

การศึกษาออปติคอลสเปกโทรสโคปีจากสีย้อมไวแสงร่วมกับโลหะในระดับ
อนุภาคนาโน

OPTICAL SPECTROSCOPIC STUDIES OF FLUORESCENT DYES WITH
METALLIC NANOPARTICLES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-SC-M-030-003

การศึกษาออปติคอลสเปกโทรสโคปีจากสีย้อมไวแสงร่วมกับโลหะในระดับ
อนุภาคนาโน

OPTICAL SPECTROSCOPIC STUDIES OF FLUORESCENT DYES WITH
METALLIC NANOPARTICLES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

KMITL-2017-SC-M-030-003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTICAL SPECTROSCOPIC STUDIES OF FLUORESCENT DYES WITH
METALLIC NANOPARTICLES

NICHAKORN BOONPIPHOBANUN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017
KMITL-2017-SC-M-030-003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF SCIENCE

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ “การศึกษาออปติคอลสเปกโทรสโคปจากสีย้อมไวแสงร่วมกับอนุภาคโลหะขนาดนาโน”
“OPTICAL SPECTROSCOPIC STUDIES OF FLUORESCENT DYES WITH METALLIC NANOPARTICLES”

ชื่อนักศึกษา นางสาวณิชากร บุลพิภพอนันต์

รหัสประจำตัว 57605079

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.อาภาภรณ์ สุกการะเวก อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	
ดร.บดินทร์ ดำรงค์ศักดิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ	
ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	
ผศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ 26 เมษายน พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 307 อาคารจواهرณ์วลัยลักษณ์ ชั้น 3

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุจณี อนุบริพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
วันที่ ๒๖ เดือน ๔ พ.ศ. ๒๕๖๐

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาออปติคอลสเปกโทรสโคปีจากสีย้อมไวแสงร่วมกับโลหะในระดับอนุภาคนาโน	
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ณิชากร	บุลพิภพอนันต์
รหัสประจำตัว	57605079	
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	
ปีการศึกษา	2560	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร. กฤษกร โฉมเจริญรัตน์	

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีความมุ่งมั่นที่จะศึกษาสเปกตรัมของแสงของอนุภาคนาโนพลาติเนียมเคลือบทองคำร่วมกับสารสีย้อมโรดามีน 6จี อนุภาคนาโนทองคำร่วมกับสารสีย้อมโรดามีน 6จี และอนุภาคนาโนคริสตัลพลาติเนียมร่วมกับสารละลายคูมาริน 153 ในรูปของสารละลายและฟิล์ม โดยเตรียมสารละลายสีย้อมและอนุภาคนาโนโลหะที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารอนุภาคนาโนพลาติเนียมเคลือบทองคำร่วมกับสารสีย้อมโรดามีน 6จี และอนุภาคนาโนทองคำร่วมกับสารสีย้อมโรดามีน 6จี มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเป็น 2.8 และ 2.2 เท่า ตามลำดับ เทียบกับสารละลายโรดามีน 6จี เพียงอย่างเดียว อีกนัยหนึ่งพบว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารอนุภาคนาโนพลาติเนียมเคลือบทองคำร่วมกับสารสีย้อมโรดามีน 6จี และอนุภาคนาโนทองคำร่วมกับสารสีย้อมโรดามีน 6จี มีค่าการเปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 2.1 และ 2.0 เท่า ตามลำดับ สำหรับฟิล์มได้ถูกเตรียมโดยการจัดทำฟิล์มขึ้นเอง และพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารอนุภาคนาโนพลาติเนียมเคลือบทองคำร่วมกับสารสีย้อมโรดามีน 6จี และอนุภาคนาโนทองคำร่วมกับสารสีย้อมโรดามีน 6จี มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเป็น 2.1 และ 2.0 เท่า ตามลำดับ เทียบกับสารละลายโรดามีน 6 จี เพียงอย่างเดียว อีกนัยหนึ่งพบว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารอนุภาคนาโนพลาติเนียมเคลือบทองคำร่วมกับสารสีย้อมโรดามีน 6จี และอนุภาคนาโนทองคำร่วมกับสารสีย้อมโรดามีน 6จี มีค่าการเปล่งแสงที่เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 1.4 และ 1.2 เท่า ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความเข้มแสงนี้น่าจะมีสาเหตุจากการที่วัสดุฟลูออเรสเซนต์ถูกแวดล้อมด้วยอนุภาคโลหะนาโน อาจส่งผลให้เกิดกลไก Metal enhanced fluorescence และการลดลงของความเข้มแสงนี้น่าจะมีสาเหตุจากการที่วัสดุฟลูออเรสเซนต์ถูกแวดล้อมด้วยอนุภาคโลหะนาโนอาจจะเกิดการ quenching ของอนุภาคของสารละลาย สำหรับการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย C153 ที่ผสมกับสารอนุภาคนาโน Pd มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่เติมสารอนุภาคนาโน Pd โดยเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากที่สุดถึง 1.7 เท่า ตรวจวัดปริมาณความเข้มแสงฟลูออเรสเซนต์ที่ภายหลังการเติมอนุภาคนาโน Pd มีค่าฟลูออเรสเซนต์ของสารละลายที่ต่ำกว่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนต์สารละลาย C153 เมื่อไม่ได้ผสมที่ทุกค่าความเข้มข้น เนื่องมาจากการที่อนุภาคนาโน Pd ไม่เกิดกระบวนการ Metal Enhancement Fluorescence

คำสำคัญ : โรดามีน 6จี คูมาริน 153 อนุภาคนาโนพลาติเนียมเคลือบทองคำ อนุภาคนาโนทองคำ อนุภาคนาโนพลาติเนียม Metal Enhancement Fluorescence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	OPTICAL SPECTROSCOPIC STUDIES OF FLUORESCENT DYES WITH METALLIC NANOPARTICLES	
Student Name	Miss Nichakorn	Boonpipobanun
Student ID	57605079	
Degree	Master of Science	
Department	Applied Physics	
Year	2017	
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Pattareeya	Damrongsak
Thesis Co-advisor	Asst. Prof. Dr. Kitsakorn	Locharoanrat

ABSTRACT

This thesis is dedicated to study the optical spectra of three sets of samples: Rhodamine 6G (Rh6G) with palladium coated gold (Au/Pd), Rh6G with gold (Au), and Coumarine 153(C153) with palladium in a formation of solutions and thin films. The optimum concentrations of the prepared samples in solution forms resulted in enhancement of the fluorescence signals. On one hand, it was found that the absorption spectra of Rh6G:Au/Pd and Rh6G:Au increased up to 2.8 fold and 2.2 fold, respectively compared with the Rh6G. On the other hand, it was noticed that the fluorescence spectra of Rh6G:Au/Pd and Rh6G:Au enhanced up to 1.6 fold and 1.4 fold, respectively. For the thin films samples, they are prepared by a home-made casting method to check their optical performances. It was seen that the absorption spectra of Rh6G:Au/Pd and Rh6G:Au rise up to 2.1 fold and 2.0 fold, respectively, whereas the fluorescence spectra of Rh6G:Au/Pd and Rh6G:Au increased 1.4 fold and 1.2 fold, respectively. The mechanism of enhancement of the fluorescence is due to the local electromagnetic-field of the interaction between fluorophore and metallic nanoparticle. One reason of this intensity of fluorescence decreased due to fluorescence quenching which resulted from non-radiative energy transfer between the dye molecules and metallic nanoparticles. Although the absorption spectra of C153 with Pd in solution form increased up to 1.7 fold as compared with C153 without Pd, the fluorescence spectra of the same sample decreased. These results were showed that Pd has not undergo metal enhanced fluorescence mechanism.

Keywords: Rhodamine 6G, Coumarine 153, Palladium coated gold, gold nanorod, Crystals Palladium, Metal enhanced fluorescence

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ดี อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนวทางแก้ปัญหา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. กฤษกร โล้เจริญรัตน์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา อีกทั้งให้ความรู้และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ด้านสนับสนุนทุนการศึกษาและเงินทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณหน่วยงานบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในงานด้านเอกสาร

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวที่คอยให้ความช่วยเหลือทุกๆ ด้าน รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์นี้

นางสาวณิชกร บุลพิภพอนันต์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อและสัญลักษณ์.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	5
2.1 สมบัติของวัสดุ.....	5
2.1.1 สารสีอ้อมไวแสง.....	5
2.1.2 อนุภาคนาโนโลหะ.....	8
2.2 กลไกการดูดกลืนแสงของวัสดุ.....	12
2.3 กลไกการเรืองแสง.....	14
2.4 ปฏิกิริยาการเกิดเซออร์เฟอซเพลลาสมอนเรโซแนนซ์.....	17
2.5 Metal Enhanced Fluorescence.....	18
2.6 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer).....	20
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	27
3.2 การเตรียมสารละลายและฟิล์ม.....	31
3.2.1 การเตรียมสารละลาย.....	31
3.2.2 การเตรียมฟิล์ม.....	35
3.3 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง.....	36
3.4 การศึกษาสเปกตรัมของแสงในรูปของสารละลายอนุภาคนาโนโลหะ สารละลายของสารสีอ้อม และสารละลายของสารสีอ้อมผสมกับสารละลายอนุภาคนาโนโลหะ.....	39
3.5 การศึกษาสเปกตรัมของแสงในรูปของฟิล์ม.....	41
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	45
4.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมแสงของสารอนุภาคนาโนโลหะในรูปของสารละลาย.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเฉพาะเท่านั้น และอยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของงานวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการศึกษาสเปกตรัมแสงของสารละลายสี้อมไวแสงในรูปของสารละลาย.....	47
4.3 ผลการศึกษาสเปกตรัมแสงของสารละลายสี้อมผสมกับสารอนุภาคโลหะนาโน.....	51
4.4 การศึกษาสเปกตรัมของแสงในรูปของฟิล์ม.....	62
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย.....	72
เอกสารอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก.....	77
ประวัติผู้เขียน.....	101



