

การศึกษาสมบัติทางแสงของปีกผีเสื้อเพื่อใช้ในการตรวจจับโลหะหนัก
จากบุหรี่ไฟฟ้า

STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF BUTTERFLY WINGS FOR
THE DETECTION OF HEAVY METALS FROM E-CIGARETTE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2565

KMITL-2022-SC-M-030-080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF BUTTERFLY WINGS FOR
THE DETECTION OF HEAVY METALS FROM E-CIGARETTE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2022

KMITL-2022-SC-M-030-080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF SCIENCE

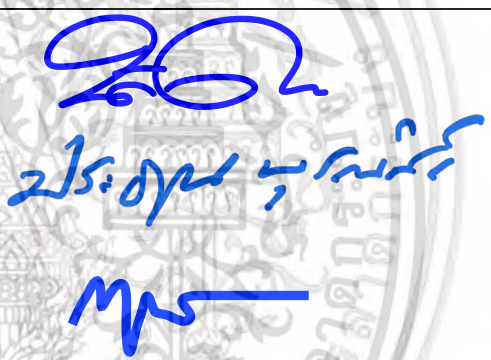
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

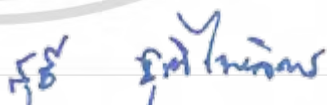
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาสมบัติทางแสงของปีกผีเสื้อเพื่อใช้ในการตรวจจับโลหะหนักจากบุหรี่ไฟฟ้า
Study of Optical Properties of Butterfly Wings for the Detection of Heavy Metals from E-Cigarette

ชื่อนักศึกษา นายธนชัย แจงเจริญ
รหัสประจำตัว 60605065
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษกร โฉมเจริญรัตน์

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บดินทร์ ดำรงค์ดี ประธานกรรมการ |  |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชาน บุรณศิริ กรรมการ | |
| รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษกร โฉมเจริญรัตน์ กรรมการ | |

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพุธที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2565 เวลา 09.00 - 12.00 น.
สถานที่สอบ ดำเนินการจัดสอบแบบออนไลน์

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชูติไพจิตร)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
วันที่ 20 กรกฎาคม 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาสมบัติทางแสงของปีกผีเสื้อเพื่อใช้ในการตรวจจับโลหะหนักจากบู่หรือไฟฟ้า |
| ชื่อนักศึกษา | นายธนชัย แจงเจริญ |
| รหัสประจำตัว | 60605065 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) |
| ภาควิชา | ฟิสิกส์ |
| พ.ศ. | 2565 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษกร โส้เจริญรัตน์ |

บทคัดย่อ

ผู้วิจัยทำการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และสารนิโคตินมาเคลือบบนโครงสร้างของปีกผีเสื้อ เพื่อจำลองการตรวจจับอนุภาคโลหะหนักและนิโคตินที่มาจากบู่หรือไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการศึกษาการดูดกลืนแสงของโครงสร้างปีกผีเสื้อที่ถูกเคลือบสารประกอบดังกล่าวภายใต้ผีเสื้อจำนวน 3 สายพันธุ์ ซึ่งมีโครงสร้างและค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันได้แก่ *Danaus Genutia*, *Morpho Didius* และ *Troides Aeacus* ด้วย UV/Vis spectrometer พบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่ติดอยู่บนโครงสร้างของปีกผีเสื้อ โดยปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia* เป็นโครงสร้างที่มีการเพิ่มขึ้นของการดูดกลืนแสงมากที่สุด ซึ่งบ่งบอกถึงการสะสมของปริมาณซิงค์ออกไซด์และนิโคตินด้วยเช่นกัน และสามารถประมาณค่าที่ต่ำที่สุดที่จะตรวจจับได้ของซิงค์ออกไซด์ คือ 155pM ซึ่งคาดว่าจะสามารถใช้เป็นเครื่องตรวจจับโลหะหนักที่สำคัญสำหรับการใช้งานด้านโฟโตนิกและชีวการแพทย์

คำสำคัญ : การดูดกลืน โครงสร้างปีกผีเสื้อ บู่หรือไฟฟ้า

| | |
|----------------|--|
| Title | STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF BUTTERFLY WINGS FOR THE DETECTION OF HEAVY METALS FROM E- CIGARETTE |
| Students | Mr. Thanachai Changcharoen |
| Student ID | 60605065 |
| Degree | Master of Science (Applied Physics) |
| Department | Physics |
| Year | 2022 |
| Thesis Advisor | Assoc.Prof.Dr.Kitsakorn Locharoenrat |

Abstract

We prepared ZnO nanoparticles and nicotine coated on the microstructure structure of the butterfly wings to model the detection of heavy metal and nicotine from e-cigarette, and thus studied the absorbance of the coated butterfly wing structure of three species of butterflies: *Danaus Genutia*, *Morpho Didius* and *Troides Aeacus*, using UV/Vis spectrometer. Absorbance test determined the amount of ZnO and nicotine attached onto the microstructure. The experiment revealed that the *Danaus Genutia* butterfly wings showed the highest absorbance, indicating the accumulation of ZnO and nicotine on the microstructures. The detection limit of ZnO was founded at 155pM. These findings has a potential for a heavy metal detector in photonic and biomedical science.

Keywords : Absorbance, butterfly wings structure, e-cigarettes

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้มอบหมายหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ให้กับผู้วิจัย สนับสนุนในด้านอุปกรณ์ สถานที่ปฏิบัติงานและให้คำแนะนำในด้านความรู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงาน อันมีส่วนส่งผลทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง

ผศ.ดร.บดินทร์ ดำรงค์ศักดิ์ ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าของพวกท่านและให้เกียรติอย่างมากในการเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์นี้แก่ผู้วิจัย รวมถึงให้คำแนะนำในการปรับปรุงเนื้อหาและเล่มวิทยานิพนธ์นี้

ภาควิชาศึกษาศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, บ้าน little big wings และ ร้าน little wings house ที่ได้สนับสนุนและจัดหาปีกผีเสื้อเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

นายอดิสร นพจุจกุล นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คอยให้คำปรึกษาตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

เพื่อนนักศึกษาปริญญาโทและรุ่นน้องนักศึกษาปริญญาตรีทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาตลอดการวิจัยในครั้งนี้อันมีผลให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง

มารดา ครอบครัว และญาติพี่น้องที่คอยสนับสนุนในหลายด้านตลอดการวิจัยในครั้งนี้

ธนชัย แจงเจริญ

สารบัญ

| | หน้า |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูป | ซ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.1 โครงสร้างปีกผีเสื้อ | 5 |
| 2.2 Polymethyl Methacrylate | 12 |
| 2.3 Dichloromethane | 13 |
| 2.4 ซิงค์ออกไซด์ | 13 |
| 2.5 นิโคติน | 15 |
| 2.6 บุหรี่ไฟฟ้า | 15 |
| 2.6.1 ส่วนประกอบของบุหรี่ไฟฟ้า | 16 |
| 2.6.2 ประเภทของบุหรี่ไฟฟ้า | 17 |
| 2.7 กระบวนการเคลือบปีกผีเสื้อ | 17 |
| 2.7.1 กระบวนการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง (Spin coating) | 17 |
| 2.7.2 กระบวนการเคลือบด้วยวิธี Sputtering | 18 |
| 2.8 UV/Vis Spectrometer | 19 |
| 2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) | 21 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 24 |
| บทที่ 3 วิธีการทดลอง | 26 |
| 3.1 การจัดเตรียมตัวอย่างปีกผีเสื้อ | 26 |
| 3.1.1 การเก็บตัวอย่างปีกผีเสื้อ | 26 |
| 3.1.2 การจัดเตรียมกระจกสไลด์ | 27 |
| 3.1.3 การจัดเตรียมปีกผีเสื้อบนกระจกสไลด์ | 27 |
| 3.2 การเตรียมสารละลายสำหรับเคลือบตัวอย่างปีกผีเสื้อ | 28 |
| 3.3 การเคลือบตัวอย่างปีกผีเสื้อ | 28 |
| 3.4 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของปีกผีเสื้อที่ผ่านการเคลือบซิงค์ออกไซด์/นิโคติน | 29 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล | 36 |
| 4.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน | 36 |
| 4.1.1 ภาพของตัวอย่างกระจกสไลด์ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์/นิโคติน | 36 |
| 4.1.2 ภาพของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Danaus Genutia</i> | 37 |
| 4.1.3 ภาพของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Morpho Didius</i> | 38 |
| 4.1.4 ภาพของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Troides Aeacus</i> | 39 |
| 4.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์/นิโคติน | 40 |
| 4.2.1 ผลการดูดกลืนแสงของกระจกสไลด์ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน | 40 |
| 4.2.2 ผลการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Danaus Genutia</i> | 42 |
| 4.2.3 ผลการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Morpho Didius</i> | 43 |
| 4.2.4 ผลการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Troides Aeacus</i> | 44 |
| 4.3 การอภิปรายผล | 45 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย | 49 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 49 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 49 |
| เอกสารอ้างอิง | 50 |
| ภาคผนวก | 54 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|-----------|------|
| ภาคผนวก ก | 55 |
| ภาคผนวก ข | 59 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|------|
| 1.1 | 3 |
| 1.2 | 3 |
| 1.3 | 3 |
| 1.4 | 4 |
| 2.1 | 7 |
| 2.2 | 8 |
| 2.3 | 9 |
| 2.4 | 10 |
| 2.5 | 11 |
| 4.1 | 40 |

ตารางแสดงขนาดและอัตราส่วนของโครงสร้างปีกผีเสื้อ 3 สายพันธุ์ที่คำนวณ
จากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

สารบัญรูป

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 2.1 | โครงสร้างโดยรวมของปีกผีเสื้อ | 5 |
| 2.2 | โครงสร้างของปีกผีเสื้อ 5 กลุ่ม | 6 |
| 2.3 | แสดงโครงสร้างผลึกของซิงค์ออกไซด์ | 14 |
| 2.4 | แสดงขั้นตอนการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง (Spin coating) | 18 |
| 2.5 | องค์ประกอบของเครื่อง Sputter coater | 19 |
| 2.6 | แสงที่ตกกระทบวัสดุจะถูกแยกออกเป็นแสงส่วนที่สามารถเกิดทางผ่านวัสดุและแสงส่วนที่ถูกวัสดุดูดกลืน | 20 |
| 2.7 | โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด | 23 |
| 2.8 | ลักษณะของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการชนกันของอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับตัวอย่างที่ต้องการจะตรวจสอบ | 23 |
| 3.1 | แสดงตัวอย่างปีกผีเสื้อที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง | 26 |
| 3.2 | แสดงตัวอย่างปีกผีเสื้อบนกระจกสไลด์ | 27 |
| 3.3 | แสดงตัวอย่างปีกผีเสื้อที่ถูกเคลือบด้วยสารละลายซิงค์ออกไซด์/นิโคติน | 28 |
| 3.4 | ส่วนประกอบของเครื่อง UV/Vis Spectrometer | 29 |
| 3.5 | อุปกรณ์ของเครื่อง UV/Vis Spectrometer | 29 |
| 3.6 | แหล่งกำเนิดแสงทั้งสแตน | 30 |
| 3.7 | ไอคอนโปรแกรม Avasoft 7.4.0 | 30 |
| 3.8 | หน้าต่างของโปรแกรม Avasoft 7.4.0 เมื่อกดเมนู File | 31 |
| 3.9 | หน้าต่างของโปรแกรม Avasoft 7.4.0 | 31 |
| 3.10 | แสดงกราฟที่ได้ในการวัดความเข้มของแสงจากหลอดทั้งสแตนจากโปรแกรม Avasoft | 32 |
| 3.11 | แสดงเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Avantes และโปรแกรมขณะทำการวัดค่า Scope mode | 32 |
| 3.12 | แสดงรูปแบบหน้าต่างโปรแกรมเมื่อทำการวัด Dark mode | 33 |
| 3.13 | แสดงรูปแบบหน้าต่างโปรแกรมเมื่อทำการวัด White mode | 33 |
| 3.14 | แสดงรูปแบบหน้าต่างโปรแกรมเมื่อทำการทำการบันทึกข้อมูล | 34 |
| 3.15 | แสดงรูปแบบหน้าต่างโปรแกรมเมื่อทำการ Convert file ให้อยู่ในรูปของ ASCII format | 34 |
| 3.16 | แสดงรูปแบบหน้าต่างโปรแกรมเมื่อทำการเลือกประเภทของกราฟ | 35 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.1 กระจกสไลด์ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน | 36 |
| 4.2 ตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Danaus Genutia</i> | 37 |
| 4.3 ตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Morpho Didius</i> | 38 |
| 4.4 ตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Troides Aeacus</i> | 39 |
| 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของแสงของตัวอย่างกระจกสไลด์ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์โดยไม่มีสารผสมนิโคติน | 41 |
| 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแสงของตัวอย่างกระจกสไลด์ที่ถูกเคลือบด้วยนิโคตินและซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ | 41 |
| 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแสงของตัวอย่างของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Danaus Genutia</i> ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน | 42 |
| 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของแสงของตัวอย่างของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Morpho Didius</i> ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน | 43 |
| 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแสงของตัวอย่างของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Troides Aeacus</i> ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน | 44 |
| 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์และนิโคตินของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ <i>Danaus Genutia</i> , <i>Troides Aeacus</i> และ <i>Morpho Didius</i> | 48 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาทางานวิจัย

โครงสร้างของปีกผีเสื้อซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างโดยธรรมชาติขนาดเล็กในระดับไมโครและนาโนเมตร ที่ผ่านมาพบว่าโครงสร้างปีกผีเสื้อนี้มีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่งในการนำมาใช้เป็นองค์ประกอบในงานวิจัยในหลายๆ ด้าน เช่น ทำการเคลือบโครงสร้างของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Graphium Weiskei* ด้วยโลหะทองคำ เพื่อใช้ในการตรวจจับโรคมะเร็งบนเม็ดเลือดร่วมกับ Raman spectroscopy [1], ใช้โครงสร้างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho Papilio* และ *Ornithoptera* เป็นโครงสร้างตั้งต้นในการจัดเรียงเซลล์ [2], ใช้ฐานพอลิเมอร์ร่วมกับโครงสร้างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Chorinea* ในการตรวจสอบการตอบสนองของลูกตากระต่ายขาว [3], สร้าง Silicon multilayer ที่มีสมบัติเป็นรูพรุนและเว้าบนโครงสร้างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Papilio Blumei* [4], ใช้โครงสร้างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho Didius* ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ Principal Component Analysis (PCA) ในการตรวจจับแก๊สไนโตรเจนอิสระของเอทานอลและเมทานอล [5], ทำการเคลือบสารประกอบซิงค์ออกไซด์บนโครงสร้าง *Pieris Canidia* เพื่อสร้างอุปกรณ์โฟโตนิกส์ชนิดต้นทูนต่ำ [6] และทำการเคลือบสารประกอบซิงค์ออกไซด์บนโครงสร้างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Graphium Agamemon* ด้วยโครงสร้างที่เป็นรูพรุน [7]

ด้วยโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของเกล็ดปีกผีเสื้อและการซ้อนทับกันของเกล็ดโดยธรรมชาติ จึงน่าจะมีความเป็นไปได้ต่อความสามารถนำมาใช้ในการดักจับโลหะหนักซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่มาพร้อมกับสารนิโคตินในบุหรี่ไฟฟ้า ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงต้องการที่จะนำปีกผีเสื้อมาใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อทดสอบความเหมาะสมของเงื่อนไขของสายพันธุ์ปีกผีเสื้อเพื่อใช้ในการตรวจจับและหาปริมาณของโลหะหนักและสารนิโคตินในรูปของเหลวอันเป็นตัวแทนละอองฝอยที่ออกมาจากบุหรี่ไฟฟ้าสำหรับการนำไปต่อยอดใช้ในการหาอัตราความเสี่ยงที่มาจากโลหะหนักและสารนิโคตินที่อาจจะสะสมอยู่ภายในปอดและก่อให้เกิดเซลล์มะเร็งตามมาเพื่อส่งต่อไปถึงวิธีการรักษาตั้งแต่อาการเริ่มต้นก่อนการลามไปเป็นมะเร็งปอดในระยะต่างๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เตรียมปีกผีเสื้อที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และสารนิโคติน
- 2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างปีกผีเสื้อต่อผลการดูดกลืนแสงของปีกผีเสื้อที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และสารนิโคติน
- 3) หาประสิทธิภาพในการตรวจจับซิงค์ออกไซด์และสารนิโคตินในระดับต่ำสุดของปีกผีเสื้อ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) หาตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ต่างๆ ที่สามารถหาได้ภายในประเทศ
- 2) ใช้ซิงค์ออกไซด์และนิโคตินเคลือบบนปีกผีเสื้อผ่านกระบวนการ Spin coating
- 3) ตรวจสอบโครงสร้างปีกผีเสื้อตัวอย่างด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)
- 4) ตรวจสอบการดูดกลืนของซิงค์ออกไซด์และนิโคตินบนปีกผีเสื้อด้วย Spectrometer

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

- 1) ทบทวนบทความวิจัยเกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษาสายพันธุ์ต่างๆ ของผีเสื้อที่มีการนำมาใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3) ศึกษาทดลองหาวิธีการเคลือบกระจกสไลด์ตัวอย่างด้วยสาร PMMA
- 4) หาตัวอย่างของปีกผีเสื้อจากภาควิชากีฏวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและร้านค้าภายนอกที่มีปีกผีเสื้อจำหน่าย
- 5) ทดลองตัดและเคลือบตัวอย่างปีกผีเสื้อบนกระจกสไลด์ด้วยสาร PMMA
- 6) ศึกษาค่าการดูดกลืนแสงของปีกผีเสื้อตัวอย่างด้วย Spectrometer
- 7) ตรวจสอบตัวอย่างโครงสร้างปีกผีเสื้อตัวอย่างด้วย SEM
- 8) วิเคราะห์ผลการทดลอง
- 9) ตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลอง
- 10) รวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดลอง
- 11) จัดทำวารสารทางวิทยาศาสตร์และส่งสำนักพิมพ์ต่างชาติสำหรับการเผยแพร่
- 12) จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์
- 13) เตรียมตัวและสอบหัวข้อวิทยานิพนธ์
- 14) ปรับปรุงรูปเล่มวิทยานิพนธ์
- 15) เตรียมตัวและสอบจบวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563

| การดำเนินงาน | ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
| ขั้นตอนที่ 1 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 2 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 3 | | | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563

| การดำเนินงาน | ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
| ขั้นตอนที่ 4 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 5 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 6 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 7 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 8 | | | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564

| การดำเนินงาน | ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------------------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
| ขั้นตอนที่ 9 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 10 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 11 | | | | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564

| การดำเนินงาน | ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------------------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
| ขั้นตอนที่ 12 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 13 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 14 | | | | | | | | | | | | |
| ขั้นตอนที่ 15 | | | | | | | | | | | | |

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับความรู้เรื่องโครงสร้างปึกผีเสื้อซึ่งเป็นหนึ่งในรูปแบบของวัสดุนาโนที่มีสมบัติเป็น Periodic structure
- 2) ผู้วิจัยได้รับความรู้และความเข้าใจในหลักการทำงานของ SEM, กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง และ Spectrometer
- 3) สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับโลหะหนักและนิโคตินแบบพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

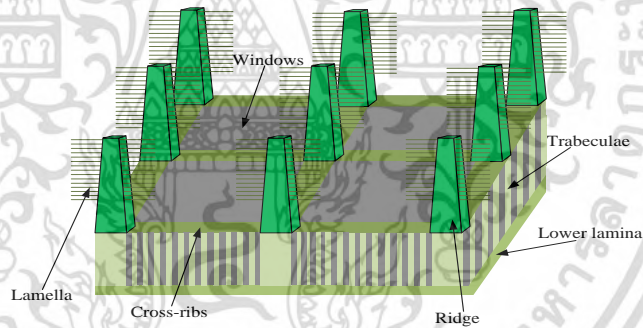
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีที่นำมาใช้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยศึกษาโครงสร้างปีกผีเสื้อเพื่อนำมาใช้ในการตรวจจับโลหะหนักและนิโคตินจากบุหรี่ไฟฟ้า

2.1 โครงสร้างปีกผีเสื้อ

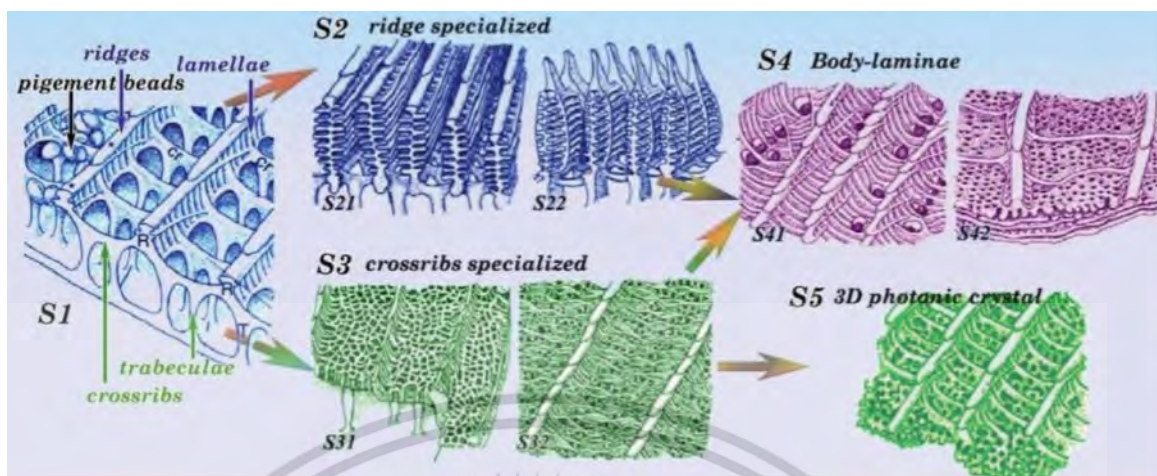
โครงสร้างปีกผีเสื้อเป็นโครงสร้างระดับไมโครไปจนถึงนาโนเมตรที่มีคุณสมบัติทางแสงที่โดดเด่นหลายประการซึ่งได้รับความสนใจจากเหล่านักวิจัยเป็นอย่างมาก อาทิ เช่น มีสมบัติ Diffraction grating และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มความเข้มของการเกิดปรากฏการณ์พลาสมอนิกส์ เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลให้เหล่านักวิจัยพยายามนำโครงสร้างปีกผีเสื้อมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านแสงด้วยเหตุผลที่ว่าในปัจจุบันยังไม่สามารถสังเคราะห์โครงสร้างเลียนแบบปีกผีเสื้อได้อย่างสมบูรณ์แบบ โครงสร้างโดยรวมของปีกผีเสื้อมีองค์ประกอบดังรูปที่ 2.1 [8]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโดยรวมของปีกผีเสื้อ

- Main-ribs คือ โครงสร้างหลักที่งอกจาก Lamina
- Sub-ribs คือ ส่วนย่อยที่งอกจาก Main-ribs
- Cross-ribs คือ โครงสร้างที่เชื่อมต่อระหว่างแต่ละ Main-ribs
- Windows คือ ช่องว่างซึ่งถูกล้อมรอบด้วย Cross-ribs ที่ตัดกัน
- Lamina คือโครงสร้างค้ำจุนซึ่งอยู่ใต้ Main-ribs และ Cross-ribs

โครงสร้างของปีกผีเสื้อทำให้สามารถจำแนกได้เป็น 5 กลุ่ม [8] ดังรูปที่ 2.2



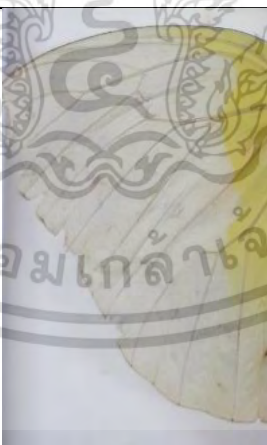


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของปีกผีเสื้อ 5 กลุ่ม

- S1 (Pigment beads) มีโครงสร้าง Ridge ขนาดใหญ่ซ้อนกันเป็นชั้นๆ เชื่อมต่อกันโดย Cross-ribs และตั้งอยู่บน Trabeculae
- S2 (Ridge specialized) เป็นโครงสร้างซึ่งพัฒนามาจาก Upper structure ของ S1 โดยมีการเจริญเติบโตของ Lamella ออกจาก Ridges
- S3 (Cross-rib specialized) เป็นโครงสร้างซึ่งพัฒนามาจาก Lower structure ของ S1 โดยบริเวณ Windows จะมีการเจริญเติบโตของ Trabeculae มีลักษณะเป็นรูพรุน
- S4 (Body-laminae) เป็นโครงสร้างซึ่งพัฒนามาจาก Trabeculae ของ S3 โดยชั้น Trabeculae จะมีการเจริญเติบโตซ้อนกันหลายชั้น
- S5 (3D Photonic crystal) เป็นโครงสร้างซึ่งพัฒนามาจาก Trabeculae ของ S3 โดย รูพรุนบน Trabeculae มีการเจริญเติบโตเชื่อมต่อกันส่งผลให้รูพรุนดังกล่าวมีขนาดใหญ่ขึ้น



ตัวอย่างบางส่วนของโครงสร้างของปีกผีเสื้อกลุ่มที่ 1 – 5 แสดงดังตารางที่ 2.1 – 2.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างของปีกผีเสื้อกลุ่มที่ 1 (S1)

| สายพันธุ์ | ลักษณะ | ข้อมูลสำคัญ |
|---------------------------------|---|--|
| <i>Cetbosia Pentbesilea</i> [9] |  | Kingdom Animalia Phylum Euarthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Nymphalidae Genus Cethosia Species C. penthesilea Found in Southeast Asia |
| <i>Danaus Genutia</i> [9] |  | Kingdom Animalia Phylum Euarthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Nymphalidae Genus Danaus Species D. genutia Found in Southeast Asia |
| <i>Catopsilia Pomona</i> [9] |  | Kingdom Animalia Phylum Arthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Pieridae Genus Catopsilia Species C. pomona Found in Southeast Asia |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 โครงสร้างของปีกผีเสื้อกลุ่มที่ 2 (S2)

| สายพันธุ์ | ลักษณะ | ข้อมูลสำคัญ |
|-------------------------------|---|--|
| <i>Morpho Sulkowskyi</i> [10] |  | Kingdom Animalia Phylum Arthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Nymphalidae Genus Morpho Species M. sulkowskyi Found in Peru |
| <i>Morpho Didius</i> [11] |  | Kingdom Animalia Phylum Arthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Nymphalidae Genus Morpho Species M. didius Found in South America |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 โครงสร้างของปีกผีเสื้อกลุ่มที่ 3 (S3)

| สายพันธุ์ | ลักษณะ | ข้อมูลสำคัญ |
|-----------------------------|--|--|
| <i>Morpho Rhetenor</i> [12] |  | Kingdom Animalia Phylum Arthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Nymphalidae Genus Morpho Species M. rhetenor Found in Brazil |
| <i>Papilio Paris</i> [13] |  | Kingdom Animalia Phylum Arthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Papilionidae Genus Papilio Species P. paris Found in Southeast Asia |
| <i>Troides Aeacus</i> [14] |  | Kingdom Animalia Phylum Arthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Papilionidae Genus Troides Species T. aeacus Found in Asia |

