที่ 5%

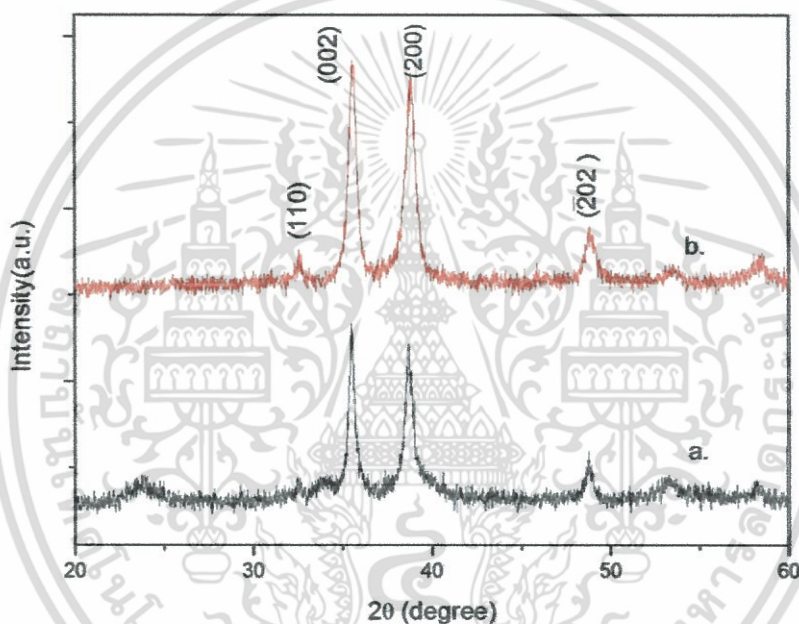
จากการวิเคราะห์ผล XPS ของเส้นใยนาโนของ N-doped  $\text{TiO}_2$  ที่เจือด้วยไนโตรเจน 5% แสดงให้เห็นสัญญาณโฟโตอิเล็กตรอนของธาตุไนโตรเจนที่อยู่ในช่วงของ Binding Energy ที่ 399.32 eV ซึ่งเป็นของ N1s ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น [15-18] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสัญญาณของไนโตรเจน N1s ที่อยู่ในช่วง 396-404 eV นอกจากนี้การวิเคราะห์ด้วย XPS ยังแสดงสัญญาณโฟโตอิเล็กตรอนของธาตุไทเทเนียม Ti 2p ที่ตำแหน่ง 461.52 eV และออกซิเจน O1s ที่ 530.41 eV จาก

ผลดังกล่าวทำให้ทราบถึงการมีอยู่และองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนที่เกิดจากการเจือเข้าไปในเส้นใยดังกล่าว ซึ่งการเจือด้วยธาตุไนโตรเจนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำเนินต่อไป

จากการวิเคราะห์ทั้งหมดทำให้ทราบว่า เส้นใยนาโนที่เตรียมได้เป็นเส้นใยนาโนของ  $\text{TiO}_2$  ที่เป็น Polycrystalline ประกอบด้วยเม็ดผลึกระดับนาโนของ  $\text{TiO}_2$  และเป็นอานาเทสเฟสที่เด่นชัดกว่าแบบรูไทล์ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี ซึ่งจะได้กล่าวเป็นลำดับถัดไป

## 4.2 ผลการวิเคราะห์สารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์

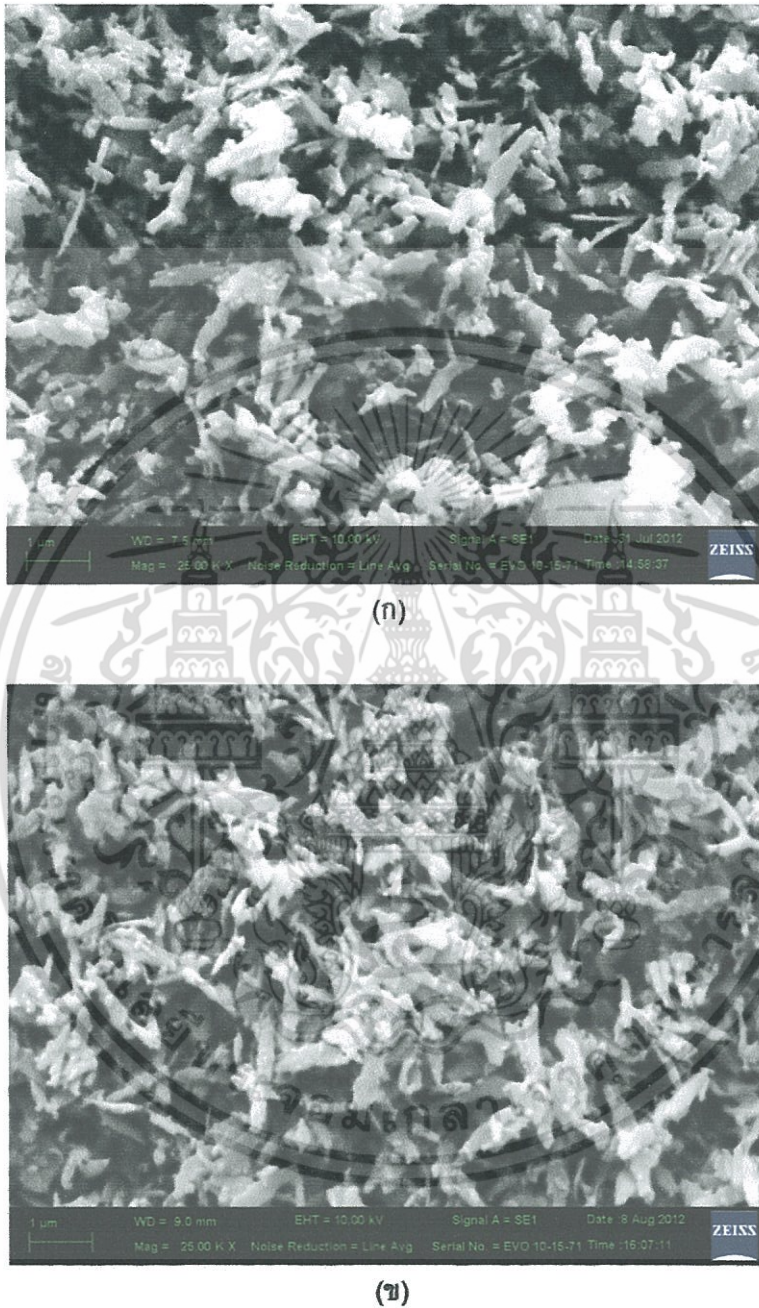
### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์



ภาพที่ 4.8 การวิเคราะห์ด้วย XRD ของ  $\text{CuO}$  ก่อนการเผาและหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

ภาพที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของคอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมจากสารตั้งต้นคอปเปอร์ไนเตรด ภาพ (a) คอปเปอร์ออกไซด์ที่ยังไม่ผ่านการเผา (b) คอปเปอร์ออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง รูปแบบของ XRD ในรูปแสดงสัญญาณการเลี้ยวเบนซึ่งยืนยันการก่อตัวของ คอปเปอร์ออกไซด์ ในเฟส monoclinic ที่ตำแหน่ง  $2\theta = 32.58^{\circ}$ ,  $35.47^{\circ}$ ,  $38.97^{\circ}$  and  $48.74^{\circ}$  และที่ระนาบ (110), (002), (200) และ (202) ตามลำดับ (อ้างอิงจากโปรแกรม JCPDS 80-1268) และเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้ว พบว่าความเข้มของสัญญาณการเลี้ยวเบนเพิ่มขึ้น ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าผลึกของ คอปเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นหรือชัดเจนมากขึ้น เมื่อได้รับพลังงานที่เพียงพอต่อการก่อตัวเป็นผลึกของ  $\text{CuO}$

## 4.2.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด



**ภาพที่ 4.9** ภาพถ่าย SEM ของ CuO (ก) ก่อนและ (ข) หลังเผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

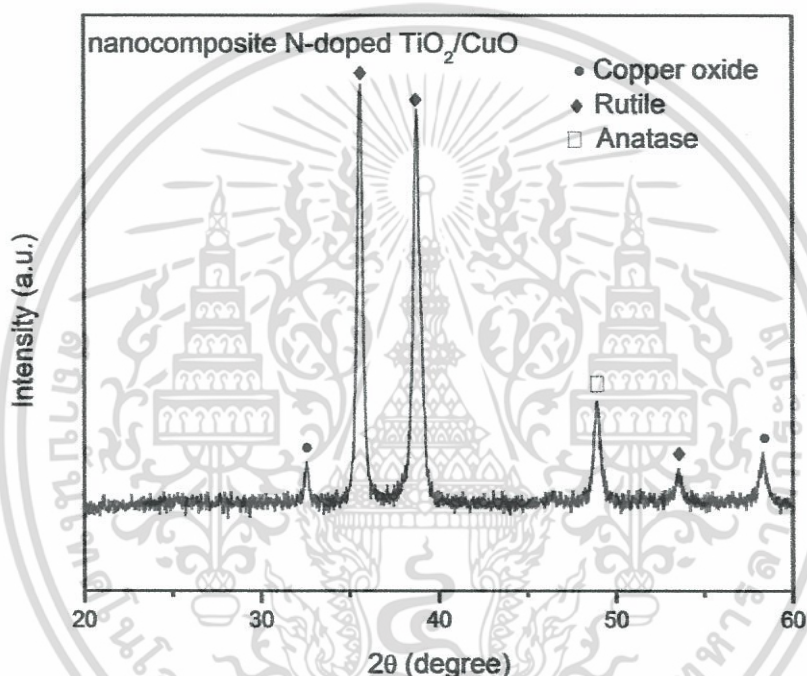
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.9 แสดงภาพถ่าย SEM ลักษณะของคอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมจากคอปเปอร์ไนเตรด ผ่านวิธีการตะกอน พบว่าอนุภาคที่เตรียมได้มีการกระจายตัวที่ดีและพบว่าเป็นโครงสร้างที่เป็นลักษณะเป็นเข็ม สั้น มีความยาวประมาณ 1 ไมโครเมตร และหลังจากเผาที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง คอปเปอร์ออกไซด์ที่ได้มีแนวโน้มที่จะจับเป็นก้อนมากยิ่งขึ้น และมีโครงสร้างที่สม่ำเสมอมากขึ้น

### 4.3 ผลการวิเคราะห์วัสดุนาโนคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO nanofiber

#### 4.3.1 ผลการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์;

#### XRD

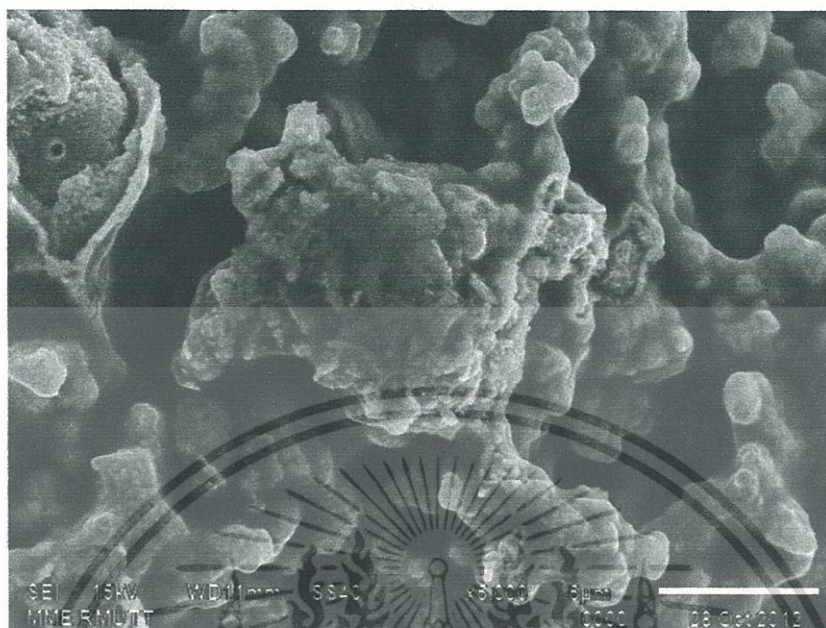


ภาพที่ 4.10 การวิเคราะห์ด้วย XRD ของนาโนคอมโพสิตของ N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