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	4
2.1 ตารางการเกิดแสงลูมิเนสเซนซ์ประเภทต่างๆ.....	14
3.1 ตารางแสดงปริมาณการเจือจางของสารละลายในความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลาย Rh6G	31
3.2 ตารางแสดงปริมาณการเจือจางของสารละลายในความเข้มข้นต่างๆ ของ C153.....	32
3.3 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ผสมกับสาร Au/Pd ในอัตราส่วนความเข้มข้น	32
3.4 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ที่เจือจางด้วย DCM ในอัตราส่วนความเข้มข้น	33
3.5 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ผสมกับสาร Au ในอัตราส่วนความเข้มข้น.....	33
3.6 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ที่เจือจางด้วย DCM ในอัตราส่วนความเข้มข้น	34
3.7 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย C153 ผสมกับสาร Pd ในอัตราส่วนความเข้มข้น ตามการเจือจาง.....	34
3.8 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย C153 ที่เจือจางด้วย Ethanol ในอัตราส่วนความ เข้มข้นการเจือจาง.....	35
3.9 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ผสมกับสาร Au/Pd ใน PMMA.....	42
3.10 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ใน PMMA เพื่อเปรียบเทียบ.....	42
3.11 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ผสมกับสาร Au ใน PMMA.....	43
3.12 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ใน PMMA.....	44
5.1 ตารางสรุปอัตราส่วนการดูดกลืนแสงและอัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ สาร A-E ของสาร Au/Pd และ Au/Pd + Rh6G ในรูปของสารละลาย.....	69
5.2 ตารางสรุปอัตราส่วนการดูดกลืนแสงและอัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ สาร A-E ของสาร Au และ Au + Rh6G ในรูปของสารละลาย.....	70
5.3 ตารางสรุปอัตราส่วนการดูดกลืนแสงและอัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ สาร A-E ของสาร Au/Pd และ Au/Pd + Rh6G ในรูปของฟิล์ม.....	71
5.4 ตารางสรุปอัตราส่วนการดูดกลืนแสงและอัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ สาร A-E ของสาร Au และ Au + Rh6G ในรูปของฟิล์ม.....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างแผ่นรวมแสงลูมิเนสเซนต์.....	1
1.2 กลไกการเกิดกระบวนการ Plasmonic resonance energy transfer.....	2
2.1 โครงสร้างโรดามีน 6จี.....	5
2.2 คุณสมบัติของสารโรดามีน 6จี.....	6
2.3 โครงสร้างคูมาริน 153.....	7
2.4 คุณสมบัติของสารคูมาริน 153.....	8
2.5 อนุภาคนาโนพลาตตินั่มเคลือบทองคำ (Gold – nanorod Palladium coated).....	9
2.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนพลาตตินั่มเคลือบทองคำ.....	9
2.7 อนุภาคนาโนคริสตัลพลาตตินั่มที่มีโครงสร้างแบบรูพรุน(Porous Palladium Nanocrystals).....	10
2.8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนคริสตัลพลาตตินั่ม.....	10
2.9 อนุภาคนาโนทองคำที่มีโครงสร้างพีระมิด (Gold nanobipyramids).....	11
2.10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีโครงสร้างพีระมิด.....	11
2.11 กลไกการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปลี่ยนแปลงระดับ.....	12
2.12 รูปแสดงปริมาณแสงที่ฉายผ่านมายังสารและปริมาณแสงที่ถูกส่งผ่านออกมา.....	13
2.13 แผนภาพแสดงทิศทางการหมุนของอิเล็กตรอนในโมเลกุล.....	14
2.14 แผนภาพแสดงการดูดกลืนและการปลดปล่อยพลังงานรูปแบบต่างๆ.....	15
2.15 แผนภาพแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง.....	17
2.16 กระบวนการสั่นของพลาสมอน (Plasmon oscillation) สำหรับอนุภาคทรงกลม.....	18
2.17 แผนภาพ Classical Jablonski สำหรับสถานะที่มีพื้นที่ว่าง และการปรับเปลี่ยนรูปแบบในการปรากฏตัวของอนุภาคโลหะ.....	19
2.18 รูปแสดงองค์ประกอบของ UV-VIS Spectrophotometer.....	21
2.19 Double beam spectrophotometer.....	22
2.20 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer.....	23
2.21 แผนผังแสดงถึงการกระตุ้นเซอร์เฟจพลาสมอนในอนุภาคนาโน.....	25
3.1 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์.....	27
3.2 เครื่องกำเนิดแสงทั้งสแตนและความยาวคลื่นเครื่องกำเนิดแสงทั้งสแตน.....	28
3.3 ไดโอดเปล่งแสงชนิดกำลังสูง สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงชนิดกำลังสูงแสงสีเขียวและสีน้ำเงิน.....	28
3.4 สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดไปยังสารละลายและฟิล์มบาง.....	29
3.5 สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากสารละลายและฟิล์มบางไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์.....	29
3.6 อุปกรณ์จับยึดสายใยแก้วนำแสง ที่ใช้จับยึดคิ่วเวท.....	30
3.7 อุปกรณ์จับยึดในการวัดสเปกตรัมของฟิล์มบาง.....	30
3.8 การจัดทำแม่พิมพ์.....	36
3.9 ระบบวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย.....	36
3.10 ระบบวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ระบบวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย.....	38
3.12 ระบบวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบาง.....	38
4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาค Au/Pd อนุภาค Au (5.1×10^{-4} M) และอนุภาค Pd	45
4.2 สเปกตรัมการเปล่งแสงของอนุภาค Au/Pd) และ Au เมื่อใช้แอลอีดีสีเขียวกระตุ้น.....	46
4.3 สเปกตรัมการเปล่งแสงของอนุภาค Pd เมื่อใช้แอลอีดีสีน้ำเงินกระตุ้น.....	46
4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายโรดามีน 6จี.....	47
4.5 ค่าพีคสูงสุดของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโรดามีน 6จี.....	48
4.6 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารโรดามีน 6จี.....	48
4.7 ค่าพีคสูงสุดของสเปกตรัมการเปล่งแสงของโรดามีน 6จี.....	49
4.8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย C153.....	50
4.9 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายคูมาริน 153.....	50
4.10 ค่าพีคสูงสุดของสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153.....	51
4.11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G เทียบกับ สารละลาย Rh6G ผสมกับ อนุภาคนาโน Au/Pd.....	52
4.12 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd เทียบกับ สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G.....	53
4.13 อัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ Au/Pd + Rh6G : Rh6G.....	54
4.14 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G.....	55
4.15 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับ สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G.....	57
4.16 อัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ Au + Rh6G : Rh6G.....	57
4.17 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย C153 ผสมกับอนุภาคนาโน Pd เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย C153.....	59
4.18 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153 ผสมกับอนุภาคนาโน Pd เทียบกับ สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153.....	61
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพีคฟลูออเรสเซนซ์ของสาร C153:Pd กับ C153 ของสารตัวอย่าง.....	62
4.20 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G.....	63
4.21 สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบาง Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd เทียบกับ สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบางของสารละลาย Rh6G.....	64
4.22 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพีคแสงฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์ม Rh6G ผสม Au/Pd และ Rh6G ของสารตัวอย่าง A-E	65
4.23 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.24	สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับ สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์ม Rh6G.....	67
4.25	อัตราส่วนฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์ม Rh6G ผสมอนุภาค Au และ Rh6G ของสารตัวอย่าง A-E	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
A	ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (absorbance)
Au	อนุภาคนาโนทองคำ (Gold)
Au/Pd	อนุภาคนาโนพลาตตินั่มเคลือบทองคำ (Gold coated Palladium)
c	ความเข้มข้นของโมเลกุล
C153	สารสีย้อมคูมาริน 153 (Coumarine 153)
DCM	สารทำละลาย Dichloromethane
E_0	สถานะพื้น (ground state)
E_1	สถานะกระตุ้น (excited state)
h	ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck constant)
I	ปริมาณแสงที่ถูกส่งผ่านออกมา
I_0	ปริมาณแสงที่ฉายผ่านมายังสาร
IC	การแปลงผันภายใน (Internal conversion)
ISC	การลดระดับพลังงานข้ามสถานะ (Intersystem crossing)
K_q	ค่าคงที่ของอัตรา biomolecular quenching
K_{nr}	ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวแบบไม่แผ่รังสี
l	ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่างหรือความกว้างของเซลล์
MEF	Metal enhance fluorescence
M	โมเมนต์เชิงมุมของออบิตัลแต่ละสถานะ (Molecular multiplicity)
N	จำนวนครั้งของการดูดกลืนซ้ำ
nm	นาโนเมตร
Pd	อนุภาคนาโนพลาตตินั่ม (Palladium)
PMMA	พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate)
PRET	Plasmon Resonance Energy transfer
Q_0	ค่าควอนตัมยีสต์ของวัสดุฟลูออโรฟอร์โดยทั่วไป
Q_m	ค่าควอนตัมยีสต์ของวัสดุฟลูออโรฟอร์เมื่อถูกแวดล้อมด้วยวัสดุนาโน
Rh6G	สารสีย้อมโรดามีน 6จี (Rhodamine 6G)
SPR	เซอ์เฟจ พลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance)
T	ค่าการส่งผ่านแสง (Transmittance)
T	อัตราการสลายตัวของกัมมันตรังสี
T_m	การเพิ่มขึ้นของช่วงชีวิตของวัสดุฟลูออโรฟอร์เมื่อถูกแวดล้อมด้วยวัสดุนาโน
t_0	ช่วงชีวิตของวัสดุฟลูออโรฟอร์โดยทั่วไป
t_m	ช่วงชีวิตของวัสดุฟลูออโรฟอร์เมื่อถูกแวดล้อมด้วยวัสดุนาโน
UV	Ultra violet
VIS	Visible

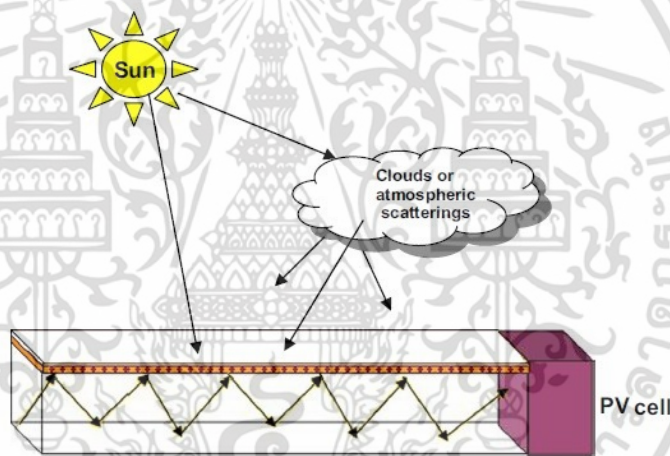
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันวัสดุฟลูออเรสเซนต์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายด้าน เช่น ใช้ในงานตรวจวัดทางด้านชีวภาพ[1-2] การใช้เป็นเซนเซอร์ในการตรวจหาไอออนโลหะ[3-4] การใช้ทำฟิล์มบางเพื่อ งานด้านเซลล์แสงอาทิตย์[5-6] เป็นต้น ซึ่งการนำสัญญาณแสงฟลูออเรสเซนต์ที่ปลดปล่อยออกมาจาก โมเลกุลไปใช้งาน อาจจะเกี่ยวข้องกับการตรวจวัดและวิเคราะห์สัญญาณแสงฟลูออเรสเซนต์ที่ ปลดปล่อยออกมาจากโมเลกุลโดยตรง หรือการนำแสงไปใช้ในการให้พลังงานกับเซลล์แสงอาทิตย์ ดัง แสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างแผ่นรวมแสงลูมิเนสเซนส์[6]

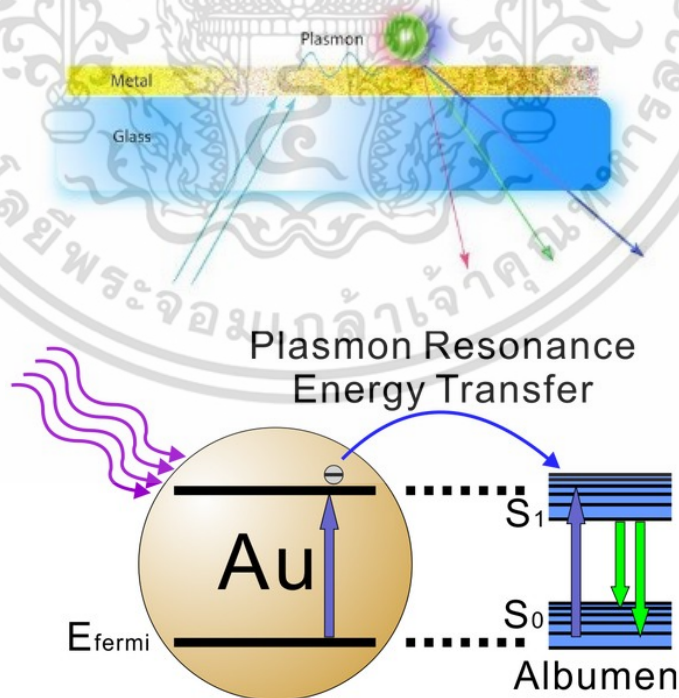
จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าปริมาณแสงฟลูออเรสเซนต์ที่ปลดปล่อยออกมาจาก โมเลกุลจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการนำวัสดุอนุภาคโลหะที่มีขนาดนาโน เช่น อนุภาคของเงิน หรือทอง มาใช้ ซึ่งอนุภาคนาโนโลหะจัดเป็นวัสดุที่มีสมบัติทางแสงที่น่าสนใจ เพราะเป็นวัสดุที่สามารถทำให้เกิดการดูดกลืนและการกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์ซึ่งไม่พบในวัสดุโลหะที่มีขนาดใหญ่ [7-8] ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดเนื่องจากการสั่นแบบพร้อมเพรียงกันของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้นแถบ ความนำภายใต้สนามไฟฟ้า ส่งผลให้ปริมาณสนามไฟฟ้าบริเวณใกล้พื้นผิวของอนุภาคมีความเข้มข้น หรือถูกเรียกกันว่าเกิดปรากฏการณ์ เซอร์เฟซ พลาสมอนิกเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance :SPR)[9-11] ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสนามไฟฟ้าจะช่วยเพิ่มกลไกทางแสงในหลายๆด้าน เช่น การกระเจิงแบบรามาน (Raman scattering) การเพิ่มการดูดกลืนแสงและความเข้มแสงฟลูออเรส

เซนส์ของวัสดุฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณแสงที่ตรวจวัด โดยการเกิดกระบวนการ Plasmonic resonance energy transfer (PRET)[12-13] หรืออาจเรียกอีกแบบว่าเกิดปรากฏการณ์ metal-enhanced fluorescence (MEF)[14-15] ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งกลไก MEF นี้เกิดจากการที่กลุ่มของอิเล็กตรอนของอนุภาคโลหะที่เกิดการสั่นภายใต้สนามไฟฟ้าถูกส่งผ่านไปยังระดับชั้นพลังงานของวัสดุเรืองแสงที่อยู่บริเวณใกล้เคียงและมีระยะห่างที่เหมาะสม ทำให้ปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ถูกปลดปล่อยออกมา มีความเข้มเพิ่มขึ้น[16] กลไก MEF นี้จะสามารถเพิ่มขีดจำกัดในด้านการปลดปล่อยแสงของวัสดุฟลูออเรสเซนซ์ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจวัดและการนำวัสดุฟลูออเรสเซนซ์นี้มาใช้งานในด้านต่างๆ

ในปัจจุบันการนำอนุภาคนาโนโลหะมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวัสดุฟลูออเรสเซนซ์ได้รับความสนใจอย่างมากทั้งนี้เนื่องจากสามารถส่งผลให้ปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ตรวจวัดได้มีความเข้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ PRET ซึ่งการเพิ่มขึ้นของแสงฟลูออเรสเซนซ์นี้จะช่วยเพิ่มขีดจำกัดของการตรวจวัดทางด้านเคมี ฟิสิกส์ และชีวการแพทย์ได้[17-18] ซึ่งพบว่าอนุภาคนาโนของทองและเงินได้ถูกศึกษาอย่างมาก ซึ่งอนุภาคทั้งสองจะแสดงสมบัติ พลาสมอน เรโซแนนซ์ในย่านวิสิเบิล (visible) และอินฟราเรดย่านใกล้ (near-infrared) อย่างไรก็ตามอนุภาคทั้งสองก็ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้าน ยกตัวอย่างเช่น การนำมาใช้ในกลไกการเร่งปฏิกิริยาเคมี (เพราะจะไม่ตอบสนองต่อกลไกดังกล่าว) เป็นต้น[19] ดังนั้นการนำอนุภาคดังกล่าวมาทำโครงสร้างใหม่ร่วมกับวัสดุโลหะประเภทอื่นจึงได้รับความสนใจทั้งนี้เนื่องจากจะสามารถทำให้ได้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่โดดเด่นขึ้น



รูปที่ 1.2 กลไกการเกิดกระบวนการ Plasmonic resonance energy transfer[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการนำวัสดุโลหะในกลุ่มทรานซิชัน เช่น Pd, Pt มาสร้างโครงสร้างอนุภาคนาโนโลหะร่วมกับทองหรือเงิน โดยออกแบบให้มีวัสดุตั้งกล่าวหุ้มอนุภาคนาโนโลหะทองหรือเงิน (โครงสร้างแบบ core-shell) เช่น Au/Pd, Au/Pt จะสามารถเพิ่มคุณสมบัติการเร่งปฏิกิริยาได้ (improve catalytic properties)[20] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องกับเพื่อศึกษาการนำวัสดุโลหะนาโนที่มีโครงสร้างแบบ core-shell มาใช้ร่วมกับวัสดุฟลูออเรสเซนต์ โดยศึกษาปรากฏการณ์ MEF ของวัสดุอนุภาคโลหะที่มีขนาดนาโน 3 ประเภทคือ อนุภาคโลหะนาโนทอง (Au) อนุภาคโลหะนาโนทองเคลือบพลาตินั่ม (Au/Pd) และอนุภาคโลหะนาโนพลาตินั่มที่มีโครงสร้างแบบรูพรุน (Pd porous) กับสารสีย้อม 2 ชนิดคือ สาร Rhodamine 6G และ Coumarin 153 โดยมุ่งเน้นที่จะหาเงื่อนไขในการจัดเตรียมสารละลายผสมระหว่างอนุภาคโลหะนาโนและสีย้อมที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ MEF ที่เหมาะสม และนำสารละลายมาศึกษาสเปกตรัมแสงของสารสีย้อม Rhodamine 6G ที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับอนุภาคโลหะนาโนของ Au/Pd เพื่อศึกษากลไกการเกิดปรากฏการณ์ PRET ทั้งในรูปแบบของฟิล์มบางและสารละลาย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้อนุภาคโลหะผ่านปรากฏการณ์เซอ์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ของอนุภาคโลหะระดับนาโน 3 ชนิด คือ Gold/Palladium (Au/Pd), Pd (porous) และ Gold (Au)
2. เพื่อศึกษาสมบัติของสีย้อมไวแสง Rhodamine 6G (Rh6G) และ Coumarin 153 (C153) ที่นำมาใช้ร่วมกับอนุภาคโลหะนาโน
3. เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ระหว่างสารละลายสีย้อมไวแสงที่ผสมกับอนุภาคโลหะนาโน
4. เพื่อทดลองจัดเตรียมฟิล์มจากสารสีย้อมและอนุภาคโลหะนาโน และศึกษาการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ในรูปของฟิล์ม