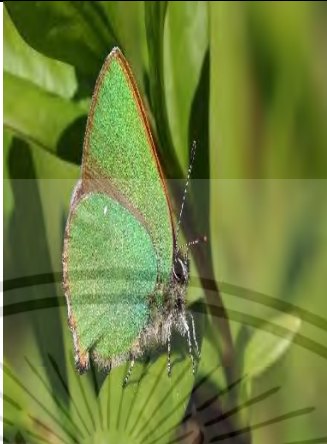

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 โครงสร้างของปีกผีเสื้อกลุ่มที่ 4 (S4)

| สายพันธุ์ | ลักษณะ | ข้อมูลสำคัญ |
|-----------------------------------|---|--|
| <i>Chrysidia Rhipheus</i> [15] |  | Kingdom Animalia Phylum Euarthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Uraniidae Genus <i>Chrysidia</i> Species <i>C. rhipheus</i> Found in Madagascar |
| <i>Thremozephyrus ataxus</i> [13] |  | Kingdom Animalia Phylum Arthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Lycaenidae Genus <i>Thremozephyrus</i> Species <i>T. ataxus</i> Found in India |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 โครงสร้างของปีกผีเสื้อกลุ่มที่ 5 (S5)

| สายพันธุ์ | ลักษณะ | ข้อมูลสำคัญ |
|--------------------------------|---|--|
| <i>Callophrys Rubi</i> [16] |  | Kingdom Animalia Phylum Arthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Lycaenidae Genus Callophrys Species C. rubi Found in Russia |
| <i>Albulina Metallica</i> [13] |  | Kingdom Animalia Phylum Arthropoda Class Insecta Order Lepidoptera Family Lycaenidae Genus Albulina Species A. metallica Found in India |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Polymethyl Methacrylate [17]

Polymethyl methacrylate (PMMA) เป็นพลาสติกโปร่งใสไม่มีสี มีอุณหภูมิคล้ายแก้วสูง ทนต่อแรงอัดและสภาวะแวดล้อมได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงมีความสำคัญและประโยชน์มากต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อุตสาหกรรมเริ่มผลิต PMMA ในเชิงการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1934 PMMA พิล์มที่ผลิตจาก PMMA มีลักษณะโปร่งใสไม่มีสี สามารถให้แสงส่องผ่านได้ถึง 92% เมื่อเทียบกับควอตซ์สามารถส่งผ่านแสงอัลตราไวโอเล็ตได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ กระจกธรรมดาสามารถผ่านแสงอัลตราไวโอเล็ตได้เพียง 0.6% แต่ PMMA สามารถกรองแสงอัลตราไวโอเล็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยความยาวคลื่นน้อยกว่า 300 นาโนเมตร แต่ผลของการกรองระหว่าง 300 นาโนเมตรถึง 400 นาโนเมตรนั้นยังมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพนอกจากนั้น PMMA มีเสถียรภาพที่ดีกว่าโพลีคาร์บอเนตในกรณีของแสงอุลตราไวโอเล็ตและ PMMA อนุญาตการส่งผ่านอินฟราเรด (IR) ของความยาวคลื่นน้อยกว่า 2,800 นาโนเมตร IR ความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นเมื่อน้อยกว่า 25,000 นาโนเมตรสามารถถูกบล็อกได้อย่างมีนัยสำคัญ มี PMMA สีพิเศษที่ช่วยให้ความยาวคลื่นเฉพาะของ IR ผ่านในขณะที่ปิดกั้นแสงที่มองเห็น (สำหรับการควบคุมระยะไกลหรือการตรวจจับความร้อน ฯลฯ ส่วนสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าดีปานกลาง เนื่องจากคุณสมบัติเด่นของ PMMA คือ ความโปร่งใส และการนำไปย้อมสีได้ง่าย ความหนาแน่นของ PMMA ต่ำกว่าแก้ว: ความหนาแน่นของ PMMA อยู่ที่ประมาณ 1.15-1.19 g / cm³ เมื่อเทียบกับแก้ว (2.40-2.80 g / cm³) และมีความแข็งแรงเชิงกลสูงทนต่อแรงอัดและแรงกระแทก และสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดีเนื่องจากมีมวลโมเลกุลสัมพัทธ์ประมาณ 2 ล้าน จึงเป็นพอลิเมอร์โซ่ยาวและโซ่โมเลกุลนั้นนิ่มมาก PMMA จึงมีความแข็งแรงสูงกว่าแก้วธรรมดา 7 ถึง 18 เท่า PMMA ที่ยืดออกสามารถใช้เป็นกระจกกันกระสุนและเป็นหลังคาของเครื่องบินทหาร จุดหลอมเหลวของ PMMA ต่ำ หรืออยู่ประมาณ 130–140 ° C (265–285 ° F) ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลวแก้วมาก ด้วยสมบัติต่างๆ ตามที่กล่าวมา PMMA จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

2.3 Dichloromethane [18]

Dichloromethane (DCM) เป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว ละลายน้ำได้เล็กน้อยสามารถเจือจางได้กับตัวทำละลาย เช่น Ethanol, Ether, Dimethylformamide และ Carbon tetrachloride ได้ทุกสัดส่วน ประโยชน์ของ DCM ใช้เป็นสารออกฤทธิ์ในน้ำยากำจัดสี (Paint remover) ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดโลหะ (Metal cleaning agent) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โฟม เกสซกรรม พลาสติก และฟิล์ม DCM ในอากาศส่วนใหญ่ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลโดยมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าครึ่งชีวิต 2.7-26.7 วัน ผลผลิตของปฏิกิริยา คือ Carbon dioxide และ Hydrochloric acid นอกจากนี้ DCM มีพิษเฉียบพลันเล็กน้อยต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมโดยการให้ทางปากและการสูดดม การได้รับ DCM เป็นเวลานาน อาจจะทำให้สูญเสียความจำเสีย การทรงตัว หรือมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลง โดย dichloromethane ถูกเมทาโบไลส์ได้ Carbon monoxide และบางส่วนจะรวมตัวกับ Hemoglobin ได้เป็น Carboxyhemoglobin จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อย่างระมัดระวังใน DCM ในงานวิจัยนี้

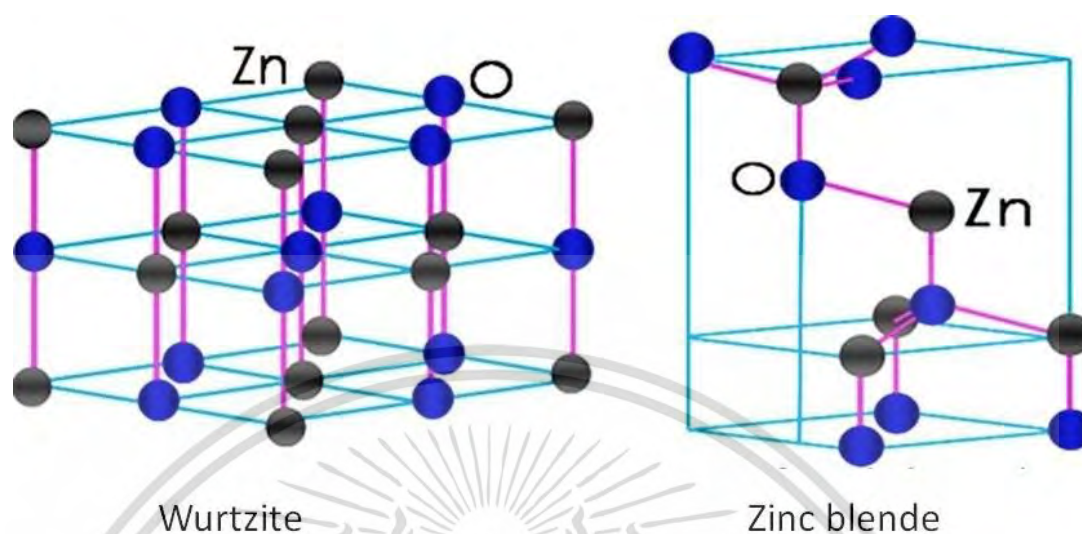
2.4 ซิงค์ออกไซด์ [19]

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide รูปที่ 2.3) เป็นที่รู้จักกันในนามคาลาไมล์ ซึ่งเป็นภาษาอียิปต์โบราณ เป็นธาตุธรรมชาติจากสินแร่สมิธโซไนต์ (Smithsonite) ซิงค์ออกไซด์ มีโครงสร้างผลึกได้หลายรูปแบบ คือ

- 1) โครงสร้างแบบเวิร์ทไซท์ (Wurtzite structure) ประกอบไปด้วย ไอออน O^{2-} จัดเรียงตัวกันในรูปเฮกซาโกนอล และครึ่งหนึ่งของจำนวนช่องเตตระฮีดรอลมี Zn^{+2} แทรกอยู่ดังแสดงในภาพ b4 เพื่อให้ให้อนุมูลบวกอยู่ห่างกันมากที่สุด ซิงค์ออกไซด์ มีอัตราส่วนของรัศมี 0.25 กังนั้น Zn^{+2} จะมี O^{2-} 4 ตัวล้อมอยู่โดยรอบ ความแข็งแรงของพันธะจะมีค่า 0.5 ดังนั้น O^{2-} จะต้องมี Zn^{+2} 4 ตัวล้อมอยู่โดยรอบและเลขโคออร์ดิเนชันของการจัดเรียงไอออนของการประกอบนี้ คือ 4:4

- 2) โครงสร้างแบบซิงค์เบลนด์ (Zinc blend structure) ประกอบด้วยไอออน O^{2-} จัดเรียงตัวแบบ Face-centered cubic structure (FCC) และมี Zn^{2+} เข้าไปบรรจุอยู่ครึ่งหนึ่งของจำนวนช่องเตตระฮีดรอล แต่ละไอออน Zn^{2+} จะมี O^{2-} 4 ไอออนมาล้อมรอบ ในทำนองเดียวกันแต่ละไอออน O^{2-} จะมี Zn^{2+} มาล้อมรอบอยู่ 4 ไอออนเช่นกัน ทำให้เลขโคออร์ดิเนชันของสารประกอบนี้เท่ากับ 4:4

ส่วนกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ Co-precipitation, Sol-gel, Hydrothermal และ Flame spray pyrolysis เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างผลึกของซิงค์ออกไซด์ [20]

ซิงค์ออกไซด์ มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี มนุษย์ใช้ซิงค์ออกไซด์ในการรักษาโรคตั้งแต่ยุคอียิปต์โบราณ โดยมีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดสีขาวเป็นสารที่ใช้ยับยั้งแบคทีเรีย และยังช่วยป้องกันยับยั้งการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียได้จึงเป็นหนึ่งในสารที่สำคัญในการเป็นยาต้านแบคทีเรีย รวมถึงสามารถป้องกันรังสี UV-A และ UV-B รังสีคลื่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ อย่างไรก็ตามฝุ่นหรือควันของ ซิงค์ออกไซด์ เช่น ละอองควันจากบุหรี่ไฟฟ้าสามารถก่อความระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ อัตราความเสี่ยงที่มาจากซิงค์ออกไซด์และสารนิโคตินที่อาจจะถูกสะสมอยู่ในปอดและก่อให้เกิดเซลล์มะเร็งตามมา นอกจากนั้นการสัมผัสกับผิวหนังเป็นเวลานานสามารถทำให้เกิดผิวหนังอักเสบอย่างรุนแรงซึ่งเรียกว่า โรคออกไซด์พ็อกซ์ (Oxide pox) การได้รับฝุ่นหรือควันปริมาณมากสามารถทำให้เกิดการรับรสรโลหะ, ระบายน้ำอย่างชัดเจน, การไอ, ล้า, อ่อนแอ, ปวดกล้ามเนื้อ และอาการคลื่นไส้ ตามด้วยไข้และอาการหนาวสั่น การได้รับ ซิงค์ออกไซด์ อย่างมากอาจทำให้เกิดอาการหลอดลมอักเสบหรือปอดบวมโดยผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน การได้รับซิงค์ออกไซด์เป็นเวลานานสามารถก่อให้เกิดความผิดปกติของเอนไซม์ในตับแบบชั่วคราว อาจเกิดอาการท้องร่วง แผลในกระเพาะอาหารและเลือดออกในทางเดินอาหาร

2.5 นิโคติน [21]

นิโคตินเป็นสารพวกอัลคาลอยด์ (Alkaloids) ที่สามารถสกัดได้จากพืชใน Genus nicotiana หลายสปีชีส์ (Species) แต่ส่วนมากที่พบนิโคตินมากที่สุดคือ Tabacum ลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวลักษณะคล้ายน้ำมัน ไม่มีสี แต่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อนำไปเผาไฟและมีกลิ่นคล้ายกลิ่นยาสูบ เมื่อปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ ละลายได้ดีในน้ำและไขมัน ในทางเภสัชวิทยา นิโคติน ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทเมื่อเสพในปริมาณน้อยจะกระตุ้นระบบประสาททำให้รู้สึกมีความสุข แต่ถ้าเสพในปริมาณมากจะมีผลต่อระบบประสาทที่ไปควบคุมระบบฮอร์โมนที่เกี่ยวกับการหลั่งสารโดยเฉพาะ นิโคติน จะไปเพิ่มสารโดปามีนในสมองและสารอื่นๆ ในร่างกายอีกด้วย นอกจากนี้ นิโคติน ยังสามารถเพิ่มความดันโลหิตเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจและหลอดเลือด ทำให้เกิดโรคมะเร็งปอดและโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจได้ ส่วนอาการในระยะยาวจากการทดลองในสัตว์พบว่าการได้รับ นิโคติน ในระยะยาวจะมีผลต่อเซลล์สืบพันธุ์ของมนุษย์ และสามารถทำให้ทารกในครรภ์ผิดปกติได้ เมื่อเสพ นิโคติน แล้วแสดงอาการร่างกายที่พบคือ เกิดอาการทนต่อยาทำให้ต้องการเสพยาในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และเมื่อหยุดยาจะทำให้เกิดการ ถอนยา รูปแบบ นิโคติน ที่พบส่วนมากจะอยู่ในรูปแบบ ยานัตถ์ ยาเส้น บุหรี่ ชิการ์ ยาพ่นจุก เครื่องใส่ยาตามส่วนแผ่นแปะผิวหลังและแบบเคี้ยวคล้ายหมากฝรั่งนั้นมักจะใช้รักษาผู้ที่ต้องการเลิกบุหรี่ ลักษณะอาการเป็นพิษเฉียบพลันอาจจะมีอาการแสบร้อนคล้ายถูกไฟไหม้ คลื่นไส้อาเจียน ชัก ซึ่งอาจนำมาสู่การหายใจล้มเหลวได้

การดูดซึมของนิโคตินจะถูกดูดซึมทางผิวหนังและเยื่อเมือกที่บุผิว เช่น ในปากและจุก หรือการสูดดมทางปอด ปริมาณของ นิโคติน และความรวดเร็วที่ร่างกายได้รับจะขึ้นอยู่กับวิธีการเสพโดยการสูดดมพบว่าจะได้รับนิโคตินเป็นปริมาณมากและเร็วกว่าวิธีอื่นๆ นิโคติน มีค่า Lethal dose (LD) เท่ากับ 60 มิลลิกรัม ซึ่งค่า LD นี้เป็นตัวบ่งบอกว่าเป็นสารที่มีอันตรายสูง บุหรี่ 1 ม้วนสาร นิโคติน อยู่ประมาณ 10-15 มิลลิกรัม ในขณะที่ชิการ์มีสารนิโคตินอยู่ถึงมวนละ 100-120 มิลลิกรัม พบว่านิโคตินมีอันตรายมากและขณะเดียวกันมีการเสพยาสูงขึ้นมากในหมู่วัยรุ่นจึงได้ทำการพิจารณาและออกกฎหมายเพื่อที่จะควบคุมสารตัวนี้ให้เข้มงวดมากขึ้นและในปัจจุบันในต่างประเทศเรื่องการสูบบุหรี่หรือการใช้ นิโคติน และการติดบุหรี่กำลังอยู่ในภาวะวิกฤตที่ต้องรีบจัดการแก้ไขเนื่องจากมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนจำนวนมากในแต่ละประเทศและทำให้เกิดการติดนิโคตินจะส่งผลอย่างมากต่อสุขภาพ สังคม สภาวะแวดล้อม

2.6 บุหรี่ไฟฟ้า [22]

บุหรี่ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สูบบุหรี่ชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้กลไกไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนและไอน้ำที่ประกอบไปด้วยสารเคมีต่าง ๆ โดยไม่มีควัน

2.6.1 ส่วนประกอบของบุหรี่ไฟฟ้า

ส่วนประกอบหลักของบุหรี่ไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ แบตเตอรี่ (Battery) ตัวที่ทำให้เกิดไอและความร้อน (Atomizer) และตลับเก็บน้ำยา (Cartridge)

บุหรี่ไฟฟ้าจะทำงานได้ไม่เต็มรูปแบบถ้าขาดน้ำยาสำหรับบุหรี่ไฟฟ้า (E-liquid หรือ E-juice) ซึ่งบรรจุอยู่ในตลับเก็บน้ำยาเพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการทำความร้อนก่อนกลายเป็นไอที่ผู้ใช้บุหรี่ไฟฟ้าสูบเข้าไปในปอด ส่วนผสมที่พบบ่อยในน้ำยา E-liquid หรือ E-juice มีดังนี้

1. นิโคติน เป็นสารสกัดจากใบยาสูบและเป็นสารเสพติดชนิดหนึ่งที่พบได้ในทั้งบุหรี่ไฟฟ้าและบุหรี่ปกติทั่วไป ถ้ากล่าวถึงเฉพาะส่วนของน้ำยาที่จะถูกทำให้เป็นไอและเข้าสู่ร่างกายของผู้สูบถึงความจริงที่ว่าบุหรี่ไฟฟ้าดีกว่าบุหรี่ยี่ห้อธรรมดาเพราะกลไกการทำงานที่ไม่มีการเผาไหม้ซึ่งจะทำให้ผู้สูบลดความเสี่ยงที่จะได้รับสารจากการเผาไหม้บางตัวเช่นน้ำมันดิน และคาร์บอนมอนนอกไซด์ แต่สารประกอบอื่นๆ ที่พบในบุหรี่ไฟฟ้าก็สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ไม่แพ้กันรวมถึงยังมีส่วนประกอบของ นิโคติน อยู่ในน้ำยาเหมือนกันแต่ปริมาณของ นิโคติน และสารที่พบจะขึ้นอยู่กับน้ำยาของบุหรี่ไฟฟ้าที่ใช้ นอกจากนี้ในบางงานวิจัยระบุว่าไอระเหยของบุหรี่ไฟฟ้านั้นมีขนาดอนุภาคของละอองที่เล็กกว่าบุหรี่ยี่ห้อธรรมดา ทำให้สามารถถูกสูดเข้าไปถึงในส่วนลึกของปอดได้มากกว่าและอนุภาคที่เล็กนี้จะจับเข้ากับเนื้อเยื่อปอดและดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดอย่างรวดเร็วและยากที่กลไกธรรมชาติของร่างกายจะขับออกมาได้ ระดับนิโคตินในบุหรี่ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ เเปอร์เซ็นต์ มิลลิกรัม และระดับความเข้มข้น ได้แก่ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ
2. โพรไพลีนไกลคอล (Propylene glycol) เป็นสารสังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในอาหารและยา (FDA) ยืนยันถึงความปลอดภัยว่าใช้ได้ทั้งในอาหาร ยา และเครื่องสำอาง รวมถึงนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการสร้างไอหรือหมอกสำหรับเวทีการแสดงต่าง ๆ แต่เมื่อสัมผัสหรือสูดดมเข้าไปอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองที่ดวงตาและปอดได้ โดยเฉพาะในผู้ที่เป็็นโรคปอดเรื้อรัง โรคหอบหืด และโรคถุงลมโป่งพอง
3. กลีเซอริน (Glycerine) เป็นสารที่ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น แต่มีรสชาติดหวานเล็กน้อย องค์การอาหารและยา (FDA) ยืนยันถึงความปลอดภัยว่าใช้ได้ทั้งในอาหารและยา แต่ยังไม่ได้รับการยืนยันว่าเมื่อเปลี่ยนรูปแบบเป็นไอที่สูบหรือสูดแล้วเกิดผลกระทบต่อร่างกายเช่นเดียวกับกับโพรไพลีนไกลคอล
4. สารแต่งกลิ่นและรส (Flavoring) เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทั่วไป มีความปลอดภัยเมื่อรับประทานเข้าสู่ร่างกาย แต่ยังไม่ได้รับการยืนยันว่าเมื่อเปลี่ยนรูปแบบเป็นไอที่

สูบหรือสูดแล้วเกิดผลกระทบบ่อย่างไรต่อร่างกาย ตัวอย่างเช่น สารไดอะซีทิล (Diacetyl) ที่พบมากในเนยสำหรับทำป๊อปคอร์น อาจเป็นสาเหตุของปัญหาระบบทางเดินหายใจและปอด

2.6.2 ประเภทของบุหรี่ไฟฟ้า

บุหรี่ไฟฟ้าในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ แต่แบ่งได้ 3 รูปแบบคือ แบบที่ 1 (Ciga-like) แบบที่ 2 (e-Gos) และแบบที่ 3 (Mods) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. บุหรี่ไฟฟ้ารูปแบบที่ 1 หรือที่รู้จักกันในชื่อ Ciga-like มีรูปลักษณ์ภายนอก ทั้งรูปทรงและขนาดที่คล้ายกับบุหรี่ปกติทั่วไป แต่จะมีตัวที่ทำให้เกิดไอและความร้อนเพิ่มเข้ามา
2. บุหรี่ไฟฟ้ารูปแบบที่ 2 หรือที่รู้จักกันในชื่อ e-Gos มีลักษณะคล้ายบุหรี่ปกติทั่วไปเช่นกัน แต่มีขนาดใหญ่กว่า หรือมีรูปทรงที่แตกต่างกันออกไป และมีตัวถังที่สามารถถอดออก และเติม E-liquid หรือ E-juice ที่มีระดับนิโคติน หรือรสและกลิ่นต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง
3. บุหรี่ไฟฟ้ารูปแบบที่ 3 หรือที่รู้จักกันในชื่อ Mods มีลักษณะคล้ายบุหรี่ไฟฟ้าแบบ e-Gos แต่มีขนาดใหญ่กว่า และสามารถปรับแรงดันไฟฟ้า ขนาดของตัวที่ทำให้เกิดไอและความร้อน รวมถึงขนาดและปริมาณของ E-liquid หรือ E-juice ได้ตามความต้องการของผู้ใช้แต่ละคน

2.7 กระบวนการเคลือบปีกผีเสื้อ

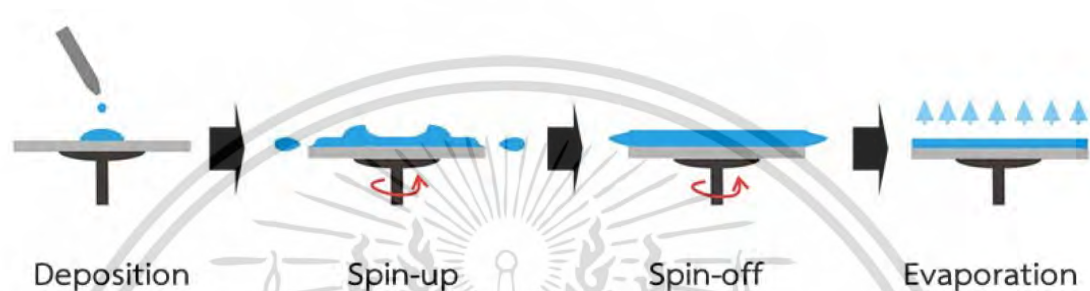
ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่เทคนิคการเคลือบซึ่งสอดคล้องกับนิโคตินโดยใช้วิธีการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยงเพื่อการสร้างฟิล์มบางบนปีกผีเสื้อ และเนื่องจากปีกผีเสื้อมีคุณสมบัติของการนำไฟฟ้าต่ำจึงต้องนำตัวอย่างของซึ่งสอดคล้องกับนิโคตินบนปีกผีเสื้อที่ได้นำไปเคลือบด้วยทองคำด้วยวิธี Sputtering ก่อนที่จะนำเข้าไปภายในเครื่องกลั่นจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อตรวจสอบลักษณะทางสัญญาณวิทยาต่อไป

2.7.1 กระบวนการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง (Spin coating) [23]

กระบวนการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยงเป็นวิธีการเคลือบฟิล์มจากสารเคลือบที่เป็นของเหลว โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางหยุดสารเคลือบลงบนศูนย์กลางของวัสดุบนฐานรองแล้วเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง สารเคลือบจะกระจายตัวไปทั่ววัสดุฐานรองเกิดเป็นฟิล์มที่ก่อตัวบนผิววัสดุ ความหนาและสมบัติด้านอื่นของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารเคลือบ เช่น ความหนืดของการ การทำให้แห้ง แรงตึงผิว ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของการเคลือบฟิล์มแบบหมุนเหวี่ยง คือ ความเร็วของการหมุน เวลาที่ใช้ในการหมุน ปริมาณสารที่เคลือบ สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับความเร็วในการหมุนและเวลาในการหมุน ซึ่งสามารถเตรียมฟิล์มที่มีความบางมาก ๆ ได้โดยการใช้ความเร็วและเวลาในการหมุนมากขึ้น

เพื่อให้สารถูกเหวี่ยงออกไปมากขึ้น หรือลดความเร็วและระยะเวลาในการหมุนลงเพื่อที่จะได้ฟิล์มที่มีความหนามากขึ้น (รูปที่ 2.4) จะมี 4 ขั้นตอนดังนี้

1. (Deposition) หยดสารเคลือบลงบนวัสดุฐานรองที่ติดตั้งบนฐานหมุน
2. (Spin-up) หมุนวัสดุฐานรองด้วยความเร็วสูง
3. (Spin-off) หยุดหมุนวัสดุฐานรองตามเวลาที่กำหนดสารเคลือบจะกระจายทั่ววัสดุ
4. (Evaporation) ระเหยสารประกอบอื่นๆ ออกไปเพื่อให้โมเลกุลของสารเกิดการฟอร์มตัว



รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง (Spin coating)

2.7.2 กระบวนการเคลือบด้วยวิธี Sputtering [24]