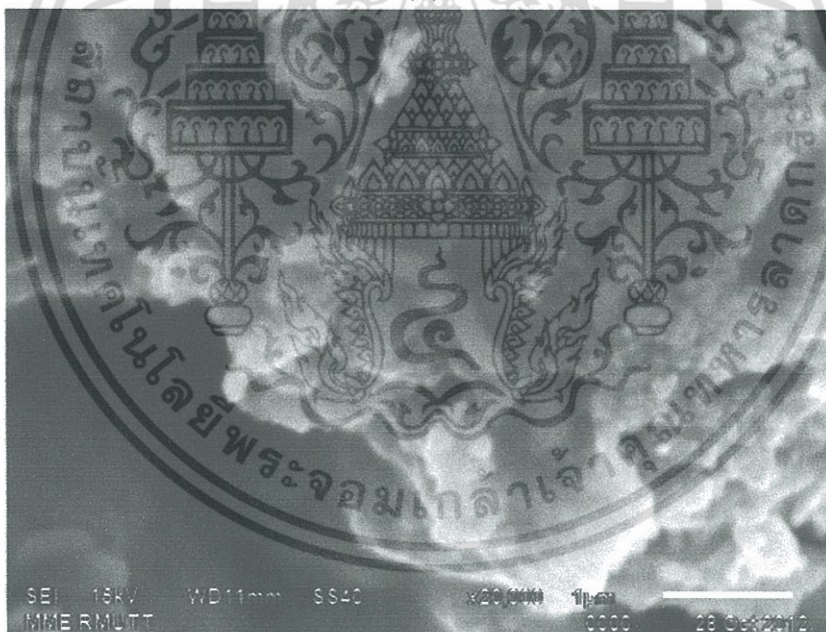
กราฟการวิเคราะห์ XRD ของ นาโนคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO ของการเผาอุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 4.10 โดยกราฟ XRD ของนาโนคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO ที่  $2\theta = 32.5^\circ$  และ  $58.3^\circ$  ตรงกับเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์ และที่  $2\theta = 35.58^\circ$ ,  $38.67^\circ$  และ  $53.49^\circ$  ตรงกับรูไทล์เฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์ และที่  $2\theta = 48.82^\circ$  ตรงกับอนาเทสเฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์ แสดงให้เห็นว่าสารคอมโพสิตที่เตรียมได้มีองค์ประกอบทั้งของ TiO<sub>2</sub> และ CuO และเฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์มีการเปลี่ยนเฟสจากอนาเทสเฟส ไปเป็นรูไทล์เฟส ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



(ก)



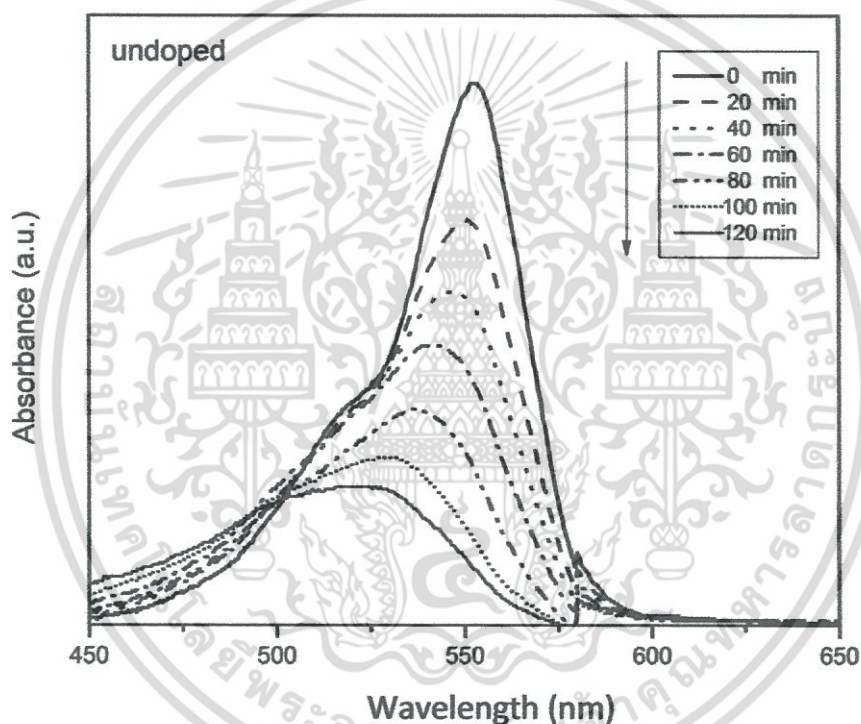
(ข)

**ภาพที่ 4.11** ภาพถ่าย SEM ของวัสดุคอมโพสิตของเส้นใย N-doped  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  หลังจากทำการเผาที่อุณหภูมิ  $400\text{ }^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

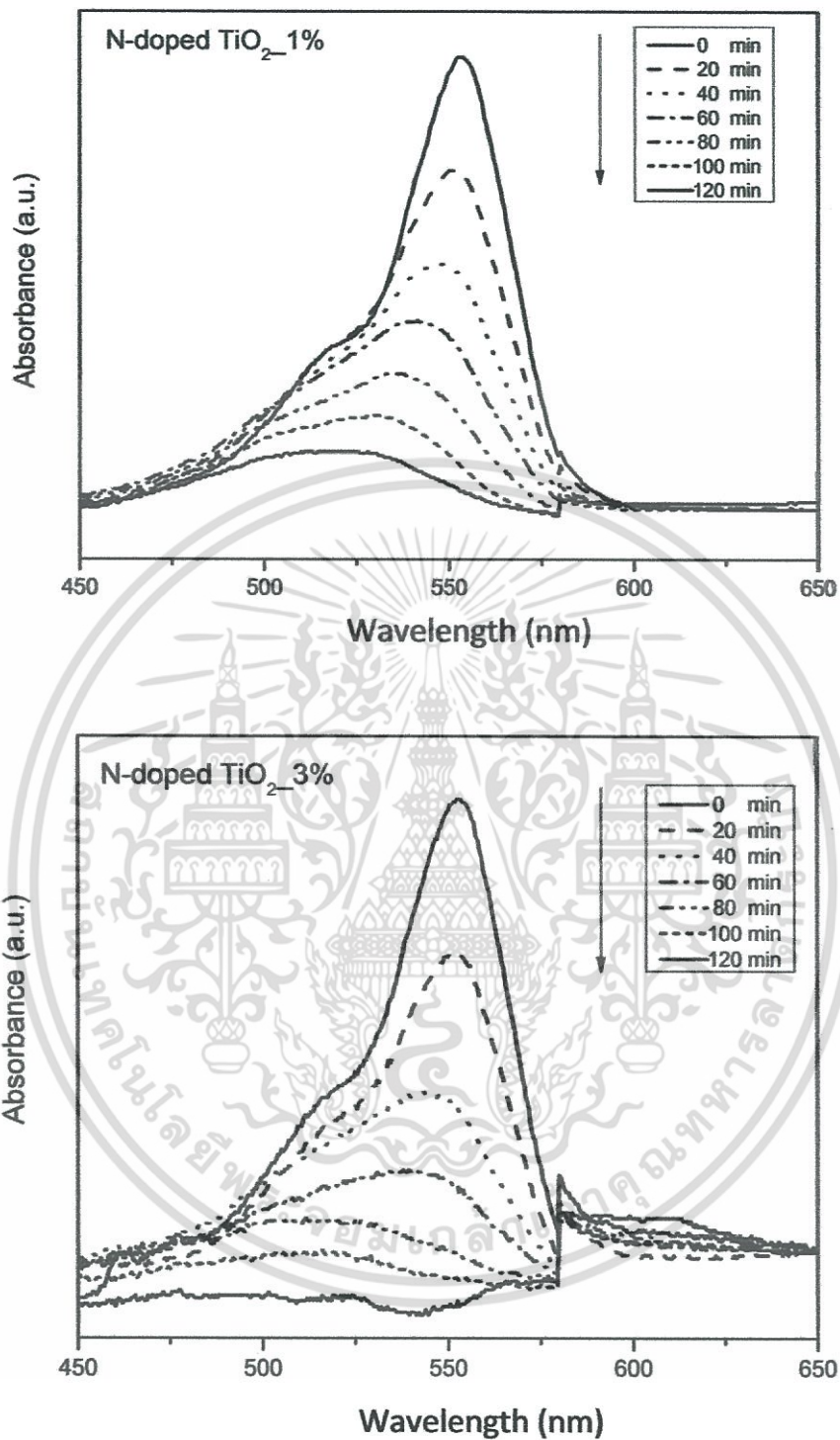
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ SEM ของ นาโนคอมโพสิตของ N-doped  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  ของการเผาที่อุณหภูมิ  $400^\circ\text{C}$  โดยในการวิเคราะห์ภาพ SEM จะใช้ความต่างศักย์ที่ 15 kV แสดงดังภาพที่ 4.11 (ก) และ 4.11 (ข) โดยภาพ 4.11(ก) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงให้เห็นว่า CuO มีการรวมตัวกันของอนุภาค ซึ่งปกคลุม เส้นใยของ N-doped  $\text{TiO}_2$  เมื่อใช้กำลังขยายที่ 20,000 เท่า ดังภาพ 4.11(ข) จะแสดงให้เห็นถึงการรวมตัวกันของเส้นใย N-doped  $\text{TiO}_2$  และอนุภาคของ CuO ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของนาโนคอมโพสิตของ N-doped  $\text{TiO}_2$  ได้ดียิ่งขึ้น

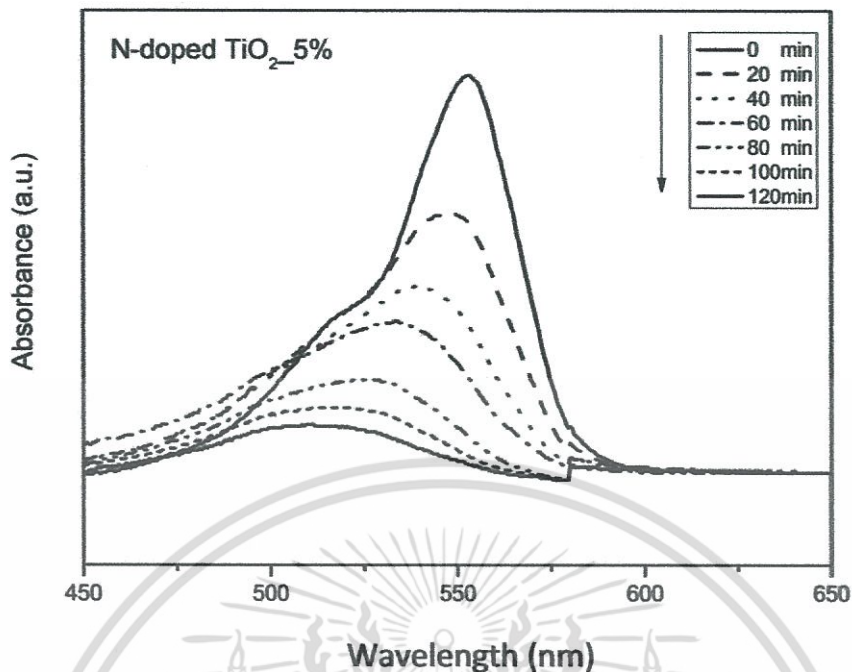
#### 4.4 การประยุกต์นำเส้นใยนาโนคอมโพสิต N-doped $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ ในการย่อยสลายสี ย้อม โดยการกระตุ้นด้วยแสงอาทิตย์



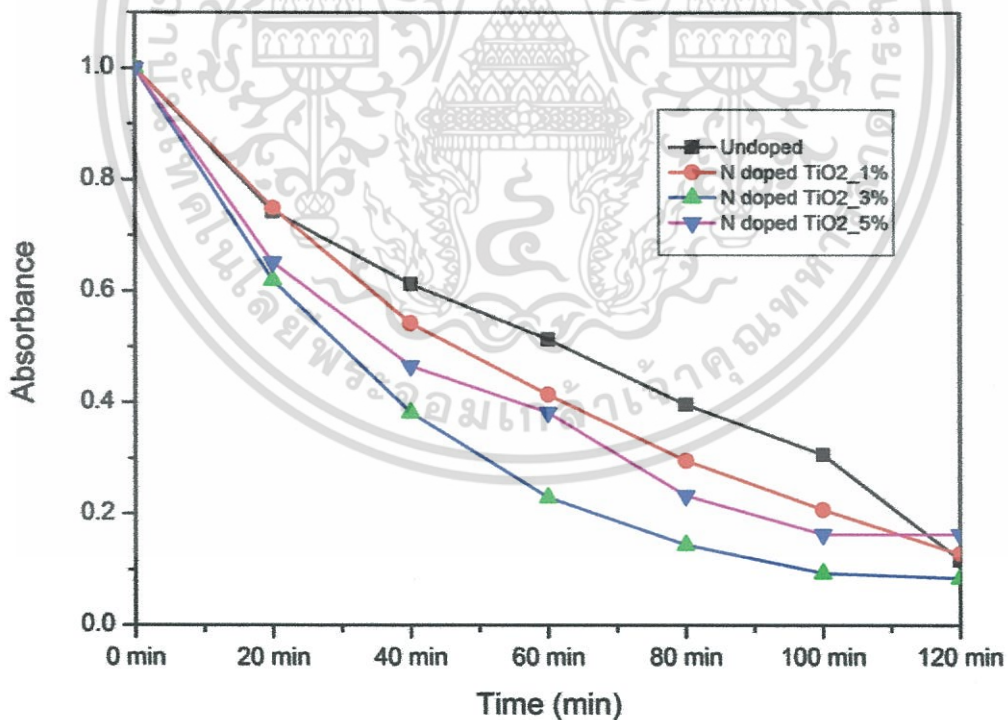
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