1.3 ขอบเขตโครงการงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางแสงของอนุภาคโลหะที่มีขนาดนาโน 3 ชนิด คือ Gold/Palladium (Au/Pd), Pd (porous) และ Gold (Au)
2. ศึกษาสมบัติของสีย้อมไวแสง Rhodamine 6G (Rh6G) และ Coumarin 153 (C153)
3. ทำการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ระหว่างสารละลายสีย้อมไวแสงที่ผสมกับอนุภาคโลหะนาโน
4. ทดลองจัดเตรียมฟิล์มจากสารสีย้อมและอนุภาคโลหะนาโน และศึกษาการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ในรูปของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง คือ สมบัติของอนุภาคโลหะที่มีโครงสร้างระดับนาโนและสมบัติของสารสีย้อม หลักการเตรียมสารละลาย การเตรียมฟิล์ม และหลักการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายและฟิล์ม

ขั้นตอนที่ 2 ทดลองจัดเตรียมสารละลายสีย้อมที่ผสมกับอนุภาคโลหะนาโนที่มีความเข้มข้นค่าต่างๆ

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ระหว่างสารละลายสีย้อมไวแสงที่ผสมกับอนุภาคโลหะนาโน

ขั้นตอนที่ 4 ทดลองจัดเตรียมฟิล์มจากสารสีย้อมและอนุภาคโลหะนาโน และศึกษาการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ในรูปของฟิล์ม

ขั้นตอนที่ 5 จัดเตรียมรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา ปีการศึกษา 2557-2559					
	เดือน 1-6	เดือน 7-12	เดือน 13-18	เดือน 19-24	เดือน 25-30	เดือน 31-36
ขั้นตอนที่ 1						
ขั้นตอนที่ 2						
ขั้นตอนที่ 3						
ขั้นตอนที่ 4						
ขั้นตอนที่ 5						

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลงานวิจัยที่แสดงถึงเงื่อนไขการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer เข้าใจถึงสมบัติของอนุภาคโลหะนาโนต่อประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสง
2. สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปประยุกต์กับการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ หรือการพัฒนาเซนเซอร์ตรวจวัดทางด้านเคมีและชีวภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

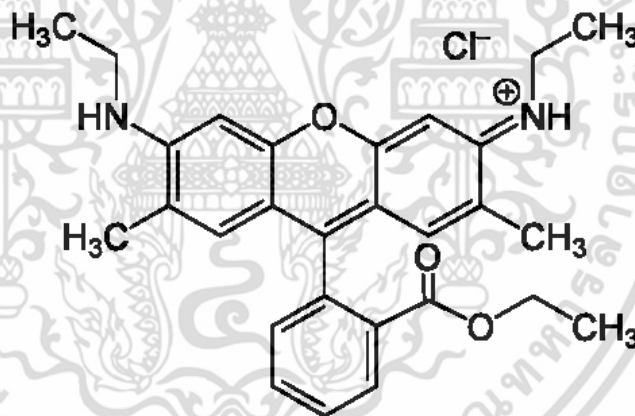
การศึกษาสมบัติของสารสีย้อมร่วมกับอนุภาคโลหะที่มีขนาดนาโน จะเกี่ยวข้องกับทฤษฎีต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังนี้

- สมบัติของวัสดุสีย้อมไวแสงและวัสดุอนุภาคโลหะที่มีขนาดนาโน
- กลไกการดูดกลืนและการเรืองแสงของวัสดุสีย้อม
- การเพิ่มขึ้นของการเรืองแสงของโลหะ (Metal Enhanced Fluorescence) และปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ในอนุภาคนาโนโลหะชั้นสูง
- ทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์

2.1 สมบัติของวัสดุ

2.1.1 สารสีย้อมไวแสง

1) สารประกอบโรดามีน 6จี (Rhodamine 6G; Rh6G)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโรดามีน 6จี[21]

คุณสมบัติ

- สูตรทางเคมี	$C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$
- มวลโมเลกุล	479.02 g/mol
- ความหนาแน่น	1.26 g/cm^3
- การละลายในน้ำ	20 g/l (25 °C)
- การละลายในเมทานอล	400 g/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

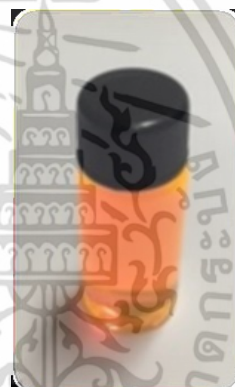
- ชื่ออื่น

Rhodamine 590, R6G, Rh6G, C.I. Pigment Red 81, C.I. Pigment Red 169, Basic Rhodamine Yellow, CI 45160

โรดามีน 6จี (Rh6G) เป็นที่รู้จักกันในชื่อโรดามีน 590 ซึ่งเป็นหนึ่งในสารสีย้อมที่ใช้บ่อยที่สุดใน การประยุกต์ใช้สารสีย้อมเลเซอร์ และสามารถนำมาใช้ตามรอยสีย้อมภายในน้ำเพื่อกำหนดทิศทาง และอัตราการไหลของน้ำ โรดามีน 6จี เป็นสารสีย้อมชนิดเปล่งแสง มีโครงสร้างแสดงดังรูป 2.1 ใน สภาวะปกติเป็นของแข็งสีแดงเข้มดังรูปที่ 2.2(ก) เมื่อนำมาละลายกับตัวทำละลาย เช่น น้ำ เอทานอล เมทานอล ไดคลอโรมีเทนจะได้สารละลายสีส้มดังรูปที่ 2.2(ข) เมื่อถูกแสงกระตุ้นด้วยแสงยูวีจะเกิด การเปล่งแสงสีเขียวอมเหลืองดังรูปที่ 2.2(ค) โดยมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงดังรูปที่ 2.2(ง)



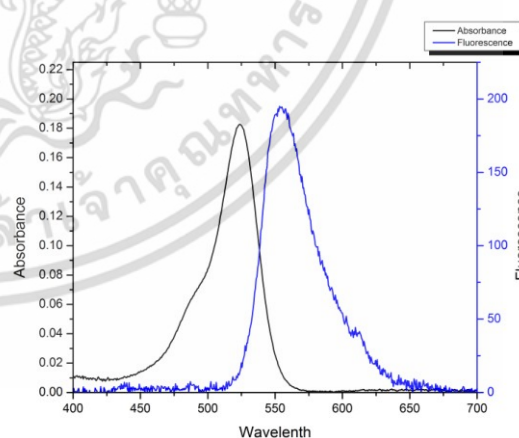
(ก) สารโรดามีน 6จี ในสภาวะปกติ[22]



(ข) สารโรดามีน 6จี ทำละลายด้วยไดคลอโรมีเทน



(ค) การเปล่งแสงของสารเมื่อถูกกระตุ้น

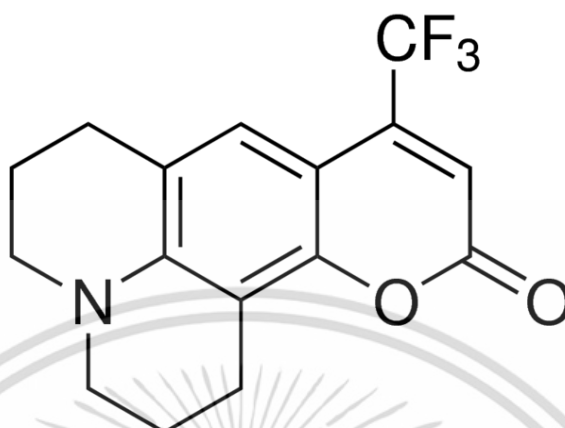


(ง) สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง

รูปที่ 2.2 คุณสมบัติของสารโรดามีน 6จี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คูมาริน 153 (Coumarin 153; C153)

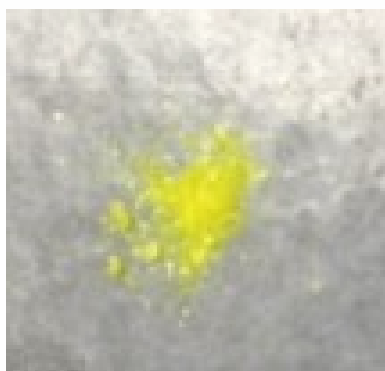


รูปที่ 2.3 โครงสร้างคูมาริน 153[23]

คุณสมบัติ

- สูตรทางเคมี $C_{16}H_{14}F_3NO_2$
- มวลโมเลกุล 309.28 g/mol
- ความยาวคลื่น 419 – 426 nm

คูมาริน 153 ซึ่งเป็นหนึ่งในสารสีย้อมอินทรีย์เคมีใช้ในการประยุกต์ใช้สารสีย้อมเลเซอร์ คูมาริน 153 เป็นสารสีย้อมชนิดเปล่งแสง มีโครงสร้างแสดงดังรูป 2.3 ในสภาวะปกติเป็นของแข็งสีเหลือง ดังรูปที่ 2.4(ก) เมื่อนำมาละลายกับตัวทำละลาย เช่น น้ำ เอทานอล เมทานอล ไดคลอโรมีเทนจะได้สารละลายสีเขียวอ่อนดังรูปที่ 2.4(ข) เมื่อถูกแสงกระตุ้นด้วยแสงยูวีจะเกิดการวาวแสงสีเขียวดังรูปที่ 2.4(ค) โดยมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงดังรูปที่ 2.4(ง)



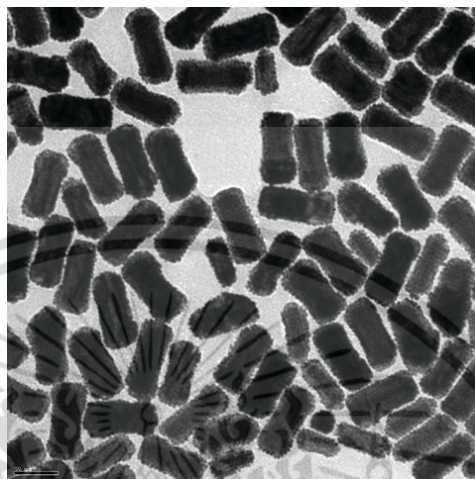
(ก) สารคูมาริน ในสภาวะปกติ



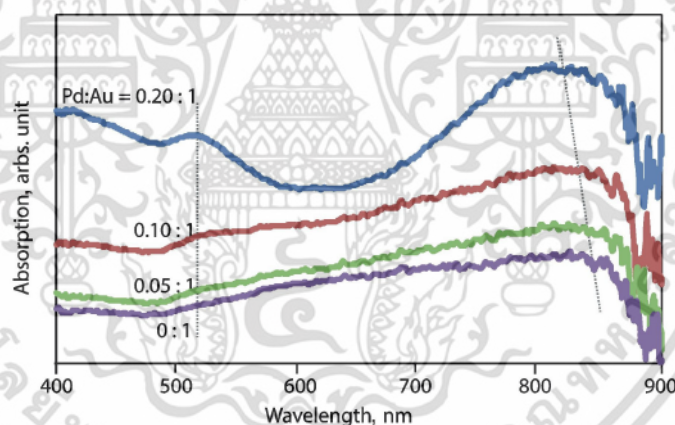
(ข) สารคูมาริน ทำละลายด้วยไดคลอโรมีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิสะสม 2-8°C
- น้ำหนักมวลโมเลกุล 196.97 g/mol



รูปที่ 2.5 อนุภาคนาโนพลาตตินั่มเคลือบทองคำ (Gold - nanorod Palladium coated)[24]



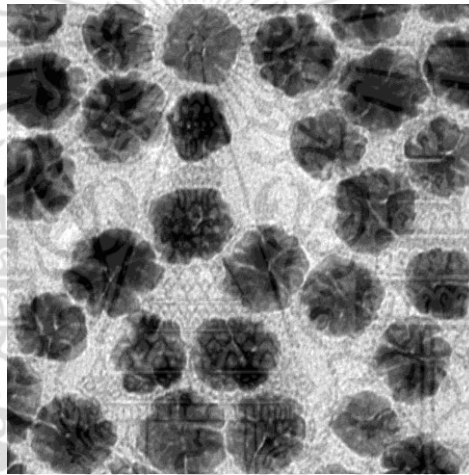
รูปที่ 2.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนพลาตตินั่มเคลือบทองคำ[25]

2) อนุภาคนาโนคริสตัลพลาตตินั่มที่มีโครงสร้างแบบรูพรุน (Porous Palladium Nanocrystals)

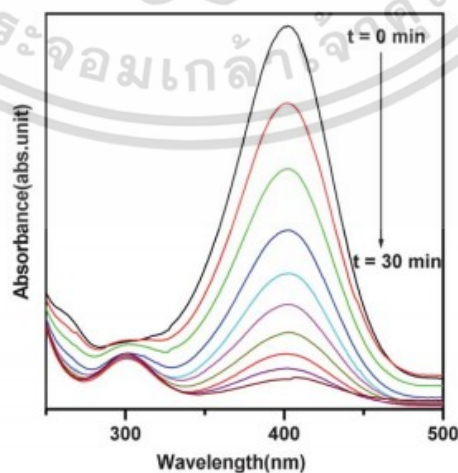
อนุภาคนาโนพลาตตินั่มที่มีโครงสร้างแบบรูพรุนดังรูปที่ 2.7 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีเสถียรภาพ สามารถนำไปกระตุ้น C - H เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาจับข้ามคู่ อนุภาคนาโนพลาตตินั่มที่มีโครงสร้างแบบรูพรุนสามารถนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเซลล์เชื้อเพลิง แยกน้ำด้วยแสง และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีได้ดี[26] ซึ่งมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ประมาณ 400 นาโนเมตรดังรูปที่ 2.8 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติ