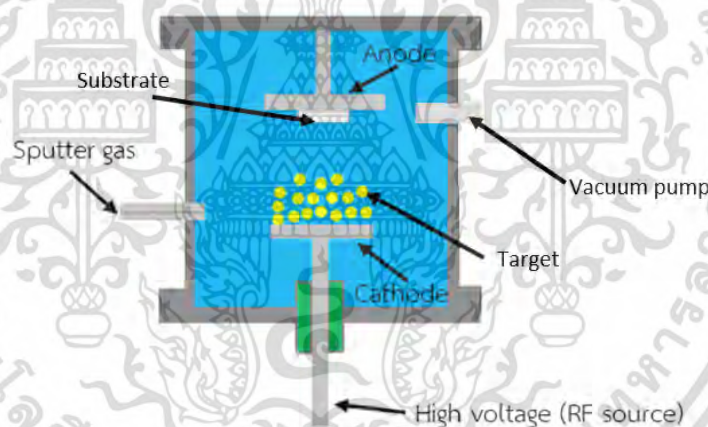
การเคลือบทองคำที่ความหนาในระดับนาโนเมตรบนตัวอย่างปึกสี่เหลี่ยมโดยเครื่อง Sputter coater ถูกเรียกว่าวิธี Sputtering ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญที่ต้องกระทำก่อนที่จะทำการตรวจสอบโครงสร้างดังกล่าวด้วย SEM อันเนื่องมาจากการตรวจสอบชิ้นตัวอย่างด้วยวิธีดังกล่าวตัวอย่างที่ต้องการจะตรวจสอบจำเป็นต้องมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า วิธี Sputtering เป็นหนึ่งในวิธี Physical Vapor Deposition (PVD) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีข้อดีหลายประการอันได้แก่ ต้นทุนในการดำเนินการไม่สูง กระบวนการมีความปลอดภัยและไม่มีความซับซ้อน โดยเครื่อง Sputter coater มีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. High voltage radio frequency-Source (RF-Source) คือแหล่งกำเนิดความต่างศักย์ขนาด 10,000 eV ซึ่งถูกใช้เพื่อกระตุ้นให้เกิดสอาร์กอนภายในระบบเกิดการแตกตัวเป็นพลาสมา
2. Substrate คือวัสดุที่ต้องการจะทำการเคลือบเพื่อเพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้าให้สูงขึ้น วัสดุดังกล่าวถูกต่อเข้ากับขั้ว Anode ของ RF-source
3. Target คือเป้าโลหะที่ถูกต่อเข้ากับขั้ว Cathode เป็นสารที่ต้องการจะให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนเพื่อเคลื่อนที่เข้าไปเคลือบบน Substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Vacuum pump คืออุปกรณ์ที่ถูกใช้เพื่อลดค่าความดันภายในระบบอยู่ในย่าน High vacuum
5. Sputter gas คืออุปกรณ์ที่ถูกใช้เพื่อจ่ายแก๊สอาร์กอนเข้าสู่ระบบ Vacuum

กระบวนการทำงานของเครื่อง Sputter coater เกิดขึ้นภายในบรรยากาศอาร์กอนที่ ย่านความดัน High vacuum โดยเริ่มต้นจากการจ่ายความต่างศักย์ระหว่าง Target กับ Substrate เพื่อกระตุ้นให้อาร์กอนเกิดการแตกตัวเป็นไอออนและเคลื่อนที่เข้าชน Target ซึ่งจะส่งผลให้วัสดุตั้งกล่าวเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมอิสระและเคลื่อนที่เข้าไปฝังตัวอยู่บนผิวหน้าของ Substrate ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า ความหนา (Working distance) ของชั้นทองคำที่ เคลือบบนตัวอย่างจะแปรผันตรงต่อเวลาในการดำเนินการ Sputtering และความหนาของชั้น ทองคำที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการตรวจสอบด้วย SEM ดังนั้น หากเคลือบบาง จนเกินไปจะส่งผลให้เกิดจุดสว่างจ้า (Charge up) บนภาพที่ได้จากการตรวจสอบแต่หากเคลือบ หนาเกินไปจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียรายละเอียดของตัวอย่าง องค์ประกอบของเครื่อง Sputter coater แสดงดังรูปที่ 2.5 [16]



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของเครื่อง Sputter coater

2.8 UV/Vis Spectrometer [25]

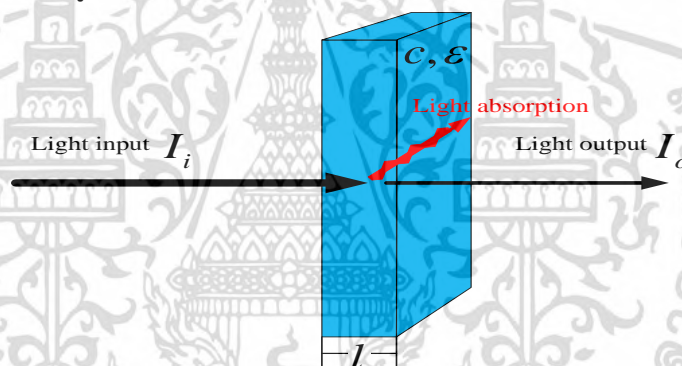
UV/Vis Spectrometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วง รังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่น แสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มี

พลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า

เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้และในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่อง UV/Vis Spectrometer ในการทดสอบตัวอย่างปึกฝื่อที่ถูกละลายด้วย ซิงค์ออกไซด์ และ นิโคติน

กฎของ Beer – Lambert

กฎของ Beer – Lambert ถูกใช้เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานแสงของวัสดุกับขนาดความหนา สัมประสิทธิ์การดูดกลืน และความเข้มข้นของสารซึ่งเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างวัสดุ [20] แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสงที่ตกกระทบวัสดุจะถูกแยกออกเป็นแสงส่วนที่สามารถเกิดทางผ่านวัสดุและแสงส่วนที่ถูกละลายดูดกลืน

หลักการดูดกลืนของแสงแสดงดังสมการที่ (2.1)

$$A = -\log\left(\frac{I_o}{I_i}\right) = \epsilon lc \quad (2.1)$$

จากสมการที่ (2.1) สามารถถูกจัดรูปเพื่อใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสนามไฟฟ้าที่ถูกละลายดูดกลืนกับค่าความเข้มแสงแสดงดังสมการที่ (2.2)

$$I(Z) \propto |\vec{E}_0|^2 e^{-2k\omega Z/c} = I_0 e^{-\alpha Z} \quad (2.2)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

$$\alpha = \frac{2k\omega}{c} = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (2.3)$$

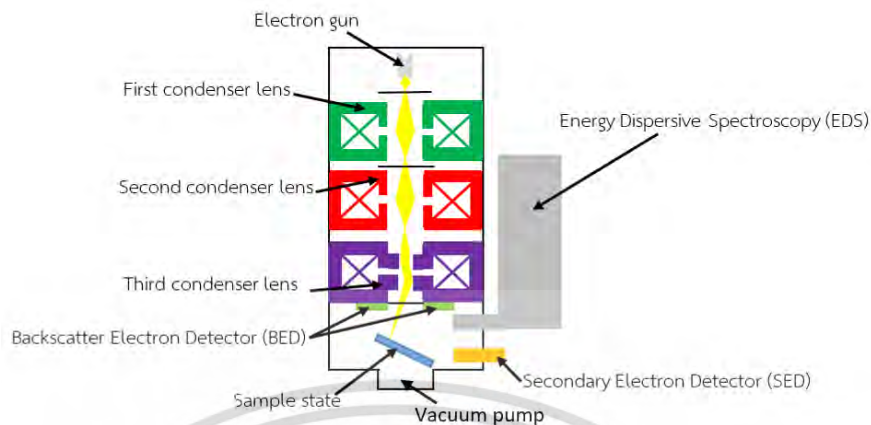
2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope SEM) [26]

การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของปึกผีเสื้อซึ่งเป็นโครงสร้างระดับนาโนมีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องมือในการตรวจสอบที่มีความละเอียดที่สูง อาทิเช่น SEM แสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นตัวตรวจสอบขึ้นตัวอย่างแทนการใช้แสงด้วยเหตุผลว่าอิเล็กตรอนมีค่าความยาวคลื่นที่สั้นกว่าแสงจึงส่งผลให้ SEM มีค่า Resolution ประมาณ 100 nm ซึ่งสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง องค์ประกอบของ SEM มีดังต่อไปนี้

1. Electron gun คือแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนปฐมภูมิซึ่งมีหลักการทำงานในลักษณะเป็นขั้ว Cathode ที่สามารถเร่งอิเล็กตรอนให้เกิดการเคลื่อนที่ภายใต้ความต่างศักย์ 30,000 eV
2. Electromagnetic lens คืออุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการปรับคุณสมบัติของลำอิเล็กตรอนให้มีความเหมาะสมต่อการตรวจสอบขึ้นตัวอย่าง lens ในระบบสามารถถูกแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้
 1. First condenser lens มีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของลำอิเล็กตรอน
 2. Second condenser lens มีหน้าที่ กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำอิเล็กตรอน
 3. Third condenser lens หรือ Deflection coils มีหน้าที่กำหนดตำแหน่งโฟกัสของลำอิเล็กตรอน
3. Sample stage คืออุปกรณ์ที่วางขึ้นตัวอย่างที่ต้องการจะตรวจสอบซึ่งมีลักษณะเป็นวัตถุทึบแสงและถูกต่อเข้ากับขั้ว Anode
4. Vacuum pump คืออุปกรณ์ที่ถูกใช้เพื่อลดค่าความดันภายในระบบอยู่ในย่าน High vacuum

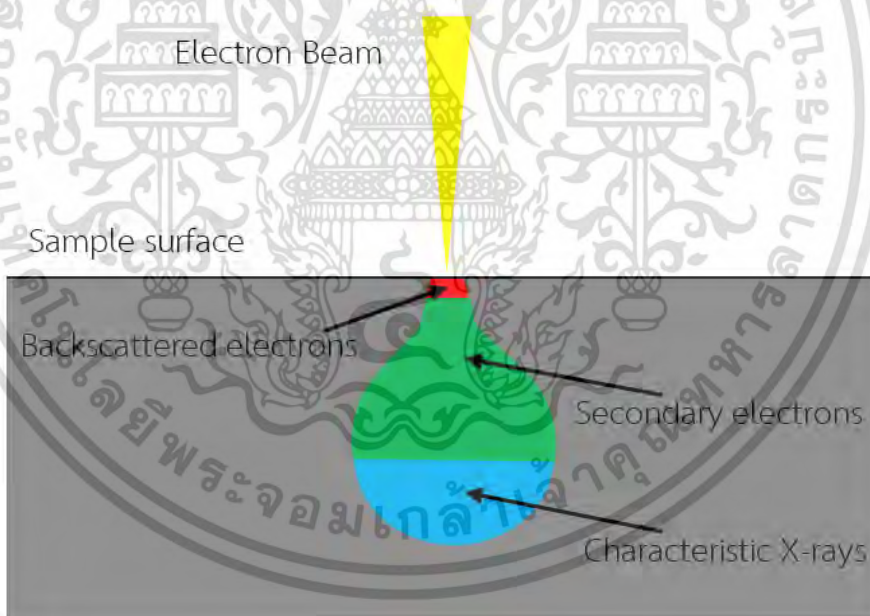
5. Detector คืออุปกรณ์ที่ถูกใช้เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนปฐมภูมิเข้าชนชิ้นตัวอย่างซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิดดังต่อไปนี้ (รูป 2.8)
 1. Secondary Electron Detector (SED) ถูกใช้เพื่อตรวจจับรูปสัญญาณ Secondary Electron Image (SEI) ที่เกิดขึ้นจากอิเล็กตรอนพลังงานต่ำ เกิดขึ้นในผิวตัวอย่างที่ความลึกไม่เกิด 10 nm ให้ข้อมูลออกมาเป็นภาพลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง
 2. Backscatter Electron Detector (BED) ถูกใช้เพื่อตรวจจับรูปแบบสัญญาณ Backscattered Electron Image (BEI) จากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับหรือคืออิเล็กตรอนปฐมภูมิที่ตกกระทบตัวอย่างแล้วถ่ายทอดพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนทุติยภูมิจึงส่งผลให้อิเล็กตรอนดังกล่าวมีพลังงานมากพอที่จะกระเจิงออกจากชิ้นตัวอย่างด้วยมุมที่มุมค่ามากกว่า 90 องศาโดยจะเกิดในผิวตัวอย่างที่ความลึกมากกว่า 10 nm ซึ่งเกิดขึ้นได้ดีกับธาตุที่มีค่าเลขอะตอมสูงแสดงถึงความแตกต่างของเลขอะตอมเฉลี่ยในแต่ละจุดบนตัวอย่าง
 3. Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) ถูกใช้เพื่อตรวจจับสัญญาณ X-Ray Image (XRI) ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิในระดับชั้น K, L, M เป็นต้นไปได้รับพลังงานกระตุ้นสูงจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิจึงส่งผลให้อิเล็กตรอนดังกล่าวหลุดออกจากพันธะเคมีซึ่งส่งผลให้อิเล็กตรอนทุติยภูมิที่อยู่ในพันธะเคมีในระดับชั้นพลังงานที่สูงถัดขึ้นไปคายพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจนมีพลังงานสะสมในตัวต่ำพอที่จะสามารถลงมาอยู่แทนที่อิเล็กตรอนที่หลุดออกไปได้โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้างี้ดังกล่าวจะมีช่วงความยาวคลื่นในย่านรังสี X-Ray และเป็นค่าที่มีความเฉพาะตัวสำหรับธาตุนั้นจึงสามารถใช้ระบุชนิดของธาตุซึ่งเป็นองค์ประกอบของตัวอย่างได้

กระบวนการทำงานของ SEM เกิดขึ้นภายในสภาวะ High vacuum โดยเริ่มต้นจากการจ่ายความต่างศักย์ระหว่าง Electron gun กับ Sample state เพื่อกระตุ้นให้อิเล็กตรอนปฐมภูมิจาก Electron gun ให้เคลื่อนที่ผ่าน Electromagnetic lens ทั้ง 3 ตัว เพื่อปรับคุณสมบัติให้เหมาะสมก่อนการเคลื่อนที่เข้าชนชิ้นตัวอย่างซึ่งถูกตั้งบน Sample state หลังจากการชนจะเกิดผลลัพธ์ที่สามารถตรวจสอบได้โดย Detector ได้ 3 ลักษณะดังที่ได้กล่าวในหัวข้อก่อนหน้า



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 5 ส่วนคือ ระบบอิเล็กตรอนออปติก (Electron optics system) ระบบสุญญากาศ (Vacuum system) ระบบระบายความร้อน (Cooling system) ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power supply system) ระบบสร้างและบันทึกภาพ (Image translating and photo recording)



รูปที่ 2.8 ลักษณะของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการชนกันของอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับตัวอย่างที่ต้องการจะตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2011 ปุณยวีร์ เดชครอง และผู้ร่วมวิจัยได้ทำการศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Euploea mulciber* และ *Troides aeacus* ในส่วนของลักษณะเกล็ดของปีกผีเสื้อ ระยะของช่องว่างภายในเกล็ดและการทำมุมที่ส่งผลให้เกิดสีต่างกันในแต่ละจุดของปีกผีเสื้อโดยได้ทำการศึกษาในจุดที่มีสีแตกต่างกันจากผีเสื้อพันธุ์เดียวกัน เนื่องจากสีของปีกผีเสื้อถึงแม้จะเป็นตัวเดียวกันนั้นหลายส่วนมีสีที่แตกต่างกันซึ่งโครงสร้างของปีกก็จะแตกต่างกันไปด้วย [14]

ในปี 2014 Jiang และผู้ร่วมวิจัยได้ประยุกต์ใช้คุณสมบัติเชิงแสงของโครงสร้างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho didius* ในการตรวจวัดแก๊สหรือไอระเหย โดยการบรรจุโครงสร้างดังกล่าวไว้ในสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน เมทานอล และเอทานอล เพื่อศึกษาคุณสมบัติการสะท้อนแสงของโครงสร้างปีกผีเสื้อซึ่งถูกปกคลุมด้วยแก๊สและสารระเหยดังกล่าวซึ่งเป็นเสมือนการสร้างชั้นฟิล์มบางระดับนาโนที่มีคุณสมบัติจำเพาะตัวที่แตกต่างกันไปตามชนิดของสารที่เป็นองค์ประกอบนั้นๆและความหนาของชั้นฟิล์มแปรผันตรงต่อความเข้มข้นของสารระเหยที่อยู่ในบรรยากาศ ผลการทดลองที่ได้ถูกนำไปทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง 2 มิติสำหรับการกระจายตัวของคลื่นแสงที่ตกกระทบบนโครงปีกผีเสื้อด้วยซอฟต์แวร์ Rsoft ซึ่งใช้หลักการวิเคราะห์แบบ Principal component analysis (PCA) เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองเทียบกับเชิงทฤษฎี ผลต่างระหว่างการเปรียบเทียบดังกล่าวมีความสอดคล้องซึ่งแสดงถึงความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง ในงานวิจัยชิ้นนี้แสดงให้เห็นถึงค่า Sensitivity และความ Specificity ของโครงสร้างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho didius* ในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดทางแสง [5]

ในปี 2016 Aideo และผู้ร่วมวิจัยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของโครงสร้างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Tailed Jay* ก่อนและหลังการเคลือบด้วยซิงค์อะซิเตท โดยการเคลือบโครงสร้างปีกผีเสื้อด้วยสารประกอบดังกล่าวจะส่งผลให้ซิงค์ไฮดรอกไซด์ในบรรยากาศแวดล้อมเกิดการแตกตัวกลายเป็นอนุภาคซิงค์ออกไซด์ และเคลื่อนที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในรูพรุนบนโครงสร้างปีกผีเสื้อเพื่ออุดรูพรุนดังกล่าว โครงสร้างที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวสามารถถูกนำมาประยุกต์สร้างเป็น UV – Vis reflectance spectroscope ซึ่งสามารถใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ Spectra ที่เกิดจากการเปลี่ยนชนิดของสารที่ถูกเคลือบบนโครงสร้างดังกล่าวได้ [7]

ในปี 2019 Cheng และผู้ร่วมวิจัยได้ทำการศึกษาอนุภาคนาโนโคบอลต์เตรตตะออกไซด์บนพื้นผิวไบโอคาร์บอนที่มีรูพรุนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยารีดักชันออกซิเจนโดยในงานวิจัยนี้ได้มีการนำปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Troides aeacus* มาใช้ในการศึกษานี้ ด้วยโครงสร้างที่เป็นรูพรุนขนาดเล็กในระดับนาโนตามธรรมชาติได้ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากและส่งผลให้มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยารีดักชันออกซิเจนมากขึ้น [27]

ในปี 2020 Pappas และผู้ร่วมวิจัยได้ทำการศึกษาอนุภาคของโลหะมีพิษในละอองของบุหรี่ไฟฟ้า โดยการศึกษานี้ได้มีตัวแปรมากถึง 81 ตัวแปร เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำบุหรี่ไฟฟ้า และขั้นตอนในการทำได้มีวิธีการแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้รวมถึงส่วนผสมน้ำยาที่ใช้สำหรับทำให้เกิดควันจึงทำให้สารพิษที่ออกมาพร้อมกับละอองควันบุหรี่ไฟฟ้ามี่อนุภาคของโลหะหนักแตกต่างกันออกไปด้วย และหนึ่งในโลหะที่พบจากละอองควันบุหรี่ไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ก็มีซิงค์ออกไซด์อยู่มาก [28]



บทที่ 3

วิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการในการทำวิจัยทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นจัดหาปีกผีเสื้อ ทำการเคลือบสารซิงค์ออกไซด์/นิโคตินบนกระจกสไลด์ และบนปีกผีเสื้อ และการตรวจสอบตัวอย่างของชิ้นงานด้วย SEM และ Spectrometer

3.1 การจัดเตรียมตัวอย่างปีกผีเสื้อ

3.1.1 การเก็บตัวอย่างปีกผีเสื้อ

การเก็บตัวอย่างปีกผีเสื้อสำหรับนำมาใช้ในงานวิจัยมีที่มาจาก 4 แห่ง ได้แก่

1. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
2. อุทยานผีเสื้อและแมลงกรุงเทพฯ
3. ร้าน little wings house
4. บ้าน little big wings

หลังจากได้ตัวอย่างปีกผีเสื้อทั้งหมดปีกผีเสื้อจะถูกนำมาจัดเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเพื่อรักษาสภาพไม่ให้เกิดการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติของโครงสร้างปีก



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างปีกผีเสื้อที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การจัดเตรียมกระจกสไลด์

ในการทำการทดลองเนื่องจากปีกผีเสื้อมีความอ่อนตัวมากจึงต้องใช้วางกระจกสไลด์ก่อนที่จะทำการเคลือบในขั้นตอนต่อไป โดยกระจกสไลด์ที่ใช้จะต้องทำการตัดให้มีขนาดเล็กเพื่อความสะดวกในการทำงานและประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บตัวอย่างหรือพื้นที่สำหรับวางตัวอย่างในการใช้เครื่อง SEM โดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำกระจกสไลด์มาตัดให้มีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร
2. ล้างด้วยน้ำผสมน้ำยาล้างจานในเครื่อง Ultrasonic cleaner เป็นเวลา 10 นาที
3. ล้างด้วยอะซิโตนในเครื่อง Ultrasonic cleaner เป็นเวลา 10 นาที
4. ล้างด้วยเมทานอลในเครื่อง Ultrasonic cleaner เป็นเวลา 10 นาที
5. นำกระจกที่ผ่านการทำความสะอาดมาตากให้แห้ง

3.1.3 การจัดเตรียมปีกผีเสื้อบนกระจกสไลด์

หลังจากได้ปีกผีเสื้อมาแล้วในส่วนของปีกผีเสื้อจะต้องนำไปตากแดดทั้งหมด 8 ชั่วโมงก่อนจะนำมาจัดเก็บหรือใช้ในการทดลองและหลังจากที่ปีกพร้อมใช้งานแล้วจะมีการจัดเตรียมก่อนจะนำไปสู่ขั้นตอนการเคลือบดังนี้

1. ตัดปีกผีเสื้อให้ได้ขนาดกว้าง 0.8 เซนติเมตร ยาว 0.8 เซนติเมตรโดยประมาณ
2. นำปีกผีเสื้อที่ตัดแล้วไปแช่ในเมทานอลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. ใช้กระจกสไลด์ที่ตัดแล้วนำปีกผีเสื้อขึ้นจากเมทานอลแล้วตากให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างปีกผีเสื้อบนกระจกสไลด์

3.2 การเตรียมสารละลายสำหรับเคลือบตัวอย่างปีกผีเสื้อ

ในการเตรียมสารละลายสำหรับเคลือบปีกผีเสื้อโดยจะใช้ DCM เป็นตัวทำละลาย PMMA แล้วนำไปผสมกับสารละลายซิงค์ออกไซด์ ($\text{O} = 50$ นาโนเมตร) ผสมกับนิโคตินในอัตราส่วนต่างๆ ก่อนจะนำไปใช้ในขั้นตอนการเคลือบตัวอย่างปีกผีเสื้อ

1. ผสมซิงค์ออกไซด์กับน้ำปลอดประจุในอัตราส่วนความเข้มข้น 10, 12, 14, 16, 18 นาโนโมลาร์ ตามลำดับ และความเข้มข้นสองเท่าสำหรับไปผสมกับสารละลายนิโคติน 1.6% (16 มิลลิกรัม)
2. ผสมสารละลายซิงค์ออกไซด์เข้ากับสารละลายนิโคตินในอัตราส่วน 1 : 1
3. ผสม PMMA เข้ากับ DCM ด้วย Vortex stirrer ในอัตราส่วน 200 มิลลิกรัม : 1 มิลลิลิตร
4. นำสารละลายซิงค์ออกไซด์/นิโคตินแล้วมาผสมกับสารละลาย PMMA อัตราส่วน 1 : 1

3.3 การเคลือบตัวอย่างปีกผีเสื้อ

ในการเคลือบตัวอย่างปีกผีเสื้อนั้นจะเคลือบโดยใช้เครื่องเคลือบแบบหมุนเหวี่ยงในการเคลือบสาร โดยตัวเครื่องได้ถูกปรับความเร็วในการหมุนไว้คงที่ที่ 3500 รอบต่อวินาที โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เปิดปั๊มสุญญากาศสำหรับดูดชิ้นงานให้ติดกับเครื่องเคลือบ
2. วางกระจกสไลด์ลงบนแผ่นยางกันลื่นเพื่อให้ชิ้นงานถูกดูดติดกับฐานวาง
3. หยดสารละลายที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.2 สำหรับเคลือบลงไปบนกระจกสไลด์จำนวน 70 ไมโครลิตร
4. นำปีกผีเสื้อที่เตรียมไว้มาวางบนกระจกสไลด์ที่หยดสารละลายไว้
5. หยดสารละลายอีกครั้งลงบนปีกผีเสื้อจำนวน 200 ไมโครลิตร
6. ทำการเปิดเครื่องหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 5 วินาที
7. ปลอ่ยให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างปีกผีเสื้อที่ถูกเคลือบด้วยสารละลายซิงค์ออกไซด์/นิโคติน

3.4 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของปีกผีเสื้อที่ผ่านการเคลือบซิงค์ออกไซด์/นิโคติน

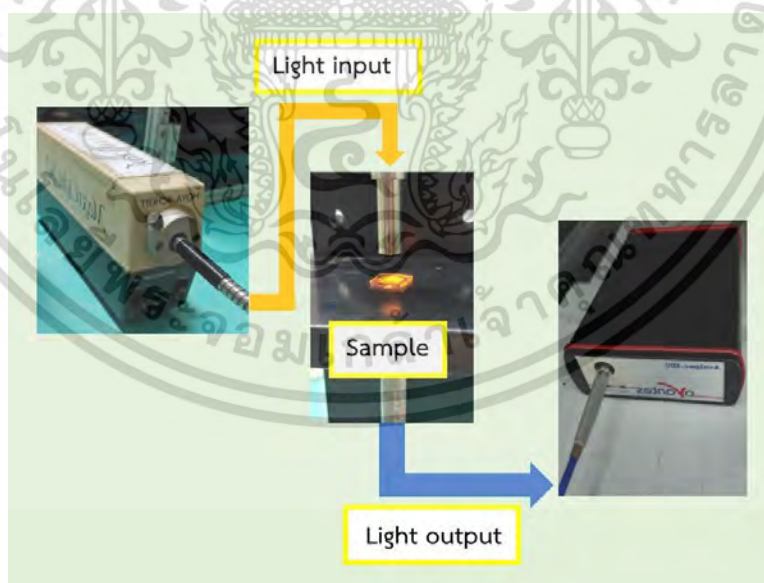
ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจวัดปริมาณการดูดกลืนแสงในย่านอุลตราไวโอเล็ตและช่วงแสงขาวของตัวอย่างปีกผีเสื้อที่ผ่านการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์/นิโคติน ซึ่งจะทำการทดสอบด้วย UV/Vis Spectrometer โดยใช้ Xenon lamp เป็นแหล่งกำเนิดแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยค่าการดูดกลืนแสงในช่วงย่านต่างๆ จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ ชนิด และจำนวนโมเลกุลของสารตัวอย่างรวมไปถึงโครงสร้างสีของปีกผีเสื้อ โดยใช้โปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic ในการควบคุม UV/Vis Spectrometer



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของเครื่อง UV/Vis Spectrometer