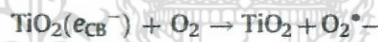
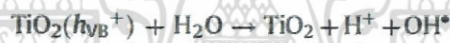
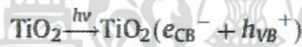
ภาพที่ 4.12 แสดงค่าการดูดกลืนของแสงของการเจือไนโตรเจนที่ undoped, 1%, 3% และ 5% ที่ค่าเวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.13 การวิเคราะห์ด้วย Photodegradation ที่ undoped และ N-doped TiO<sub>2</sub> ที่ 1, 3 และ 5% ที่เวลา 120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดในการย่อยสลายสีย้อมที่ undoped และที่ N-doped  $\text{TiO}_2$  ที่ 1, 3 และ 5% ภายใต้ visible light หลังจากที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบการดูดกลืนของแสงในการย่อยสลายสีย้อมจะสังเกตได้ว่า ที่การเจือในโครเจนที่ 3% มีอัตราเร็วในการย่อยสลายสีย้อมได้เร็วที่สุด เมื่อเทียบกับการไม่เจือในโครเจน และเจือในโครเจนที่ 1% และ 5% ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของเส้นใยนาโน N-doped  $\text{TiO}_2$  ที่ไม่ทำการเจือในโครเจน เนื่องจากการเจือด้วยธาตุไนโตรเจนอาจจะทำให้เกิดระดับชั้นพลังงานพร่อง (Defect Level) ขึ้นซึ่งระดับพลังงานดังกล่าวจะอยู่ระหว่างแถบพลังงานต้องห้ามของไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ลดระดับพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นให้อยู่ในช่วงแสงที่มองเห็น ทำให้เส้นใยนาโนที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจนมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด การทำงานของไททาเนียมไดออกไซด์ภายใต้ปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง จะเริ่มจากการกำเนิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลในชั้นแถบนำกระแสและแถบไม่นำกระแสของไททาเนียมไดออกไซด์ ภายใต้การฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยโฮลในชั้นแถบนำกระแสจะจับกับโมเลกุลของน้ำและกลุ่มไฮดรอกซิลของไฮดรอกซิล (Hydroxyl ion) เพื่อให้เกิดกลุ่มของไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical:  $\text{OH}^\bullet$ ) ในขณะที่โมเลกุลของออกซิเจนจะถูกจับกับอิเล็กตรอนของไททาเนียมไดออกไซด์ในชั้นแถบนำกระแส เพื่อให้เกิดกลุ่มทำงานของออกซิเจน (Active oxygen species:  $\text{O}_2^-$ ) โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงจะประกอบด้วยปฏิกิริยาดังต่อไปนี้ [19]



จากปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง กลุ่มของไฮดรอกซิลและกลุ่มทำงานของออกซิเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงของไททาเนียมไดออกไซด์ จะเป็นตัวสำคัญในการดำเนินปฏิกิริยาในการย่อยสลายโมเลกุลของสารอินทรีย์ ดังนั้นเพื่อให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินต่อไปรวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยา การหาวิธีเพื่อเพิ่มจำนวนของกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระในระบบจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่จะต้องดำเนินต่อไป

นอกจากนั้นการเลื่อนของพีคไปทางด้านความยาวคลื่นต่ำ (Blue-shift absorption) ของสีย้อมโรดามีน บี เกิดจากการย่อยสลายโครงสร้างของหมู่เอทิลของโรดามีน บี (De-ethylation) โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเกิดจากกลุ่มทำงานของออกซิเจนจะไปทำลายหมู่เอทิล (N-ethyl group) ของโรดามีน บี ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโรดามีน บี [20] จึงส่งผลให้มีการเลื่อนของพีคไปด้านพลังงานสูง โครงสร้างเริ่มต้นของโรดามีน บี ก่อนทำการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีโครงสร้างโมเลกุลเป็น *N,N,N',N'*-tetraethylated rhodamine 6G ตำแหน่งความยาวคลื่นสูงสุดที่ 554 นาโนเมตร ส่วนโครงสร้างของโรดามีน บี หลังทำการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะถูก

เปลี่ยนโครงสร้างเป็น *N,N,N'*-tetraethylated rhodamine *N,N'*-tetraethylated rhodamine และ *N* - tetraethylated rhodamine โดยตำแหน่งของความยาวคลื่นสูงสุดจะเปลี่ยนไปอยู่ที่ 539 522 และ 510 นาโนเมตร [21] ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเป็นการบ่งชี้ว่า โครงสร้างของสีย้อมหรือโรดามีน บี มีการเปลี่ยนแปลงพร้อมกับการย่อยสลายเกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยที่ได้มีการเตรียมเส้นใยนาโนของ N-doped TiO<sub>2</sub> โดยวิธีอิเล็กโตรสปินนิง ที่เงื่อนไขของการไม่เจือไนโตรเจน และเจือไนโตรเจน ที่ 1%, 3% และ 5% แล้วทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) เครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่าการเจือไนโตรเจน ไม่มีผลต่อโครงสร้างผลึกและขนาดของเส้นใย N-doped TiO<sub>2</sub> แต่เมื่อทำการคอมโพสิตกับ CuO แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ลักษณะโครงสร้างเส้นใยนาโนคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับ เส้นใยนาโนของ N-doped TiO<sub>2</sub> โดยลักษณะโครงสร้างเส้นใยนาโนคอมโพสิต N-doped TiO<sub>2</sub>/CuO จะเกาะรวมตัวกันอยู่บนผิวเส้นใยนาโนของ N-doped TiO<sub>2</sub> และในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) แสดงถึงโครงสร้างของเส้นใยนาโนของ N-doped TiO<sub>2</sub> ที่เป็นลักษณะอนุนาทอสเฟส

ในการวิเคราะห์สเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอ็กซ์ (XPS) ที่การเจือไนโตรเจนเป็นปริมาณ 5% จะแสดงให้เห็นว่าในการเตรียมเส้นใยนาโน N-doped TiO<sub>2</sub> มีปริมาณไนโตรเจนที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในย่านแสงที่ตามองเห็นได้

จากการวิเคราะห์เส้นใยนาโนของ N-doped TiO<sub>2</sub> ที่เตรียมได้ เพื่อนำไปเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมโดยวิธีทางแสง หลังจากการทำทดสอบการย่อยสลายสีย้อม ที่ไม่ทำการเจือไนโตรเจน และการเจือไนโตรเจน 1%, 3% และ 5% แสดงให้เห็นว่า ที่การเจือไนโตรเจนที่ค่าต่างๆ สามารถย่อยสลายสีย้อมได้ดีกว่าการที่ไม่เจือไนโตรเจน และที่การเจือไนโตรเจน 3% สามารถย่อยสลายสีย้อมได้ดีที่สุด เนื่องจากการเจือด้วยธาตุไนโตรเจนอาจจะทำให้เกิดระดับชั้นพลังงานพร่อง (Defect Level) ขึ้นซึ่งระดับพลังงานดังกล่าวจะอยู่ระหว่างแถบพลังงานต้องห้ามของไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ลดระดับพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นให้อยู่ในช่วงแสงที่มองเห็น ทำให้เส้นใยนาโนที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจนมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Andréa R. Malagutti, Henrique A.J.L. Mourão, José R. Garbin, Caue Riberiro, "Deposition of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{Ag}:\text{TiO}_2$  thin film by the polymeric precursor method and their application in the photodegradation of textile dyes", *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 90, p. 205-212, 2009
- [2] C. Euvananont, C. Junin, K. Inpor, P. Limthongkul, C. Thanachayanont, " $\text{TiO}_2$  optic coating layers for self-cleaning applications", *Ceramics International*, vol. 34, p. 1067-1071, 2008
- [3] Xiangxin Yang, Chundi Cao, Larry Erickson, Keith Hohn, Ronaldo Maghirang, Kenneth Klabunde, "Photo-catalytic degradation of Rhodamine B on C-, S-, N-, and Fe-doped  $\text{TiO}_2$  under visible-light irradiation", *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 91, p. 657-662, 2009
- [4] Teruhisa Ohnoa, Miyako Akiyoshi, Tsutomu Umabayashi, Keisuke Asai, Takahiro Mitsui, Michio Matsumura, "Preparation of S-doped  $\text{TiO}_2$  photocatalysts and their photocatalytic activities under visible light", *Applied Catalysis A: General*, vol. 265, p. 115-121, 2004
- [5] Qing Shi, Dong Yang, Zhongyi Jiang, Jian Li, "Visible-light photocatalytic regeneration of NADH using P-doped  $\text{TiO}_2$  nanoparticles", *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, vol. 43, p. 44-48, 2006
- [6] J. Senthilnathan, Ligy Philip, "Photocatalytic degradation of lindane under UV and visible light using N-doped  $\text{TiO}_2$ ", *Chemical Engineering Journal*, vol. 161, p. 83-92, 2010
- [7] Jingjing Xu, Yanhui Ao, Mindong Chen, Degang Fu, "Photoelectrochemical property and photocatalytic activity of N-doped  $\text{TiO}_2$  nanotube arrays", *Applied Surface Science*, vol. 256, p. 4397-4401, 2010
- [8] Kairong Li, Yaojie Wang, Shurong Wang, Baolin Zhu, Shoumin Zhang, Weiping Huang, Shihua Wu, "A comparative study of  $\text{CuO}/\text{TiO}_2\text{-SnO}_2$ ,  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CuO/SnO<sub>2</sub> catalysts for low-temperature CO oxidation”, *Journal of Natural Gas Chemistry*, vol. 18, p. 449-452, 2009

[9] W. Mekprasart, W. Jareenboon, W. Pecharapa, “TiO<sub>2</sub>/CuPc hybrid nanocomposites prepared by low-energy ball milling for dye-sensitized solar cell application”, *Materials Science and Engineering B*, vol. 172, p. 231-236, 2010

[10] Shinya Higashimoto, Wataru Tanihata, Yoshinori Nakagawa, Masashi Azuma, Shinya Higashimoto, Wataru Tanihata, Yoshinori Nakagawa, Masashi Azuma, “Effective photocatalytic decomposition of VOC under visible-light irradiation on N-doped TiO<sub>2</sub> modified by vanadium species”, *Applied Catalysis A: General*, vol. 304, p. 98-104, 2008

[11] Fan Dong, Haiqiang Wang, Zhongbiao Wu, Jinfeng Qiu, “Marked enhancement of photocatalytic activity and photochemical stability of N-doped TiO<sub>2</sub> nanocrystals by Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> surface modification”, *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 343, p. 200-208, 2010

[12] K. Chiang, R. Amal, T. Tran, “Photocatalytic degradation of cyanide using titanium dioxide modified with copper oxide”, *Advances in Environmental Research*, vol. 6, p. 471-485, 2002

[13] L.S. Yoong, F.K. Chong, Binay K. Dutta, “Development of copper-doped TiO<sub>2</sub> photocatalyst for hydrogen production under visible light”, *Energy*, vol. 34, p. 1652-1661, 2009

[14] Y. Cong, J. Zhang, F. Chen, and Masakazu Anpo, “Synthesis and characterization of nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanophotocatalyst with high visible light activity”, *J. P. Chem.* 111, (2007) 6976-6982

[15] Xian, Z.B.; Gao-Ke, Z.; Yuan-Yuan, G.; and Yan-Qing, Y., “Preparation and photocatalytic properties of visible light responsive N-doped TiO<sub>2</sub>/rectorite composites”, 2010. *Microporous and Mesoporous Materials*, 136, 132-137.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] Baoshun, L.b.; Liping, W.; and Xiujian, Z., "The structure and photocatalytic studies of N-doped TiO<sub>2</sub> films prepared by radio frequency reactive magnetron sputtering", 2008 *Solar Energy Material&Solar Cells*, 92, 1-10.
- [17] Senthilnathan, J.; and Ligy, P., "Photocatalytic degradation of lindane under UV and visible light using N-doped TiO<sub>2</sub>", 2010. *Chemical Engineering Journal*, 161, 83-92.
- [18] Ji, Y.K.; Chan, S.K.; Han, K. C.; and Tae, O.K., "Synthesis and characterization of N-doped TiO<sub>2</sub>/ZrO<sub>2</sub> visible light photocatalysts", 2011. *Advance Powder Technology*, 22, 443-448.
- [19] Meng Nan Chong, Bo Jin, Christopher W.K. Chow, Chris Saint, "Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review", *WATER RESEARCH*, Vol. 44, p.2997-3027, 2010
- [20] Taixing Wu, Guangming Liu, Jincal Zhao, "Photoassisted degradation of dye pollutants. V. Self-photosensitized oxidative transformation of Rhodamine B under visible light irradiation in aqueous TiO<sub>2</sub> dispersion" *Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 102, p. 5845-5851, 1998
- [21] Hyung Mi Sung-Suh, Jae Ran Choi, Hoe Jin Hah, Sang Man Koo, Young Chan Bae, "Comparison of Ag deposition effects on the photocatalytic activity of nanoparticulate TiO<sub>2</sub> under visible and UV light irradiation" *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Vol. 163, p. 37-44, 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อัตชีวประวัติ