- สูตรทางเคมี Pd-PNC-50
- เส้นผ่านศูนย์กลาง (นาโนเมตร) 50 ± 5
- ขนาดอนุภาคแบบรูพรุน 3~7 nm
- ปริมาตร 10 mL
- อัตราส่วนมวล 0.005%
- ความเข้มข้นมวลของโลหะชั้นสูง $50 \mu\text{g/mL}$



รูปที่ 2.7 อนุภาคนาโนคริสตัลพัลลาเดียมที่มีโครงสร้างแบบรูพรุน (Porous Palladium Nanocrystals)[26]

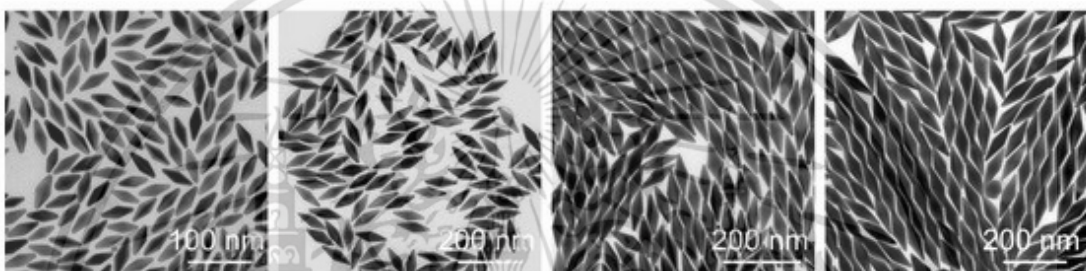


รูปที่ 2.8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนคริสตัลพัลลาเดียม[27]

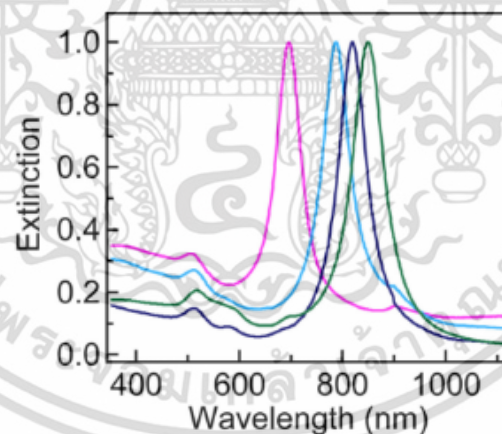
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) อนุภาคนาโนทองคำที่มีโครงสร้างพีระมิด (Gold nanobipyramids)

อนุภาคนาโนทองคำที่มีโครงสร้างแบบพีระมิด ดังรูปที่ 2.9 เป็นทองที่มีความบริสุทธิ์สูง มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากันหรือมีลักษณะที่เรียกว่า โมโนดิสเพอร์ส (monodisperse) สูง เปอร์เซ็นต์ของทองในโครงสร้างพีระมิดที่มากกว่า 95% นอกจากนี้นาโนพีระมิดของทองแสดงถึงการปรับปรุงสนามไฟฟ้าของทองแท่งนาโนซึ่งมีค่าดัชนีหักเหของนาโนพีระมิดจะมีขนาดใหญ่กว่าแท่งทองคำนาโนทั่วไป คาดว่านาโนพีระมิดสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานพลาสมอนิกพบว่ามีประสิทธิภาพสูงทางด้านเคมีและการตรวจวัดทางด้านชีวภาพ[30] ซึ่งมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสั้นประมาณ 506 - 517 นาโนเมตร และที่ความยาวคลื่นยาวที่ 700 - 850 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 อนุภาคนาโนทองคำที่มีโครงสร้างพีระมิด (Gold nanobipyramids)[28]



รูปที่ 2.10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีโครงสร้างพีระมิด[28]

คุณสมบัติ

- สูตรทางเคมี Au - NBP
- เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 nm
- ความยาว 83 nm
- การดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นยาว 828 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 วัสดุตัวกลาง[29]

ในการจัดเตรียมฟิล์มบางจะต้องอาศัยวัสดุตัวกลางที่ทำหน้าที่ยึดเกาะโมเลกุลหรืออนุภาคของวัสดุสีย้อมและอนุภาคโลหะ ซึ่งวัสดุตัวกลางที่ดีต้องมีสมบัติดังนี้

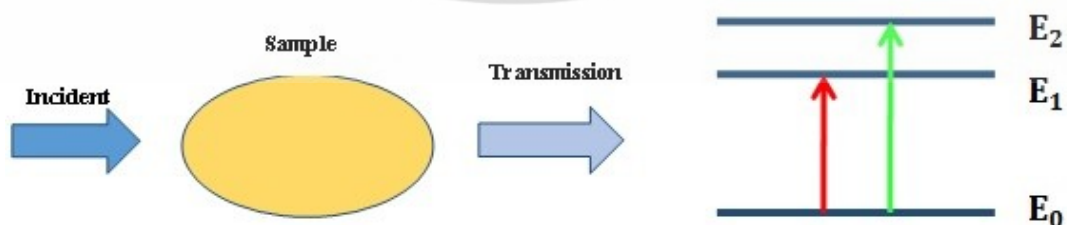
- มีความโปร่งแสง
- มีความเสถียรในเชิงเคมี
- สามารถขึ้นรูปได้ง่าย
- มีสมบัติทางกลสูง (อัตราการเปลี่ยนรูป, มีความเหนียว ทนแรงกระแทก)
- ทนทานต่อสภาพอากาศในฤดูกาลต่างๆได้ดี
- มีความหนาแน่นต่ำ ยืดหยุ่นได้
- ราคาถูก
- ไม่มีความเป็นพิษ
- มีค่าดัชนีหักเหสูง

จากสมบัติที่แสดงข้างต้น พบว่ามีสารหลายชนิดที่คุณสมบัติเหมาะสม เช่น สารพอลิเมอร์โปร่งแสงจำพวกพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate: PMMA), พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride: PVC), พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS), พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกวัสดุ PMMA

ซึ่งรู้จักกันดีในชื่อว่าการค้าที่ว่า เฟลคซิกกลาส(Plexiglass) ลูซิท์(Lucite) โพลีกลาส (Polyglass) วัสดุนี้สามารถให้แสงส่องผ่านได้ถึง 92% มีความแข็งแรงและทนทานต่อดินฟ้าอากาศและความคงทนต่อความร้อนดีมาก

2.2 กลไกการดูดกลืนแสงของวัสดุ[29]

กลไกการดูดกลืนแสง คือ กระบวนการที่พลังงานของแสงที่ถูกถ่ายเทไปยัง อะตอม ไอออน หรือโมเลกุลที่อยู่ในกลาง การดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างใดๆสามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 ลักษณะหลักคือ ดูดกลืนในระดับอะตอมและดูดกลืนในโมเลกุล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่แสงนั้นทำอันตรกิริยา



รูปที่ 2.11 กลไกการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปลี่ยนแปลงระดับ

- การดูดกลืนแสงหรือพลังงานที่ทำให้อนุภาคเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะปกติหรือสถานะพื้น(ground state)ไปยังสถานะที่มีระดับพลังงานสูงกว่าหรือ
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะกระตุ้น(excited state) เราเรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า การเปลี่ยนแปลงสถานะหรือการทรานสิชัน(transition)

- การเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาคนี้อาจต้องอาศัยพลังงานที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าผลต่างของระดับพลังงานระหว่างสถานะพื้นและสถานะกระตุ้น ซึ่งค่าความถี่(พลังงาน)น้อยสุดของโฟตอนที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาคที่มีค่าเท่ากับ

$$E_1 - E_0 = h\nu \quad (2.1)$$

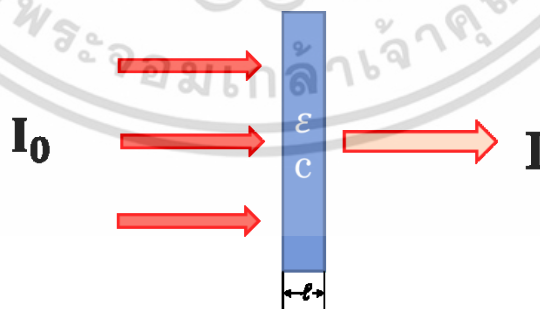
รูปที่ 2.11 แสดงการเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาคจากสถานะพื้นไปยังสถานะที่สูงกว่าจะเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ ย้ายจากชั้น E_0 ไปยัง E_1 (ดูดกลืนแสงความยาวคลื่น λ_1) หรือ จาก E_0 ไปยัง E_2

การวิเคราะห์ว่าแสงถูกดูดกลืนภายในตัวกลางได้มากหรือน้อยเพียงใดนั้น สามารถกระทำได้โดยอาศัยกฎของ เบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's Law) ดังสมการที่ 2.2 สมการนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ฉายผ่านมายังสสารและปริมาณแสงที่ถูกส่งผ่านออกมา

$$A = \log \frac{I_0}{I} = -\log T \quad (2.2)$$

เมื่อ

A	คือ ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
I_0	คือ ปริมาณแสงที่ผ่านออก
I	คือ ปริมาณแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวกลาง
T	คือ ค่าการส่งผ่านแสง (Transmittance)



รูปที่ 2.12 รูปแสดงปริมาณแสงที่ฉายผ่านมายังสสารและปริมาณแสงที่ถูกส่งผ่านออกมา

ค่าการดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น ดังสมการที่ 2.3

$$A = cl\epsilon \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	A	= ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (absorbance)
	L	= ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่างหรือความกว้างของเซลล์ (cm)
	c	= ความเข้มข้นของโมเลกุล (M)
	ϵ	= สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของโมเลกุล ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

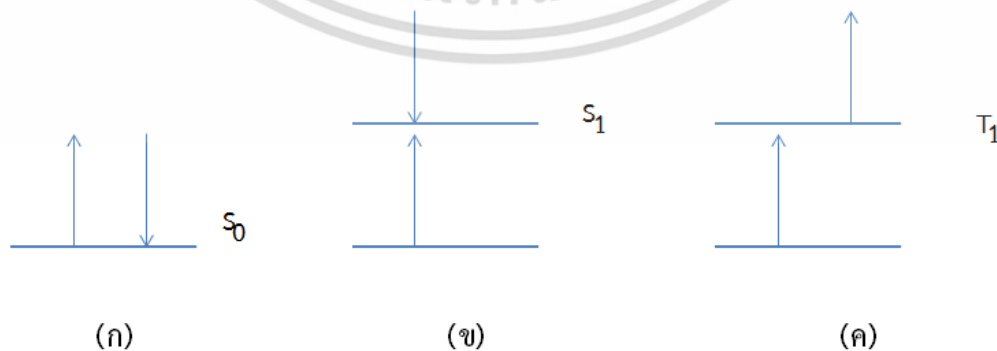
2.3 กลไกการเรืองแสง[29]

แสงที่ดูดกลืนโดยโมเลกุลของสารเรืองแสงถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในการกระตุ้นอิเล็กตรอนในอะตอมของโมเลกุลสารเรืองแสงให้ย้ายไปยังระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น และเมื่ออิเล็กตรอนในสถานะดังกล่าวตกกลับมายังสถานะพื้น อาจจะมีการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence) ออกมา แสงลูมิเนสเซนซ์สามารถจำแนกได้หลายประเภทดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแต่ละประเภทจะถูกแบ่งตามแหล่งพลังงานที่กระตุ้นโมเลกุลของสารเรืองแสงแล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ เช่น โฟโตลูมิเนสเซนซ์ เกิดจากโมเลกุลทำอันตกริยากับโฟตอนและเรดิโอลูมิเนสเซนซ์ เกิดจากโมเลกุลของสารนั้นได้รับพลังงานจากอนุภาคที่มีพลังงานสูงไปเป็นโมเลกุลที่สถานะกระตุ้น เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 การเกิดแสงลูมิเนสเซนซ์ประเภทต่างๆ

ชนิดของลูมิเนสเซนซ์	แหล่งพลังงานในการกระตุ้นโมเลกุล
ไบโอลูมิเนสเซนซ์ (Bioluminescence)	กลไกทางชีวภาพ (Biological process)
แคโทดลูมิเนสเซนซ์ (Cathodoluminescence)	รังสีแคโทด (Cathode ray)
เคมีลูมิเนสเซนซ์ (Chemiluminescence)	พลังงานเคมี (Chemical energy)
อิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ (Electroluminescence)	สนามไฟฟ้า (Electric field)
โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence)	โฟตอน (Photon)
เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence)	ความร้อน (Thermal)

- กระบวนการเกิดแสงลูมิเนสเซนซ์มีดังนี้



รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงทิศทางการหมุนของอิเล็กตรอนในโมเลกุลใน (ก) สถานะเดียวในสภาวะพื้น

(ข) สถานะเดียวในสภาวะกระตุ้น (ค) และสถานะสามในสภาวะกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากแสงอิเล็กตรอนที่อยู่สถานะพื้นจะถูกกระตุ้นให้ไปที่ระดับพลังงานสูงขึ้น การย้ายระดับพลังงานของอิเล็กตรอนมี 2 ลักษณะคือ ย้ายไปยังสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้น และ ย้ายไปยังสถานะสามในสถานะกระตุ้น ดังรูปที่ 2.13(ข) และ (ค) ตามลำดับ ซึ่งในกรณีของการกระตุ้นอิเล็กตรอนไปยังสถานะสามในสถานะกระตุ้น เกิดจากการที่อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นมีโอกาสในการหมุนกลับทิศทางทำให้ค่า S (...) มีค่าเท่ากับ 1 และมีค่า M (Molecular multiplicity) มีค่าเท่ากับ 3