สำหรับวิธีการใช้โปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

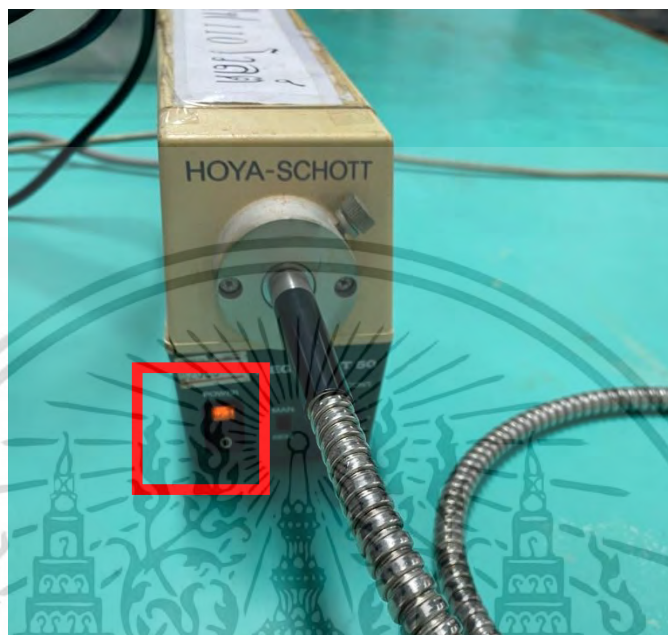
1. จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.5 โดยต่อสายจากหลอดไฟทั้งสแตนด์เข้าสู่วางชิ้นงานและต่อสาย Fiber optic เข้าสู่แท่งวางชิ้นงานอีกฝั่ง ตรงข้ามสายจากหลอดไฟทั้งสแตนด์ จากนั้นจึงต่อสาย USB จากตัววัดแสง (เครื่องสเปกโตรมิเตอร์) เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ของเครื่อง UV/Vis Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เปิดสวิตซ์ไฟจากแหล่งกำเนิดแสงทั้งสแตนแล้วรอ 15-30 นาทีเพื่อทำการ Warm up



รูปที่ 3.6 แหล่งกำเนิดแสงทั้งสแตน

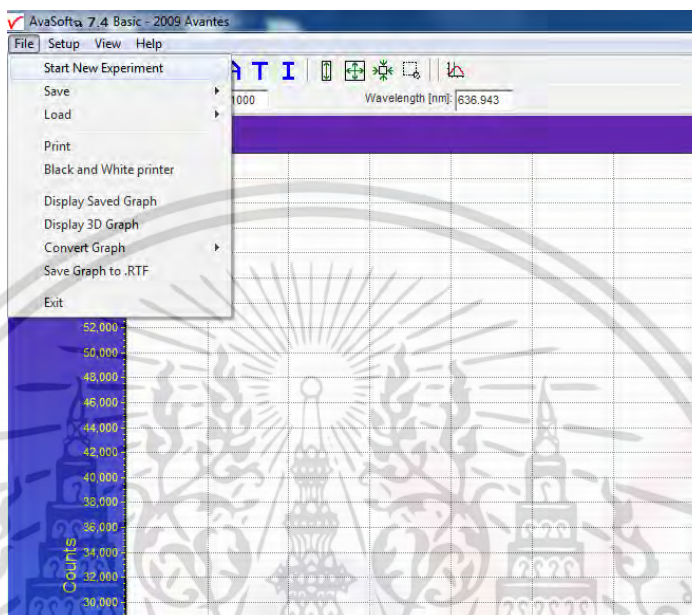
3. เปิดโปรแกรม Avasoft 7.4.0



รูปที่ 3.7 ไอคอนโปรแกรม Avasoft 7.4.0

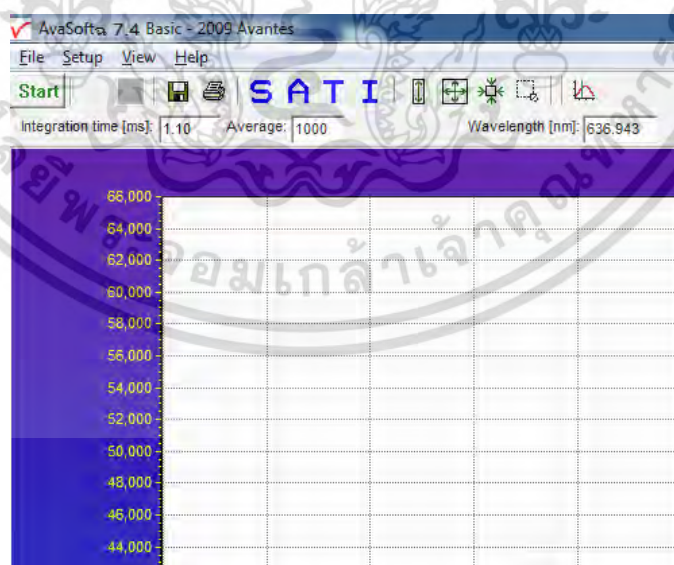
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เริ่มสร้างไฟล์งานใหม่โดยไปที่ File>Start new experiment จากนั้นสร้าง Folder เก็บงานและตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึกผล



รูปที่ 3.8 หน้าต่างของโปรแกรม Avasoft 7.4.0 เมื่อกดเมนู File

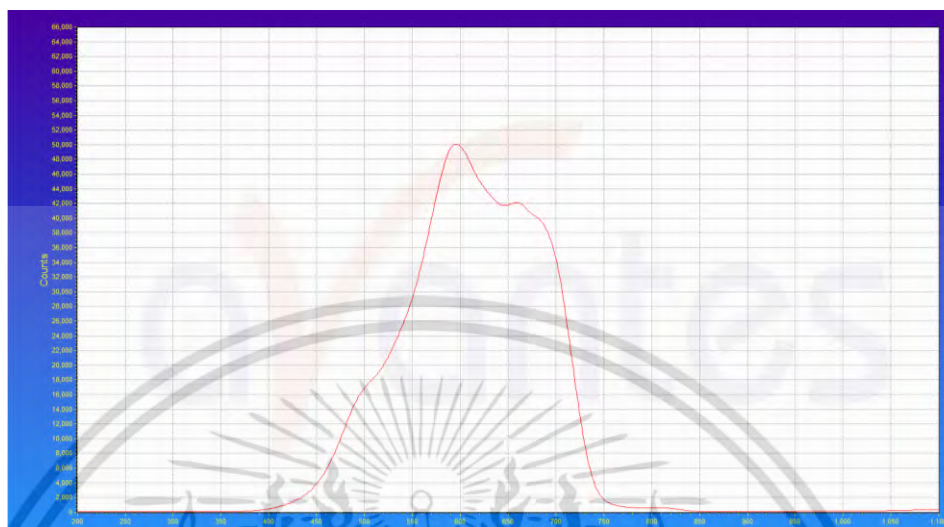
5. กดที่ Start เพื่อเริ่มการทำงาน



รูปที่ 3.9 หน้าต่างของโปรแกรม Avasoft 7.4.0

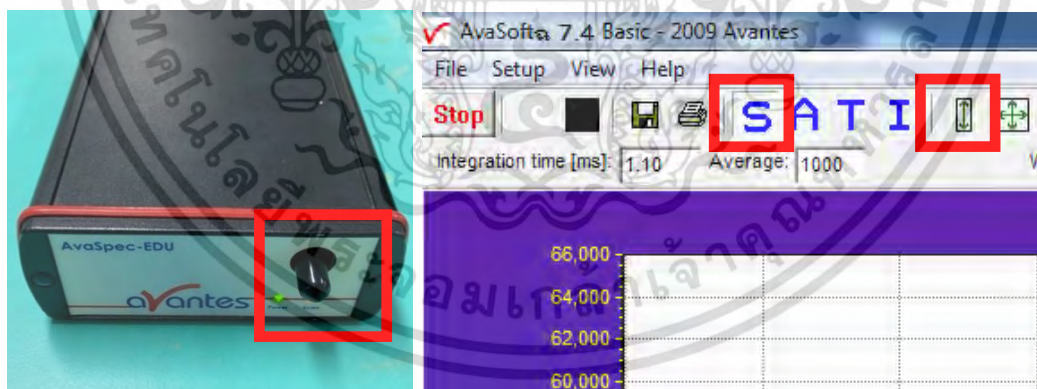
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปรับความเข้มแสงของหลอดไฟทั้งสแตนท์ที่แหล่งกำเนิดแสงจนได้ความเข้มชั้นที่ 50,000 counts



รูปที่ 3.10 แสดงกราฟที่ได้ในการวัดความเข้มของแสงจากหลอดทั้งสแตนท์จากโปรแกรม Avasoft 7.4.0

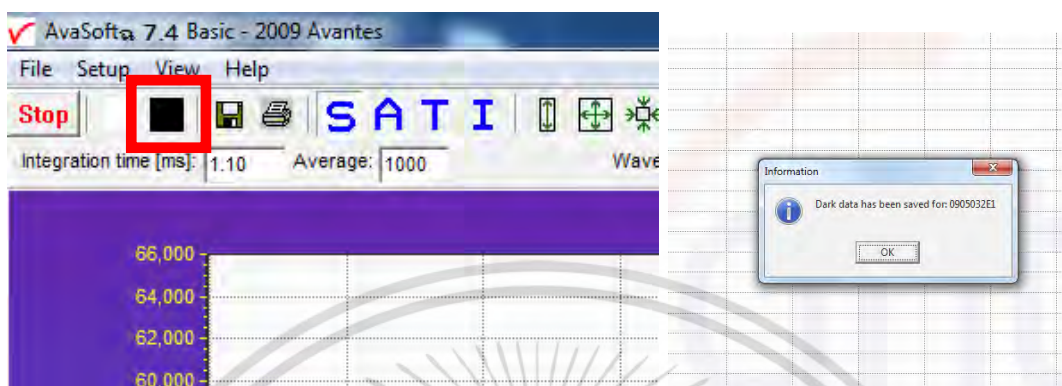
7. ปิดทางเดินแสงที่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์โดยการถอดสายออกแล้วปิดฝาจุก จากนั้นคลิกปุ่ม S (Scope mode) และ Auto scale เพื่อเช็คว่าไม่มีแสงเข้ามาในตัวเครื่อง



รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Avantes และโปรแกรมขณะทำการวัดค่า Scope mode

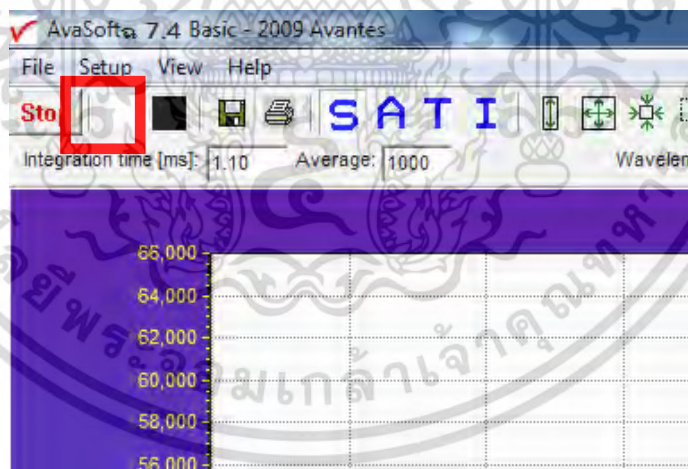
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการวัด Dark mode โดยการคลิกปุ่มสี่เหลี่ยมสีดำ จากนั้นเอาจุกออกและต่อสาย Fiber optic เข้าที่เดิม



รูปที่ 3.12 แสดงรูปแบบหน้าต่างโปรแกรมเมื่อทำการวัด Dark mode

9. จากนั้นจึงทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยการใส่ชิ้นงานที่ต้องการใช้ในการอ้างอิงลงในตำแหน่งชิ้นงาน จากนั้นวัด White mode ที่ปุ่มสี่เหลี่ยมสีขาว

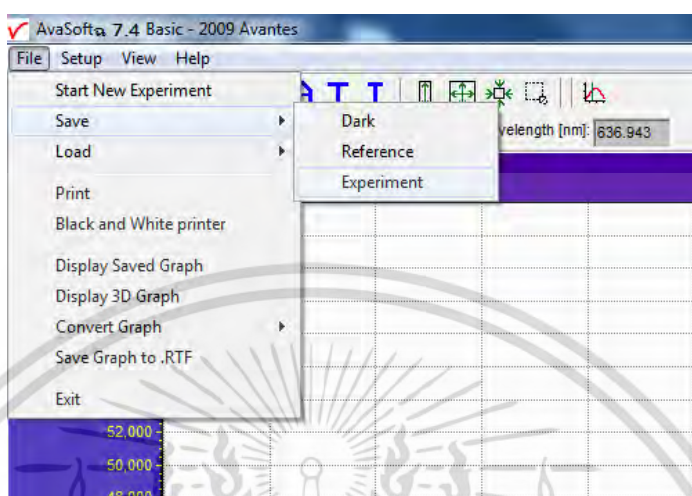


รูปที่ 3.13 แสดงรูปแบบหน้าต่างโปรแกรมเมื่อทำการวัด White mode

10. นำชิ้นงานที่ใช้ในการอ้างอิงออกแล้วแทนที่ด้วยชิ้นงานตัวอย่างที่ต้องการวัด จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Auto scale เพื่อแสดงผลค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ เมื่อได้กราฟที่ต้องการ

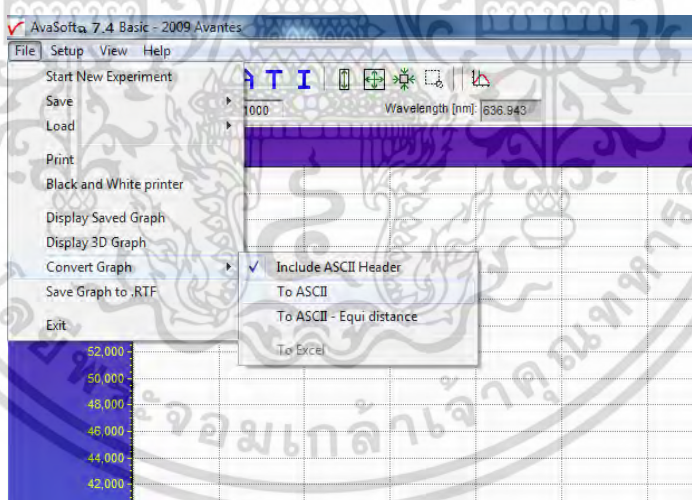
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วกดปุ่ม Stop เพื่อหยุดเส้นกราฟไว้ จากนั้นคลิกที่ File>Save>Experiment เพื่อทำการบันทึกข้อมูล โดยไฟล์ที่ได้รับจะเป็นไฟล์นามสกุล .ABS



รูปที่ 3.14 แสดงรูปแบบหน้าต่างโปรแกรมเมื่อทำการทำการบันทึกข้อมูล

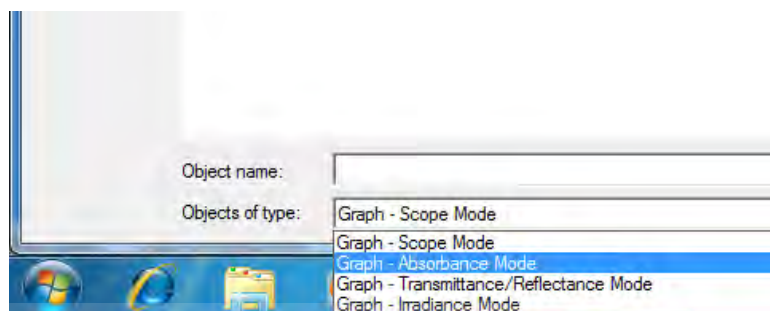
11. ทำการ Convert file ให้อยู่ในรูปของ ASCII format เพื่อไปเขียนกราฟใน Excel โดยไปที่ File>ASCII แล้วเลือกไฟล์ที่ต้องการ Convert



รูปที่ 3.15 แสดงรูปแบบหน้าต่างโปรแกรมเมื่อทำการ Convert file ให้อยู่ในรูปของ ASCII format

12. จากนั้นใส่ชื่อไฟล์แล้วเลือกที่ Graph-Absorbance mode เมื่อ Convert แล้วจะได้ไฟล์นามสกุล .tat มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงรูปแบบหน้าต่างโปรแกรมเมื่อทำการเลือกประเภทของกราฟ

13. เปิดโปรแกรม Excel แล้วเปิดไฟล์นามสกุล .tat ที่เราแปลงไฟล์มาจะปรากฏหน้าต่างขึ้น ให้เราเลือก Delimited แล้วกด Next จากนั้นกดเครื่องหมายถูกที่ Tab, Semicolon, Comma, Space แล้วกด Next จากนั้นกด Finish



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

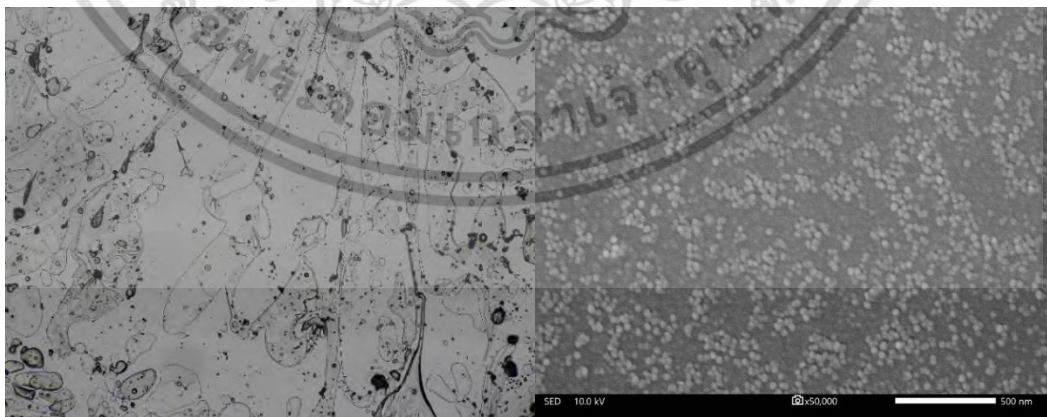
ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงผลและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการทำการทดลองในส่วนของภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตามลำดับ และผลการดูกลืนแสงที่ได้จาก UV/Vis Spectrometer

4.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

นำตัวอย่างของปีกผีเสื้อ 3 สายพันธุ์ทั้งก่อนและหลังการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคตินไปตรวจสอบโครงสร้างทางกายภาพโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตามลำดับ โดยที่ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาใช้กำลังขยาย 40 เท่าและได้มีการเก็บภาพด้วยกล้องดิจิทัล และในส่วนของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะใช้กำลังขยาย 25,000 เท่าเพื่อให้เห็นโครงสร้างขนาดเล็กในส่วนของเกล็ดปีกผีเสื้อและอนุภาคของซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่เคลือบบนปีกผีเสื้อโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

4.1.1 ภาพของตัวอย่างกระจกสไลด์ที่ถูกเคลือบซิงค์ออกไซด์/นิโคติน

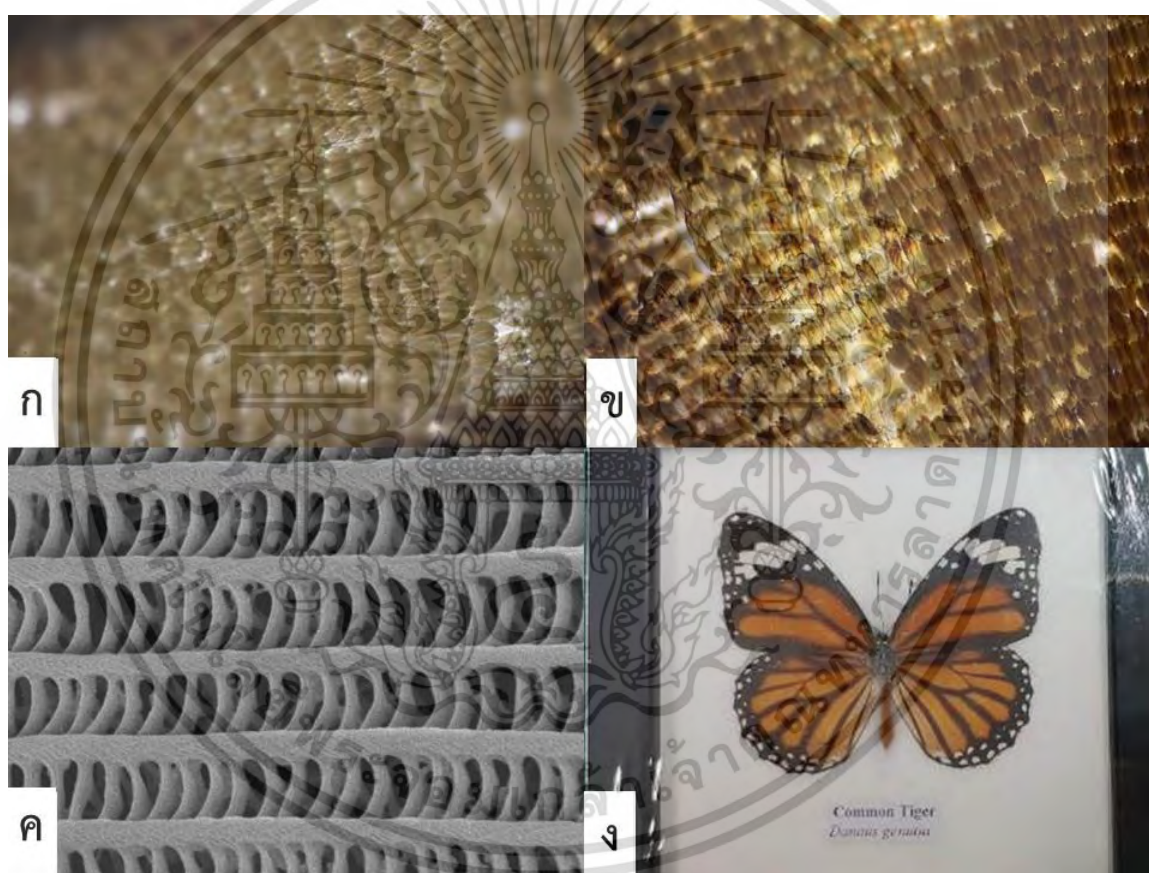
จากการเคลือบกระจกสไลด์ด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคตินเพื่อเป็นตัวแปรควบคุมในงานวิจัยนี้พบว่าการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และนิโคตินอยู่บนกระจกสไลด์ทั้งในส่วนของภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ (ทางซ้าย) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ทางด้านขวา) ตามลำดับ ดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กระจกสไลด์ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

4.1.2 ภาพของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia*

ผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia* หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าสายพันธุ์ผีเสื้อหนอนใบรัก ภายเลื่อลักษณะของปีกที่นำมาใช้นั้นจะเป็นในส่วนของปีกที่เป็นสีส้มโดยเมื่อนำตัวอย่างของปีกผีเสื้อที่เตรียมไว้มาเก็บภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ (สีส้มสว่างขึ้นภายหลังการเคลือบด้วยสารละลายซิงค์ออกไซด์ และนิโคติน) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (โครงสร้างเป็นรูปพรุณขนาดเล็ก) และภาพของตัวอย่างผีเสื้อ ซึ่งจะเรียงจากภาพ ก (ภาพตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการเคลือบจากกล้องจุลทรรศน์), ข (ภาพตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบจากกล้องจุลทรรศน์), ค (ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน) และ ง (ภาพของตัวอย่างผีเสื้อที่ได้จากกล้องโทรศัพท์มือถือ) ตามลำดับ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.2

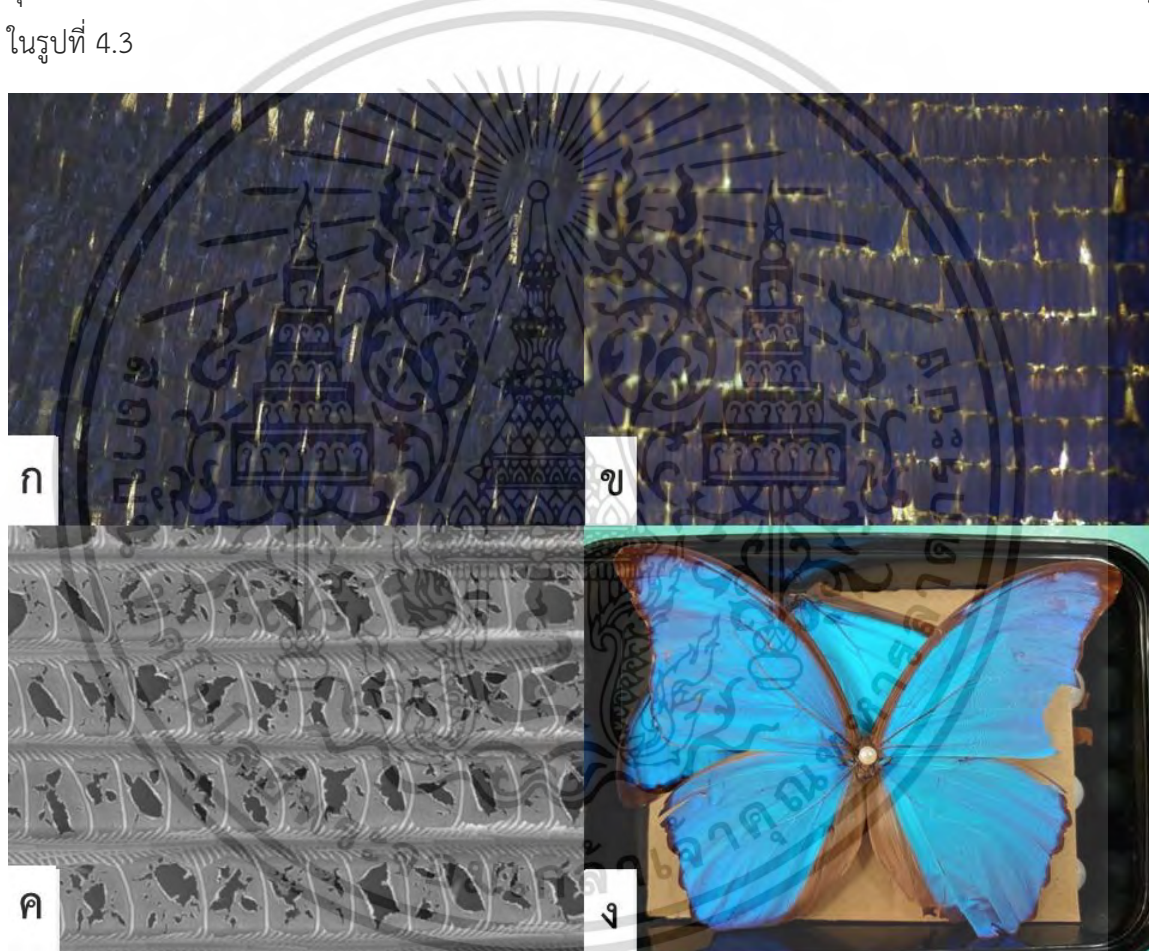


รูปที่ 4.2 ตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ภาพของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho Didius*

ผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho Didius* โดยลักษณะของปีกที่นำมาใช้นั้นจะเป็นในส่วนของปีกที่เป็นสีน้ำเงินโดยเมื่อนำตัวอย่างของปีกผีเสื้อมาเก็บภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ (สีน้ำเงินสว่างขึ้นภายหลังการเคลือบด้วยสารละลายซิงค์ออกไซด์และนิโคติน) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (โครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดเล็ก) และภาพของตัวอย่างผีเสื้อ ซึ่งจะเรียงจากภาพ ก (ภาพตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการเคลือบจากกล้องจุลทรรศน์), ข (ภาพตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบจากกล้องจุลทรรศน์), ค (ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน) และ ง (ภาพของตัวอย่างผีเสื้อที่ได้จากกล้องโทรศัพท์มือถือ) ตามลำดับ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.3