รศ. ดร. วิษณุ เพชรภา

Wisanu Pecharapa, Ph.D (Applied Physics)

E-mail: [kpewisan@kmitl.ac.th](mailto:kpewisan@kmitl.ac.th), [kpewisan@gmail.com](mailto:kpewisan@gmail.com)

ตำแหน่งทางวิชาการ: รองศาสตราจารย์ ระดับ 9

สถานที่ทำงาน: วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520  
โทรศัพท์ 023298000 ต่อ 3117

การศึกษา:

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษาและประเทศ
วท. บ. (ฟิสิกส์ เกียรตินิยม)	2535	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประเทศไทย
M.Sc. ( Physics )	2540	University of Central Florida, USA
ปร.ด. (ฟิสิกส์ประยุกต์)	2550	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า- เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการรับราชการ

ได้รับแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งอาจารย์	เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2536
ได้รับแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์	เมื่อวันที่ 24 เมษายน พ.ศ. 2545
ได้รับแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์	เมื่อวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทุนและรางวัล

- พ.ศ. 2531-35 รั้งทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท) ของ สสวท ในระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- พ.ศ. 2532 เจริญผลการเรียนดีเด่น คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- พ.ศ. 2536-40 รั้งทุนกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในระดับปริญญาโท เพื่อศึกษาต่อในต่างประเทศ สาขาฟิสิกส์ Faculty of Art and Science, University of Central Florida, United State of America

## ประสบการณ์การทำงาน:

- พ.ศ. 2536-52 อาจารย์ประจำ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พ.ศ. 2542-44 อาจารย์พิเศษ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- พ.ศ. 2546 อาจารย์พิเศษ หลักสูตรปริญญาโท-เอก สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- พ.ศ. 2546 อาจารย์พิเศษ หลักสูตรปริญญาโท-เอก สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
- พ.ศ. 2552 รักษาการ รองคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- พ.ศ. 2552 รักษาการผู้อำนวยการสำนักบริหารงานทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พ.ศ. 2552 รักษาการผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พ.ศ. 2552-ปัจจุบัน อาจารย์ประจำ สาขานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อวิจัยและพัฒนา :**

ปี	ชื่องานวิจัย	แหล่งทุน
2554-2556	การสังเคราะห์สารประกอบออกไซด์เชิงซ้อนที่มีอนุภาคระดับนาโนเมตรด้วยกระบวนการใช้คลื่นเสียง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2553	เซ็นเซอร์จากวัสดุผสมไฮบริดนาโนสำหรับตรวจสอบสารพิษโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม	ศูนย์ความเป็นเลิศทางฟิสิกส์
2552	การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตของโลหะออกไซด์กับวัสดุโครงสร้างนาโนเพื่อใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์	ศูนย์ความเป็นเลิศทางฟิสิกส์
2549-2551	การพัฒนากระบวนการปลูกฟิล์มบางนำไฟฟ้า โปร่งใสและระบบวัดทางแสงเพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์สมบัติฟิล์มบาง	สำนักวิจัยนาโนเทคโนโลยีลาดกระบัง
2548-2549	การพัฒนาแบบต้นแบบลอจิกเกตทางแสงโดยใช้ฟิล์มบางสารอินทรีย์	สจล.

- **หัวข้องานวิจัยและพัฒนาที่สนใจ:** วัสดุพลังงาน, วัสดุทางแสง นาโนเทคโนโลยี เทคโนโลยีฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลงานวิจัย (2005-2012)

### ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

1. W. Pecharapa, A. Keawprajak, N. Kayunkid, S. Rahong, W. Yindeesuk, and J. Nukeaw, "Electroreflectance and Photocurrent measurement on ZnSe/Alq<sub>3</sub>/TPD heterostructure on Si-substrate", *Material Science and Engineering:B*, Vol. 123 (2005), pp. 163-166. (IF: 1.281)
2. W. Pecharapa, P. Potirak and W. Yindeesuk, "Temperature Dependent Photoluminescence of ZnSe/Alq<sub>3</sub> Hybrid Heterostructure", *Advanced Materials Research*, Vols. 55-57 (2008), pp. 493-496.
3. C. Sanitutr, W. Mekprasart, P. Thanomngam, and W. Pecharapa, "Investigation of Structural properties of CuPc/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites", *Advanced Materials Research*, 93-94 (2010), pp. 687-690.
4. W. Mekprasart, W. Jareonboon, W. Pecharapa, "TiO<sub>2</sub>/CuPc Hybrid Nanocomposites Prepared by Low-Energy Ball Milling for Dye-Sensitized Solar Cell Application", *Material Science and Engineering: B*, 172 (2010), pp. 231-236. (IF: 1.786)
5. K. Chongsri, S. Boonruang and W. Pecharapa, "N-doped MgZnO alloy thin film prepared by sol-gel method " *Material Letters*, 65 (2011), pp.1842-1845. (IF: 1.94)
6. Prayut Potirak, Chokchai Kahattha and Wisanu Pecharapa, "Microwave-Assisted Synthesis and Characterization of Carbon Nanotube/Zinc Oxide composites", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol.11, No. 9, (2011) pp. 11195-11199, (IF: 1.352)
7. Wanichaya Mekprasart, Russameeruk Noonuruk, Wirat Jareonboon and Wisanu Pecharapa "Quasi Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells based on n-TiO<sub>2</sub>/p-NiO Core-Shell Nanocomposites", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol.11, No. 7, (2011) pp. 6483-6489 (IF: 1.352)
8. R. Noonuruk, W. Techitdheera, W. Pecharapa, "Characterization and ozone-induced coloration of Zn<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>O thin films prepared by sol-gel method", *Thin Solid Films*, 520, (2012), pp. 2769-2775, (IF: 1.909)
9. K. Paipitak, T. Pornpra, P. Mongkotalang, W. Techitdheera and W. Pecharapa, "Characterization of PVA-Chitosan Nanofibers Prepared by Electrospinning", *Procedia Engineering*, 8 (2011), pp. 101-105.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. R. Noonuruk, N. Wongpisutpaisan, P. Mukdacharoenchai, W. Techitdheera and W. Pecharapa, "Ozone-induced Optical Density Change of NiO Thin Films and Their Applicability as Neutral Optical Density Filter", *Procedia Engineering*, 8 (2011), pp. 212-216.
11. O. Thanomkiat, C. Kahattha, W. Pecharapa and W. Techitdheera, "Sol-gel based Deposition of  $Ti_xV_{1-x}O$  Films for Thermally Controlled Optical Switching Applications", *Procedia Engineering*, 8, (2011), pp. 232-236.
12. W. Mekprasart and W. Pecharapa, "Synthesis and Characterization of Nitrogen-doped  $TiO_2$  and its Photocatalytic Activity Enhancement under Visible Light", *Energy Procedia*, 9, (2011), pp. 509-514.
13. B. Jandai, P. Wointranont, S. Chaiyasith, W. Pecharapa, "NiO/MWCNTs coated F-doped Tin Oxide Working Electrode for Hydrogen Peroxide Detection", *Energy Procedia*, 9, (2011), pp. 575-580.
14. K. Paipitak, C. Kahattha, W. Techitdheera, S. Porntheeraphat, W. Pecharapa, "Characterization of Sol-gel Derived Ti-doped Tungsten Oxide Electrochromic Thin Films", *Energy Procedia*, 9, (2011), pp. 446-451.
15. N. Wongpisutpaisan, P. Charoonsuk, N. Vittayakorn, W. Pecharapa, "Sonochemical Synthesis and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles", *Energy Procedia*, 9, (2011), pp. 404-409.
16. C. Bangbai, K. Chongsri, W. Pecharapa, and W. Techidheera, "Effect of Al and N Doping on Structural and Optical Properties of Sol-gel Derived ZnO Thin Films", *Sains Malaysiana*, Accepted and published in December 2012. (IF: 0.268)
17. Narongdet Wongpisutpaisan, Anucha Ruangphanit, Naratip Vittayakorn and Wisanu Pecharapa, "Cu-doped  $TiO_2$  nanopowder synthesized by sonochemical-assisted process", *Sains Malaysiana*, Accepted, and published in December 2012. (IF: 0.268)
18. W. Mekprasart, N. Vittayakorn and W. Pecharapa, "Ball-milled CuPc/ $TiO_2$  hybrid nanocomposite and its photocatalytic degradation of aqueous Rhodamine B", *Materials Research Bulletin*, 47, Issue 11, (2012), pp. 3114-3119 (IF: 2.105)
19. Athapon Simpraditpan, Thanakorn Wirunmongkol, Sorapong Pavasupree, Wisanu Pecharapa, "Simple hydrothermal preparation of nanofibers from a natural ilmenite mineral", *Ceramics International*, Article in press, (IF: 1.751)
20. C. Kahattha, N. Wongpisutpaisan, N. Vittayakorn and W. Pecharapa, "Physical properties of V-doped  $TiO_2$  nanoparticles synthesized by sonochemical-assisted process", *Ceramics International*, Article in press, (IF: 1.751)
21. Thanit Tangcharoen, Anucha Ruangphanit, Wisanu Pecharapa, "Structural

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and magnetic properties of nanocrystalline zinc-doped metal ferrites (metal = Ni; Mn; Cu) prepared by sol-gel combustion method" *Ceramics International*, Article in press, (IF: 1.751)

22. P. Mukdacharoenchai, W. Mekprasart, J. Sritharathikhun and W. Pecharapa, "Effect of TiO<sub>2</sub> compact layer on optical absorption and fluorescence performance of R6G/PMMA composite light-guided films", *Advanced Materials Research*, 528, pp. 245-248, 2012.

23. K. Paipitak, J. Rattanak, D. Pakdeeyingyong, W. Techitdheera, S. Porntheeraphat and W. Pecharapa, "Enhanced electrochromic performance of sol-gel derived WO<sub>3</sub> thin films assisted by electrospun PVA nanofibers", *Advanced Materials Research*, 528, pp. 249-253, 2012.

### ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ

1. W. Techitheera, P. Thanomngam, W. Pecharapa, and J. Nukeaw, "Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As/GaAs single quantum well transition energy calculation", *KMITL SCIENCE JOURNAL*, Vol. 5, No. 1, pp. 445-449, 2005. (TJIF:0.045)

2. W. Pecharapa, A. Keawprajak, N. Kayunkid, S. Rahong, W. Yindeesuk, and J. Nukeaw, "Growth and characterization of novel optoelectronic materials based on II-VI inorganic/organic heterostructures", *ScienceAsia*, Vol. 32 No. 3, pp. 223-229, 2006. (TJIF:0.058)

3. Chokchai Kahattha and Wisanu Pecharapa, "Effect of Temperature and Time on Etching Rate of Tin Oxide Thin Films", *CMU. J. Nat. Sci.*, Vol.7(1), pp. 7-12, 2007.

(TJIF: 0.019)

4. W. Pecharapa, W. Techitdheera and J. Nukeaw, "Quantum Confined Stark Effect of ErP Islands/InP Heterostructure", *Thai Journal of Physics*, Series 4, pp. 13-15, 2008.

5. Wisanu Pecharapa, Chokchai Kahattha, Papitchaya Woontrantont, and Thanawee Chodjarusawand, "A study of acid-treated multiwall carbon nanotubes by electron microscopy and Raman Spectroscopy", *Journal of the Microscopy Society of Thailand*, 24 (2), pp.133-135, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. W. Pecharapa, C. Kahattha, W. Techitdeera, "Optical Properties of MgZnO Alloyed Films Characterized by Transmission Spectroscopy", *Thai Journal of Physics, Series 5*, pp. 393-395, 2010.
7. W. Techitdeera, K. Kulsirirat, W. Pecharapa and B. Tunhoo, "Temperature dependent photoabsorption of Copper Phthalocyanine (CuPc) Organic Semiconductor Thin Film", *Thai Journal of Physics, Series 5*, pp. 390-392, 2010.
8. P. Potirak, K. Paipitak, P. Wointranont, C. Kahattha, W. Techitdeera, W. Pecharapa, "Effect of irradiation power on physical properties of ZnO/CNT nanocomposites synthesized via microwave-assisted technique", *Thai Journal of Physics, Series 6*, pp. 341-343, 2010.
9. C. Kahattha and W. Pecharapa, "Physical Properties of Titanium Dioxide/Vanadium Oxide Composites Synthesized by Ball-milling Process", *Journal of the Microscopy Society of Thailand*, 4 (1), pp. 53-55, 2011.
10. R. Noonuruk, W. Techitdeera, W. Pecharapa, "Study of Structural Properties of NiZnO Thin Films under UV/Ozone Treatment by Atomic Force Microscopy and Fourier Transform Infrared Spectroscopy", *Journal of the Microscopy Society of Thailand*, 4 (1), pp. 28-31, 2011.
11. P. Wointranont and W. Pecharapa, "Effects of Surface Modification of Carbon Nanotubes on the Deposition of NiO/CNTs Nanocomposites", *Journal of the Microscopy Society of Thailand*, 4 (2), pp. 116-119, 2011.
12. C. Bangbai, K. Chongsri, W. Pecharapa, W. Techitdeera, "Effect of Nitrogen doping on Structural and Optical Properties of ZnO Thin Films Prepared by Sol-Gel Technique", *Thai Journal of Physics, Series 7*, pp. 108-110, 2011.