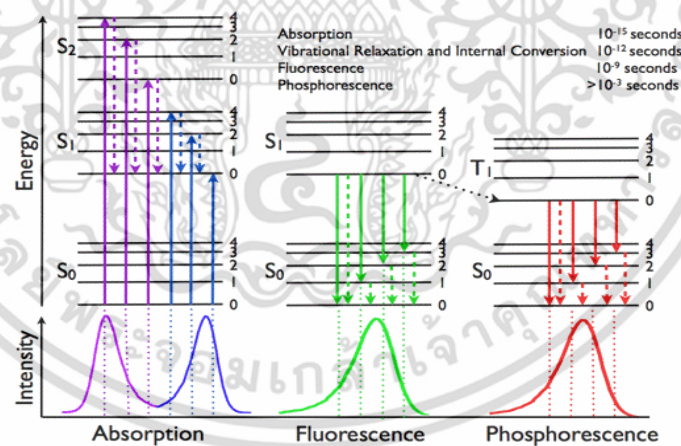
กระบวนการลดระดับพลังงาน (Deexcitation)

กระบวนการลดระดับพลังงานเกิดจากการที่อิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะกระตุ้นตกกลับสู่สถานะพื้น กระบวนการนี้สามารถ แบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1. กระบวนการลดระดับพลังงานแบบไม่เกิดแสง

- การลดระดับพลังงานการสั่นของโมเลกุล (Vibrational relaxation: VR)

เมื่ออิเล็กตรอนของโมเลกุลของสารเรืองแสงได้รับพลังงาน อิเล็กตรอนจะขึ้นไปสู่สถานะพลังงานกระตุ้น ซึ่งมีระดับพลังงานการสั่นหลายค่า โดยกระบวนการนี้เกิดขึ้นในโมเลกุลที่อยู่ในรูปแบบของสารละลาย อิเล็กตรอนนั้นจะเกิดการสูญเสียพลังงานออกมาในรูปของความร้อนที่เกิดจากการสั่นในการชนกับตัวทำละลาย มีผลทำให้ตัวทำละลายมีพลังงานสูงขึ้น



รูปที่ 2.14 แผนภาพแสดงการดูดกลืนและการปลดปล่อยพลังงานรูปแบบต่างๆ[30]

- การแปลงผันภายใน (Internal conversion: IC)

กระบวนการนี้จะไม่เกิดการคายพลังงานแสงหรือพลังงานความร้อนออกมา แต่จะเกิดการส่องผ่านพลังงานระหว่างโมเลกุลเท่านั้น โดโนโมเลกุลที่ส่องผ่านจะมีค่าพลังงานที่สถานะกระตุ้นต่างกัน ไม่มากนักหรือมีช่วงระดับพลังงานซ้อนทับกัน เช่นการส่องผ่านพลังงานในสถานะ S₁ ไปยังสถานะ S₂ ที่ระดับพลังงานเดียวกันดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การลดระดับพลังงานข้ามสถานะ (Intersystem crossing: ISC)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่อิเล็กตรอนของโมเลกุลในสถานะกระตุ้นเกิดการเปลี่ยนทิศทางการหมุน ซึ่งการที่อิเล็กตรอนจะเปลี่ยนทิศทางการหมุนได้ก็ต่อเมื่อระดับพลังงานการสั่นของสถานะเดี่ยวและระดับชั้นพลังงานการสั่นของสถานะสามในสถานะกระตุ้นตรงกัน (พลังงานเท่ากัน) หรือการทรานซิชันจากสถานะเดี่ยวที่มีระดับพลังงานการสั่นต่ำสุดไปสู่สถานะสามในสถานะกระตุ้นที่มีระดับพลังงานการสั่นมากกว่า

2. กระบวนการลดระดับพลังงานแบบเกิดแสง

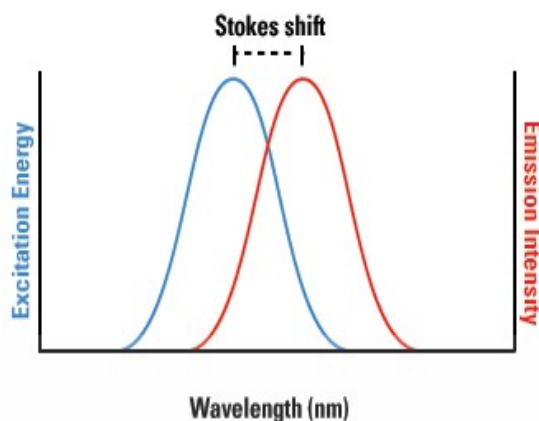
- ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence)

เมื่ออิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงมากผ่านกระบวนการลดระดับพลังงานแบบไม่เกิดแสงดังที่กล่าวมาแล้ว จนกระทั่งเมื่ออิเล็กตรอนในโมเลกุลลดระดับพลังงานมาถึงระดับพลังงานการสั่นต่ำสุดของสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้นจะเกิดการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้น ซึ่งการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้นนี้จะเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปของแสงและเรียกกระบวนการคายพลังงานนี้ว่าฟลูออเรสเซนซ์

- ฟอสฟอริสเซนซ์ (Phosphorescence)

การคายพลังงานในกระบวนการนี้จะแตกต่างจากการคายพลังงานแบบฟลูออเรสเซนซ์เนื่องจากฟอสฟอริสเซนซ์เป็นการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในระดับพลังงานการสั่นต่ำที่สุดของสถานะสามของสถานะกระตุ้น ซึ่งถ้าเป็นฟลูออเรสเซนซ์จะเป็นการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในระดับพลังงานการสั่นต่ำสุดของสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้น การปลดปล่อยพลังงานแสงแบบนี้ถูกเรียกว่าฟอสฟอริสเซนซ์

กระบวนการคายพลังงานแบบที่เกิดแสงทั้งสองชนิดจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในย่านความยาวคลื่นที่ยาวกว่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการกระตุ้น โดยการเลื่อนของสเปกตรัมแสงลูมิเนสเซนซ์ถูกเรียกว่า Stoke shift ซึ่งมีนิยามว่าเป็นระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมแสงลูมิเนสเซนซ์ในการเกิดฟอสฟอริสเซนซ์ระยะห่างจากจุดสูงสุดของทั้งสองสเปกตรัมจะมากกว่าการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ เพราะว่าชั้นพลังงานของสถานะสามในสถานะกระตุ้นจะสูงกว่าสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้น

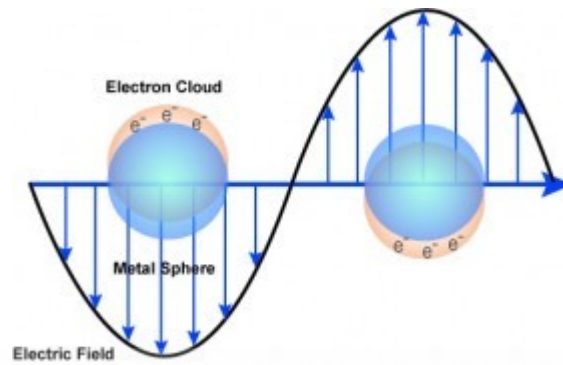


รูปที่ 2.15 แผนภาพแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง[31]

2.4 ปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

สมบัติทางแสงซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของโลหะและโลหะออกไซด์ โดยเฉพาะโลหะ เช่น ทองคำจะแสดงสมบัติทางแสงอย่างเด่นชัด อธิบายด้วยปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance, SPR) ซึ่งเป็นคลื่นความหนาแน่นของประจุที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระ ที่มีลักษณะการสั่นพร้อมเพรียงกัน เป็นปรากฏการณ์ ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยผิวต่อของโลหะกับสารไดอิเล็กทริก เช่น ระหว่างทองคำหรือกับอากาศหรือสารละลาย โดยที่ขนาด ยอดคลื่น และความกว้าง ของสเปกตรัมพลาสมอนเรโซแนนซ์ของวัสดุต่างๆ จะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประเภทของวัสดุ และสภาพแวดล้อมรอบๆ วัสดุนั้น อนุภาคนาโนของทองคำจะมีสีแดงแทนที่จะเป็นสีเหลืองวาวอย่างที่พบได้ทั่วไป โลหะชนิดอื่นที่นอกเหนือไปจากทองคำก็สามารถแสดงปรากฏการณ์เชิงแสงในลักษณะเดียวกันนี้ได้เช่นกัน เช่น อนุภาคนาโนของเงิน จะมีสีเหลืองเข้ม แทนที่จะเป็นสีเงินวาวที่เราคุ้นเคย อย่างไรก็ตามโลหะส่วนใหญ่จะมีความถี่เรโซแนนต์อยู่ในช่วงใกล้รังสียูวีซึ่งอยู่นอกสเปกตรัมของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้อนุภาคนาโนของโลหะเกือบทุกชนิดไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโนได้นานในสภาวะแวดล้อมตามปกติทำให้เราไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ในโลหะชนิดอื่นๆ

ปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบที่โครงสร้างระดับนาโนของวัสดุโลหะ ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปยังแถบเหนี่ยวนำและเกิดการสั่นพ้องกับแสงที่มากกระทบ ส่งผลให้เกิดพลาสมอนโพลาไรตรอน (รูปที่ 2.16) ซึ่งจะสามารถถ่ายทอดระหว่างรอยต่อของโลหะและไดอิเล็กทริก[32] โดยความถี่ของการสั่นนี้ขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (electron density) มวลสัมพัทธ์อิเล็กตรอน (effective electron mass) ขนาด รูปร่างของการกระจายของประจุ (charge distribution)



รูปที่ 2.16 กระบวนการสั่นของพลาสมอน (Plasmon oscillation) สำหรับอนุภาคทรงกลม[32]

2.5 Metal Enhanced Fluorescence[33]

เมื่อวัสดุฟลูออเรสเซนต์ถูกแวดล้อมด้วยอนุภาคโลหะนาโน อาจส่งผลให้แสงฟลูออเรสเซนต์ที่ปลดปล่อยออกมามีความเข้มเพิ่มขึ้นหรือเรียกว่าเกิดกลไก MEF (Metal enhanced fluorescence) หรือมีความเข้มลดลงก็ได้ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความเข้มแสงฟลูออเรสเซนต์สามารถอธิบายได้จากเปลี่ยนแปลงค่าควอนตัมยิลด์และค่าช่วงอายุพาหะ ดังนี้

กรณีที่ 1 ค่าควอนตัมยิลด์และช่วงชีวิตของวัสดุฟลูออโรฟอร์

การพิจารณาค่าควอนตัมยิลด์และช่วงชีวิตของวัสดุฟลูออโรฟอร์โดยทั่วไป สามารถพิจารณาได้จากสมการ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

$$Q_0 = \frac{T}{T+k_{nr}+k_q} \quad (2.5)$$

$$t_0 = \frac{1}{T+k_{nr}+k_q} \quad (2.6)$$

เมื่อ Q_0 คือ ค่าควอนตัมยิลด์ของวัสดุฟลูออโรฟอร์โดยทั่วไป

T คือ อัตราการสลายตัวของกัมมันตรังสี

k_{nr} คือ ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวแบบไม่แผ่รังสี

k_q คือ ค่าคงที่ของอัตรา biomolecular quenching (อัตราส่วนผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สำหรับ

วัสดุฟลูออโรฟอร์และควอนเซอร์

t_0 คือ ช่วงชีวิตของวัสดุฟลูออโรฟอร์โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 ค่าควอนตัมยิลด์และช่วงชีวิตของวัสดุฟลูออโรฟอร์ที่ถูกแวดล้อมด้วยวัสดุโลหะนาโน เมื่อวัสดุฟลูออโรฟอร์ถูกแวดล้อมด้วยอนุภาคนาโนในระยะเวลาที่เหมาะสม จะส่งผลให้ค่าควอนตัมยิลด์ (Q_m) และ ช่วงชีวิตของวัสดุฟลูออโรฟอร์ (T_m) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปดังสมการที่ 2.7 และ 2.8

$$Q_m = \frac{T+T_m}{T+k_{nr}+k_q} \tag{2.7}$$

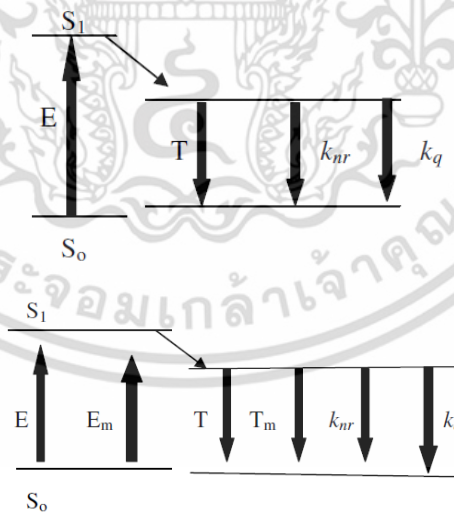
$$t_m = \frac{1}{T+T_m+k_{nr}+k_q} \tag{2.8}$$

- เมื่อ Q_m คือ ค่าควอนตัมยิลด์ของวัสดุฟลูออโรฟอร์เมื่อถูกแวดล้อมด้วยวัสดุนาโนโลหะ
- t_m คือ ช่วงชีวิตของวัสดุฟลูออโรฟอร์เมื่อถูกแวดล้อมด้วยวัสดุนาโนโลหะ
- T_m คือ การเพิ่มขึ้นของช่วงชีวิตของวัสดุฟลูออโรฟอร์เมื่อถูกแวดล้อมด้วยวัสดุนาโนโลหะ

ตัวแปรต่างๆ ข้างต้นสามารถเขียนแสดงดังแผนภาพ Jablonski แสดงในรูปที่ 2.17

ไม่มีโลหะ (สถานะที่มีพื้นที่ว่าง)

มีอนุภาคนาโนโลหะ



(อัตราการกระตุ้น E)

(อัตราการกระตุ้นโลหะเพิ่ม Em)