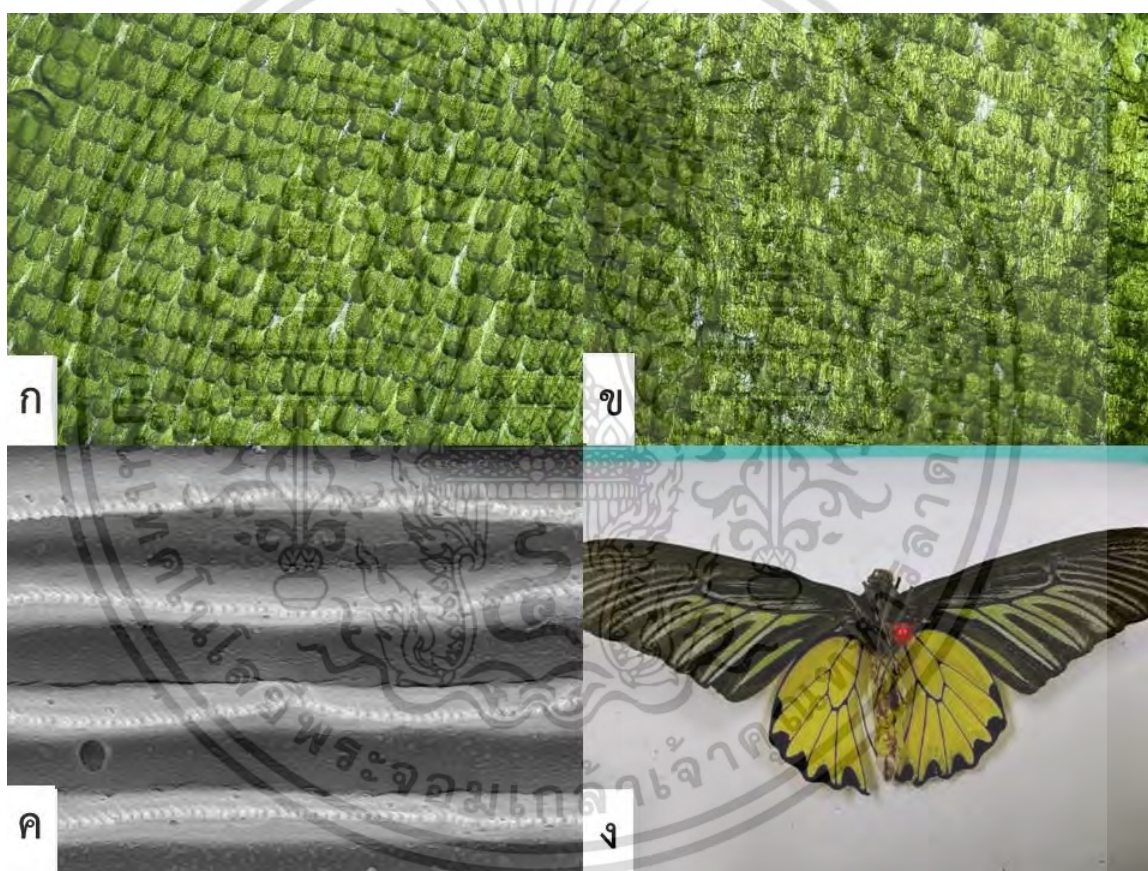


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho Didius*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ภาพของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Troides Aeacus*

ผีเสื้อสายพันธุ์ *Troides Aeacus* หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าสายพันธุ์ฤๅษทองธรรมดา ลักษณะของปีกที่นำมาใช้นั้นจะเป็นในส่วนของปีกที่เป็นสีเหลืองอมเขียวโดยเมื่อนำตัวอย่างของปีกผีเสื้อที่เตรียมไว้ห้มาเก็บภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ (สีเหลืองอมเขียวสว่างขึ้นภายหลังการเคลือบด้วยสารละลายซิงค์ออกไซด์และนิโคติน) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ไม่พบโครงสร้างเป็นรูพรุน) และภาพของตัวอย่างผีเสื้อ ซึ่งจะเรียงจากภาพ ก (ภาพตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการเคลือบจากกล้องจุลทรรศน์), ข (ภาพตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบจากกล้องจุลทรรศน์), ค (ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน) และ ง (ภาพของตัวอย่างผีเสื้อที่ได้จากกล้องโทรศัพท์มือถือ) ตามลำดับ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Troides Aeacus*

ขนาดและอัตราส่วนของโครงสร้างปีกผีเสื้อทั้ง 3 สายพันธุ์ที่คำนวณจากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงขนาดและอัตราส่วนของโครงสร้างปีกผีเสื้อ 3 สายพันธุ์ที่คำนวณจากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

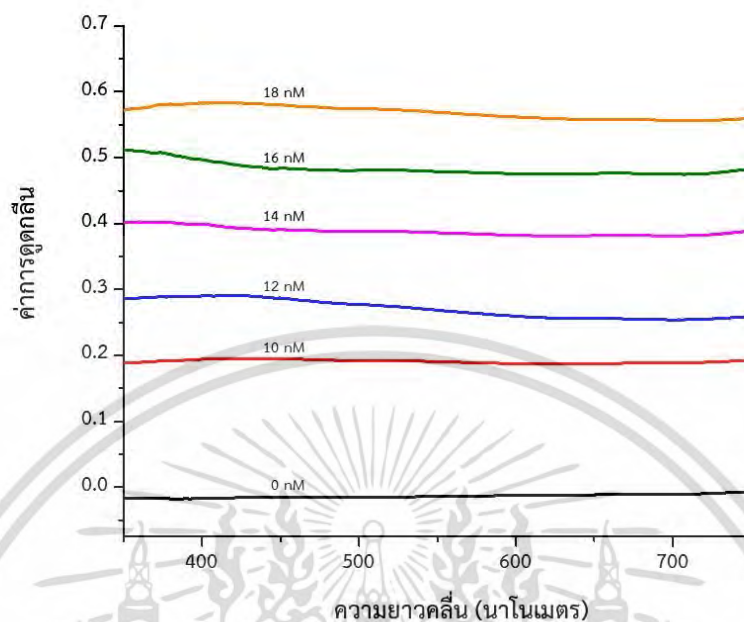
| ตัวแปรของปีกผีเสื้อ | <i>Danaus Genutia</i> | <i>Morpho Didius</i> | <i>Troides Aeacus</i> |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ความสูงของสันปีก (ไมโครเมตร) | 0.498 S.D. = 0.047 | 0.521 S.D. = 0.049 | 0.816 S.D. = 0.046 |
| ระยะห่างระหว่างสันปีก (ไมโครเมตร) | 1.835 S.D. = 0.080 | 2.150 S.D. = 0.093 | 2.264 S.D. = 0.226 |
| อัตราส่วนระหว่างความสูงของปีกกับระยะห่างระหว่างสันปีก | 0.271 | 0.242 | 0.360 |
| ช่องว่างระหว่างสันปีก (ไมโครเมตร) | 1.418 S.D. = 0.062 | 1.337 S.D. = 0.045 | 1.258 S.D. = 0.088 |
| ขนาดของโพรงรูพรุน (ตารางไมโครเมตร) | 0.461 S.D. = 0.065 | 1.514 S.D. = 0.262 | N/A |

4.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์/นิโคติน

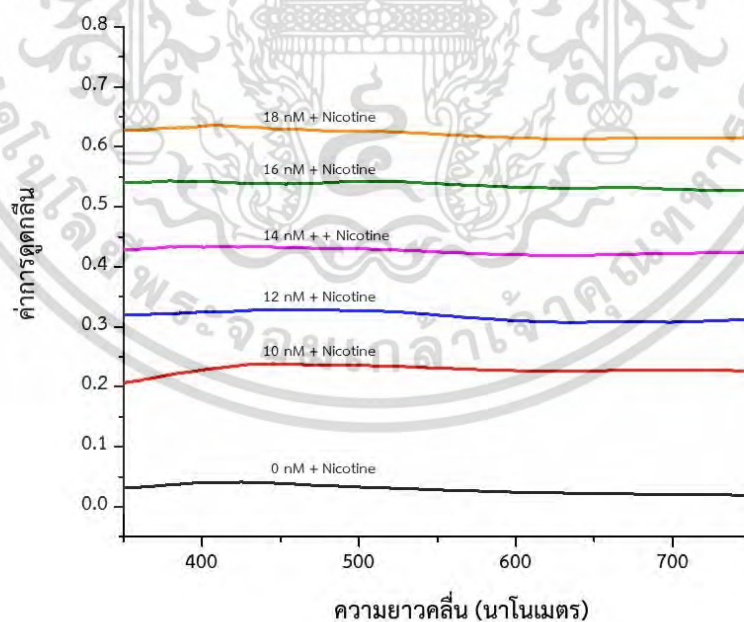
ผลการทดสอบการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์/นิโคตินจะเป็นผลการทดสอบหลักที่จะบ่งบอกความสามารถในการดักจับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์/นิโคตินบนปีกผีเสื้อด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrometer การทดสอบการดูดกลืนแสงมีตัวแปรควบคุมเป็นกระจกสไลด์เปล่าที่ไม่ถูกเคลือบและถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน จากนั้นจึงทำการเคลือบจริงของซิงค์ออกไซด์และนิโคตินบนปีกผีเสื้อ 3 สายพันธุ์ ดังนี้ คือ *Danaus Genutia* ตามมาด้วยสายพันธุ์ *Morpho Didius* และสายพันธุ์ *Troides Aeacus*

4.2.1 ผลการดูดกลืนแสงของกระจกสไลด์ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน

จากการทดลองเคลือบกระจกสไลด์ด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ผสมเข้ากับสารละลายนิโคตินพบว่ามีการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ผสมในสารละลายนิโคตินดังแสดงในรูปที่ 4.5 - 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของแสงของตัวอย่าง กระเจกสไลด์ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์โดยไม่มีการผสมนิโคติน

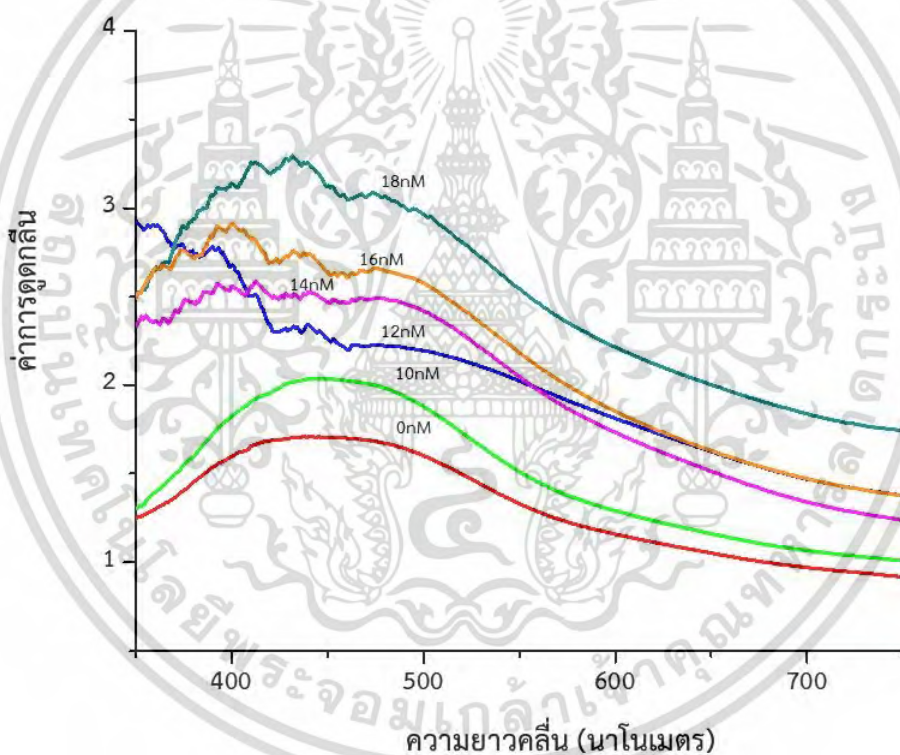


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแสงของตัวอย่าง กระเจกสไลด์ที่ถูกเคลือบด้วยนิโคตินและซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia*

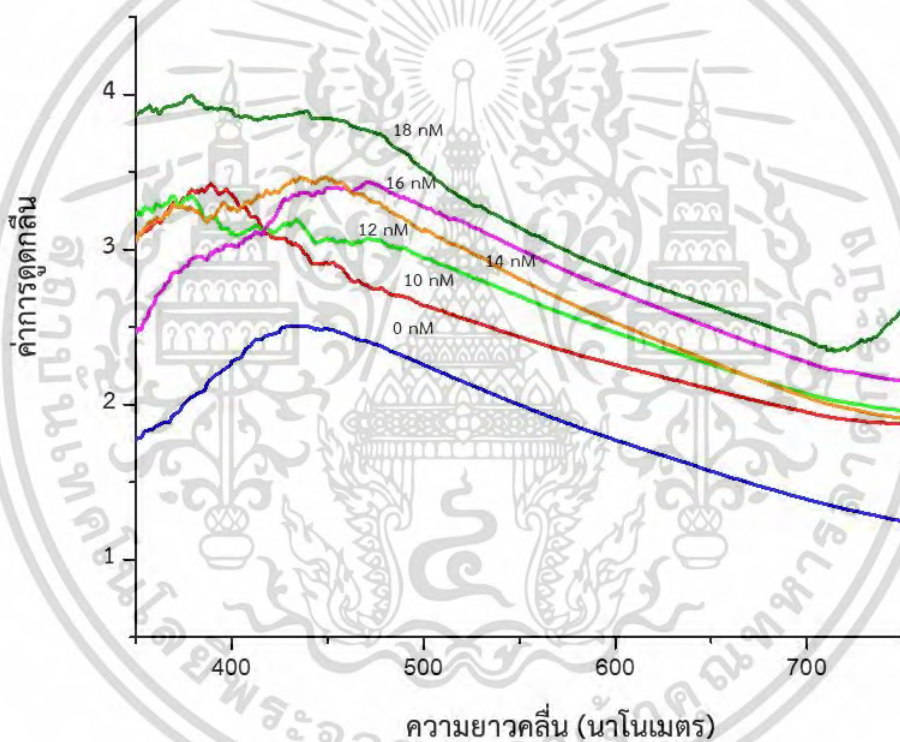
จากการตรวจสอบการดูดกลืนแสงของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia* เคลือบสารละลายซิงค์ออกไซด์และนิโคตินโดยจะเรียงความเข้มข้นซิงค์ออกไซด์จาก 0nM (ยังไม่ผ่านการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน) ไปจนถึง 18nM จะสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อความเข้มข้นซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับทำการเคลือบซิงค์ออกไซด์และนิโคตินบนกระจกเปล่า และพบว่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงย่านความถี่ 440-482 nm โดยเมื่อมีความเข้มข้นซิงค์ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นพีคของการดูดกลืนจะถูกเลื่อนไปยังช่วงความยาวคลื่นยาวกว่า ดังในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแสงของตัวอย่างของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia* ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน

4.2.3 ผลการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho Didius*

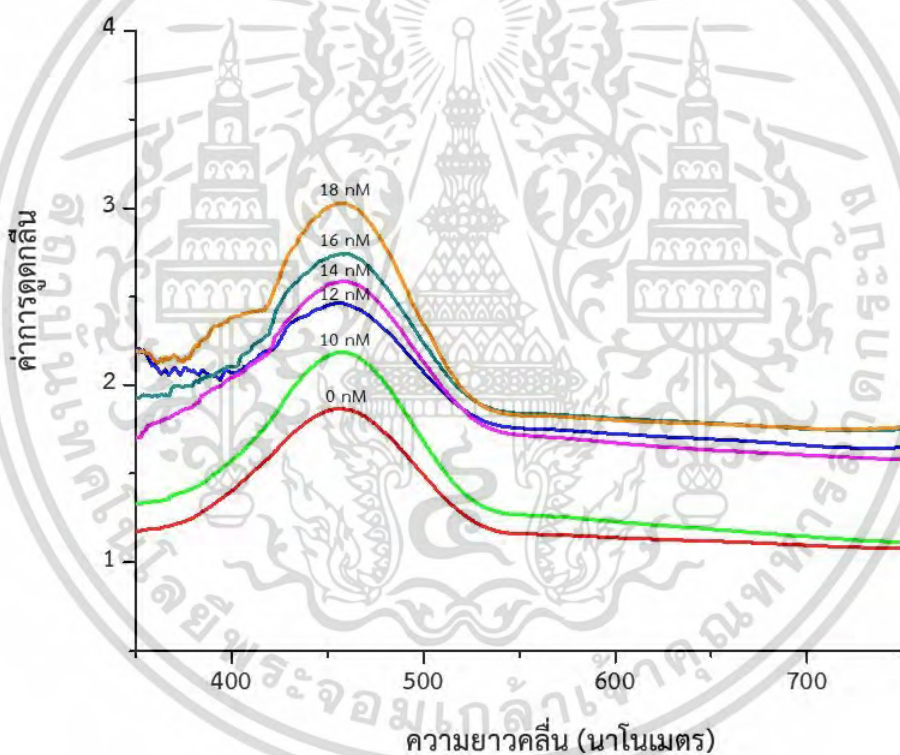
จากการตรวจสอบการดูดกลืนแสงของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho Didius* เคลือบสารละลายซิงค์ออกไซด์และนิโคตินโดยจะเรียงความเข้มข้นซิงค์ออกไซด์จาก 0nM (ยังไม่ผ่านการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์) ไปจนถึง 18nM จะสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อความเข้มข้นซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนทำการเคลือบจะพบว่ามีการเพิ่มสูงขึ้นของการดูดกลืนแสงในช่วงย่านความถี่ 440-465 nm โดยเมื่อมีความเข้มข้นซิงค์ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นทิศของการดูดกลืนจะถูกเลื่อนไปยังช่วงความยาวคลื่นยาวดังในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของแสงของตัวอย่างของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho Didius* ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน

4.2.4 ผลการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Troides Aeacus*

จากการตรวจสอบการดูดกลืนแสงของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Troides Aeacus* เคลือบสารละลายซิงค์ออกไซด์และนิโคตินโดยจะเรียงความเข้มข้นซิงค์ออกไซด์จาก 0nM (ยังไม่ผ่านการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์) ไปจนถึง 18nM จะสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนทำการเคลือบ และจะพบว่าการเพิ่มสูงขึ้นของการดูดกลืนแสงในช่วงย่านความถี่ 456-460 nm ตามที่แสดงในรูปที่ 4.20 nm โดยเมื่อมีความเข้มข้นซิงค์ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นพีคของการดูดกลืนจะมีการเลื่อนตำแหน่งน้อยมาดั่งในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแสงของตัวอย่างของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Troides Aeacus* ที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน

4.3 การอภิปรายผล

ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia* จะเห็นลักษณะเป็นเกล็ดซ้อนกันอยู่ โดยมีชั้นฟิล์มซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่เคลือบไว้ และในส่วนของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะเห็นในส่วนของตัวโครงสร้างที่เป็นสันในแนวนอน (Ridges) และทั้งสองฝั่งถูกเชื่อมกันเป็นช่องอย่างเป็นระเบียบด้วยเยื่อในแนวขวาง (Crossribs) ซึ่งจะมีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับโครงสร้างแบบ Pigment beads (S1)

ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho Didius* ที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนิโคตินแล้วจะพบลักษณะเป็นเกล็ดซ้อนกันอยู่ โดยมีชั้นฟิล์มซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่เคลือบไว้ และในส่วนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะเห็นในส่วนโครงสร้างที่เป็นสันในแนวนอน (Ridges) โดยที่ทั้งสองฝั่งถูกเชื่อมกันเป็นช่องอย่างเป็นระเบียบด้วยเยื่อในแนวขวาง (Crossribs) และในส่วนของฐานล่างระหว่างช่องว่างมีโครงสร้างเป็นรูปพรุนซึ่งจะมีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับโครงสร้างแบบ Photonic crystal (S5) โดยที่โครงสร้างของเกล็ดปีกผีเสื้อที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนิโคตินแล้วจะมีการกระจายตัวของอนุภาคติดอยู่ตามช่องว่างของเกล็ดปีกผีเสื้อจนเห็นโครงสร้างที่เป็นรูปพรุนน้อยลง

ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ของปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Troides Aeacus* จะมีลักษณะเป็นเกล็ดซ้อนกันอยู่ โดยมีชั้นฟิล์มซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่เคลือบไว้ และในส่วนของภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะเห็นได้ถึงโครงสร้างของปีกผีเสื้อที่มีลักษณะเป็นสันที่มีการพัฒนามาจากโครงสร้างฐานล่างจากโครงสร้างแบบ Pigment beads จนทำให้มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับโครงสร้างแบบ Ridge specialized (S2) โดยที่เมื่อทำการเปรียบเทียบภาพของตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบโครงสร้างปีกของผีเสื้อที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนิโคตินแล้วจะมีการกระจายตัวของอนุภาคติดอยู่ตามช่องว่างระหว่างโครงสร้างเกล็ดปีกผีเสื้อ

จากภาพตัวอย่างโครงสร้างของปีกผีเสื้อทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยมีชั้นฟิล์มซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่เคลือบไว้ ในส่วนของภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะสามารถเห็นได้ว่าโครงสร้างของตัวอย่างปีกผีเสื้อและโครงสร้างขนาดเล็กของเกล็ดปีกผีเสื้อนั้นไม่ได้มีความเปลี่ยนแปลง แตกหักหรือเสียหายจากกระบวนการเคลือบที่ไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยกระบวนการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง ซึ่งกระบวนการเคลือบนี้จะเป็นการช่วยรักษาโครงสร้างของปีกผีเสื้อให้มีความแข็งแรงและส่งผลให้มีการยึดเกาะของโมเลกุลซิงค์ออกไซด์ และนิโคตินด้วยตัวโครงสร้างที่มีอัตราส่วนความสูงของสันเกล็ดปีก (Ridge) กับ ช่วงระยะห่างของสันเกล็ดที่ไม่เคยมีขนาดใหญ่มากไปกว่า 0.5 ดังที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 และระยะห่างที่ไม่ได้มีขนาดมากเกินไป 2 เท่าของความสูงของสัน

(Ridge) ในจุดนี้จะมีส่วนช่วยในด้าน การทำให้แห้งได้เร็วขึ้น, การทำความสะอาดตัวเอง และช่วยในด้าน อากาศพลศาสตร์

สำหรับอัตราส่วนระหว่างความสูงของปีกกับระยะห่างระหว่างสันปีกด้วยอัตราส่วนที่ต่ำกว่า 0.5 พื้นที่ผิวสัมผัสของโครงสร้างปีกจะส่งผลให้โมเลกุลซิงค์ออกไซด์และนิโคตินสามารถที่จะเกาะติดใน ช่องว่างระหว่างสันของเกล็ดปีก 2 ด้าน ซึ่งความง่ายต่อการเกาะติดของตัวโครงสร้างนี้เองมีผลให้การ กระจายของมวลโมเลกุลของซิงค์ออกไซด์และนิโคตินมีการกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมออยู่ทั่วเกล็ดปีก พบว่าโครงสร้างของปีกผีเสื้อที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงของปีกกับระยะห่างระหว่างสันปีกใน อัตราส่วนต่ำที่สุด คือ สายพันธุ์ *Morpho didius* (0.242) โดยค่าอัตราส่วนเหล่านี้ส่งผลโดยตรงกับการ เกาะติดของโมเลกุลซิงค์ออกไซด์และนิโคตินได้ดีที่สุด

จากค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อทั้ง 3 สายพันธุ์จะสามารถสังเกตุดูได้ว่ามีการเกิดเรด ชีฟท์ของการดูดกลืนหลังจากมีการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคติน โดยตำแหน่งของพีคจะมีการเกิด เรดชิฟท์อยู่ที่ 15, 62 และ 4 nm สำหรับสายพันธุ์ *Danaus Genutia*, *Morpho Didius* และ *Troides Aeacus* ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากโครงสร้างที่อยู่ระหว่างสัน (Ridge) ที่ส่งผลต่อการกระเจิง ของแสงอย่างมากสำหรับสายพันธุ์ *Danaus Genutia* และ *Morpho Didius* แต่จะส่งผลต่อการกระเจิง ของแสงค่อนข้างน้อยมากสำหรับตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Troides Aeacus* และมีค่าสัญญาณรบกวน จากการใช้หลอดไฟซินอนซึ่งให้ความเข้มสูงที่ความยาวคลื่นสูงกว่า 400 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามความ สว่างของสเปกตรัมจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร เนื่องจากข้อจำกัดของ อุณหภูมิพลาสมาโดยที่เราสามารถแก้ไขข้อบกพร่องนี้ได้ถ้าเปลี่ยนมาใช้เป็นหลอดไฟทั้งสแตนด์บายซินอน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าขนาดมุมเอียงของแผ่นปีกกลาเมลลามีค่าเท่ากับ 9, 15 และ 25 องศา ในสายพันธุ์ *Morpho Didius*, *Danaus Genutia* และ *Troides Aeacus* ตามลำดับ [29-31] ตัว แปรตัวนี้คาดว่าจะส่งผลต่อมุมตกกระทบของแสง โดยจะส่งผลให้เกิดการการกระจายและแทรกสอดของ แสงจากช่องว่างระหว่างสัน (Ridge) ของเกล็ดปีกผีเสื้อที่เปรียบเสมือนการมีคุณสมบัติของการเป็นเกรด ดิง ยกตัวอย่าง เช่น ในสายพันธุ์ *Morpho Didius* และ *Danaus Genutia* เมื่อเกิดการส่องผ่านของแสง ตกกระทบที่มีความยาวคลื่นแสงที่สอดคล้องกับโครงสร้างรูพรุนซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงกันของโครงสร้าง ของสันในแนวนอนนั้น จะทำให้แสงถูกกักเก็บไว้และมีกระจายภายในโครงสร้างดังกล่าวได้มากขึ้น จึง ส่งผลให้มีเกิดเรดชิฟท์ของการดูดกลืนของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Morpho Didius* และ *Danaus Genutia* นอกจากนี้โครงสร้างแบบ Photonic crystal (S5) ของโครงสร้างปีกสายพันธุ์ *Morpho Didius* ยังมีบทบาทสำคัญต่อการดูดกลืนแสง โดยการดูดกลืนแสงที่มาตกกระทบจากย่านอัลตราไวโอเล็ต ไปจนถึงอินฟราเรดย่านใกล้จะถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อนในการสร้างความร้อนให้กับปีก

ผีเสื้อประเภทนี้ โดยเฉพาะผีเสื้อเพศเมียที่จะต้องเก็บสะสมพลังงานจากแสงอาทิตย์มากกว่าเพศผู้เพื่อเก็บพลังงานไว้ใช้ในการแพร่สายพันธุ์ของมันเอง

เรดซีฟท์เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในส่วนของการดูดกลืนแสงของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Troides Aeacus* คาดว่าน่าจะเกิดมาจากการสะสมของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และนิโคตินเพียงเล็กน้อยที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเส้นของเกล็ดปีก (1.258 ไมโครเมตร) ที่มีค่าความกว้างของช่องว่างระหว่างเส้นขนาดเล็กจนเกินไปเมื่อเทียบกับอีกสองสายพันธุ์