### ผลงานวิชาการอื่นๆ (เช่น Proceeding ตำรา สิทธิบัตร ฯลฯ) ประชุมวิชาการ

1. K. Suwansukho, W. Pecharapa and J. Nukeaw, 2005, "Preparation of nanoporous silicon by electrochemical etching", Proceeding of the International Symposium on Nanotechnology in Environmental Protection and Pollution, 2005, January 12-14, 2005, Bangkok.
2. Bunjong Jukgoljun, Wisanu Pecharapa, Wicham Techitdeera, Prasert Kraisingdecha, Chawarat Siriwong, Chokehai Phuttharansa and Ekachai Chongserrcharoen, "Temperature dependent-Photoluminescence of AlGaAs/GaAs Single Quantum Well Grown by

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Molecular Beam Epitaxy”, Proceeding of KMITL international Conference on science and applied science 2006, p138

3. Chewa Thassana, Wicharn Techitdheera, Wisanu Pecharapa and Jiti Nukeaw, “Growth of NiFeN Thin Films by Reactive Gas Timing RF Magnetron Sputtering”, Laos Journal on Applied Science, Vol 1 No.1 2006, p 39-43.

4. Chokchai Kahattha and Wisanu Pecharapa, “Effect of Temperature and Time on Etching Rate of Tin Oxide Thin Films”, Proceeding of The first Thailand National Nanotechnology Conference on Nanomaterials, Pharmaceutical, Devices and Applications, 2007, August 14-16 2007, Chiangmai.

5. Chokchai Kahattha and Wisanu Pecharapa, “Photoluminescence of InGaAs/GaAs Multiple Quantum Well Structure Grown by Molecular Beam Epitaxy”, Proceeding of International Conference on Engineering, Applied Science and Technology, 2007, November 21-23, 2007, Bangkok.

6. W. Pecharapa, W. Techitheera, P. thanongam and J. Nukeaw, “Temperature-dependent photoluminescence investigation of narrow well-width InGaAs/InP single quantum well”, International Workshop and Conference on Photonics and Nanotechnology, 2007, December 16-18, 2007, Pattaya.

7. W. Pecharapa, W. Techitdheera and J. Nukeaw, “Quantum Confined Stark Effect of ErP Islands/InP Heterostructure”, Siam Physics Congress 2008, March 20-22, 2008, Khaoyai.

8. W. Pecharapa, P. Potirak and W. Yindeesuk, “Temperature Dependent Photoluminescence of ZnSe/Alq<sub>3</sub> Hybrid Heterostructure”, SmartMat08 & IWOFM-2, 22-25 April 2008, Chiang Mai, THAILAND

9. W. Pecharapa, W. Techitheera, P. thanongam and J. Nukeaw, “Temperature-dependent photoluminescence investigation of narrow well-width InGaAs/InP single quantum well”, Proc. SPIE, Vol. 6793, 667930C, March 2008.

10. W. Pecharapa and W. Mekprasart, “Optical absorption study on TiO<sub>2</sub>-Nanostructure:CuPC Composite”, NCOA 2008, August 2008, Bangkok, THAILAND.

11. C. Kahattha and W. Pecharapa, “Growth of Nanostructure-TiO<sub>2</sub> doped tin oxide films”, Proceeding of The second Thailand National Nanotechnology Conference, 2008, August 13-15 2008, Phuket, THAILAND.

12. W. Mekprasart and W. Pecharapa, “Photocatalytic Degradation Study of Copper Phthalocyanines by TiO<sub>2</sub> Nanostructures”, Commemorative International Conference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

on Sustainable Development to Save the Earth 2008 (SDSE 2008), December 11-13, Bangkok, Thailand

13. Wisanu Pecharapa, Witoon Yindeesuk and Wicharn Techitdeera, "Determination of the Optical Properties of  $Mg_xZn_{1-x}O$  thin films grown by MOCVD", Proc. of I-SEEC2008, December 15-16, 2008, Nongkai, Thailand.

14. Chokchai Kahattha and Wisanu Pecharapa, "Preparation and characterization of  $SnO_2$  films by sol-gel dip coating technique", Proc. of I-SEEC2008, December 15-16, 2008, Nongkai, Thailand.

15. Wanichaya Mekprasart and Wisanu Pecharapa, "Preparation of  $TiO_2/CuPc$  composite for photodegradation applications", Proc. of I-SEEC2008, December 15-16, 2008, Nongkai, Thailand.

16. K.Kulsirirat, W. Pecharapa and W. Techitdeera, "Theoretical study on the influence of thermal expansion on transition energy of GaAs/AlGaAs single quantum well", Proc. of I-SEEC2008, December 15-16, 2008, Nongkai, Thailand.

17. W. Pecharapa, C. Kahattha, and W. Techitdeera, "Optical properties of  $MgZnO$  alloyed films characterized by transmission spectroscopy", Siam Physics Congress 2009, March 19-21, 2009, Cha-Am.

18. W. Techitdeera, K. Kulsirirat, W. Pecharapa, and B. Tunhoo, "Temperature dependent photoabsorption of Copper Phthalocyanine(CuPc) organic semiconductor thin film", Siam Physics Congress 2009, March 19-21, 2009, Cha-Am.

19. W. Mekprasart and W. Pecharapa, "Photodegradation of Dye Pollutant by Low-Dimensional Structure  $TiO_2$ /Metal Phthalocyanine Composites", 1<sup>st</sup> Nanotoday2009 Conference, August 2-5, 2009, Singapore.

20. W. Pecharapa and W. Mekprasart, "Structural and Optical Properties of Functional Hybrid Composites Based on  $TiO_2$  Nanostructures and Metal Phthalocyanine", 1<sup>st</sup> Nanotoday2009 Conference, August 2-5, 2009, Singapore.

21. Chokchai Kahattha and Wisanu Pecharapa, "Sol-gel dip-coated CNT/  $ZnO$  nanocomposite films for gas sensing applications", The fourth international conference on sensors:Asiasense 2009, July 29-31, 2009, Bangkok.

22. Krisana Chongsri and Wisanu Pecharapa, "Optical properties of  $Mg_xZn_{1-x}O$  alloy film by derived sol-gel method", 35<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, Oct 15-17, 2009, Bangsean, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. Prayut Potirak, Chokchai Kahattha and Wisanu Pecharapa , "Effect of annealing temperature on physical properties of ZnO/CNT composites", 35<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, Oct 15-17, 2009, Bangsean, Thailand
24. W. Mekprasart, W. Jareenboon and W. Pecharapa, "Preparation of TiO<sub>2</sub>/CuPc hybrid nanocomposite and their utilization as electrode materials of Dye-Sensitized Solar Cell" 7th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, 19-22 Nov. 2009 Chiang Mai
25. R. Noonuruk , P. Potirak, W. Pecharapa and W. Techitdeera, "Synthesis and Characterization of Carbon Nanotubes / Nickel oxide Composites for Electrochemical Capacitor" 7th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, 19-22 Nov. 2009 Chiang Mai, Thailand
26. T. Chodjarusawad, P. Potirak, W. Jareenboon, W. Pecharapa, "Flexible Conducting Electrodes from Carbon Nanotube-based Composites", 7th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, 19-22 Nov. 2009, Chiang Mai, Thailand
27. C. Saributr, W. Mekprasart, P. Thanomngam, and W. Pecharapa, "Investigation of Structural properties of CuPc/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites" International Conference on Functionalized and Sensing Materials 2009" December 7-9, 2009, Bangkok, Thailand.
28. Prayut Potirak, Chokchai Kahattha and Wisanu Pecharapa, "Synthesis and Characterization of Carbon Nanotube/Zinc Oxide composites", The 3<sup>rd</sup> IEEE International Nanoelectronics Conference (IEEE INEC) 2010, 3-8 January, 2010, City University of Hong Kong, China
29. Wisanu Pecharapa, Chokchai Kahattha, Papitchaya Woontranont, and Thanawee Chodjarusawad, "A study of acid-treated multiwall carbon nanotubes by electron microscopy and Raman Spectroscopy", The 27<sup>th</sup> annual conference of microscopy society of Thailand (MST 27), 20-22 January 2010, Samui, Suratthani, Thailand
30. Thanawee Chodjarusawad, Wisanu Pecharapa, "The Investigation of Carbon Nanotubes Before and After UV/O<sub>3</sub> Treatments and Gamma-ray Irradiation Using Transmission Electron Microscopy", The 27<sup>th</sup> annual conference of microscopy society of Thailand (MST 27), 20-22 January 2010, Samui, Suratthani, Thailand.
31. P. Junlabhut, S. Phoojaruenchanachai, W. Pecharapa and S. Booruang, "Fabrication of holographic Lens as a Coupling Device in Surface Plasmon Resonance Biosensor", The Fifth National Conference on Optics and Applications (NCOA-5), February 5, 2010, Bangkok, THAILAND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32. K. Kulsirirat, W. Techidheera and W. Pecharapa, "The critical temperature of transition energy of single quantum well, 14<sup>th</sup> International Annual Symposium on Computational Science and Engineering conference(ANSCSE), March 26-28 2010, Mae Fah Luang University, Chiangrai, Thailand.
33. P. Potirak, K. Paipitak, P. Wointranont, C. Kahattha, W. Techidheera, W. Pecharapa, "Effect of irradiation power on physical properties of ZnO/CNT nanocomposites synthesized via microwave-assisted technique" Siam Physics Congress 2010, March 26-28 2010, Kanjanaburi
34. K. Paipitak, T. Pompra, P. Mongkotalang, W. Techidheera and W. Pecharapa, "Characterization of PVA-Chitosan Nanofibers Prepared by Electrospinning", ISEEC 2010, Dec 15-17, 2010, Nakornpranom.
35. R. Noonuruk, N. Wongpisutpaisan, P. Mukdacharoenchai, W. Techidheera and W. Pecharapa, "Ozone-Induced Optical Density Change of NiO Thin Films and Their Applicability as Neutral Optical Density Filter", ISEEC 2010, Dec 15-17, 2010, Nakornpranom
36. P. Mukdacharoenchai, N. Wongpisutpaisan, W. Techidheera and W. Pecharapa, "Characterization of Nickel Oxide Thin Films Prepared Spin-Coating Process" ISEEC 2010, Dec 15-17, 2010, Nakornpranom.
37. Russameeruk Noonuruk, Krisana Chongsri and Wisanu Pecharapa, "Coloring and bleaching of spin-coated Ni<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>O thin films controlled by simple treatment techniques", Joint Symposium of IEEE Nano Korea, Aug17-20, 2010, South Korea
38. Wanichaya Mekprasart, Russameeruk Noonuruk, Wirat Jareanboon and Wisanu Pecharapa, "Quasi Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells based on n-TiO<sub>2</sub>/p-NiO Nanocomposites", Joint Symposium of IEEE Nano Korea, Aug17-20, 2010, South Korea
39. K. Chongsri, P. Mukdacharoenchai, S. Boonruang and W. Pecharapa, "Spin-Coated Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O Metal-Semiconductor-Metal Structured Photoconductive Detector with tunable Ultraviolet Response", Micro Optics Conference, October 31- Nov 3, 2010, Taiwan
40. Papitchaya Wointranont, Russameeruk Noonuruk, Boonsong Jandai and Wisanu Pecharapa, "Microwave-Assisted Synthesis of NiO/CNTs Nanocomposites for functional electrochemical working electrode", GMSTEC 2010; International Conference for a Sustainable Greater Mekong Subregion, 26-27 Aug, 2010, Bangkok, Thailand
41. Russameeruk Noonuruk, Wisanu Pecharapa, "Study of Structural Properties of NiZnO Thin Films under UV/Ozone Treatment by Atomic Force Microscopy and Fourier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transform Infrared Spectroscopy”, Proceedings of the 28th MST Annual Conference, 5-7 January 2011, Chiang Rai, Thailand

42. Papitchaya Wointranont, Wisanu Pecharapa, “Effects of Surface Modification of Carbon Nanotubes on the Deposition of NiO/CNTs Nanocomposites”, Proceedings of the 28th MST Annual Conference, 5-7 January 2011, Chiang Rai, Thailand

43. Chokchai Kahattha, and Wisanu Pecharapa, “Physical Properties of Titanium dioxide/Vanadium oxide composites Synthesized by Ball-Milling Process, Proceedings of the 28th MST Annual Conference, 5-7 January 2011, Chiang Rai, Thailand

44. Boonsong Jandai , Suwan Chaiyasith, Papithaya Wointranont and Wisanu Pecharapa , “Synthesis and characterization of nickel oxide/multiwall carbon nanotube nanocomposites on Fluorine-doped tin oxide for hydrogen peroxide detection”, PACCON 2011, Jan 5-7 2011, Bangkok, Thailand.