รูปที่ 2.17 แผนภาพ Classical Jablonski สำหรับสถานะที่มีพื้นที่ว่าง และการปรับเปลี่ยนรูปแบบในการปรากฏตัวของอนุภาคโลหะ[33]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุฟลูออโรฟอร์เมื่อถูกแวดล้อมด้วยอนุภาคนาโนโลหะ ทำให้เกิดปฏิกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้า และปฏิกิริยาพลาสมอนิกเรโซแนนซ์ สามารถก่อให้เกิดการส่งผ่านพลังงานที่เพิ่มขึ้น ค่าควอนตัมยิลด์เพิ่มขึ้น และทำให้ช่วงเวลาชีวิตลดลง ซึ่งขนาดของอนุภาคนาโนโลหะมีบทบาทต่อสมบัติการเรืองแสงตามทฤษฎีของมิเอะ อนุภาคขนาดเล็กมีกระบวนการลดการเรืองแสง (Quench fluorescence) โดยการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่อนุภาคขนาดใหญ่เพิ่มประสิทธิภาพการเรืองแสงโดยการกระเจิง เมื่อวัสดุฟลูออโรฟอร์มีขนาด 5 นาโนเมตร ที่พื้นผิวของอนุภาคนาโนโลหะมีกระบวนการลด (Quenching) การควบคุมการเพิ่มขึ้นของความเข้มฟลูออเรสเซนซ์ ถ้าวัสดุฟลูออโรฟอร์ขนาด 10 นาโนเมตร หรือขนาดที่ใหญ่กว่า มีการเพิ่มขึ้นของความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์จะถูกควบคุมโดยกระบวนการลด (quenching) หากแยกวัสดุฟลูออโรฟอร์และอนุภาคนาโนโลหะที่มีขนาดใหญ่ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ค่อยๆ ลดลง การที่วัสดุฟลูออโรฟอร์เมื่อถูกแวดล้อมด้วยวัสดุอนุภาคนาโนโลหะไม่เพียงแต่จะส่งผลกระทบต่อช่วงเวลาชีวิตและการเพิ่มขึ้นของควอนตัมยิลด์แต่ยังคงความเสถียรภาพ วัสดุฟลูออโรฟอร์ข้างเคียง ให้มีความคงทนต่อสภาพแสงแรงๆ โดยลดอายุช่วงเวลาชีวิตเพื่อความสะดวกในการใช้งานในภาพทางชีวภาพ (bioimaging) อนุภาคนาโนโลหะแสดงสมบัติของแสงที่ไม่ซ้ำกันเนื่องจากการกระตุ้นของเซอร์เฟส พลาสมอนิก ด้วยแสงที่ทำให้เพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นอนุภาคนาโนเหล่านี้ เมื่ออยู่ใกล้กับวัสดุฟลูออโรฟอร์ที่มีความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเรืองแสงและลดระดับโมเลกุลในสถานะกระตุ้นของช่วงเวลาชีวิต คุณสมบัติพลาสมอน เรโซแนนซ์ ของอนุภาคนาโนโลหะเหล่านี้ สามารถควบคุมได้โดยการปรับโครงสร้างของอนุภาคนาโนขนาดของอนุภาคนาโน และองค์ประกอบต่างๆ แต่ในทางตรงกันข้าม อนุภาคนาโนโลหะยังก่อให้เกิดการการลด (quenching) ของความเข้มของการเรืองแสง เมื่อติดกับโมเลกุลของวัสดุฟลูออโรฟอร์ การลด (quenching) ของความเข้มแสงส่วนใหญ่นั้นมาจากอิเล็กตรอนและพลังงานส่งผ่านจากโมเลกุลของสารสียอมไปยังอนุภาคนาโน การลด (quenching) ไม่เพียงแต่เกิดจากการเพิ่มขึ้นในอัตราการคายพลังงานโดยไม่แผ่รังสีแต่ยังลดอัตราการแผ่รังสีฟลูออโรฟริก (fluorophoric radiative rate)

2.6 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)[29,34]

สเปกโตรมิเตอร์ คือ เครื่องมือวัดเชิงแสงชนิดหนึ่งที่ใช้ในการตรวจวัดคุณสมบัติเฉพาะของแสงได้แก่ สเปกโตรคลีนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยส่วนมากนำไปใช้ในกระบวนการวิเคราะห์สเปกโตรสโคปิก เพื่อระบุชนิดของสาร ผลการวัดที่แตกต่างกันโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากความเข้มแสงที่แตกต่างกัน แต่บางทีอาจเกิดจากปรากฏการณ์โพลาไรซ์ก็ได้ ตัวแปรอิสระได้แก่ความยาวคลื่นของแสง มักระบุเป็นหน่วยย่อยของเมตร หรือบางครั้งก็ระบุเป็นสัดส่วนของพลังงานโฟตอน เช่น หมายเลขคลื่น หรืออิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งมักจะมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นอยู่แล้ว เราใช้สเปกโตรมิเตอร์ในกระบวนการวิเคราะห์สเปกโตรสโคปี โดยสร้างเส้นสเปกตรัมขึ้น และตรวจวัดความยาวคลื่นกับความเข้ม สามารถวัดได้ตั้งแต่รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ ไปจนถึงรังสีอินฟราเรด ถ้าย่านความถี่ของคลื่นที่สนใจตกอยู่ย่านของสเปกตรัมที่ตามองเห็น มักเรียกการศึกษาเช่นนั้นว่า “spectrometry” [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

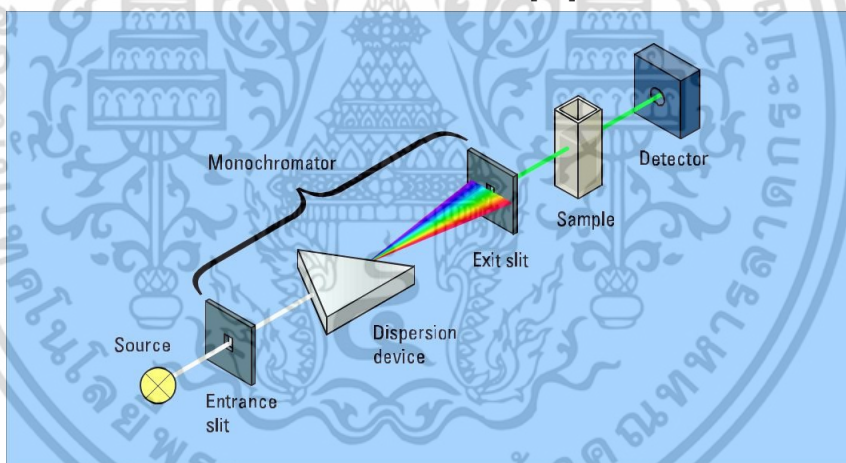
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ประกอบไปด้วย

1. Light source แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ ออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตาม ความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอด H₂ and D₂ lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm และช่วง Visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm เป็นต้น

2. Monochromator เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือ เกรตติ้ง

3. Cell sample เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ตซ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

4. Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงาน คลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube และ เครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด Silicon diode detector [36]



รูปที่ 2.18 รูปแสดงองค์ประกอบของ UV-VIS Spectrophotometer[36]

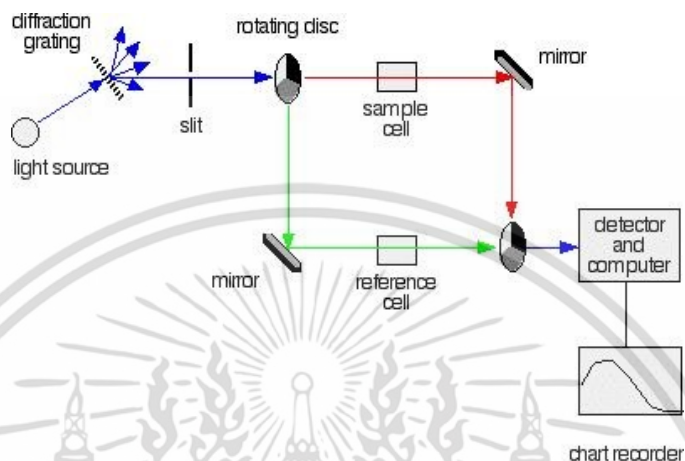
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) Single-Beam spectrophotometer เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์ โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณ เนื่องจาก สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ ต้องการวัดลำรังสีนี้จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำ รังสีผ่านสลับกัน

2) Double-Beam Spectrophotometer (รูปที่ 2.19) ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อ ออกจาก Exit slit แล้ว ลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะสะท้อนไปผ่านสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง ในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดียวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่



รูปที่ 2.19 Double beam spectrophotometer[37]

ซึ่งในงานวิจัยเราได้ใช้สเปกโตรมิเตอร์รุ่น UV/VIS spectrometer Avantes avaspec-EDU ซึ่งเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ประกอบด้วย ช่องทางเข้าแสง (entrance slit), คอลิเมเตอร์(collimator), มืองค์ประกอบการกระจายคลื่น เช่น เกรตติ้งหรือปริซึม โดยเน้นที่เลนส์และเครื่องตรวจจับ ในระบบโมโนโครเมติก โดยปกติมีช่องทางออก(Exit slit) และมีเพียงส่วนที่แคบของสเปกตรัมที่ฉายบนเครื่องตรวจจับ ในโมโนโครเมติกช่องทางออกอยู่ในตำแหน่งที่คงที่ และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในขนาดที่กว้าง โดยหมุนเกรตติ้งเพื่อสแกนความถี่แสง[48] ซึ่งจัดอยู่ในประเภท Double-Beam Spectrophotometer โดยส่วนประกอบของสเปกโตรมิเตอร์ที่เราใช้ในงานวิจัยมีส่วนประกอบหลักดังนี้ (ดังรูปที่ 2.20)

1. Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด Silicon diode detector

2. SMA Connector ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงสองเส้น หรือเส้นใยนำแสงกับแหล่งกำเนิดแสง หรือระหว่างเส้นใยนำแสงกับดีเทกเตอร์ทำหน้าที่ต่อ หรือปลดสายออกจากกัน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับสายที่ออกจากเครื่องมือ ซึ่งชนิดหัวต่อเอสเอ็มเอ เป็นหัวน็อตหกเหลี่ยม

3. Grating เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบสเปคของแสงโดยอาศัย คุณสมบัติการแทรกสอดของคลื่นลักษณะของเกรตติ้ง จะเป็นแผ่นวัสดุบางที่ถูกแบ่งออกเป็นช่องขนานซึ่งอยู่ชิดกันมาก โดยทั่วไปใน 1 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 10,000 ช่อง

4. Slit, mode stripper เป็นช่องผ่านสำหรับย้ายจากโหมดแคลด์ดิง ออกจากโหมด Guided เพียงอย่างเดียวโดยพฤติกรรมของพลังงานแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. 2nd mode stripper เป็นช่องผ่านสำหรับย้ายจากโหมดเคลดตั้ง ออกจากโหมด Guided เพียงอย่างเดียวโดยพฤติกรรมของพลังงานแสง เป็นลำดับที่สอง
6. Collimating mirror เป็นกระจกรวมแสง ทำหน้าที่ในระบบลำเลียงโดยนำและเลือกแสง
7. Focusing mirror เป็นกระจกโฟกัสแสง
8. และ 9. CPC light traps เป็นกับดักแสง
10. DCL-UV/VIS เป็นแหล่งรวมแสงยูวีแบบไดนามิก
11. OSC-filter ทำหน้าที่กรองความถี่แบบออสซิลเลเตอร์



รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer[38]

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติของวัสดุนาโนโลหะ Au , Au@Pd และ Pd รวมถึงการศึกษาปรากฏการณ์ Metal Enhanced Fluorescence; MEF ของวัสดุต่างๆ เหล่านี้ โดย Chris D. Geddes ได้พูดถึงเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 2002 MEF ซึ่งหลายคนๆ อาจจะเรียกว่า Surface-Enhanced Fluorescence (SEF), Plasmon Enhanced Fluorescence และ Metal-induced Fluorescent Enhancement (MIFE) ซึ่ง MEF เกิดขึ้นเมื่อสารเรืองแสงมีตำแหน่งที่อยู่ใกล้สนามซึ่งปกติจะน้อยกว่า 10 นาโนเมตรจากอนุภาคโลหะและมีลักษณะเฉพาะโดยทำให้ปริมาณความเข้มฟลูออเรสเซนซ์เพิ่มขึ้น และยังลดเวลาช่วงชีวิตฟลูออเรสเซนซ์ ที่ช่วงเวลาชีวิตลดลงบ่อยครั้งมักจะเห็นจุดเด่นคือความสามารถในการส่งผ่านพลังงาน เป็นวัสดุฟลูออโรฟอร์ที่ใช้เวลาน้อย ในสถานะกระตุ้นก่อนที่จะกลับมายังสถานะพื้น ซึ่งเป็นปัจจัยในการเพิ่มประสิทธิภาพควบคู่ไปกับความสามารถในการส่งผ่านแสง ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา Chris D. Geddes และ Lakowicz proposed ได้กล่าวว่า กลไก MEF ได้รับการสนับสนุนโดยการปรับเปลี่ยนอัตราการแผ่รังสีของวัสดุฟลูออโรฟอร์เมื่อถูกแควดล้อมด้วยอนุภาคนาโนโลหะ ซึ่งปรากฏการณ์ MEF ได้ถูกศึกษาอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถทำให้ปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่เปล่งจากวัสดุมีความเข้มแสงสูงขึ้น โดยมีการศึกษาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