ในบรรดาปีกผีเสื้อ 3 สายพันธุ์ พบว่าปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia* มีค่าช่องว่างระหว่างเส้นของเกล็ดปีกสูงสุดเท่ากับ 1.418 ไมโครเมตร ควบคู่ไปกับค่าการดูดกลืนแสงที่ดีที่สุดเมื่อทำการนำมาหาค่าขีดจำกัดของการตรวจจับอนุภาคซิงค์ออกไซด์และนิโคติน (Limit of detection) ค่าของการดูดกลืนที่วัดได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเป็นเส้นตรงที่มีค่าความชันมากที่สุด และเมื่อนำค่าสโลปที่ได้ของทั้ง 3 สายพันธุ์คือ *Danaus Genutia*, *Troides Aeacus* และ *Morpho Didius* มาใส่ในสมการ

$$\text{Limit of Detection} = \frac{k}{A} \sqrt{\frac{SD^2}{a} + \frac{\text{Readout}^2}{12}}$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่ (k = 3)

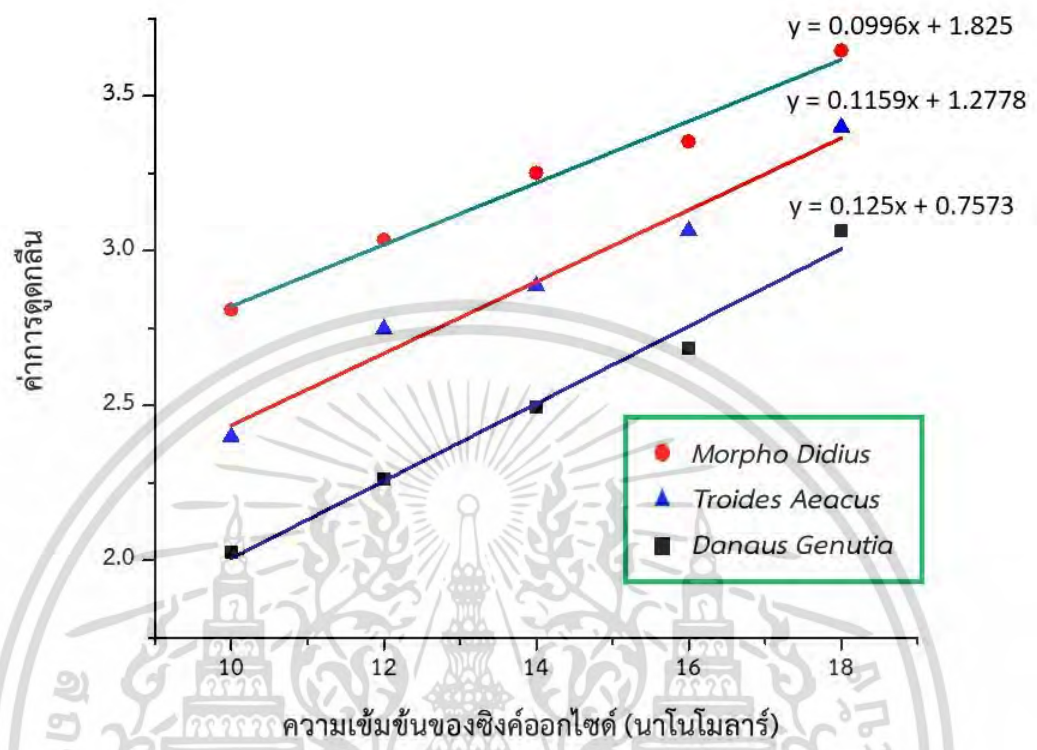
A เป็นค่าความชันของกราฟ (A = 0.125, 0.1159 และ 0.0996)

SD เป็นค่ามาตรฐาน (SD = 0.01)

a เป็นจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง (a = 3)

Readout คือค่าที่อ่านได้จากการวัด (Readout = 0.01)

พบว่าขีดจำกัดของการตรวจจับอนุภาคซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่เคลือบอยู่บนตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia*, *Troides Aeacus* และ *Morpho Didius* มีค่าเท่ากับ 155pM , 167pM และ 194 pM ตามลำดับ ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่าตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia* มีความสามารถในการตรวจจับต่ำที่สุด



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์และนิโคตินของตัวอย่างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus*, *Genutia*, *Troides Aeacus* และ *Morpho Didius*

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการตรวจสอบโครงสร้างปีกผีเสื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดภายหลังการเคลือบโครงสร้างปีกผีเสื้อด้วยซิงค์ออกไซด์และนิโคตินด้วยกระบวนการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง พบว่ามีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนิโคตินอยู่ทั่วทั้งชิ้นงานตัวอย่างของปีกผีเสื้อที่เตรียมไว้ นอกจากนี้ยังพบว่าสีของเกล็ดปีกผีเสื้อที่ผ่านการเคลือบแล้วนั้นมีความสว่างมากกว่าเกล็ดของปีกที่ยังไม่ผ่านการเคลือบเล็กน้อย และจากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงของซิงค์ออกไซด์และนิโคตินบนปีกผีเสื้อทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ *Danaus Genutia*, *Morpho Didius* และ *Troides Aeacus* พบว่าโครงสร้างของเกล็ดปีกผีเสื้อที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนิโคตินนั้นเหมาะสำหรับการนำไปใช้ตรวจหาปริมาณซิงค์ออกไซด์และนิโคตินซึ่งส่วนใหญ่จะมีอยู่ในละอองบุหรี่ยาสูบ โดยการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนิโคตินลงบนโครงสร้างปีกผีเสื้อที่เป็นลักษณะไม่สมมาตรและเป็นรูพรุนจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของโครงสร้างตามระยะระหว่างสันของเกล็ดกับกลาเมลลา ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสง โดยที่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่เคลือบบนปีกผีเสื้อได้มีการตอบสนองต่อแสงมากกว่าปกติเมื่อเทียบกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่เคลือบบนกระจกสไลด์ ในบรรดาปีกผีเสื้อทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนิโคตินที่ถูกเคลือบอยู่บนโครงสร้างปีกผีเสื้อสายพันธุ์ *Danaus Genutia* นั้นมีความโดดเด่นจากการทดลองตรวจสอบการดูดกลืนแสงและได้มีการประมาณค่าที่ต่ำที่สุดที่จะตรวจจับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ได้ที่ 155pM

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้มีการทำการทดลองผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนิโคตินและเคลือบลงบนตัวอย่างปีกผีเสื้อเพื่อจำลองการเกาะติดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งมีการพัฒนาให้ใกล้เคียงกับการนำไปใช้จริง งานวิจัยนี้คาดว่าน่าจะสามารถทดสอบจำลองการดักจับละอองอนุภาคนาโนของโลหะชนิดอื่นๆที่มากับควันบุหรี่ยาสูบได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Garrett, N. L. Sekine, R. Dixon, M. W. A. Tilley, L. Bambery, K. R. and Wood, B. R. 2015. "Bio-sensing with butterfly wings: Naturally occurring nano-structures for SERS-based malaria parasite detection." *Phys. Chem. Chem. Phys.* 17 : 21164.
- [2] Elbaz, A. Lu, J. Gao, B. Zheng, F. Mu, Z. Zhao, Y. and Gu, Z. 2017. "Chitin-based anisotropic nanostructures of butterfly wings for regulating cells orientation." *Polymers.* 9(12) : 386
- [3] Narasimhan, V. Siddique, R. H. Lee, J. O. Kumar, S. Ndjamen, B. Du, J. Hong, N. Sretavan, D. and Choo, H. 2018. "Multifunctional biophotonic nanostructures inspired by the longtail glasswing butterfly for medical devices." *Nature Nanotechnol.* 13 : 512.
- [4] Chen, Z. Fu, F. F. Yu, Y. R. Shang, Y. X. Wang, H. and Zhao, Y. J. 2019. "Cardiomyocytes actuated Morpho butterfly wings." *Adv. Mater.* 31 : 1805431.
- [5] Jiang, T. Peng, Z. Wu, W. Shi, T. and Liao, G. 2014. "Gas sensing using hierarchical micro/nanostructures of Morpho butterfly scales." *Sensor and Actuators A.* 213 : 63.
- [6] Wang, C. S. Chang, T. Y. Lin, T. Y. and Chen, Y. F. 2014. "Biologically inspired flexible quasi-single mode random laser: An intergration of Pieris canidia butterfly wing and semiconductors." *Sci. Reports.* 4 : 6736.
- [7] Aideo, S. N. and Mohanta, D. 2016. "Investigation of manifestation of optical properties of butterfly wings with nanoscale zinc oxide incorporation." *J. Phys.: Conf. Ser.* 765 : 012019.
- [8] Zhang, W. Gu, J. Liu, Q. Su, H. Fan, T. and Zhang, D. 2013. "Butterfly effects: novel functional materials inspired from the wings scales." *Physical Chemistry Chemical Physics.* 1(1) : 1-100.
- [9] Lekagul, B. Askins, K. Nabhitabhata, J. and samruadkit, A. 2520. Field Guide to the Butterflies of Thailand. กรุงเทพฯ : ศุภรสภา.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [10] Potyrailo, R. A. Bonam, R. K. Hartley, J. G. Starkey, T. A. Vukusic, P. 2015. “Towards outperforming conventional sensor arrays with fabricated individual photonic vapour sensors inspired by Morpho butterflies.” London. : *Nature Communications*.
- [11] Paul, S. 1976. The Illustrated Encyclopedia of the Butterfly World in Color. London. Salamander: Encyclopedie des papillons.
- [12] Fruhstorfer, H. and Seitz, A. 1913. “Family: Morphidae Macrolepidoptera of the world.” *Germany Stuttgart Alfred Kernen*. 5 : 333–356.
- [13] Varshney, R. K. and Smetacek, P. 2015. A Synoptic Catalogue of the Butterflies of India. New Delhi.: New Delhi: Butterfly Research Centre. Bhimtal & Indinov Publishing.
- [14] Dechkrong, P. Jiwajinda, S. Dokchan, P. Kongtungmon, M. Chomseang, N. Chairuang Sri, T. Hsiao C. and Shiojiri. M. 2011. “Fine structure of wing scales of butterflies, *Euploea mulciber* and *Troides aeacus*.” *J. Struct. Biol.* 176 : 75-82.
- [15] Tait, M. 2006. “Animal Tragic: Popular Misconceptions of Wildlife Through the Centuries” *Think Books*. 1(1) : 38
- [16] Morris. R.B. 1975. “Iridescence from diffraction structures in the wing scales of *Callophrys rubi* the Green Hairstreak.” *Journal of Entomology (A)* 49 : 149-154.
- [17] Billmeyer. F.W. 1984. Textbook of Polymer Science. John Willey, Singapore, 3rd ed : 384-386.
- [18] ดร.สุเทพ เรืองวิเศษ, ดร.นงลักษณ์ เรืองวิเศษ, น.สพ.ปิยวัฒน์ สายพันธุ์, ภญ.นฤมล โพธิ์ศรีทอง. 2551. “เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่องไดคลอโรมีเทน Dichloromethane” กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- [19] นายณัฐวุฒิ เนียมจันทร์. 2553. “ผลของซิงค์ออกไซด์อนุภาคขนาดนาโนรูปทรงต่างๆ ที่อยู่บนผิวผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าเพื่อสมบัติต้านทานแสงยูวีและต้านทานแบคทีเรีย” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [20] Ashrafi, A. Jagadish. C. 2007. “Review of zincblende ZnO: Stability of metastable ZnO phases.” *Journal of Applied Physics*. 102 : 071101.
- [21] พญ.รรินทร ธัญญานูวัตติ. 2554. “Nicotine Dependence” ภาควิชาจิตเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี
- [22] ศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรสุมน พฤตมิถุนิโย, ดร.วศิน พิพัฒน์ฉัตร, Dr.Stephen Harmann. 2562. “ภัยร้าย ซ่อนเร้น บุหรี่ไฟฟ้า (Hidden Dangers of E-cigarette)” ศูนย์วิจัยและจัดการความรู้เพื่อการควบคุมยาสูบ
- [23] นางสาวแพรว นพกวตฤทธิเดช. 2561. “การศึกษาการจัดเรียงตัวด้วยตนเองของโครงสร้างผลึกคอลลอยด์ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง (spin coating)” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ) สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [24] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โอริส มณีสายและปริญญา ศรีสัตยกุล. 2557. “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเคลือบผิวโมลิตินัมคาร์ไบด์ด้วยกระบวนการสปัตเตอร์ริง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- [25] Joseph, D. 2014. *Electrical Properties of Materials*. [Online]. Available : <https://slideplayer.com/slide/224872/>.
- [26] อัจฉราพร ศรีอ่อน. 2559 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- [27] Qian, C. Guo, X. Zhang, W. Yang, H. Qian, Y. Xu, F. Qian, S. Lin S. and Fan, T. 2019. “Co₃O₄ nanoparticles on porous bio-carbon substrate as catalyst for oxygen reduction reaction.” *Microporous and Mesoporous Materials*. 277 : 45-51.
- [28] Pappas, R. S. Gray, N. Halstead, M. Valentin-Blasini, L. and Watson, C. 2020. “Toxic Metal-Containing Particles in Aerosols from Pod-Type Electronic Cigarettes.” *J. Anal. Toxicol.* 337-347.
- [29] Kochling, P. Niebel, A. Hurka, K. Vorholt, F. and Holscher, H. 2020. “On the multifunctionality of butterfly scales: a scaling law for the ridges of cover scales.” *Faraday Discuss.* 223 : 195–206.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [30] Li, Q. Zeng, Q. Shi, L. Zhang, X. and Zhang, K. Q. 2016. “Bio-inspired sensors based on photonic structures of morpho butterfly wing scales: a review.” *J Mater Chem C*. 4(9) : 1752–1763.
- [31] Zobl, S. Wilts, BD. Salvenmoser, W. Polt, P. Gebeshuber, I. C. and Schwerte, T. 2020 “Orientation-dependent reflection of structurally colored butterflies.” *Biomimetics*. 5(1) : 5.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

คำรับรองวิทยานิพนธ์สำหรับสำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

บศ.วท.04

งานบัณฑิตศึกษาคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองวิทยานิพนธ์สำหรับการสำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 26... เดือน พฤษภาคม... พ.ศ. 2665...

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว... นาย/นาง... รหัสประจำตัว... 60605065... นักศึกษาหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ปรัชญาคุณภูมิบัณฑิต สาขาวิชา... ปี พ.ศ. (ปีจบการศึกษา) 2564

ขอรับรองว่าวิทยานิพนธ์เรื่อง

ชื่อภาษาไทย งานศึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าในเรื่อง... จากคุณ...

ชื่อภาษาอังกฤษ STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF BUTTERFLY WINGS FOR THE DETECTION OF HEAVY METALS FROM F-CIGARETTE

เป็นผลงานวิจัยของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว

โดยมิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนโดยใช้โปรแกรมเรียบร้อยแล้ว

และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักษราวาดูส์ 2.7...% หรือ โปรแกรม Turnitin...%

อ้างอิงมติคณะกรรมการสภาวิชาการ ครั้งที่ 6/2560 เมื่อวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2560

เรื่อง "ขอความเห็นชอบการใช้ระบบในการตรวจสอบการคัดลอกผลงาน" ทั้งนี้

ในการตรวจสอบการคัดลอกผลงานวิชาการที่มีเนื้อหาคล้ายกัน ต้องไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ ของผลงาน

และต้องยื่นรับการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษา

ลงชื่อ.....

(นายธนชัย แจงเจริญ)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ศ. / รศ. / ผศ. / ดร. ... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ได้ตรวจสอบวิทยานิพนธ์ของ

นาย/นาง/นางสาว... แล้ว

ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ เห็นควรเข้ารับการศึกษาเพื่อขอจบการศึกษาได้

ลงชื่อ.....

(รศ.ดร.ภุชกร โล้เจริญรัตน์)



อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plagiarism Checking Report

Created on May 26, 2022 at 9:21 AM

Submission Information

| ID | SUBMISSION DATE | SUBMITTED BY | ORGANIZATION | FILENAME | STATUS | SIMILARITY INDEX |
|---------|--------------------------|----------------------|--|--|---|---|
| 2585114 | May 26, 2022 at 11:21 AM | 60605065@kmitl.ac.th | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | การศึกษาสมบัติทางแสงของพิกัดสีเพื่อใช้ในการตรวจรับโลหะหนักจากบุหรี่ไฟฟ้า.pdf |  |  |

Match Overview

| NO. | TITLE | AUTHOR(S) | SOURCE |
|-----|---|---------------------|-------------|
| 1 | E-cigarettes as Environmental, Safety, Laws and Economic Dimensions In Thailand | Kasemsap, Charuvan | วารสาร |
| 2 | Nurse's role in enhancing adolescents' perceptions of the dangers of electronic cigarettes. | Jornburom, Yodrawin | วารสาร |
| 3 | การวิเคราะห์และการสังเคราะห์โลหะหนักชนิดบางชนิดที่ออกฤทธิ์ 200-400 องศาเซลเซียส | สรองคณา วรรณภพ | มหาวิทยาลัย |
| 4 | http://occ.sci.dusit.ac.th/oldweb/assets/file/95c93925fdae576ae5ec077236f530441461565253.pdf | occ.sci.dusit.ac.th | occ.sci. |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Match Details

TEXT FROM SUBMITTED DOCUMENT

สารบัญหน้าบทคัดย่อภาษาไทยบทคัดย่อภาษาอังกฤษชกติดักรมประกาศค
สารบัญสารบัญตารางสารบัญชบทที่ 1 บทนำ 1 11 ความเป็นมาและความ
สำคัญของงานวิจัย 1 12 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2 13 ขอบเขตของงานวิจัย
2 14 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ 2 15 ประโยชน์ที่ได้รับ 2 บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5 21 โครงสร้างพิกัดสี 5 22 Polymethyl Methacrylate
12 23 Dichloromethane 13 24 Zine Oxide 13 25 Nicotine 15 26 นูหรี่
ไฟฟ้า 16 261 ส่วนประกอบของนูหรี่ไฟฟ้า

รวมถึงนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการสร้างไอหรือหมอกสำหรับการแสดง
ต่างๆแต่เมื่อสัมผัสหรือสูดดมเข้าไปอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองที่ดวงตาและ
ปอดได้โดยเฉพาะในผู้ที่เป็โรคนโรคเรื้อรังโรคหอบหืดและโรคถุงลมโป่งพอง 3
กลีเซอริน Glycerine เป็นสารที่ไม่มีสีและไม่มีกลิ่นแต่มีรสขาคหวานเล็กน้อยอ
ศักรอาหารและยา FDA ยืนยันถึงความปลอดภัยว่าใช้ได้ทั้งในอาหารและยาแต่
ยังไม่ได้รับการ

17 ยืนยันว่าเมื่อเปลี่ยนรูปแบบเป็นไอที่สูบหรือสูดแล้วเกิดผลกระทบอย่างไร
ต่อร่างกายเช่นเดียวกับโพโรโพลีนไกลคอล 4 สารแต่งกลิ่นและรส Flavoring
เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทั่วไปไม่มีความปลอดภัยเมื่อรับประทานเข้าไป
สูบร่างกายแต่ยังไม่ได้รับการยืนยันว่าเมื่อเปลี่ยนรูปแบบเป็นไอที่สูบหรือสูดแล้ว
เกิดผลกระทบอย่างไรต่อร่างกายตัวอย่างเช่นสาร ไดอะซีทิล Diacetyl ที่พบ
มากในเนยสำหรับทำป้อนอาจเป็นสาเหตุของปัญหาเรขบ

TEXT FROM SOURCE DOCUMENT(S)

แผ่นดินดำเนินการวิจัยงบประมาณ 255 หน่วยวิจัยผู้ดำเนินการวิจัยที่ปรึกษาถ้ามี
หน่วยงานระบุนหน่วยงานที่ทาววิจัยหลักสูตรคณะศูนย์มหาวิทยาลัยสวนดุสิตมีพศ
มีปฏิทินที่ทำงานวิจัยเสร็จการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ประชากรและกลุ่ม
ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยสถิติที่ใช้ในงานวิจัยผลการวิจัยมีดังนี้
หมายเหตุในส่วนของหน่วยงานให้เรียงลำดับตามลำดับชื่อผู้ดำเนินการวิจัย
Research Title TH SarabunPSK 16pt Researcher TH SarabunPSK
16pt Research Consultants TH SarabunPSK 16pt Organization TH
SarabunPSK 16pt Suan Dusit Rajabhat University Year 201 Text of
Abstract TH SarabunPSK 16pt Tab 127 cm หมายเหตุเนื้อหาในส่วนของ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษต้องสอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาไทยกติดักรมประกาศ
ข้อความ TH SarabunPSK 16pt Tab 127 cm ชื่อผู้ทำงานวิจัยมีปฏิทินที่ทา
งานวิจัยเสร็จหากมีผู้ทำงานวิจัยมากกว่า 1 คนให้ใช้คำว่าคณะผู้วิจัยสารบัญหน้า
บทคัดย่อภาษาไทยบทคัดย่อภาษาอังกฤษชกติดักรมประกาศคสารบัญ
สารบัญตารางสารบัญภาพชบทที่ 1 บทนำ 1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัยขอบเขตการวิจัยชจากัดถ้ามีสมมติฐานการวิจัยถ้ามี
ควากัดความที่ใช้ในงานวิจัยประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับบทที่ 2 แนวคิดทฤษฎี
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกรอบแนวคิดในการวิจัยหน้าบทที่ 3 วิธาดเนิน
การวิจัยประชากรและการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเครื่องมือ

ของนูหรี่ไฟฟ้าส่วนผสมที่พบมากในน้ายูหรี่ไฟฟ้าได้แก่ 1 นิโคตินเป็นสาร
สกัดจากใบยาสูบจะทำให้ร่างกายเสพติดการใช้นูหรี่และจะเข้าไปกระตุ้นระบบ
ประสาทส่วนกลางเพิ่มความดันโลหิตเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจทำให้เกิดโรค
มะเร็งปอดและโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจได้ 2 โพโรโพลีนไกลคอลเป็นสาร
สังเคราะห์ชนิดหนึ่งเพื่อต้องการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา US Food and
Drug Administration FDA ยืนยันถึงความปลอดภัยว่าใช้ได้ทั้งในอาหารยา
และเครื่องสำอางรวมถึงนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการสร้างไอหรือหมอกสา
หรับเวทีการแสดงต่างๆแต่เมื่อสัมผัสหรือสูดดมเข้าไปอาจก่อให้เกิดการระคาย
เคืองที่ดวงตาและปอดได้โดยเฉพาะในผู้ที่เป็โรคนโรคเรื้อรังโรคหอบหืดและ
โรคถุงลมโป่งพอง 3 กลีเซอรินเป็นสารที่ไม่มีสีและไม่มีกลิ่นแต่มีรสขาคหวาน
เล็กน้อยอศักรอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกายืนยันถึงความปลอดภัยว่า
ใช้ได้ทั้งในอาหารและยาแต่ยังไม่ได้รับการยืนยันว่าเมื่อเปลี่ยนรูปแบบ
เป็นไอที่สูบหรือสูดแล้วจะเกิดผลกระทบอย่างไรต่อร่างกาย 4 สารแต่งกลิ่นและ
รส Flavoring เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทั่วไปไม่มีความปลอดภัยเมื่อ
รับประทานเข้าไปสูบร่างกายแต่ยังไม่ได้รับการยืนยันว่าเมื่อเปลี่ยนรูปแบบ
เป็นไอที่สูบหรือสูดแล้วจะเกิดผลกระทบอย่างไรต่อร่างกายตัวอย่างเช่นสารได
อะซีทิล Diacetyl ที่พบมากในเนยสำหรับทำป้อนอาจเป็นสาเหตุของ
ปัญหาเรขบทางเดินหายใจและปอดทั้งนี้ผู้สูบนูหรี่ไฟฟ้านิยมใช้

ทั้งในอาหารยาและเครื่องสำอางรวมถึงนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการสร้างไอ
หรือหมอกสำหรับเวทีการแสดงต่างๆแต่เมื่อสัมผัสหรือสูดดมเข้าไปอาจก่อให้เกิดการ
ระคายเคืองที่ดวงตาและปอดได้โดยเฉพาะในผู้ที่เป็โรคนโรคเรื้อรังโรค
หอบหืดและโรคถุงลมโป่งพอง 3 กลีเซอรินเป็นสารที่ไม่มีสีและไม่มีกลิ่นแต่มี
รสขาคหวานเล็กน้อยอศักรอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกายืนยันถึงความ
ปลอดภัยว่าใช้ได้ทั้งในอาหารและยาแต่ยังไม่ได้รับการยืนยันว่าเมื่อ
เปลี่ยนรูปแบบเป็นไอที่สูบหรือสูดแล้วจะเกิดผลกระทบอย่างไรต่อร่างกาย 4
สารแต่งกลิ่นและรส Flavoring เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทั่วไปไม่
มีความปลอดภัยเมื่อรับประทานเข้าไปสูบร่างกายแต่ยังไม่ได้รับการยืนยันว่า
เมื่อเปลี่ยนรูปแบบเป็นไอที่สูบหรือสูดแล้วจะเกิดผลกระทบอย่างไรต่อร่างกาย
ตัวอย่างเช่นสาร ไดอะซีทิล Diacetyl ที่พบมากในเนยสำหรับทำป้อนอาจ
เป็นสาเหตุของปัญหาเรขบทางเดินหายใจและปอดทั้งนี้ผู้สูบนูหรี่ไฟฟ้านิยมใช้
กลิ่นประเภทไม่มีนิโคติน Nicotinefree ร้อยละ 16 ยาสูบร้อยละ 28 ผลไม้
Fruit ร้อยละ 20 และพืชสมุนไพร botanical ร้อยละ 23 Ernst and Young
LLP 2016 โดยสารแต่งรสชาติผลไม้ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดได้แก่รสวานิลลา
และรสสตรอเบอร์รี่ Wang L et al 2015 มีดีทาสสิ่งแวดลอมและความปลอดภัย
ในปัจจุบันมีเอกสารทางวิชาการจำนวนมากที่รายงานถึงประสิทธิภาพของ
นูหรี่ไฟฟ้าในการช่วยเลิกการสูบนูหรี่ธรรมดา Drummond M B and Upson
D 2014 นอกจากหน่วยงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาซึ่งรายงานานูหรี่
ไฟฟ้าสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEXT FROM SUBMITTED DOCUMENT