45. K. Chongsri, S. Boonruang, and W. Pecharapa, “Structural and Optical Properties of  $Mg_xZn_{1-x}O$  Alloy Films Prepared by Sol-Gel Method”, Proceedings of the 6<sup>th</sup> Annual Conference on the Thai Physics Society (SPC 2011), March 23-26, 2011, Pattaya, pp. 330-333.

46. C.Bangbai, K.Chongsri, W.Pecharapa, W.Techitdheera, “Effect of Nitrogen doping on Structural and Optical Properties of ZnO Thin Films Prepared by Sol-Gel Technique”, SPC 2011, March 23-26, 2011, Pattaya.

47. K. Paipitak, C. Kahattha, W. Techitdheera, N. Porntheerapat, and W. Pecharapa, “Characterization of sol-gel derived Ti-doped Tungsten Oxide Electrochromic Thin Films”, 9<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 2011) , May 25-28, 2011, Chiangrai.

48. R. Noonuruk and W. Pecharapa, “Effect of Zinc doping on electrochromic performance of sol-gel spin-coated NiO films”, 9<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 2011) , May 25-28, 2011, Chiangrai.

49. W. Mekprasart and W. Pecharapa, “Synthesis and characterization of Nitrogen-doped  $TiO_2$  and its photocatalytic activity enhancement under visible light”, 9<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 2011) , May 25-28, 2011, Chiangrai.

50. C. Kahattha and W. Pecharapa, “Characterization of V-doped Titanium Dioxide Synthesized by Sol-gel Precipitation Process”, 9<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 2011) , May 25-28, 2011, Chiangrai.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

51. P. Mukdacharoenchai, W. Mekprasart, J. Sritharathikhun, N. Vittayakorn, P. Siriphannon, P. Kittidachachan and W. Pecharapa, "TiO<sub>2</sub>/R6G hybrid optical composites synthesized by ball-milling process for light waveguide applications", 9<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 2011) , May 25-28, 2011, Chiangrai.
52. N. Wongpisutpaisan, P. Charoonsuk, N. Vittayakorn and W. Pecharapa, "Sonochemical synthesis and characterization of Copper Oxide Nanoparticles", 9<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 2011) , May 25-28, 2011, Chiangrai.
53. Papithaya Wointranont , Sirapat Pratontep and Wisanu Pecharapa, "Modification of Electrochemical Working Electrode using NiO/MWCNT Nanocomposites Synthesized by Microwave-Assisted Route, IEEE INEC 2011, Jun 21-24, 2011, Taiwan.
54. A. Simpraditpan, W. Pecharapa, T. Wirunmongkol, S. Pavasupree, "Preparation of Nanofibers from Natural Ilmenite Mineral by Simple Hydrothermal Method", Industrial Engineering Network Conference 2011, Oct 20-21, 2011, Pattaya, Thailand.
55. A. Simpraditpan, T. Wirunmongkol, S. Pavasupree, W. Pecharapa, "Effect of Hydrothermal Temperature on Structure of Titanate Nanofibers Prepared from Low-Cost Natural Ilmenite Mineral", ISTS 2011, Nov 23-26, 2011, Bangkok.
56. T. Tangcharoen, A. Ruangphanit, W. Pecharapa, "NiZn Ferrite nanopowders prepared by facile sol-gel combustion method", ISTS 2011, Nov 23-26, 2011, Bangkok.
57. P. Junlabhut, S. Boonruang, W. Pecharapa, "Effect of Ag-doping on structural and optical properties of SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> hybrid composite films", ISTS 2011, Nov 23-26, 2011, Bangkok.
58. C. Bangbai, K. Chongsri, W. Pecharapa, and W. Techidheera, " Effect of Al and N Doping on Structural and Optical Properties of Sol-gel Derived ZnO Thin Films", International Conference on Enabling Science and Nanotechnology 2012(ESci Nano 2012), 5-7 Jan, 2012, Johor Bahru, Malaysia.
59. N. Wongpisutpaisan, A. Ruangphanit, N. Vittayakorn and W. Pecharapa, "Cu-doped TiO<sub>2</sub> nanopowder synthesized by sonochemical-assisted process", International Conference on Enabling Science and Nanotechnology 2012(ESci Nano 2012), 5-7 Jan, 2012, Johor Bahru, Malaysia.
60. P. Potiruk, W. Techitheera, W. Pecharapa, "Investigation of alcohol sensing property of ZnO/MWCNT hybrid nanocomposites synthesized by microwave-assisted route", International Conference on Enabling Science and Nanotechnology 2012(ESci Nano 2012),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-7 Jan, 2012, Johor Bahru, Malaysia.

61. Thanit Tangcharoen, Nuttapon Chomsin, Anucha Ruangphanit, Wichan Techitdheera, Wisanu Pecharapa, "Microwave-assisted combustion synthesis of nanocrystalline NiZn ferrite powders", The 29th MST Annual Conference, 30 January - 1 February 2012, Cha-am, Thailand

62. Krisana Chongsri, Narongdet Wongpisutpaisan, Naratip Vittayakorn and Wisanu Pecharapa, "Al-doped ZnO Nanoparticles synthesized by sonochemical-assisted Method", The 29th MST Annual Conference, 30 January - 1 February 2012, Cha-am, Thailand

63. Prasopporn Junlabhut, Sakoolkarn Boonruang, Wisanu Pecharapa, "FTIR and AFM studies of Ag-doped SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> hybrid films prepared by sol-gel method", The 29th MST Annual Conference, 30 January - 1 February 2012, Cha-am, Thailand

64. Khanokkorn Paipitak, Mati Horprathum, Wichan Techitdheera, Wisanu Pecharapa, "Influence of sputtering power on structural, optical and electrochromic properties of WO<sub>3</sub> thin films prepared by DC-sputtering", The 29th MST Annual Conference, 30 January - 1 February 2012, Cha-am, Thailand

65. Orawan Tanomkiat, Kanokkorn paipitak, Wisanu Pecharapa and Wichan Techitdheera, "Effect of Nickel Dopant on Structural and Optical Properties of WO<sub>3</sub> Optical Thin Films Prepared by Sol-gel Spin Coating", The Seventh National Conference on Optics and Applications (NCOA-7), March 16, 2012, Bangkok, Thailand.

66. Wicham Techitdheera, Chatpong Bangbai and Wisanu Pecharapa, "Effect of Sn doping on Structural and Optical Properties of ZnO Thin Films Prepared by Sol-Gel Technique", 7<sup>th</sup> Siam Physics Congress, May 9-12, 2012, Ayutthaya, Thailand.

67. P. Mukdacharoenchai, P. Siriphannon, J. Sritharathikhun and W. Pecharapa, "Absorption and fluorescence studies of TiO<sub>2</sub>/R6G/PMMA light-guided film", 7<sup>th</sup> Siam Physics Congress, May 9-12, 2012, Ayutthaya, Thailand.

68. T. Tangcharoen, A. Ruangphanit and W. Pecharapa, "Effect of Nickel Substitution on Structural and Magnetic Properties of MnZn and CuZn Ferrites Prepared by Sol-gel Combustion Method", 7<sup>th</sup> Siam Physics Congress, May 9-12, 2012, Ayutthaya, Thailand.

69. A. Simpraditpan, W. Pecharapa, T. Wirunmongkol, S. Pavasupree, "Synthesis and Optical Properties of Ilmenite Nanofibers Prepared via Hydrothermal Method", 7<sup>th</sup> Siam Physics Congress, May 9-12, 2012, Ayutthaya, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70. K. Paipitak, W. Techitdheera, S. Porntheeraphat and W. Pecharapa, "Structural and optical characterization of sol-gel derived Zn-doped  $WO_3$  thin films", 7<sup>th</sup> Siam Physics Congress, May 9-12, 2012, Ayutthaya, Thailand.

71. O. Tanomkiat, K. Paipitak, W. Pecharapa and W. Techitdheera, "Structural, optical and electrochromic properties of Ni-doped  $WO_3$  thin films prepared by sol-gel process", 7<sup>th</sup> Siam Physics Congress, May 9-12, 2012, Ayutthaya, Thailand.

72. Narongdet Wongpisutpaisan, Chokchai Kahattha, Naratip Vittayakorn, Anucha Ruangphanit, and Wisanu Pecharapa, "Titanium dioxide nanostructures synthesized by sonochemical – hydrothermal process", 7<sup>th</sup> International Conference on Materials and Technology (7<sup>th</sup> - MSAT), June 7-8, 2012, Bangkok, Thailand.

73. C. Kahattha, N. Wongpisutpaisan, N. Vittayakorn and W. Pecharapa, "Physical properties of V-doped  $TiO_2$  nanoparticles synthesized by sonochemical-assisted process", 8<sup>th</sup> Asian Meeting on Electroceramics, July 1-5, 2012, Penang, Malaysia.

74. Thanit Tangcharoen, Anucha Ruangphanit, Wisanu Pecharapa, "Structural and magnetic properties of nanocrystalline zinc-doped metal ferrites (metal = Ni; Mn; Cu) prepared by sol-gel combustion method", 8<sup>th</sup> Asian Meeting on Electroceramics, July 1-5, 2012, Penang, Malaysia.

75. P. Mukdachoenchai, W. Mekprasart, J. Sriharathikhun, W. Pecharapa, "Effect of  $TiO_2$  compact layer on optical absorption and fluorescence performance of R6G/PMMA composite light-guided films", 2<sup>nd</sup> International conference in Frontier in Nanoscience and Nanotechnology 2012, July 27-28, 2012, Hong Kong.

76. K. Paipitak, J. Rattanak, D. Pakdeeyingyong, W. Tchitdheera, S. Porntheeraphat and W. Pecharapa, "Enhanced electrochromic performance of sol-gel derived  $WO_3$  thin films assisted by electrospun PVA nanofibers", 2<sup>nd</sup> International conference in Frontier in Nanoscience and Nanotechnology 2012, July 27-28, 2012, Hong Kong.

77. Napaporn Thaweesaeng, Sineenart Suphankij, Pattanapong Jumrusprasert, Wisanu Pecharapa, Wicham Techitdheera, "ZnO nanopowders prepared by precipitation method using deferent precursors", 38<sup>th</sup> Congress of Science and Technology of Thailand (38<sup>th</sup> STT), Oct 17-19, 2012, Chiangmai, Thailand

78. Sineenart Suphankij, Wanichaya Mekprasart, Wisanu Pecharapa,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"Characterization of N-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers prepared by electrospinning", 38<sup>th</sup> Congress of Science and Technology of Thailand (38<sup>th</sup> STT), Oct 17-19, 2012, Chiangmai, Thailand.

79. Kankanit Phiwdang\*, Sininart Supanakit, Narongdet Wongpisutpaisan, Wanichaya Mekprasart, Wisanu Pecharapa, "Facile Synthesis of CuO Nanoparticles by Precipitation Method", 38<sup>th</sup> Congress of Science and Technology of Thailand (38<sup>th</sup> STT), Oct 17-19, 2012, Chiangmai, Thailand.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Characterization of N-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers prepared by electrospinning

Sineenart Suphankij<sup>1\*</sup>, Wanichaya Mekprasart<sup>1</sup>, Wisanu Pecharapa<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd., Ladkrabang Bangkok 10520  
<sup>2</sup>TheP Center, CHE,328 Siayuthtaya Rd., Bangkok 10400,Thailand  
 \*e-mail: sineenart.sup@gmail.com

### Abstract

Nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers with different doping amount of nitrogen were prepared by electrospinning process using dissolved poly (vinyl pyrrolidone) (PVP), ammonium acetate (CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>) and titanium (IV) isopropoxide (TIP) in 2-methoxyethanol as starting precursor, followed by calcinations process. Structural properties of as-prepared nanofibers were investigated by X-ray diffraction (XRD), Field emission scanning electron microscope (FE-SEM) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). XRD and XPS results indicated that the crystallinity of as-prepared fibers corresponds to anatase phase of TiO<sub>2</sub> independent on nitrogen content. Optical absorption properties of doped-fibers characterized by UV-Vis spectroscopy exhibits the significant absorption enhancement in visible region.