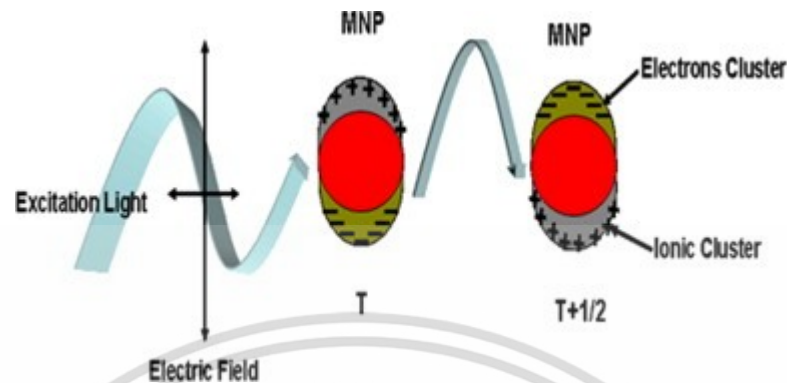
ในปี ค.ศ. 2009 Zhilin Yang และคณะ[15] ได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะพื้นผิวโดยการกระเจิงรามาน ของไพริตินการดูดกลืนแสงอนุภาคนาโนเซลล์ Au/Pd ถูกตรวจสอบโดยทฤษฎีและวิธีทางควอนตัมเคมี ทฤษฎีรูปแบบการกระเจิงมี (Mie theory) และโดยอาศัยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมเชิงเวลา (Finite Difference Time Domain, FDTD) เพื่ออธิบายพฤติกรรมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในท่อนำคลื่นและในวัสดุที่มีรูพรุน เราใช้ศึกษาอิทธิพลของพลาเดียมในโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ของโครงสร้างอนุภาคนาโนทองคำ และเปรียบเทียบโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ของกลุ่มทองกับทองเคลือบพลาเดียม ศึกษาสเปกตรัมการเพิ่มขึ้นที่พื้นผิวการกระเจิงรามานของไพริตินในอนุภาคนาโน Au@Pd แสดงให้เห็นถึงอัตราของการเพิ่มขึ้นทางเคมีและการเพิ่มขึ้นทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการทดลอง ศึกษาการมีอิทธิพลความหนาของเซลล์พลาเดียมในการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโน Au@Pd ในการตรวจสอบกับทฤษฎีมีทั่วไป ศึกษาการมีอิทธิพลของความหนาของเซลล์ ในการเพิ่มขึ้นของกับวิธีสนามไฟฟ้าอาศัยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมเชิงเวลา ตามทฤษฎีผลที่แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นทางเคมีคงที่และการเพิ่มขึ้นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ 10 และ ตามลำดับ การศึกษาเชิงทฤษฎีเหล่านี้ส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์และคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของ Au@Pd และกลไกการเพิ่มพื้นผิวการกระเจิงรามานของโมเลกุลในการดูดกลืนแสง Au@Pd

ในปี ค.ศ. 2012 S.Chandra และคณะ[9] ได้ศึกษาการการเปล่งแสงการเพิ่มขึ้นควอนตัมดอทสำหรับแผ่นรวมแสงโดยใช้ปฏิกิริยาพลาสมอนิกในอนุภาคนาโนทองคำ ได้มีการศึกษาและแผ่นรวมแสงควอนตัมดอท ได้สังเกตเห็นว่ามีความเข้มข้นที่เหมาะสมของอนุภาคนาโนทองคำที่ให้สูงสุดถึง 53% ในการเพิ่มขึ้นของการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์สำหรับอนุภาคนาโนทองคำควอนตัมดอท ความเข้มข้นที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับการจับคู่ระหว่างเพื่อนบ้านควอนตัมดอทและอนุภาคนาโนทองคำ ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องในการเพิ่มประสิทธิภาพการเรืองแสงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคนาโนทองคำ สนามไฟฟ้าแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นโดยเซอร์เฟจพลาสมอนเรโซแนนซ์ในอนุภาคนาโนทองคำนำไปสู่อัตราการเพิ่มขึ้นของควอนตัมดอท เป็นหลักฐานการกระตุ้นความยาวคลื่นในเพิ่มขึ้นของการเรืองแสง แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของอนุภาคนาโนไม่ได้แผ่รังสีพลังงานส่งผ่านจากควอนตัมดอทไปยังอนุภาคนาโนแต่กลับการเปล่งแสงลดลง และได้การยืนยันจากการตรวจสอบอายุการใช้งานโดยสมการกำลังสองในการช่วงเวลาของควอนตัมดอท แต่การเพิ่มประสิทธิภาพการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นที่เพิ่มขึ้นและการไม่แผ่รังสีของพลังงานการส่งผ่าน

S.Chandra และคณะ ยังได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีเซอร์เฟจพลาสมอนเรโซแนนซ์ ในโครงสร้างอนุภาคโลหะนาโนโดยใช้กระบวนการสมบัติทางแสงของเซอร์เฟจพลาสมอนเรโซแนนซ์ ในการสั่นในแถบพลังงานคอนดักชัน การกระตุ้นที่เพิ่มขึ้นที่แสดงในภาพที่ 2.21 อนุภาคโลหะนาโนทำตัวเป็นเสาอากาศเพื่อปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในอนุภาคโลหะนาโน การเพิ่มขึ้นของสนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับระยะทางจากพื้นผิวโลหะกับระยะการสลายตัวของ การกระตุ้นความยาวคลื่น เมื่อการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ (เช่น ควอนตัมดอท หรือ สีย้อม) อยู่ในช่วงของความเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ปฏิกริยาพลาสมอนิกเกิดขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น อัตราการกระตุ้นเพิ่มขึ้น และการแผ่รังสีและอัตราการไม่แผ่รังสีของพลูออเรสเซนซ์



รูปที่ 2.21 แผนผังแสดงถึงการกระตุ้นเซอร์เฟซพลาสมอนในอนุภาคนาโน[9]

ในปี ค.ศ. 2013 S.M. El-Bashir และคณะ[16] ได้ศึกษาการการเพิ่มประสิทธิภาพในการเรืองแสงพลูออเรสเซนซ์ของโลหะผสมกับสีย้อมคูมารินโดยอนุภาคนาโนคือ เงิน และ ทองคำ ในทางฟิล์มบางพลาสมอนิกในแผ่นรวมแสงลูมิเนสเซนซ์ S.M. El-Bashir และคณะ ได้ทำฟิล์มโพลีเมทิลเมทิลไคลเตด (PMMA) เจือสารสีย้อมคูมาริน กับอนุภาคโลหะนาโนชั้นสูง (เงิน 60 นาโนเมตร และทอง 100 นาโนเมตร) โดยใช้เทคนิคการเตรียมฟิล์มบางเทคนิคการเคลือบหมุนเหวี่ยง ผลกระทบของอนุภาคนาโนเงินและทองคำบนฟิล์ม โดยใช้การศึกษาเครื่องวัดแสงอินฟราเรดแบบฟูเรีย และเครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความร้อน การศึกษากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด ศึกษาการดูดกลืนแสงโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงพลูออเรสเซนซ์ เครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความร้อนชี้ว่า อุณหภูมิของฟิล์มเพิ่มขึ้นโดยความเข้มข้นอนุภาคนาโนเพิ่มขึ้น ซึ่งเสถียรภาพความร้อนมีแนวโน้มไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางสภาพอากาศร้อน พบว่าสัญญาณพลูออเรสเซนซ์ที่ผสมสีย้อมคูมาริน มีค่าขยายสัญญาณจาก 5.4 ไป 7.15 เป็นผลทำให้การเรืองแสงพลูออเรสเซนซ์เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยที่น่าเสนอพบว่า ศักยภาพของฟิล์มบางในเซลล์แสงอาทิตย์ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานโดยแผ่นรวมแสงลูมิเนสเซนซ์ฟิล์มบางพลาสมอนิก

ในปี ค.ศ. 2014 Shweta Verma และคณะ[17] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางแสงของสารสีย้อมโรดามีนและอนุภาคนาโนทองคำที่เจือจางต่างกันในรูปแบบสารละลาย ปฏิกริยาความเข้มข้นระหว่างประจุลบที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนทองคำ และสารสีย้อมโรดามีน ซึ่ง Shweta Verma และคณะ ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฉพาะเซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ การดูดกลืนแสงเนื่องจากการรวมกันของสารสีย้อมและอนุภาคนาโน การเรืองแสงและพื้นผิวการกระเจิงรามานของสารสีย้อม การศึกษาสมบัติทางแสงผลที่ได้จากปฏิกริยาที่พบขึ้นอยู่กับการเจือจางอนุภาคโลหะทองคำและความเข้มข้นของสารสีย้อม ความเข้มข้นของสารสีย้อม 1 μM ค่อนข้างต่ำบนพื้นผิวของอนุภาคโลหะทองคำไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ แต่ที่เห็นได้ชัดความยาวคลื่นเซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ และความกว้างของคลื่นความถี่เกี่ยวกับการแก้ปัญหาเกี่ยวกับสารละลายอนุภาคโลหะทองคำบริสุทธิ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางตรงกันข้ามความเข้มข้นของสารสีย้อมที่สูงขึ้น Shweta Verma และคณะ พบว่าอนุภาคเพิ่มขึ้นควบคู่ไปกับเซอร์เฟพลาสมอนเรโซแนนซ์ มีช่วงความยาวคลื่นที่สูงขึ้นและพบว่าชั้นการดูดกลืนแสงมีค่าสูงขึ้นโดยลดสัดส่วนของอนุภาคโลหะนาโนทองคำ ซึ่งประสิทธิภาพการเรืองแสงนั้นพบว่ามีผลลดลงเมื่อเพิ่มทั้งสารสีย้อมและอนุภาคโลหะนาโนทองคำ การสังเกตถูกนำมาประกอบกับกระบวนการส่งผ่านพลังงานเรโซแนนซ์จากการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในการกระตุ้นสถานะช่วงชีวิตของสารสีย้อมในอนุภาคโลหะนาโน นอกจากนี้ปฏิกิริยากลุ่มอนุภาคโลหะนาโนที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวผ่านตัวทำลายละลายพบว่ามีประสิทธิภาพสูงสำหรับการเพิ่มพื้นผิวการกระเจิงรามานตามการตรวจสอบความเข้มข้นที่ต่ำมากของสารสีย้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงเครื่องมือและระบบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมถึงกระบวนการในการเตรียมสารละลายของสารสีย้อมกับอนุภาคนาโนโลหะ และการจัดเตรียมฟิล์มของสารเรืองแสงกับอนุภาคนาโนโลหะ และกระบวนการทดสอบสเปกตรัมของแสงของสารละลายและฟิล์มที่จัดเตรียมขึ้น โดยมีเนื้อหาแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อหลักดังนี้

1. เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. การเตรียมสารละลายและฟิล์มโดยการจัดเตรียมแม่พิมพ์
3. การวัดสเปกตรัมแสงของสารละลายสารสีย้อม สารอนุภาคนาโนโลหะ และสารละลายของสารสีย้อมผสมกับสารอนุภาคนาโนโลหะ
4. การวัดสเปกตรัมของฟิล์มของสารสีย้อมและสารสีย้อมผสมกับอนุภาคนาโนโลหะ

3.1 เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1.1 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (UV/Vis spectrometer) ที่ใช้ในงานวิจัยคือเครื่อง Avantes avaspec-EDU



รูปที่ 3.1 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์

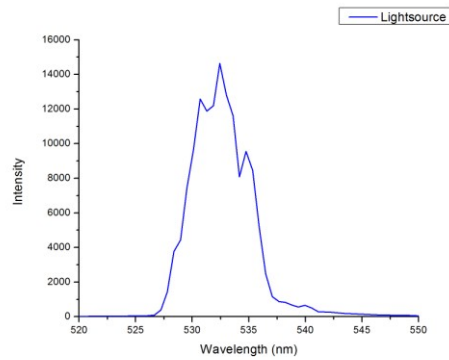
3.1.2 เครื่องกำเนิดแสงทั้งสแตน

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องกำเนิดแสงจากหลอดทั้งสแตน (รุ่น MEGALIGHT 100 จากบริษัท SCHOTT Nippon k.k. Fiber Optics) ที่ให้แสงขาวในย่านความยาวคลื่น 400 – 900 นาโนเมตร ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

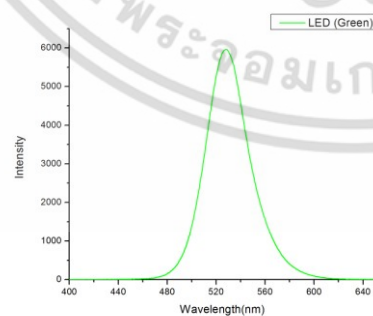
รูปที่ 3.2 (ก) เครื่องกำเนิดแสงทั้งสแตน (ข) ความยาวคลื่นเครื่องกำเนิดแสงทั้งสแตน

3.1.3 ไดโอดเปล่งแสง

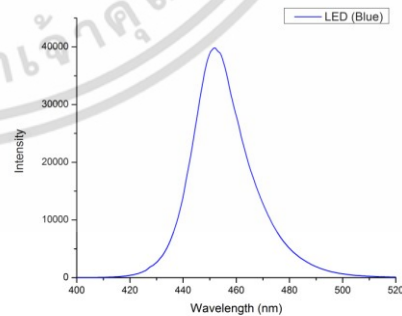
ในการวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์จากวัสดุที่ต้องการทดลอง ผู้วิจัยเลือกใช้ไดโอดเปล่งแสงชนิดกำลังสูง (ขนาด 1 วัตต์) มีความเข้มแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 524 นาโนเมตร (แสงสีเขียว) และความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร (แสงสีน้ำเงิน) เพื่อกระตุ้นวัสดุที่เตรียมจากสารสีย้อม Rh6G และ C153 ตามลำดับ โครงสร้างภายนอกและสเปกตรัมของแสงของแหล่งกำเนิดของทั้งสองแสดงดังรูปที่ 3.3



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.3 (ก) ไดโอดเปล่งแสงชนิดกำลังสูง (ข) สเปกตรัมของไดโอดเปล่งชนิดกำลังสูงแสงสีเขียว

(ค) สเปกตรัมของไดโอดเปล่งชนิดกำลังสูงแสงสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 สายใยแก้วนำแสง

สายใยแก้วนำแสงถูกนำมาใช้ในการนำสัญญาณแสงในงานวิจัยได้เลือกใช้งานสายที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกันดังนี้

- (1) สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังสารละลายและฟิล์ม ซึ่งมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.4 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดไปยังสารละลายและฟิล์ม

- (2) สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งที่ผ่านสารละลายและฟิล์มเข้าสู่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ สายใยแก้วนำแสงมีขนาดความยาว 2 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร รุ่น Avantaes FC-UV200-2 ลักษณะดังรูปที่ 3.5(ก) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตร ลักษณะดังรูปที่ 3.5(ข)



(ก)



(ข)