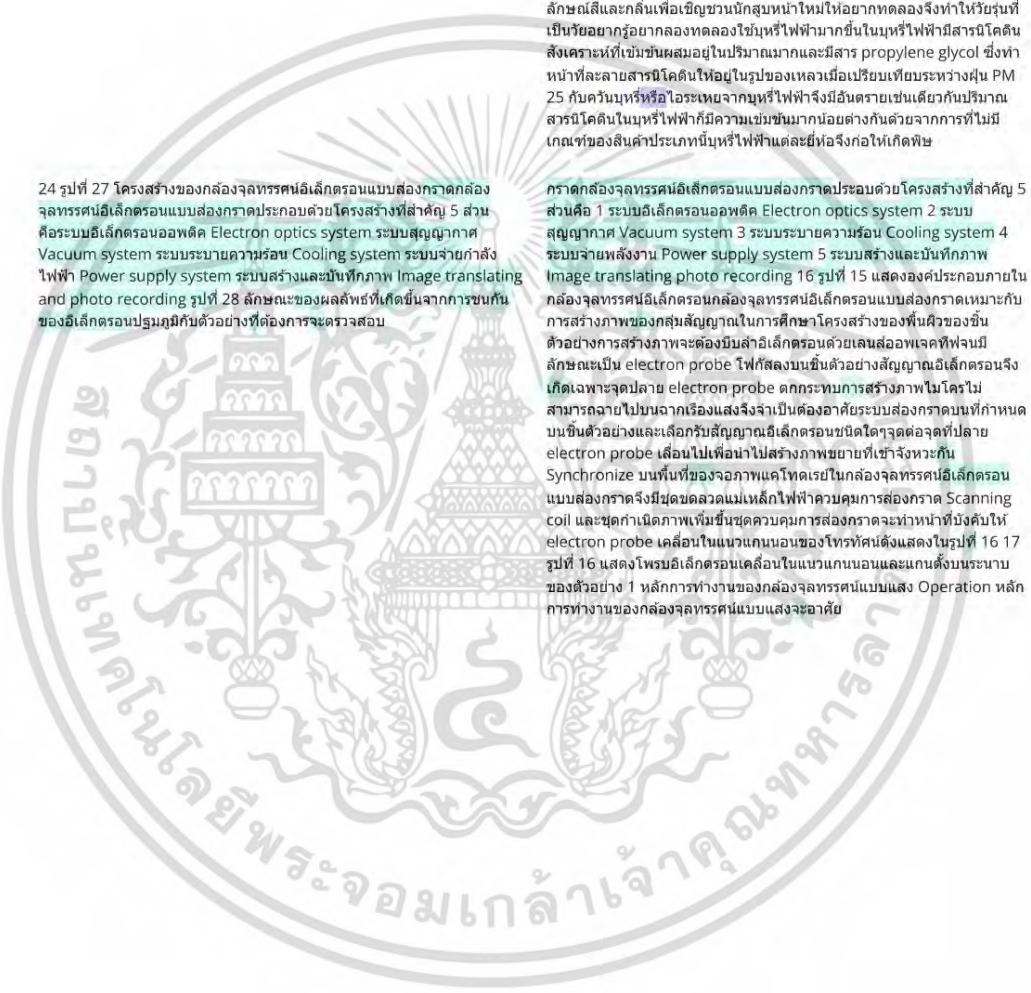
TEXT FROM SOURCE DOCUMENT(S)

มีลักษณะคล้ายบุหรี่ปกติทั่วไปเช่นกันแต่มีขนาดใหญ่กว่าหรือมีรูปทรงที่แตกต่างกันออกไปและมีตัวถังที่สามารถถอดออกและเติม E Liquid หรือ Ejuice ที่มีระดับนิโคตินหรือรสและกลิ่นต่างๆได้ด้วยตนเอง 3 บุหรี่ไฟฟ้ารูปแบบที่ 3 หรือที่รู้จักกันในชื่อ Mods มีลักษณะคล้ายบุหรี่ไฟฟ้าแบบ eGos แต่มีขนาดใหญ่กว่าและสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าขนาดของตัวทำให้เกิดไอและความร้อนรวมถึงขนาดและปริมาณของ ELiquid หรือ

ในหลอดให้เกิดไอระเหยให้สูบบนใต้อุณหภูมิที่ต่ำสุดจะมีจุ่มมีบุหรี่ไฟฟ้า 3 รูปแบบสถาบันบัณฑิตบริหารธุรกิจศศินทร์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2557 ได้แบ่งรูปแบบที่ 1 Cigalike มีรูปลักษณะภายนอกรูปทรงและขนาดที่คล้ายกับบุหรี่ปกติทั่วไปแต่มีตัวทำให้เกิดไอและความร้อนเพิ่มเข้ามาในรูปแบบที่ 2 eGos มีลักษณะคล้ายบุหรี่ปกติทั่วไปแต่มีขนาดใหญ่กว่าหรือมีรูปทรงที่แตกต่างกันออกไปและมีตัวถังที่สามารถถอดออกและเติม ELiquid Ejuice ที่มีระดับนิโคตินรสและกลิ่นต่างๆได้ด้วยตนเองและรูปแบบที่ 3 Mods มีลักษณะคล้ายบุหรี่ไฟฟ้าแบบ eGos แต่มีขนาดใหญ่กว่าและสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าขนาดของตัวทำให้เกิดไอและความร้อนรวมถึงขนาดและปริมาณของ ELiquid Ejuice ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ทั้งนี้ผู้กล่าวอ้างว่าการสูบบุหรี่ไฟฟ้าปลอดภัยกว่าบุหรี่วนเพราะไม่มีการเผาไหม้ยาสูบรวมถึงกลไกการลดการดูดซึมในกรอกแบบรูปลักษณะลิ้นและกลิ่นเพื่อเชิญชวนนักสูบบุหรี่ใหม่ให้อยากทดลองจึงทำให้วัยรุ่นที่เป็นวัยอายุกลุ่มทดลองใช้บุหรี่ไฟฟ้ามากขึ้นในบุหรี่ไฟฟ้ามีสารนิโคตินสังเคราะห์ที่เข้มข้นผสมอยู่ในปริมาณมากและมีสาร propylene glycol ซึ่งทำหน้าที่ละลายสารนิโคตินให้อยู่ในรูปของเหลวเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างรุ่น PM 25 กับครันบุหรี่หรือไอระเหยจากบุหรี่ไฟฟ้าจึงมีอันตรายเช่นเดียวกับปริมาณสารนิโคตินในบุหรี่ไฟฟ้าก็มีความเข้มข้นมากกว่ากันด้วยจากการที่ไม่มีเกณฑ์ของสินค้าประเภทนี้บุหรี่ไฟฟ้าแต่ละยี่ห้อจึงก่อให้เกิดพิษ

24 รูปที่ 27 โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 5 ส่วน คือระบบอิเล็กตรอนออปติคัล Electron optics system ระบบสุญญากาศ Vacuum system ระบบระบายความร้อน Cooling system ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า Power supply system ระบบสร้างและบันทึกภาพ Image translating and photo recording รูปที่ 28 ลักษณะของผลลัพท์ที่เกิดขึ้นจากการชนกันของอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบ

ภาคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 5 ส่วนคือ 1 ระบบอิเล็กตรอนออปติคัล Electron optics system 2 ระบบสุญญากาศ Vacuum system 3 ระบบระบายความร้อน Cooling system 4 ระบบจ่ายพลังงาน Power supply system 5 ระบบสร้างและบันทึกภาพ Image translating photo recording 16 รูปที่ 15 แสดงองค์ประกอบภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเหมาะกับการสร้างภาพของกลุ่โมเลกุลในการศึกษาโครงสร้างของพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างการสร้างภาพจะต้องมีลำอิเล็กตรอนด้วยเลนส์ล่อแฉกที่วางมีลักษณะเป็น electron probe ไฟฟ้าสองบนชิ้นตัวอย่างสัญญาณอิเล็กตรอนจึงเกิดเฉพาะจุดปลาย electron probe ดกกระหนการสร้างภาพไมโครโมสามารถฉายไปบนฉากเรืองแสงจึงจำเป็นต้องอาศัยระบบส่องกราดบนที่กำหนดบนชิ้นตัวอย่างและเลือกรับสัญญาณอิเล็กตรอนชนิดใดๆจุดต่อจุดที่ปลาย electron probe เลื่อนไปเพื่อนำไปสร้างภาพขยายที่เข้าจังหวะกับ Synchronize บนพื้นผิวของจอภาพแคโทดเรย์ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงมีชุดควบคุมแม่เหล็กไฟฟ้าควบคุมการส่องกราด Scanning coil และชุดกำเนิดภาพเพิ่มขึ้นชุดควบคุมการส่องกราดจะทำหน้าที่บังคับให้ electron probe เคลื่อนไปในแนวแกนของโทรทัศน์ดังแสดงในรูปที่ 16 17 รูปที่ 16 แสดงโพรมิอิเล็กตรอนเคลื่อนในแนวแกนและแกนตั้งบนระนาบของตัวอย่าง 1 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบแสง Operation หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงจะอาศัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คำรับรองผลงานวิชาการสำหรับสำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

บศ.วท.04

งานบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองผลงานวิชาการสำหรับสำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว..... (นามจริง)..... รหัสประจำตัว..... ๕๐๕๐๕๐๖๕.....

นักศึกษาหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ปรัชญาคณะศึกษาศาสตร์

สาขาวิชา..... ศึกษาศาสตร์.....

ได้ รับการตอบรับให้ตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสาร () ระดับชาติ () ระดับนานาชาติ
พร้อมแนบจดหมายตอบรับที่เป็นทางการ (Official Accepted Letter)

ตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสาร () ระดับชาติ () ระดับนานาชาติ

นำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ () ระดับชาติ () ระดับนานาชาติ

() Poster presentation () Oral presentation

ชื่อบทความวิจัย..... Effective detection of ZnO in nicotine using butterfly wing scale.....

ชื่อวารสาร..... Agricultural Cells, Nanomaterials and Biotechnology..... เล่มที่ (Volume) ๕๐..... ฉบับที่

(No.)..... เดือน (Month)..... ปี (Year) ๒๕๖๕..... หน้า (Page) ๘๗-๙๕.....

ค่า Impact Factor = ๖.๘๗..... ปรากฏในฐานข้อมูล () ISI () SCOPUS () SJR () อื่น ๆ.....

ชื่อบทความวิจัย.....

ชื่อการประชุมวิชาการ.....

ครั้งที่..... วันที่..... สถานที่.....

ซึ่งวารสาร/การประชุมวิชาการดังกล่าวผ่านความเห็นชอบจากสภาวิชาการและเป็นไปตามมาตรฐานของ สกอ.

จึงขอใช้ผลงานนี้เพื่อขอสำเร็จการศึกษาในระดับ ป.โท () ป.เอก (Short Paper) () ป.เอก (Full Paper)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ/การประชุมวิชาการนี้ข้าพเจ้าเป็นผู้ดำเนินงานวิจัยหลัก

เป็นผลงานวิจัยที่ไม่อยู่ใน Beall's List และเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ในขณะที่ข้าพเจ้ามีสภาพเป็นนักศึกษาของสถาบันฯ

โดยมิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น (Plagiarism) รวมทั้งคัดลอกผลงานวิจัยของตนเอง (Self-Plagiarism)

ลงชื่อ.....

(นายชนชัย แจงเจริญ)

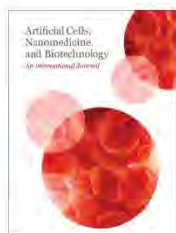
ผู้ขอสอบวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(รศ.ดร.กฤษกร โล่เจริญรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology
An International Journal



ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/ianb20>

Effective detection of ZnO in nicotine using butterfly wing scales

Thanachai Changcharoen, Thidsanu Apiphatnaphakul, Wasupon Watjanavarreerat & Kitsakorn Locharoenrat

To cite this article: Thanachai Changcharoen, Thidsanu Apiphatnaphakul, Wasupon Watjanavarreerat & Kitsakorn Locharoenrat (2022) Effective detection of ZnO in nicotine using butterfly wing scales, *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 50:1, 87-95, DOI: 10.1080/21691401.2022.2056609

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/21691401.2022.2056609>

© 2022 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

Published online: 01 Apr 2022.

Submit your article to this journal


View related articles

View Crossmark data

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ianb20>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effective detection of ZnO in nicotine using butterfly wing scales

Thanachai Changcharoen, Thidsanu Apiphatnaphakul, Wasupon Watjanavarreerat and Kitsakorn Locharoenrat 

Biomedical Physics Research Unit, Department of Physics, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

ABSTRACT

This study aimed to elucidate the optical functions of naturally butterfly wing scales *via* precise control of morphology as an effective photonic sensor and confirm the content of metal oxide nanoparticles in surrounding nicotine. Metal oxide nanoparticles mixed with nicotine were deposited on the wing scales through the spin-coating method and hence investigated using optical microscopy and spectroscopy. Experimental results demonstrated that absorption intensities of ZnO and TiO₂ mixed with nicotine on *Danaus genutia* were remarkably enhanced. Due to the relatively high concentration of zinc found in e-cigarette aerosol, the intensity of ZnO/nicotine modelled as aerosol adsorption on *Danaus genutia*, further held a certain linear relationship with the concentration of ZnO. The limit of detection of ZnO was as low as 1 nM. The working mechanism of our sensor was explained through the molecular adsorption after H-bond formation of ZnO/nicotine molecules as high-index materials on the wing scales of *Danaus genutia* without aggregation. This photonic sensor is an alternative to the present-day methods for the rapid test of ZnO content, which is very simple without complicated instrumentation. Furthermore, our method might become a starting point for the advancement of portable instruments for onsite ZnO detection.

ARTICLE HISTORY

Received 20 December 2021
Accepted 15 March 2022

KEYWORDS

Absorption; butterfly; nanoparticles; nicotine; zinc oxide

Introduction

Motivations

Lung cancer is the second most common cancer, and the statistics in the US for 2022 include about 236,740 new cases and 131,180 deaths [1]. A person who is struggling with nicotine addiction shows a synergistic effect on the pathogenesis of lung cancer. The contribution of metallic coils and a trace level of nicotine in e-cigarette aerosol are thought to deliver metal-oxide/nicotine *via* to the lung without burning tobacco. Ultraviolet radiation produced by metal nanoparticles strongly excites nicotine and damages DNA (genes) in cells. Despite the available treatment strategies (surgery, radiotherapy, and chemotherapy) that have been developed to detect these trace elements at an initial sign of malignancy, an optical detection scheme is considered as one of the potential solutions to investigate the target analyte, so as to lower the cancer mortality rate. Therefore, the development of highly sensitive tumour screening tests would motivate further studies of metal sensing performances in e-cigarette aerosol.



Literature reviews

Butterfly wing-aided markers have drawn tremendous attention for sensor applications as the intensity of colourisation

from butterfly wing architectures could be modified *via* the surrounding medium. For example, *Morpho* and *Polyommata* butterflies showed anisotropic optical responses to thermal expansion [2]. *Papillon junonia* butterfly was used to detect gasoline contamination [3]. These studies led to the development of a new generation of bio-template methods. Recently, the optical response in the UV-visible wavelength regime due to the anisotropic characteristics of inorganic materials on the butterfly wing scales mostly offers unique information about vapour and liquid identification (Table 1) [4–9]. However, a promising optical enhancement yielded by photonic crystal microstructures composed of pristine butterfly wing scales has been a little exploited with a proof-of-concept experiment of the solid-detection scheme by monitoring the other key parameters, such as aspect ratio and Fabry-Pérot cavity.

Hypothesis

Colour patterns of the butterfly wing scales originate either from chemical pigments or scale textures [10]. Pigmentary colour is a result of the presence of pigments in the structures that interact with the incident light. Typical scale structures include so-called main ridges, ribs, struts, etc. and they work together to effectively interfere, scatter, and diffract the incident light [11]. The intensity of colourisation is not only

CONTACT Kitsakorn Locharoenrat  kitsakorn.lo@kmitl.ac.th  Biomedical Physics Research Unit, Department of Physics, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

© 2022 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Recent literature related to design and representative applications of inorganic materials on the butterfly wing scales.

| Materials | Fabrication methods | LOD of target analytes | References |
|---|----------------------------|-----------------------------|------------|
| Ag-Au on <i>Euploea mulciber</i> | Wet chemical | Rhodamine 6 G = 1 nM | [4] |
| Pd on <i>Morpho sulkowskyi</i> | Physical vapour deposition | Hydrogen = 5 mM | [5] |
| Ag on <i>Haetera piera</i> | Magnetron sputtering | Crystal violet = 10 μ M | [6] |
| SiO ₂ on <i>Morpho didius</i> | Plasma | Thrombin = 0.2 pM | [7] |
| TiO ₂ on <i>Priniceps paris</i> | Sintering | Acetone = 0.1 mM | [8] |
| Ag on <i>Sasakia charonda</i> | Wet chemical | Rhodamine 6 G = 10 μ M | [9] |

LOD: Limit of detection.

dependent on the ridge height, periodicity, and ridge gap of the scales, but also on the refractive index, angle, and wavelength of action of the incident light on the scales.

The aforementioned quasi-periodic microstructures that build a photonic crystal of butterfly wing scales represent the dominant way of structure-enhanced optical properties; however, their structures tend to show chordwise and spanwise deformations [12]. Such details are likely to be important in optical sensing. Using butterfly wing scales as a new platform for inorganic materials of interest via physical adsorption might overcome these drawbacks. In this respect, microstructures consisting of biological architectures might provide quantitative spectral results for the target analyte. The optical resonance behaviour of photonic crystal gratings is highly sensitive to localised changes in binding interactions on their surfaces, resulting in a shift of the resonance peak wavelength, which is proportional to the concentration of the target analyte. This makes them suitable for sensing platforms for multiple applications of chemical/environmental/bio-sensing. In addition, they generate ecologically friendly optical sensing devices. The organic constituents in the butterfly wing scales can be removed by annealing them to 500–800 °C for 3–6 h in an atmospheric environment so that the organic wing scales are burned out in the presence of oxygen.

Contributions

This study aimed to expand the practical application of the proposed photonic microstructures using butterfly wing scales that act as optical enhancers for the detection of small signalling metal-oxide/nicotine originating from e-cigarette aerosol, thereby lowering the limit of detection of the sensing device. We showed that the absorbance and diffraction pattern at a far-field depended on the pigmentation and periodic ridge-to-lamella structures of the wing scales. Alternation of the surrounding medium on the wing scales as a refractive index sensing was carried out to produce a visual response with refractive index variation, offering a new direction for the design and fabrication of high-performance sensors in the future. In this regard, the selectivity and sensitivity of the target analyte were determined using a different type of metal oxide nanoparticles mixed with nicotine in liquid form, as an important factor for the development and

severity of human lung cancer. They were selected for model monitoring, so that prompt cancer treatment is curable. The sensing performance of butterfly photonic structures was explained. The dose-response curve for the target sensing event was also discussed.

Materials and methods

Materials

Zinc oxide (ZnO, $\phi = 50 \pm 5$ nm), copper oxide (CuO, $\phi = 50 \pm 5$ nm), and titanium dioxide nanopowders (TiO₂, $\phi = 100 \pm 5$ nm), ethanol, and polymethyl methacrylate (PMMA) were purchased from Sigma-Aldrich, USA. Dimethyl sulfoxide (DMSO) was purchased from Merck, USA. Butterfly samples were obtained from the Insect Zoo and Museum (Table 2). The butterfly wing scales showed the brown-to-black or white backgrounds with isolated bright coloured patterns. Monochromatic light sources, namely green laser diode (520 nm, 0.9 mW, $\phi 11$ mm, model: PL203) and red laser diode (635 nm, 0.9 mW, $\phi 11$ mm, model: PL204) were purchased from Thorlabs GmbH, Germany.

Butterfly wing preparation

Cutting and positioning the butterfly samples were important when exploring the inner structure of the butterfly wing scales, which were prepared as follows: (1) The butterfly wing scales were placed on the sample holder using a rotational stage of the optical microscope to achieve a good image. (2) The hydrophobic wing surface was carefully cut perpendicular to the ridges in a dry air environment, using a razor blade to obtain a small section of 10×10 mm²; (3) The sliced wing scales were immersed in ethanol for 1 h to remove impurities adhering to the wing surface; (4) the sliced wing scales were picked up by a glass slide, followed by rinsing with deionised water twice, prior to drying in the air for 1 h.

Dose-dependent toxic effect of metals in nicotine

Zinc oxide stock solution was diluted with deionised water to achieve final concentrations of 10, 12, 14, 16, and 18 nM (Table 2). In order to test the selectivity of metal-oxide/nicotine adsorption on the butterfly wing scales, different types of metal

Table 2. Detailed preparation of the butterfly wing scales exposed by metal-oxide/nicotine deposition.

| Sample# | Butterfly wing scales | ZnO [nM] | Nicotine, NT [%] |
|------------------------|-----------------------|-------------------|------------------|
| A0, A1, A2, A3, A4, A5 | <i>Troides aeacus</i> | 0, 10,12,14,16,18 | 1.60 |
| B0, B1, B2, B3, B4, B5 | <i>Danaus genutia</i> | 0, 10,12,14,16,18 | 1.60 |
| C0, C1, C2, C3, C4, C5 | <i>Morpho didius</i> | 0, 10,12,14,16,18 | 1.60 |

oxide nanoparticles including CuO and TiO₂ were used in comparison to ZnO. Concentrations of each metal oxide nanoparticles were kept at the level of 16 nM. They were then dispersed in an ethanolic nicotine dosage of 1.60% (16 mg), similar to the nicotine dosage in a traditional cigarette. PMMA powder (200 mg) was dissolved in DMSO (1 ml). Then, 1 ml of the clear solution was blended with metal-oxide/nicotine. After that, the pre-treated butterfly wing scales were spread with aliquots of metal-oxide/nicotine as an aerosol medium of about 50 µL into the PMMA matrix, using the spin coating method (3500 rpm, 60 s). The refractive index of 80–200 nm PMMA at 450 nm was 1.50, which was comparable to the butterfly wing scales ($n=1.56$) [10]. The samples were then dried in air at room temperature for 1 h to ensure the adsorption-desorption equilibrium of metal-oxide/nicotine on the sample. As the solid and liquid molecules were immobilised all over the sample, discolouration of the wing scales was observed immediately. Because the uniformity in sample position might reduce the sensing performance, microscopic imaging before sense was required to identify the best wing scales with good uniformity. The control samples were native metal oxide, metal-oxide/nicotine, and pristine wing scales exposed on a glass slide for comparison. Digital images of the specimens as parts of the butterfly wing scales before and after treatment with metal-oxide/nicotine were recorded. After that, the butterfly wing scales exposed to metal-oxide/nicotine deposition were verified through scanning electron microscopy (SEM) and Fourier-transform infra-red spectroscopy (FTIR). Absorbance was detected by UV-Visible spectroscopy.

Microscopic measurements

The surface morphology of metal-oxide/nicotine deposition on the butterfly wing scales was imaged using SEM at a normal angle (JOEL JSM-IT500HR, Japan). The accelerating voltage used in SEM for biological tissues (2–12 kV) was much lower than that for metallic and solid samples (30–60 kV) because a large voltage caused a contraction of the wing structures and deformation. It was preferable to use a low voltage of 10 kV with a working distance of 21.4 mm and a small spot, although higher voltages gave a better resolution. The SEM images (250,000× magnification) were captured to reveal the self-assembly of typical chitin-microstructure arrays, making up the wing patterns.

Optical measurements

For absorbance measurements (Figure 1), a white light beam emitted from a broadband tungsten light source (200–1100 nm), passing through the fibre optic, and then focussed at a normal angle to the area of interest. The light was collected and guided to a fibre-optic spectrometer

(Avantes, Netherlands). The absorbance of the prepared samples under a normal incident light was measured. The spectrum of PMMA on the glass slide was recorded to eliminate the background signal. The spectra of native metal oxide and metal-oxide/nicotine on a glass slide were used as a control signal. The spectra of butterfly wing scales exposed to metal-oxide/nicotine deposition were used as a sampled signal. As C-, H-, and O-based organic skeleton structures of the butterfly wing scales, acquisition times were kept as short as possible to reduce heating, which might cause sample damage. The integration time for a single spectrum was 300 ms, with spectra averaged over 10 acquisitions. All-optical experiments were carried out in the dark at room temperature (25 °C) to avoid stray light from the surrounding environment. We determined the absorbance versus the molar concentration of metal oxide on the butterfly wing scales. From the slope of the linear plot (a), we obtained the limit of detection (LOD) of metal oxide from the following equation [13]

$$LOD = \frac{k}{a} \sqrt{\frac{SD^2}{n} + \frac{R^2}{12}} \quad (1)$$

where k is uncertainty constant ($k=3$), SD is the standard deviation of the blank ($SD = 0.01$), n is the number of experimental runs, and R is instrumentation readout ($R = 0.01$) [13].

The optical diffraction of metal-oxide/nicotine on the butterfly wing scales was experimentally examined with monochromatic (green and red) light under normal illumination. Far-field diffracted light was observed on an image-screen setup using white A4 paper. Diffraction patterns were captured using a digital camera. The diffraction intensity was measured using an optical power metre (Thorlabs Elliptec GmbH, PM100D, Germany).

Statistical analysis

All measurements exhibited in tables and figures as mean \pm standard deviation were obtained from triplicate experiments. Data were analysed using the graphical and statistical modelling package "Origin5.0," differences were tested by ANOVA (analysis of variance), and significance was disclosed at $p < .005$.

Results

Sample images

Optical microscopic images of the three different types of butterfly wing scales before and after metal-oxide/nicotine deposition are shown in Figure 2. *Troides aeacus* (Sample# A5) shows vivid yellow-to-green wing scales with round edge shapes. *Danaus genutia* (Sample# B5) shows vivid orange wing scales with toothed edge shapes. *Morpho didius* (Sample# C5) shows vivid blue wing scales with round edge shapes. The magnified SEM images of all butterfly wing scales appear to be identical. The wing scales construct an array of longitudinal and parallel rows of ridges, which constitute a grating component. They are tilted at an angle kept at a distance from each other, connected by a series of transversal cross-ribs protruding from the sides of the ridges. The cross-ribs are interconnected to each other. Microribs

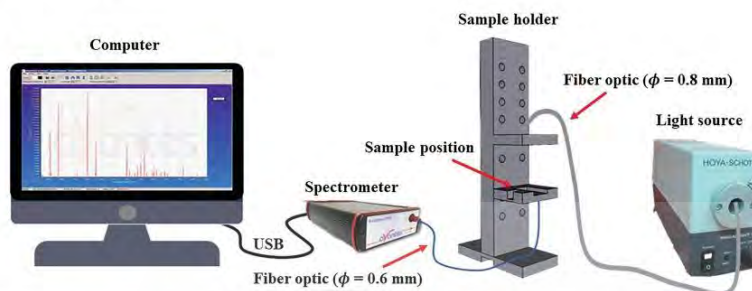


Figure 1. Absorbance measurement setup of the butterfly wing scales exposed to metal-oxide/nicotine deposition.

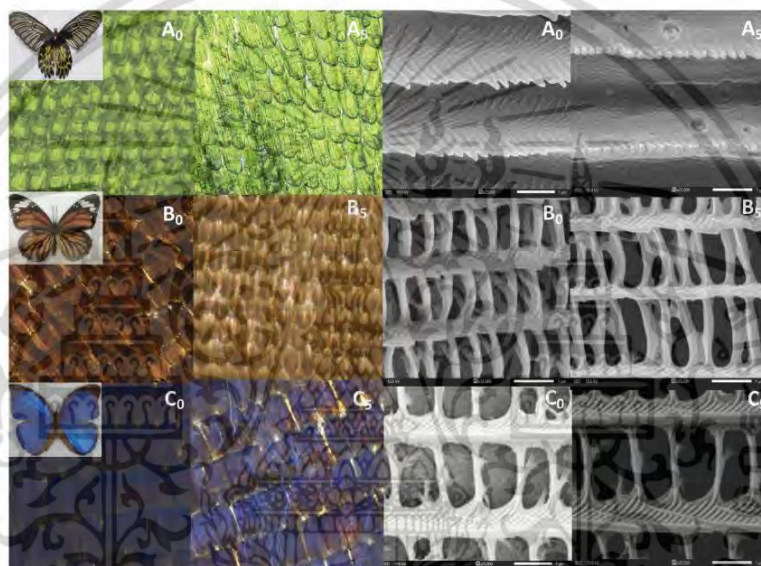


Figure 2. Digital colour images and SEM images of butterfly wing scales before and after ZnO/nicotine deposition. The scale bar is 1 μm .

located on both sides of the ridges scatters the incident light. The periodic-rectangular structures between the ridges and micro ribs are considered to provide a large surface area for the binding interaction between metal-oxide/nicotine molecules and incident light. The area framed by adjacent ridges and cross-ribs, so-called windows in a rectangular porous network structure, could be captured with metal-oxide/nicotine molecules as an analyte model during metal-oxide/nicotine deposition. The dimensional parameters of the three different types of butterfly wing scales are listed in Table 3.