#### Titanium Dioxide

##### Properties

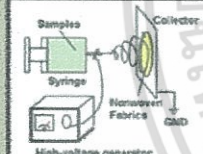
- Wide energy band gap 3.2 eV.
- High refractive index
- Strong Ultraviolet absorption
- Non-Toxic

##### Applications

- Self Cleaning
- Dye sensitized Solar Cells
- Photocatalyst

##### Advantages of electrospinning method

- Simple process
- Long continuous production
- Controlled diameter size and porosity
- High ratio of surface area and volume



#### Results & Discussion

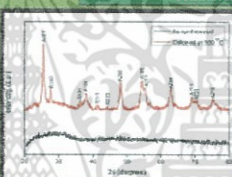


Fig.1 XRD patterns of as-synthesized and calcined N-doped TiO<sub>2</sub>.

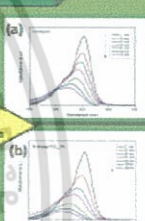


Fig.3 Absorption of TiO<sub>2</sub> under UV light using (a) undoped and (b) 5 wt% N-doped TiO<sub>2</sub>.

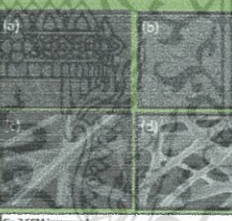


Fig.2 SEM images of (a) and (b) as-synthesized of undoped and N-doped TiO<sub>2</sub>, (c) and (d) calcined of undoped and N-doped TiO<sub>2</sub>.

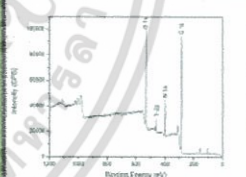
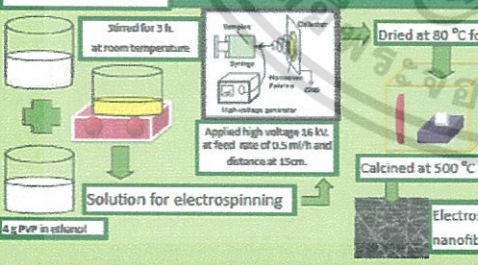
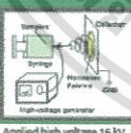


Fig.4 XPS spectrum of 5 wt% N-doped TiO<sub>2</sub> nanofiber.

#### Experiment

0 and 5 wt.% N-doped TiO<sub>2</sub> precursor





#### Conclusion

- N-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers were successfully prepared by electrospinning process.
- XRD and FE-SEM results show that good formation of undoped and N-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers after calcination were obtained comparing to as-synthesized material.
- The presence of nitrogen in TiO<sub>2</sub> nanofibers was confirmed by XPS result.
- N-doped TiO<sub>2</sub> with 5% doping content performed more superior RhB degradation under visible light. This phenomenon may be originated from the presence of nitrogen

#### Acknowledgement

This work has been financially supported by the National Nanotechnology Center (NANOTEC), NSTDA, Ministry of Science and Technology Thailand, through its program of Center of Excellence Network and Nation Research Council of Thailand (NRCT).

#### References

- [1] Jin-oh B, Junghyun M, Su-Jae L, Seong HK, Teohyoung Z, Hye WC. Thin Solid Films 2008; 515: 6943-6949.
- [2] Jong-Ho L, Young-In L, Han-Beok S, Dong-Hwan J, Yong-Ho C. Curr. Appl. Phys. 2011; 11:3230-3234.
- [3] Veluru AB, Maniappan K, E. Appuluzhan SM, Tan IK, Sulaiman LA, Sreenan R. Int J Hydrogen Energy.2012;37:3097-3098.
- [4] Hanidana B, Subbar C. K. Biotechnol Adv.2010; 28:325-347.
- [5] Wanichaya M., Narathip V. and Wisanu P. Mater.B.2012;47:3156-3158.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Facile Synthesis of CuO Nanoparticles by Precipitation Method

K.Phiwdang<sup>1\*</sup>, S.Suphankij<sup>1</sup>, N.Wongpisutpaisan<sup>1</sup>, W. Mekprasart<sup>1,2</sup>, W.Pecharapa<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalokkrung Rd., Ladkrabang Bangkok 10520, Thailand.

<sup>2</sup>ThEP Center, CHE, 328 Siayuthtaya Rd., Bangkok 10400, Thailand

### Abstract

CuO nanoparticles were synthesized by precipitation method using copper nitrate  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  as starting precursor combination with post heating. Relevant properties of as-synthesized nanoparticles were investigated by X-ray diffraction, Scanning electron microscope and Fourier transform infrared spectroscopy. XRD result suggests that CuO nanoparticles in cubic structure are obtained by this synthesized process. Meanwhile, SEM result reveals that surface morphology and structure of as-prepared CuO are in short nanorod-like structure with average size of few hundred nanometer range. FTIR results suggest that the formation of CuO nanostructure and Cu-O bonding were obtained by this simple process.

### Introduction

#### Properties

Molecular weight  
79.545 g/mol

P-type semiconductor

Narrow band gap

#### Application

Photocatalyst

Dye-sensitized solar cells

Antifungal

CuO

### Experiment

2.416 grams of  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$   
at concentration 0.1 mol/l

DI water 100 ml

Under stirring  
Drop NaOH 26 ml

Wash with DI water and  
absolute ethanol (pH=7)

Stirring for 20 min.

Dried at 80 °C for 16 h

Annealed at 500 °C for 4 h

CuO nanoparticle  
(Black precipitate)

### Results & Discussion

#### XRD, SEM and FTIR Characterization



Fig. 1 XRD patterns of CuO nanostructure from  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (a) as-synthesized and (b) after calcination of CuO

Fig. 2 FTIR spectra of CuO nanostructure from  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (a) as-synthesized and (b) after calcination of CuO

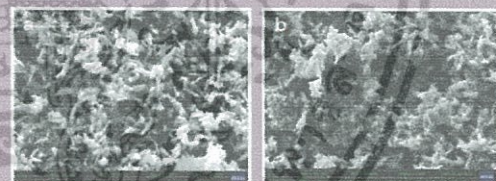


Fig. 3 SEM images of CuO nanoparticles from  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (a) as-synthesized and (b) after calcination of CuO

### Conclusion

CuO nanostructure was successfully synthesized by precipitation method. XRD results confirm that the formation of CuO from  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  is in monoclinic phase. SEM results show that the morphology of short nanorod-like structure was formed in as-synthesized CuO which the aggregation of CuO is formed by annealing process. FTIR result suggests that the formation of copper oxide compound is obtained after annealing process in this method accompanying the presence of Cu-O bonds in structure.

### References

1. Jiraporn, Z., Dorn, L., Högden, O., Njge, Y., Luder, L., Kim, W., Weber, L., 2004, 08, 3225-3232.
2. Rajan, W., Zhong, H., Zhong, G., Yan, Y., J. Alloy Compd., 2010, 501A-65-68.
3. Dorai Gopal, n., Japinder, K., Tsing, N., Rishi, S., Physica B 2012, 407, 1223-1226.

### Acknowledgments

This work has been financially supported by the National Nanotechnology Center (NNC), NSTDA, Ministry of Science and Technology Thailand, through its program of Center of Excellence Network and Nation Research Council of Thailand (NRCT).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dear Miss. Sineenart Suphankij

We are pleased to inform you that your paper with paper code : NM72 entitled

Photocatalytic of N-doped TiO<sub>2</sub> Nanofibers prepared by electrospinning

has been ACCEPTED for presentation at the 10th EMSES 2012, which will be held at Sunee Grand Hotel, Ubon-Ratchathani, Thailand, on December 5-8, 2012.

With this letter, we cordially invite you to attend 10thEMSES2012 to present your paper.

Reviewers' comments are listed at the end of this message. It is strongly recommended to the author to revise the paper following reviewer's comments in camera-ready submission.

To include your paper in the conference proceedings, you MUST strictly adhere to the following requirements:

1. At least one of the authors must register to attend the conference by November 12, 2012, which is the deadline for camera-ready submission. The registration rates are as follows: <http://www.emses.org/index.php/registration>.

2. Your paper may have been accepted with a condition that the paper must be revised according to the reviewer comments. Failing to do so may exclude your paper from the program and proceeding.

3. A final camera-ready copy of your revised paper in PDF format (NO MORE THAN 6 PAGES) must be resubmitted electronically (uploaded) for publication NO LATER THAN November 5, 2012.

4. For selected paper to publish in Energy Procedia, the committee and editor in chief will range the score and send the acceptance letter to you on December 5, 2012

<http://paper4submission.com/emses2012/login.asp>

Please also check if your paper follows the EMSES manuscript format available on [www.emses.org](http://www.emses.org). For more information about how to submit camera-ready version, please go to [www.emses.org](http://www.emses.org).

Please note that NO TIME EXTENSION will be granted.

Please accept our thanks for submitting your paper to the conference. We look forward to seeing you at 10th EMSES2012 on December 5-8, 2012.

Sincerely,  
Asst.Prof.Dr.Krischonme Bhumkittipich  
Dr.Sumonman Niamlang

10<sup>th</sup> EMSES2012 Secretary (On the behalf of technical programme committee)  
E-mail: [emses@en.rmutt.ac.th](mailto:emses@en.rmutt.ac.th),  
Website: <http://www.emses.org/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Photocatalytic of N-doped TiO<sub>2</sub> Nanofibers prepared by electrospinning

S. Suphankij<sup>1\*</sup>, W. Mekprasart<sup>1,2</sup> and W. Pecharapa<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang Bangkok 10520, Thailand

<sup>2</sup>ThEP Center, CHE,328 Siayuthtaya Rd.,Bangkok 10400,Thailand

E-mail: sineenart.sup@gmail.com

**Abstract**— Nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers were prepared by electrospinning process using ammonium acetate (CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>) as nitrogen sources and titanium (IV) isopropoxide (TiP) in 2-methoxyethanol as starting precursor. The different amount of nitrogen in TiO<sub>2</sub> was introduced into the fibers. The structural properties of nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers were characterized by X-ray diffraction (XRD), field emission scanning electron microscope (FE-SEM), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). XRD results indicated that the crystallinity of as-prepared fibers and after calcined corresponds to phase of TiO<sub>2</sub> independent on nitrogen content. XPS indicates that nitrogen was doped effectively into the fibers. Nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofiber materials were utilized as the photocatalyst in dye photodegradation under visible light. The significant absorption enhancement in visible region was obtained by nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers relating to the improvement of photocatalytic efficiency comparing to undoped-TiO<sub>2</sub>.

**Keywords**— Nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanofiber, Photocatalyst, Degradation

## 1. INTRODUCTION

Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) is one of metal oxide semiconductor applied to environment applications because of non-toxic, strong ultraviolet (UV) absorption, widely energy bandgap of 3.2 eV and good stability in photocatalyst reaction. TiO<sub>2</sub> photocatalyst is used in various applications such as photodegradation of organic and inorganic pollutant in waste water, hydrogen generation, air purification, bacteria elimination and dye decolorization [1-3]. Phenomenon of photocatalyst that occurs under UV irradiation resulting to the movement of electron from valence band to conduction band called photoelectron-hole pair. However, UV in the natural light approximately is 3-5% relating to the inactivation of TiO<sub>2</sub> in this region [4] therefore low absorption in visible light is one of drawback in TiO<sub>2</sub>.

Nitrogen (N) doping in TiO<sub>2</sub> is one of methods for enhancing its performance such as the decrease of electron - hole recombination and the extension of photoresponse from UV to the visible light region. Therefore TiO<sub>2</sub> efficiency is increased by these phenomena resulting to the improvement in the photocatalytic activity. N-doped TiO<sub>2</sub> structures can be fabricated by various methods such as nanoparticle, nanorod, nanosheet, nanotube and nanofiber. In this study, the preparation in form of nanofiber by electrospin process was chosen because of long-continuous fiber, controlled its diameter size, porous structure after calcination and uncomplicated process.

The main objective of this work is to synthesize N-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers that used as photocatalyst in the photocatalytic degradation of Rhodamine B (RhB) under visible light.

## 2. Experimental

N-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers (NF) were prepared by electrospinning process. First, the polymer solution was

prepared by dissolving 4 g of poly (vinyl pyrrolidone) (PVP; Mw 40,000, Sigma-Aldrich) in 8 mL of Ethanol followed by stirred for 2 h. Next, the solution of nitrogen doped TiO<sub>2</sub> was prepared by mixing CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (ACI Labscan) as nitrogen source at 1, 3 and 5 wt.% in 3 ml 2 methoxyethanol. After that 1.4 g titanium (IV) isopropoxide (TiP) (Sigma-Aldrich) and 2 ml acetic acid (Merck) were added in the solution and stirred for 15 min. Finally, the precursor mixture was stirred until optimized viscosity in the solution was attained. For electrospinning process, 10 ml precursor solution was loaded into a syringe. Distance between a needle tip and collector was fixed at 15 cm with feeding rate 0.5 ml/h and applied voltage at 16 kV. As-prepared electrospun of undoped TiO<sub>2</sub> and N-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers were dried at 80 °C for 12 h. Finally, the electrospun were obtained after calcined at 500 °C for 2 h.

The Photocatalytic activities of as-prepared NFs were evaluated by degradation Rhodamine B(RhB) under visible light using solar simulator. 16 mg of electrospun TiO<sub>2</sub> nanofibers were dispersed in 5.9 x 10<sup>-6</sup> mol/l. of RhB and stirred 30 min, in the dark. After, the solution was stirred under illumination for various time. The concentration of degraded RhB was measured by mean of its corresponding absorption intensity.

## 3. Results and discussion

XRD patterns of as-spun and after-calcined fibers are shown in Fig. 1. No characteristic peak of crystalline phase of TiO<sub>2</sub> is observed in as-spun sample. After calcinations at 500 °C, N-doped TiO<sub>2</sub> NF shows prominent diffraction peaks positioned at 2θ = 25.5°, 38.0°, 48.2°, 54.5°, 55.3°, 63.06°, 69.2°, 70.4° and 75.2° that are assigned to (101), (104), (200), (105), (211), (204), (116), (220) and (215) planes of anatase phase, respectively [5]. Another peaks positioned at 2θ = 27.58°, 36.2°, 41.2° and 44.0° are assigned to (110), (101), (111) and (210) planes of rutile phase, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This XRD results indicate the formation of  $\text{TiO}_2$  with crystalline phase of anatase and rutile without noticeable alternation in phase after nitrogen doping.

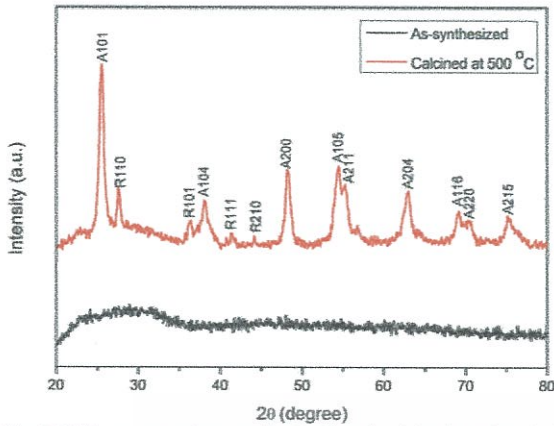


Fig.1 XRD pattern of as-synthesized and calcined N-doped  $\text{TiO}_2$

FE-SEM images in Fig.2 show the morphologies of as-synthesized and after calcined of undoped and N-doped  $\text{TiO}_2$  NF. Morphologies of as-synthesized of undoped and N-doped  $\text{TiO}_2$  exhibit non-uniform nanofibers with beads as observed in Fig. 2(a) and 2(c). Meanwhile, Fig. 2(b) and 2(d) show uniform nanofibers of undoped and N-doped  $\text{TiO}_2$ , continuity and smooth surface caused by burn-out of PVP from the nanofibers after calcinations. After-calcined  $\text{TiO}_2$  NFs have average diameter of 140-180 nm.

XPS survey spectrum of N-doped  $\text{TiO}_2$  is illustrated in Fig.3. The electron binding energy and oxidation number of the elements on the surface material were analyzed. The result shows the existence of nitrogen accompanying the appearance of N 1s region (396-404 eV) corresponding to binding energy peak of N 1s at 399.32 eV. The Ti 2p region was observed at 461.52 eV and O 1s at 530.41 eV [8-11].

The photocatalytic performance of as-prepared N-doped  $\text{TiO}_2$  NF were investigated by RhB photodegradation under visible light. The absorbance at normalized maximum wavelength of RhB versus irradiation time is shown in Fig.4. The complete decolorization of RhB by undoped  $\text{TiO}_2$  was achieved after 120 min of reaction. Whereas, N-doped  $\text{TiO}_2$  NF photocatalyst performs shorter degradation time comparing to undoped  $\text{TiO}_2$ . The improvement of catalytic efficiency was obtained by increasing nitrogen doping in  $\text{TiO}_2$ . N-doped  $\text{TiO}_2$  photocatalyst at 3 wt.% exhibited much better activity than the other due to the optimized doping amount of nitrogen that can induce the defect level in optical band gap of  $\text{TiO}_2$ , leading to the improvement in optical absorptivity of  $\text{TiO}_2$  in visible region. Furthermore, with high aspect ratio nature of nanofibers can also considerably provide greater surface areas which play a key role on catalytic performance.

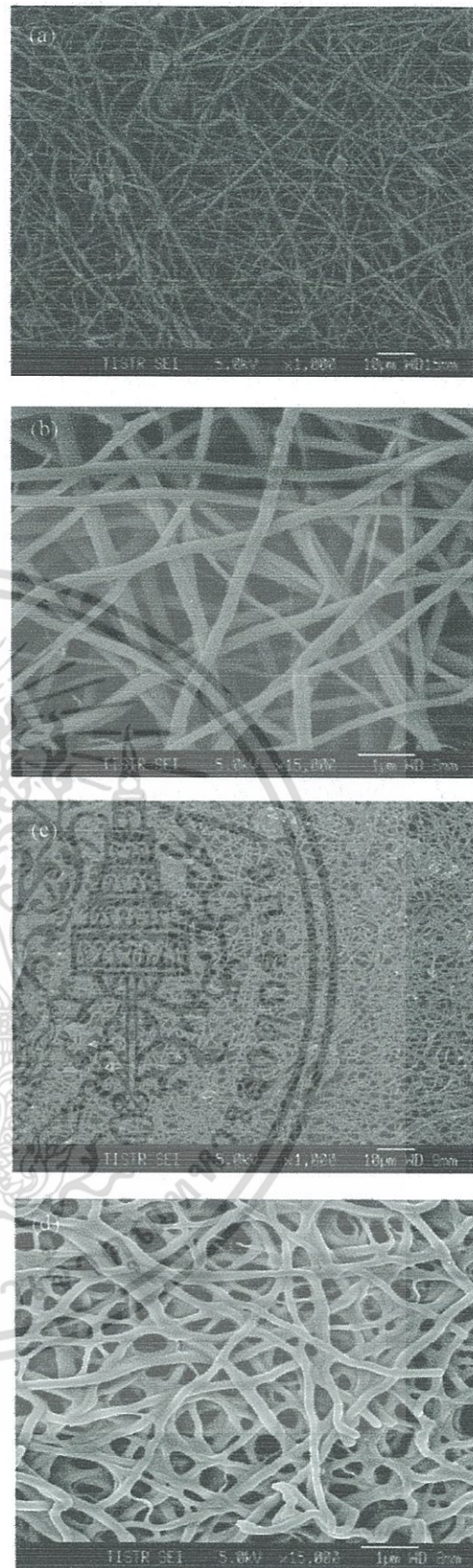


Fig.2 FE-SEM images of N-doped  $\text{TiO}_2$  nanofibers  
(a) As-synthesized undoped,  
(b) After calcined undoped,  
(c) As-synthesized N-doped  $\text{TiO}_2$  and  
(d) After calcined N-doped  $\text{TiO}_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## REFERENCES

- [1] Wanichaya, M.; Naratip, V.; and Wisanu, P. 2012. Ball-milled CuPc/TiO<sub>2</sub> hybrid nanocomposite and its photocatalytic degradation of aqueous Rhodamine B. *Materials Research Bulletin* 47, 3114-3119.
- [2] Jong, S.L.; Young, I.L.; Hanbok, S.; Dae, H.J.; and Yong, H.C. 2011. Synthesis and characterization of TiO<sub>2</sub> nanowires with controlled porosity and microstructure using electrospinning method. *Current Applied Physics* 11, S210-S214.
- [3] Qiming, L.; Daoxing, S.; and Hern, K. 2011. Fabrication of porous TiO<sub>2</sub> nanofiber and its photocatalytic activity. *Materials Research Bulletin* 46, 2094-2099.
- [4] Ye, C.; Jinlong, Z.; Feng, C.; and Masakazu, A. C2007. Synthesis and Characterization of Nitrogen-Doped TiO<sub>2</sub> Nanophotocatalyst with High Visible Light Activity. *J. Phys. Chem.*, 111, 6976-6982.
- [5] Veluru, J.B.; Appukuttan, S.N.; Zhu, P.; Seeram, R. 2011. Synthesis and characterization of rice grains like Nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanostructures by electrospinning-photocatalysis. *Material Letters*, 65, 3064-3068.
- [6] Wanichaya, M.; and Wisanu, P. 2011. Synthesis and characterization of nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> and its photocatalytic activity enhancement under visible light. *Energy procedia*, 9, 509-514.
- [7] Senthilnathan, J.; and Philip, L. 2010. Photocatalytic degradation of lindane under UV and visible light using N-doped TiO<sub>2</sub>. *Chemical Engineering Journal*, 161, 83-92.
- [8] Xian, Z.B.; Gao-Ke, Z.; Yuan-Yuan, G.; and Yan-Qing, Y. 2010. Preparation and photocatalytic properties of visible light responsive N-doped TiO<sub>2</sub>/rectonite composite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 136, 132-137.
- [9] Baoshun, L.b.; Liping, W.; and Xiujian, Z. 2008. The structure and photocatalytic studies of N-doped TiO<sub>2</sub> films prepared by radio frequency reactive magnetron sputtering. *Solar Energy Material&Solar Cells*, 92, 1-10.
- [10] Senthilnathan, J.; and Ligy, P. 2010. Photocatalytic degradation of lindane under UV and visible light using N-doped TiO<sub>2</sub>. *Chemical Engineering Journal*, 161, 83-92.
- [11] Ji, Y.K.; Chan, S.K.; Han, K. C.; and Tae, O.K. 2011. Synthesis and characterization of N-doped TiO<sub>2</sub>/ZrO<sub>2</sub> visible light photocatalysts. *Advance Powder Technology*, 22, 443-448.

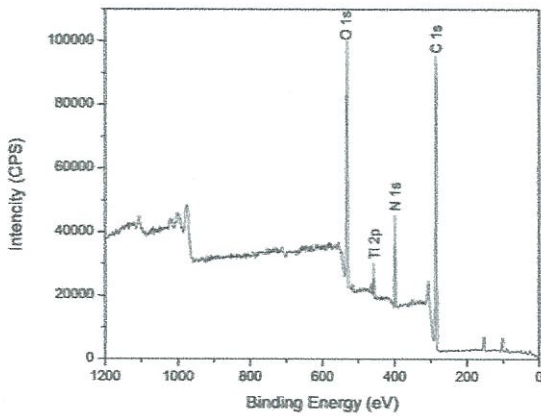


Fig.3 XPS spectrum of 5 wt. % N-doped TiO<sub>2</sub> nanofiber.

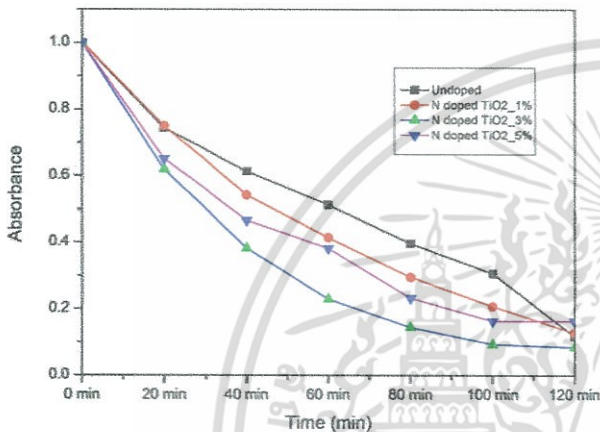


Fig.4 Absorbance of RhB versus reaction time under visible light source using 0, 1, 3 and 5 wt.% N-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers

#### 4. CONCLUSION

Electrospun undoped and N-doped TiO<sub>2</sub> were successfully prepared using CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> as nitrogen source. XRD patterns of N-doped TiO<sub>2</sub> nanofibers exhibits the characteristic peaks of anatase and rutile phase after calcinations. FE-SEM images disclose the excellent nanofiber formation of as-spun samples. N-doped TiO<sub>2</sub> with 5% doping content perform superior degradation of RhB under visible light that may be originated from the proper nitrogen doping which can create the defect level in the band gap of TiO<sub>2</sub>. In addition, the observable photodegradation of undoped samples under solar simulator may be due to the remained impurity-induced defect active site generated during electrospinning process and photon-activated degradation by UV spectrum existing in solar spectrum of the solar simulator.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work has been financially supported by the National Nanotechnology Center (NANOTEC), NSTDA, Ministry of Science and Technology Thailand, through its program of Center of Excellence Network. This work has been also partially supported by Nation Research Council of Thailand (NRCT).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