Optical absorption

Absorption is considered as the main characteristics that evaluate the sensing performance of metal oxide

nanoparticles mixed with nicotine on the butterfly wing scales. We first measure the absorption spectra for the prepared samples, using a UV-Vis spectrometer. Figure 3 displays the absorption peak of CuO (with a bandgap of 4.1 eV [14]), ZnO (with a bandgap of 3.8 eV [15]), and TiO₂ nanoparticles (with a bandgap of 3.6 eV [15]) mixed with nicotine on *Danaus genutia* at the central wavelength 440, 460, and 465 nm, respectively. In all metal oxide nanoparticles mixed with nicotine on *Danaus genutia*, the absorption peak values are slightly shifted as compared with *Danaus genutia*, due to metal oxide nanoparticles are infiltrated in *Danaus genutia*. It is found that TiO₂ and ZnO mixed with nicotine represent very well a good sensing system, owing to their high selectivity and selectivity with respect to the effective surface areas of *Danaus genutia*. Since zinc has been found in relatively

Table 3. Structural parameters of typical chitin-microstructure arrays in three different types of butterfly wing scales calculated from SEM micrographs.

| Wing Parameter# | <i>Troides aeacus</i> (dorsal-hindwing) | <i>Danaus genutia</i> (ventral-forewing) | <i>Morpho didius</i> (dorsal-forewing) |
|--|---|--|--|
| 1: Height of ridge (μm) | 0.79 ± 0.01 | 0.41 ± 0.04 | 0.34 ± 0.02 |
| 2: Periodicity (μm) | 1.91 ± 0.03 | 2.07 ± 0.03 | 2.24 ± 0.04 |
| Aspect ratio = (1)/(2) | 0.27 ± 0.01 | 0.20 ± 0.01 | 0.15 ± 0.03 |
| Gap between ridge | 1.30 ± 0.02 | 1.47 ± 0.03 | 1.24 ± 0.01 |
| Fabry-Pérot cavity (μm^2) | – | $0.51 \pm 0.04 \times 1.14 \pm 0.03$ | $1.05 \pm 0.01 \times 1.66 \pm 0.02$ |

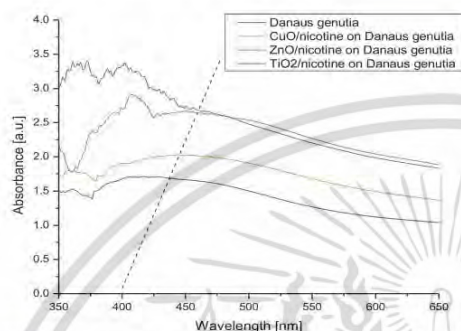


Figure 3. The absorbance of the butterfly wing scales before and after deposition of each examined metal oxide nanoparticles mixed with nicotine. The concentrations of all metal oxide nanoparticles are the same (16 nM).

high concentrations of e-cigarette aerosol [16], it turns out to be a good candidate for reliable detection of ZnO on the butterfly wing scales.

The absorbance of ZnO/nicotine on the butterfly wing scales seen in Figure 4 is proportional to the concentration of ZnO. Ommochrome pigment is suggested to determine the colour of *Troides aeacus* [3], whereas melanin is suggested to differentiate the colour of *Morpho didius* [17–19]. The order of increasing absorbance of ZnO/nicotine coated on the butterfly wing scales is: *Morpho didius* (3.5) > *Danaus genutia* (3.2) > *Troides aeacus* (2.8). The absorbance was approximately six times higher than those of native ZnO (0.58) and ZnO/nicotine (0.65). The order of redshift of ZnO/nicotine with the concentration range of ZnO coated on the butterfly wing scales is as follows: *Danaus genutia* (425–487 nm) > *Morpho didius* (430–455 nm) > *Troides aeacus* (456–460 nm).

FTIR data

Figure 5 shows FTIR spectra in the wavenumber range of 400–4000 cm^{-1} for butterfly wing scales before and after coating them with metal-oxide/nicotine via the spin deposition technique. The key compositions occurring at the modified wing scales show ZnO peak at 400–600 cm^{-1} (Zn-O) [20,21], nicotine peak at 2775 cm^{-1} (C-H) [22,23], and chitin peak at 3437–3479 cm^{-1} (O-H) [24]. Surface functional groups by modifying chitin might act as a centre and bring ZnO/nicotine molecules to drive the formation of H-bond.

Interestingly, melanin shows a main peak at 1625 cm^{-1} (C=C) [17–19].

Optical diffraction

The diffraction pattern of *Morpho didius* is unobservable because the blue wing scales containing melanin seen in FTIR data tend to absorb light from the ultraviolet to near-infrared spectrum [17–19]. In Figure 6, the diffraction patterns of *Troides aeacus* and *Danaus genutia* are observed with monochromatic green (520 nm) and red (635 nm) light illuminations at the front side of the wing scales. For normal illumination, periodic grating structures could produce arrays of periodic spots. The diffraction envelope consists of a high-intensity non-diffracted zero-order ($m=0$) and low intensity of the first diffraction order ($n=1$). The distance between the zero-order maximum and the first diffraction order at the far-field intensity distribution is calculated for the green and red-light illuminations to be 30 and 45 mm, respectively. The angles of incident light by which the green and red-light wave bends are therefore determined to be 15° and 20°, respectively. The maximum and minimum diffraction intensities with respect to the non-diffracted zero-order indicate that the diffraction intensity of the green light is higher than that of the red light.

Discussion

In Figure 2, when the treated butterfly wing scales undergo without thermal processing, the butterfly wing structures are not broken, and thus almost unchanged, are seen in the dimensions of the wing scales and their components. The properly arranged butterfly wing scales are not disrupted, whereas periodicity is maintained. The spin coating process causes the well-ordered structures to create a long-range ordered structure, owing to the specific interactions between the wing components and metal-oxide/nicotine molecules. As shown in Table 3, the ratio of ridge height and periodicity is never larger than 0.5, indicating that the periodicity is never larger than double the ridge height. This point assists in dry self-cleaning and improves aerodynamics. The lowest value (0.15) is found in *Morpho didius* [25]. These ratios influence the adherence of ZnO/nicotine molecules. As the aspect ratio is well below 0.5, ZnO/nicotine could stick between the two ridges. The effective surface areas of the butterfly wing scales that facilitate mass transport easily provide efficient surface accessibility, while maintaining the equilibrium condensation of ZnO/nicotine molecules. The butterfly wing scales exposed with ZnO/nicotine clearly show a partial

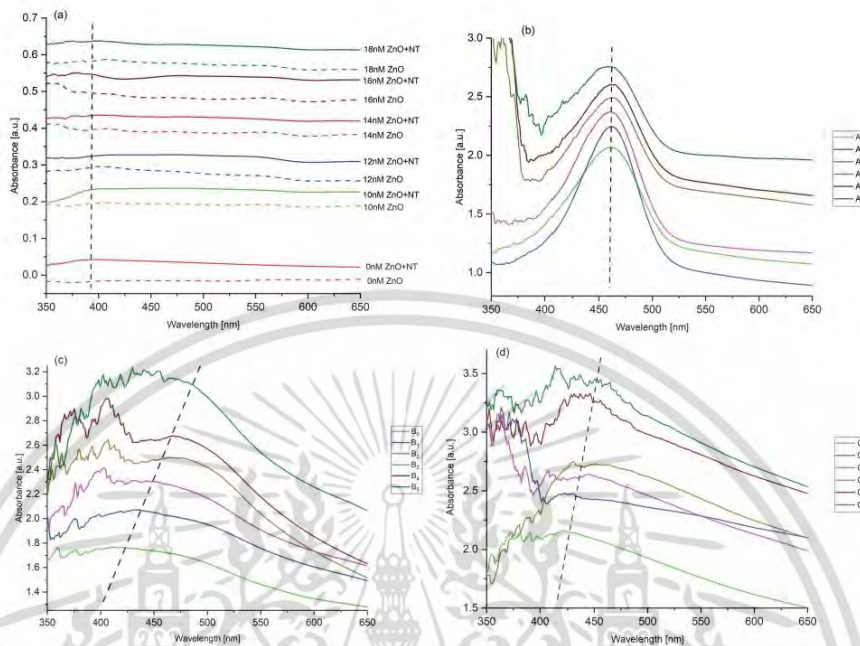


Figure 4. (a) Absorbance of native ZnO and ZnO/nicotine; (b-d) Absorbance of the butterfly wing scales before and after ZnO/nicotine deposition. Dash line is the guideline to the eyes.

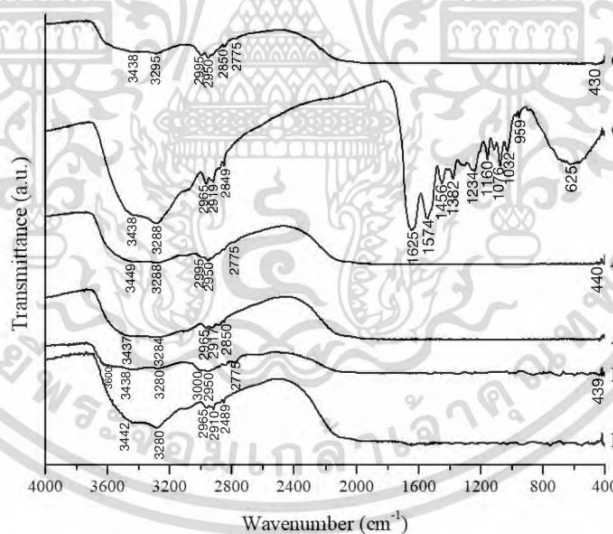


Figure 5. FTIR spectra of butterfly wing scales before and after ZnO/nicotine deposition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bleaching influence (Figure 2), that is, partial extraction of the short-wavelength absorbing pigment so that the absorbance of the partially bleached wing scales provides a much more refined picture. The absorbance is still high because the excitation light is absorbed by the ommochrome pigment in addition to melanin [25].

In Figure 4, the redshift of absorbance is detectable after the growth of ZnO/nicotine molecules over the butterfly wing scales. Upon contact with ZnO/nicotine, the peak position is a red shift by 4, 15, and 62 nm in the case of ZnO/nicotine-coated *Troides aeacus*, *Morpho didius*, and *Danaus genutia*, respectively, for the following reasons. First, when the wing scales have no periodic-rectangular structures between the ridges and micro ribs, light scattering is incoherent or random, resulting in a non-shift or tiny shift in the absorbance of *Troides aeacus*. The lamella tilt angles are approximately 9° , 15° , and 25° for *Morpho didius* [26,27], *Danaus genutia*, and *Troides aeacus* [28], respectively. When the angle of incident light is well away from grazing incidence, the light scattered by this structure becomes weak (yellow pigment). However, when the angle of incident light is near the grazing incidence, the displayed colour is green. On the other hand, light with a certain wavelength corresponding to the periodic-rectangular structures is trapped inside the longitudinal-parallel ridge-grating structures when the wing structures have spatial periodicity. When lamella slabs on the two sides of the ridges are random offsets, the direction of the incident light is split and considered as a waveguide, producing a definite colour shift of the absorbance of *Morpho didius* and *Danaus genutia*. However, the larger random offsets in *Morpho didius* play a dominant role in broadening the absorbance. The absorbed incident light,

from ultraviolet to near-infra-red radiation, might be converted into heat energy. The female butterflies could hence get more energy storage, to be used for breeding, from sunlight than male butterflies. Second, ZnO/nicotine incorporation further fills in the space between the cross-ribs, introducing a gradual refractive index profile at the air-chitin interface and hence offers a smaller redshift of the absorbance of *Troides aeacus* and *Morpho didius* [2,3].

The principal maximum in diffraction is explained as $d \sin\theta = n\lambda$, where d is the gap between the ridges, θ is the angle at which the light wave bends, n is an integer, and λ is the wavelength of the incident light. Therefore, the type and intensity of the observed colour are defined by the ridge gap. Because the ridge gap of the butterfly wing scales is in the range of 1200–1500 nm as shown in Table 3, the incident beam of light could be scattered in various directions by the ridges as an effective diffraction grating. A gap between the ridges are 1.30, 1.47, and 1.24 for *Troides aeacus*, *Danaus genutia*, and *Morpho didius*, respectively (Table 3). Therefore, we confirm that the higher value (1.47) is accountable for the photonic structures of *Danaus genutia*, while the two smaller values (1.24 and 1.30) are due to simple light absorption by ommochrome pigment in the groove of *Troides aeacus* and by melanin of *Morpho didius* [3,17–19].

In Figure 6, the distances between the second diffraction minimum and the central maximum in the far-field diffraction patterns are calculated for green (520 nm) and red (635 nm) light illuminations to be 30 and 45 mm, respectively. The distance increases as the wavelength increases, following Bragg's law. The electric field intensity distribution of the diffraction pattern shows an asymmetrical shape because the longitudinal ridges aligned at 9° – 25° with respect to the

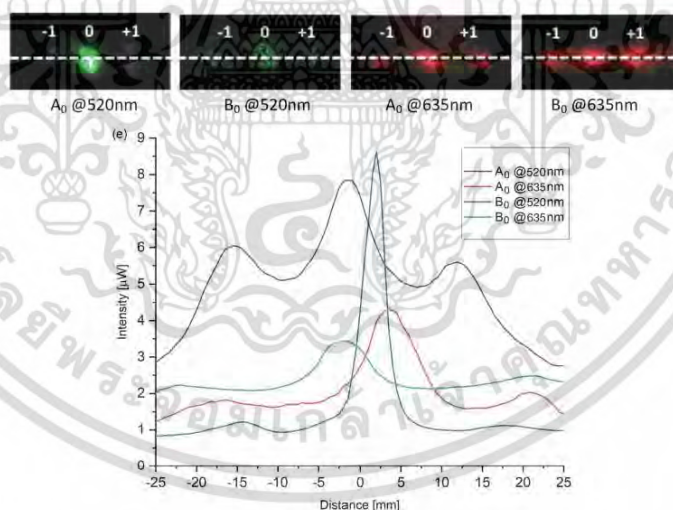


Figure 6. Representative far-field diffractions of the butterfly wing scales under the green and red-light illuminations (a–d). The representative electric field intensity of the butterfly wing scales under the green and red-light illuminations (e).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

horizontal plane further cause an electric field-dependent shape anisotropy, causing a slight angle dependence of the light intensity. If the diffraction efficiency is defined as the ratio between the diffraction intensity and incident light intensity and expressed as a percentage, it is found that the maximum diffraction efficiency of *Danaus genutia* is the best through the green light under normal illumination. Therefore, *Danaus genutia* is suggested to be a good (wavelength-selective) diffraction grating. The optical properties of such diffraction gratings have diverse applications, such as spectroscopy, wavelength filters, tuneable lasers, displays, holography, and security applications. In the absorbance measurement setup, the input beam is incident perpendicular to the butterfly wing surface so that it is possibly propagating along the ridge-to-lamella direction and fully interacts with the Fabry-Pérot cavity in the window-like quasi-periodic structures of *Danaus genutia*. A well-organised Fabry-Pérot resonance existing in each window is described as $L = \lambda m / 2n$, where L is the resonance Fabry-Pérot cavity length corresponding to the size scale of each window (1140 nm), λ is the resonant wavelength (425–487 nm), m is a positive integer, and n is the refractive index ($n = 1$). We obtain m integers of approximately 5. Owing to the quasi-periodic structures of these wing scales, coupling among the Fabry-Pérot cavity mode makes it a valuable tool to enhance the peak intensity of some particular eigenmodes [29].

Since *Danaus genutia* shows dual functions in terms of absorbance and diffraction in comparison to that of the other two, the typical architecture of *Danaus genutia* is favourable for sensing purposes as a prototype architecture for further sensing applications. Considering the concentration of ZnO/nicotine coated on *Danaus genutia*, the absorbance as a function of ZnO concentration is strikingly different, as plotted in Figure 7, showing an obvious positive correlation with the concentration range of ZnO. Therefore, the limit of detection of ZnO is measured from the linear tangent of the response curve [13]. By substituting triplicate runs ($n = 3$) and slope of the linear plot ($a = 0.1188$ in Figure 7) into Eq.(1), the limit of

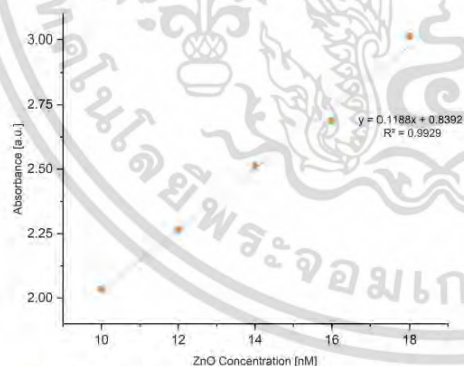


Figure 7. Absorbance was used for quantitative evaluation of the detection level of ZnO and 1.60% nicotine on *Danaus genutia*, showing a good linear relationship for ranges of 10–18 nM ZnO.

detection of ZnO/nicotine on *Danaus genutia* is found to be approximately 1 nM. The limit of detection of ZnO/nicotine based on the *Danaus genutia* sensor is somewhat similar to those typical for biologically inspired sensors associated with the literature under specific requirements for chemical and thermal treatments [4], for which the loading content is close to 1 nM. However, the metal concentration level corresponding to our detection limit is still higher than that of SiO₂ on *Morpho didius* for the detection of thrombin [7]. This demonstrates the viability and practical importance of the simple technique suggested in the present study.

This study has two limitations. First, ZnO/nicotine formation might not be perfect. Some of the untreated wing scales might have been left with ZnO or nicotine molecules. The volume variation of the refractive index of ZnO/nicotine influences these whole structures and, in turn, might change the light absorption. We focus on the cover wing and completely ignored the impact of the ground wing. Therefore, the measurement setup is unable to collect all the scattered light from the actual wing scales.

Conclusions

The purpose of this study was to demonstrate the application of hierarchical structures of butterfly wing scales as an attractive candidate for sensing the performance of metal oxide nanoparticles in e-cigarette aerosol. Metal oxide nanoparticles mixed with nicotine on different butterfly wing scales (*Troides aeacus*, *Morpho didius*, and *Danaus genutia*) were fabricated using a spin-coating method within 60 s. The modified microstructures were observed by scanning electron microscopy and Fourier-transform infrared spectroscopy, whereas their absorbance was detected using a UV-Vis spectrometer. If compared with the examined metal oxide nanoparticles (CuO, ZnO, and TiO₂) at equivalent concentration, it was found that the surface of butterfly wing scales modified by ZnO/nicotine was suitable for further detection of ZnO mainly present in e-cigarette aerosol. Asymmetry and dimensional variation of ridge-to-lamella structures and ZnO/nicotine inclusion contributed to the changes in the absorbance and diffraction. ZnO/nicotine on the wing scales exhibited a significantly higher optical response than the native ZnO/nicotine. It was also found that the colour of the butterfly wing scales covered by ZnO/nicotine was slightly brighter than that of the pristine wing scales, as indicated by the naked eye. The concentration of ZnO/nicotine distributed on *Danaus genutia* was sensitively distinguished, owing to the butterfly photonic structures. The absorbance of ZnO/nicotine on *Danaus genutia* was able to determine the limit of detection of 1 nM ZnO. The key characteristic of the modified microstructures on analyte sensitivity was the spontaneous localisation of ZnO and nicotine molecules into the reactive area of butterfly wing scales, providing more efficient surface accessibility, leading to improved mass transport properties of ZnO/nicotine, which served as a model of the target analyte. This point yielded an excellent enhancement of the optical signal. Due to the high selectivity and sensitivity of ZnO/nicotine on the butterfly wing scales, the photonic

sensor developed in this work could be used as a good metal-ion detector for photonic and biomedical applications.

Acknowledgement

The authors also thank Siam Insect Zoo, Chiangmai and Insect Museum Thailand, Bangkok for providing the butterfly samples.

Disclosure statement

The authors declare no competing financial interests.


Funding

This research was funded by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand [Grant number 2565-02-05-017].

Author contributions

Thanachai Changcharoen, Thidsanu Apiphatnaphkul and Wasupon Watjanavarreerat participated in the research design, data collection, data analysis, and wrote the manuscript. Kitsakorn Locharoenrat performed the research design, data analysis, research summary and recommendation, as well as wrote the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

ORCID

Kitsakorn Locharoenrat  <http://orcid.org/0000-0001-9406-0941>

Data availability statement

All data and material used to support the findings of this study are included within the article.

References

- [1] American Cancer Society, Lung Cancer. 2022. <https://www.cancer.org/cancer/lung-cancer/about/key-statistics.html>.
- [2] Dong Z, Zhao H, Nie L, et al. Effects of measurement configurations on the sensitivity of *morpho* butterfly scales based chemical biosensor. *Front Phys*. 2022;9:806904.
- [3] Osotsi M, Zhang W, Zada I, et al. Butterfly wing architectures inspire sensor and energy. *Nat Sci Rev*. 2020;8(3):nwaa107.
- [4] Guan Y, Su H, Yang C, et al. Ordering of hollow Ag-Au nanospheres with butterfly wings as a bio-template. *Sci Rep*. 2018;8(1):9261.
- [5] He J, Villa NS, Luo Z, et al. Integrating plasmonic nanostructures with natural photonic architectures in Pd-modified *morpho* butterfly wings for sensitive hydrogen gas sensing. *RSC Adv*. 2018;8(57):32395–32400.
- [6] Shi G, Wang M, Zhu Y, et al. Biomimetic synthesis of Ag-coated glasswing butterfly arrays as ultra-sensitive SERS substrates for efficient trace detection of pesticides. *Beilstein J Nanotechnol*. 2019;10:578–588.
- [7] Shao C, Chi J, Chen Z, et al. Superwetable colloidal crystal micropatterns on butterfly wing surface for ultrasensitive detection. *J Colloid Interface Sci*. 2019;546:122–129.
- [8] Yang G, Zhang M, Dong D, et al. TiO₂ based sensor with butterfly wing configurations for fast acetone detection at room temperature. *J Mater Chem C*. 2019;7(36):11118–11125.
- [9] Takei H, Nagata K, Frese N, et al. Surface-enhanced raman spectroscopy for molecule characterization: HIM investigation into sources of SERS activity of silver-coated butterfly scales. *Nanomater*. 2021;11(7):1741.
- [10] Wilts BD, Zubiri BA, Kiatt MA, et al. Butterfly gyroid nanostructures as a time-frozen glimpse of intracellular membrane development. *Sci Adv*. 2017;3(4):1603119.
- [11] Ahmed R, Ji Z, Atta RMH, et al. *Morpho* butterfly-inspired optical diffraction, diffusion, and bio-chemical sensing. *RSC Adv*. 2018; 8(48):27111–27118.
- [12] Kodali D, Medina C, Kang CK, Aono H. Effect of spanwise flexibility on the performance of flapping flyers in forward flight. *J R Soc Interface*. 2017;14(136):20170725.
- [13] Locharoenrat K. Linear and nonlinear optics: Materials, preparations, and properties. Singapore: Pan Stanford, 2021.
- [14] Dixit T, Tripathi A, Solanke SV, et al. Ultra-wide bandgap of copper oxide: high performance solar-blind phot-detection. *IEEE Electron Device Lett*. 2020;41(12):1790–1793.
- [15] Rashid ARA, Tazri HK. Optical properties of ZnO, TiO₂ and ZnO/TiO₂ composite films. *NHC*. 2021;31:25–33.
- [16] Olmedo P, Goessler W, Tanda S, et al. Metal concentrations in e-liquid and aerosol samples: the contribution of metallic coils. *Environ Health Perspect*. 2018;126(2):027010.
- [17] Raman NM, Ramasamy S. Genetic validation and spectroscopic detailing of DHN-melanin extracted from an environmental fungus. *Biochem Biophys Rep*. 2017;1:2-98–107.
- [18] Awad B, Aly AA, Ghannam MM. Melanin doping potential effect on the optical properties polyvinyl alcohol. *Inter J Adv Res Chem Sci*. 2018;5(12):24–32.
- [19] Grieco C, Kohl FR, Hanes AT, et al. Probing the heterogeneous structure of eumelanin using ultrafast vibrational fingerprinting. *Nat Commun*. 2020;11(1):4569.
- [20] Pairoj S, Damrongsak P, Damrongsak B, et al. Antitumor activities of carboplatin-doxorubicin-ZnO complexes in different human cancer cell lines (breast, cervix uteri, colon, liver and oral) under UV exposition. *Artif Cells Nanomed Biotechnol*. 2021;49(1): 120–135.
- [21] Sakthivel C, Nivetha A, Prabha I. ZnO enriched MgO nanomaterials using *Limonia acidissima* as effective green substrate. *Arab J Sci Eng*. 2022. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-06344-6>
- [22] Ilic I, Jovic-Jovicic N, Bankovic P, et al. Adsorption of nicotine from aqueous solutions on montmorillonite and acid-modified montmorillonite. *Sci Sintering*. 2019;51(1):93–100.
- [23] Wiley. Nicotine. 2022. <https://spectrabase.com/spectrum/1pTn5tBWk2S>.
- [24] Liao J, Huang H. Preparation, characterization and gelation of a fungal nano chitin derived from *Hericium erinaceus* residue. *Polymers*. 2022;14(3):474.
- [25] Kochling P, Niebel A, Hurka K, et al. On the multifunctionality of butterfly scales: a scaling law for the ridges of cover scales. *Faraday Discuss*. 2020;223(0):195–206.
- [26] Li Q, Zeng Q, Shi L, et al. Bio-inspired sensors based on photonic structures of *morpho* butterfly wing scales: a review. *J Mater Chem C*. 2016;4(9):1752–1763.
- [27] Zobl S, Wilts BD, Salvenmoser W, et al. Orientation-dependent reflection of structurally colored butterflies. *Biomimetics*. 2020; 5(1):5.
- [28] Kelley JL, Tataric NJ, Schröder-Turk GE, et al. A dynamic optical signal in a nocturnal moth. *Curr Biol*. 2019;29(17):2919–2925.
- [29] He Y, Lu D, Zhao L. Reflection airy distribution of a Fabry-Pérot resonator and its application in waveguide loss measurement. *Opt Express*. 2019;27(13):17876–17886.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Journal metrics



Usage

- **1.1M** annual downloads/views



Citation metrics

- **5.678 (2020)** Impact Factor
- **Q1 (2020)** Impact Factor Best Quartile
- **5.246 (2020)** 5 year IF
- **8.3 (2020)** CiteScore (Scopus)
- **Q1 (2020)** CiteScore Best Quartile
- **1.163 (2020)** SNIP
- **0.935 (2020)** SJR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้