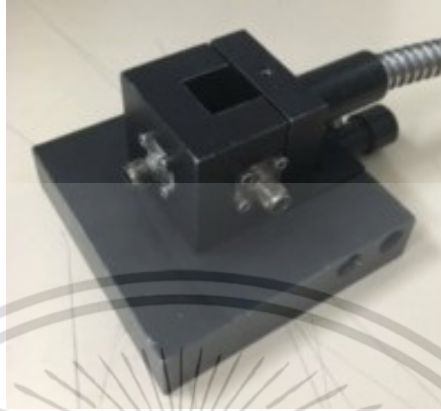
รูปที่ 3.5 สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากสารละลายและฟิล์มบางไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

- (ก) ขนาด 200 ไมโครเมตรสำหรับสารละลาย (ข) ขนาด 600 ไมโครเมตรสำหรับฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 แทนสำหรับจับยึดคิวงเวท

แทนจับยึดคิวงเวท ทำหน้าที่ ในการจับยึดคิวงเวทที่บรรจุสารละลายที่ต้องการทดสอบมีลักษณะดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์จับยึดสายใยแก้วนำแสง ที่ใช้จับยึดคิวงเวท

3.1.6 แทนจับยึดแผ่นฟิล์ม

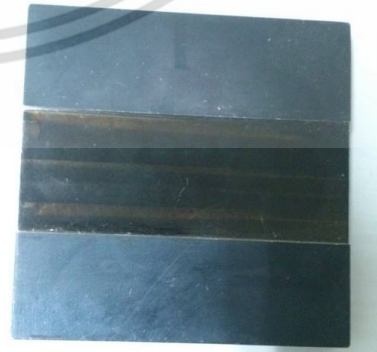
(2) แทนจับยึดแผ่นฟิล์ม มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.7



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.7 (ก) อุปกรณ์จับยึดในการวัดสเปกตรัมของฟิล์ม (ข) อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง

(ค) อุปกรณ์จับยึดฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมสารละลายและฟิล์ม

3.2.1 การเตรียมสารละลายสี่อ้อมไวแสง

3.2.1.1 การเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี

ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

1) ชั่งสารโรดามีน 6จี (Rh6G) ปริมาณ 0.0239 g และนำมาทำละลายกับไดคลอโรมีเทน (DCM) ปริมาตร 50 ml เพื่อเตรียมสารละลายตั้งต้นที่มีค่าความเข้มข้นที่ 10^{-3} M (โดยคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น อยู่ในภาคผนวก)

2) เจือจางสารตั้งต้นเพื่อเตรียมสารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้นค่าต่างๆ ดังแสดงในตาราง

3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงปริมาตรการเจือจางของสารละลายในความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลาย Rh6G

ความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G	Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M (ml)	เจือจาง DCM (ml)
10^{-6} M	0.01	9.99
2×10^{-6} M	0.02	9.98
4×10^{-6} M	0.04	9.96
6×10^{-6} M	0.06	9.94
8×10^{-6} M	0.08	9.92
10^{-5} M	0.1	9.9
2×10^{-5} M	0.2	9.8
4×10^{-5} M	0.4	9.6
6×10^{-5} M	0.6	9.4
8×10^{-5} M	0.8	9.2
10^{-4} M	1	9
2×10^{-4} M	2	8
4×10^{-4} M	4	6
6×10^{-4} M	6	4
8×10^{-4} M	8	2

3.2.1.2 การเตรียมสารละลายคูมาริน 153

1) ชั่งสารคูมาริน (C153) ปริมาณ 0.0031 g และนำมาทำละลายกับเอทานอล ปริมาตร 50 ml เพื่อเตรียมสารละลายตั้งต้นที่มีค่าความเข้มข้นที่ 10^{-3} M

2) เจือจางสารตั้งต้นเพื่อเตรียมสารละลายคูมารินที่มีค่าความเข้มข้นค่าต่างๆ ดังแสดงในตาราง 3.2 โดยคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น อยู่ในภาคผนวก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงปริมาณการเจือจางของสารละลายในความเข้มข้นต่างๆ ของ C153

ความเข้มข้นของสารละลาย C153	C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M (ml)	เจือจาง Ethanol (ml)
10^{-6} M	0.01	9.99
2×10^{-6} M	0.02	9.98
4×10^{-6} M	0.04	9.96
6×10^{-6} M	0.06	9.94
8×10^{-6} M	0.08	9.92
10^{-5} M	0.1	9.9
2×10^{-5} M	0.2	9.8
4×10^{-5} M	0.4	9.6
6×10^{-5} M	0.6	9.4
8×10^{-5} M	0.8	9.2
10^{-4} M	1	9

3.2.2 การเตรียมสารละลายสี่อ้อมผสมกับอนุภาคโลหะนาโน

3.2.3.1 การเตรียมสารละลายโรดาซีน 6จี ผสมกับอนุภาคโลหะนาโนสาร Gold/Palladium (Au/Pd)

ขั้นตอนการเตรียม

1) เตรียมสารผสมที่ปริมาตร 2 ml คงที่ โดยการนำอนุภาคโลหะนาโน Au/Pd ที่มีความเข้มข้น 3.6×10^{-4} M กับสารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 6×10^{-6} M โดยทำการเปลี่ยนสัดส่วนของความเข้มข้นของสารที่ผสมกันในช่วงระหว่าง 1:1 ถึง 60:1 ($C_{Au/Pd} : C_{Rh6G}$) ดังแสดงในตาราง 3.3 และแต่ละสารละลายตัวอย่างเติม DCM ปริมาตร 1 ml

ตารางที่ 3.3 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ผสมกับสาร Au/Pd ในอัตราส่วนความเข้มข้น

สารละลายตัวอย่าง	ปริมาตรของ Au/Pd (ml)	ความเข้มข้นของ Au/Pd (mM)	ปริมาตรของ Rh6G (ml)	ความเข้มข้นของ Rh6G (uM)	อัตราส่วนปริมาตร $V_{Au/Pd} : V_{Rh6G}$	อัตราส่วนความเข้มข้น $C_{Au/Pd} : C_{Rh6G}$
สาร A	0.5	0.1206	0.5	2.0	1 : 1	60 : 1
สาร B	0.25	0.0516	0.75	3.6	1 : 3	14 : 1
สาร C	0.125	0.0241	0.875	4.6	1 : 7	5 : 1
สาร D	0.0625	0.0117	0.9375	5.29	1 : 15	2 : 1
สาร E	0.03125	0.00574	0.96875	5.63	1 : 31	1 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เตรียมสารละลายสี่ย้อมโรดามีน 6จี ที่มีความเข้มข้นเท่ากับที่ใช้ในการจัดเตรียมสารผสม ปริมาณ 2 ml เพื่อใช้ในการวัดเปรียบเทียบ

ตารางที่ 3.4 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ที่เจือจางด้วย DCM ในอัตราส่วนความเข้มข้น (คำนวณหาได้จากปริมาตร)

สารละลายตัวอย่าง	ปริมาตรของสารละลาย (ml)		ความเข้มข้นของสารละลาย (uM)
	Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M	DCM	
สาร A _{ref}	0.5	1.5	2.0
สาร B _{ref}	0.75	1.25	3.6
สาร C _{ref}	0.0875	1.125	4.6
สาร D _{ref}	0.9375	1.0625	5.29
สาร E _{ref}	0.96875	1.3125	5.63

3.2.3.2 การเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับสารอนุภาคนาโนของ Gold (Au) ขั้นตอนการเตรียม

1) เตรียมสารผสมที่มีปริมาตร 2 ml คงที่ โดยการนำสาร Au ที่มีความเข้มข้น 5.1×10^{-4} M กับสารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 6×10^{-6} M โดยทำการเปลี่ยนสัดส่วนของความเข้มข้นของสารที่ผสมกันในช่วงระหว่าง 1:1 ถึง 85:1 ($C_{Au} : C_{Rh6G}$) ดังแสดงในตาราง 3.5 และแต่ละสารละลายตัวอย่างเติม DCM ปริมาตร 1 ml

ตารางที่ 3.5 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ผสมกับสาร Au ในอัตราส่วนความเข้มข้น

สารละลายตัวอย่าง	ปริมาตรของ Au (ml)	ความเข้มข้นของ Au (mM)	ปริมาตรของ Rh6G (ml)	ความเข้มข้นของ Rh6G (uM)	อัตราส่วนปริมาตร $V_{Au} : V_{Rh6G}$	อัตราส่วนความเข้มข้น $C_{Au} : C_{Rh6G}$
สาร A	0.5	0.1692	0.5	2.0	1 : 1	85 : 1
สาร B	0.25	0.0725	0.75	3.6	1 : 3	20 : 1
สาร C	0.125	0.0338	0.875	4.6	1 : 7	7 : 1
สาร D	0.0625	0.0163	0.9375	5.29	1 : 15	3 : 1
สาร E	0.03125	0.00805	0.96875	5.63	1 : 31	1 : 1

2) เตรียมสารละลายสี่ย้อมโรดามีน 6จี ที่มีความเข้มข้นเท่ากับที่ใช้ในการจัดเตรียมสารผสม ปริมาณ 2 ml เพื่อใช้ในการวัดเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ที่เจือจางด้วย DCM ในอัตราส่วนความเข้มข้น (คำนวณหาได้จากปริมาตร)

สารละลายตัวอย่าง	ปริมาตรของสารละลาย (ml)		ความเข้มข้นของสารละลาย (uM)
	Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M	DCM	
สาร A _{ref}	0.5	1.5	2.0
สาร B _{ref}	0.75	1.25	3.6
สาร C _{ref}	0.0875	1.125	4.6
สาร D _{ref}	0.9375	1.0625	5.29
สาร E _{ref}	0.96875	1.3125	5.63

3.2.3.3 การเตรียมสารละลาย Coumarine 153 ผสมกับสารอนุภาคนาโน Palladium (Pd) ขั้นตอนการเตรียม

1) เตรียมสารผสมที่มีปริมาตร 2 ml คงที่ โดยการนำสาร Pd ที่มีความเข้มข้น 4.7×10^{-4} M ที่ปริมาตร 1 ml กับสารละลาย C153 ที่มีความเข้มข้นที่ 2×10^{-6} M ที่ปริมาตร 1 ml โดยสารละลายทั้งสองที่ผสมกันมาทำการเจือจางด้วยเอทานอลทั้งหมด 10 ครั้ง ตามอัตราส่วนความเข้มข้นดังตาราง 3.7 และแต่ละสารละลายตัวอย่างเติมเอทานอล ปริมาตร 1 ml

ตารางที่ 3.7 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย C153 ผสมกับสาร Pd ในอัตราส่วนความเข้มข้นตามการเจือจาง

สารละลายตัวอย่าง	ปริมาตรของ Pd (ml)	ความเข้มข้นของ Pd (uM)	ปริมาตรของ C153 (ml)	ความเข้มข้นของ C153 (uM)	อัตราส่วนปริมาตร $V_{Pd} : V_{C153}$	อัตราส่วนความเข้มข้น $C_{Pd} : C_{C153}$
สาร A	0.5	116.45	0.5	0.5	1:1	233 : 1
สาร B	0.25	58.225	0.25	0.25	1:1	233 : 1
สาร C	0.125	29.112	0.125	0.125	1:1	233 : 1
สาร D	0.0625	14.5562	0.0625	0.0625	1:1	233 : 1
สาร E	0.03125	7.2781	0.03125	0.03125	1:1	233 : 1
สาร F	0.015625	3.6390	0.015625	0.015625	1:1	233 : 1
สาร G	0.0078125	1.8195	0.0078125	0.0078125	1:1	233 : 1
สาร H	0.00390625	0.9097	0.00390625	0.00390625	1:1	233 : 1
สาร I	0.00195312	0.4548	0.00195312	0.00195312	1:1	233 : 1
สาร J	0.00097656	0.2274	0.00097656	0.00097656	1:1	233 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เตรียมสารละลาย C153 ที่มีความเข้มข้นเท่ากับที่ใช้ในการจัดเตรียมสารผสมปริมาณ 2 ml เพื่อใช้ในการวัดเปรียบเทียบ

ตารางที่ 3.8 ตารางอัตราส่วนในการผสมสารละลาย C153 ที่เจือจางด้วย Ethanol ในอัตราส่วนความเข้มข้น (คำนวณหาได้จากปริมาตร)

สารละลายตัวอย่าง	ปริมาตรของสารละลาย (ml)		ความเข้มข้นของสารละลาย (uM)
	C153 ที่ความเข้มข้น 2×10^{-6} M	Ethanol	
สาร A _{ref}	0.5	1.5	0.5
สาร B _{ref}	0.25	1.25	0.25
สาร C _{ref}	0.125	1.125	0.125
สาร D _{ref}	0.0625	1.0625	0.0625
สาร E _{ref}	0.03125	1.03125	0.03125
สาร F _{ref}	0.015625	1.015625	0.015625
สาร G _{ref}	0.0078125	1.0078125	0.0078125
สาร H _{ref}	0.00390625	1.00390625	0.00390625
สาร I _{ref}	0.00195312	1.00195312	0.00195312
สาร J _{ref}	0.00097656	1.00097656	0.00097656

3.2.2 การเตรียมฟิล์ม

สำหรับการเตรียมฟิล์ม ผู้วิจัยได้ทำการจัดการเตรียมแม่พิมพ์ขึ้น เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีขนาด 1 x 1 เซนติเมตร

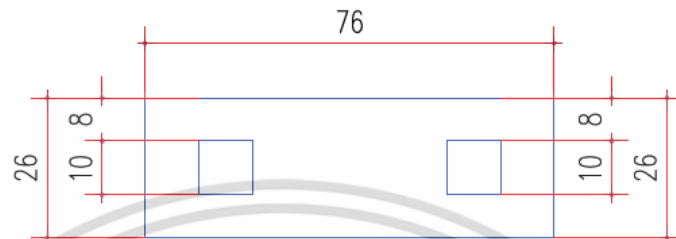
วัสดุและอุปกรณ์ในการจัดเตรียมแม่พิมพ์

1. กระจกสไลด์
2. เทปกาว
3. ไม้บรรทัด
4. คัตเตอร์

ขั้นตอนการจัดทำแม่พิมพ์

1. นำเทปกาวมาแปะลงบนกระจกสไลด์ 5 ครั้ง จนได้ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร
2. ทำการวัดช่องขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.8
3. นำคัตเตอร์มากรีดเทปกาวออกตามขนาดที่วัดไว้
4. จะได้แม่พิมพ์ที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

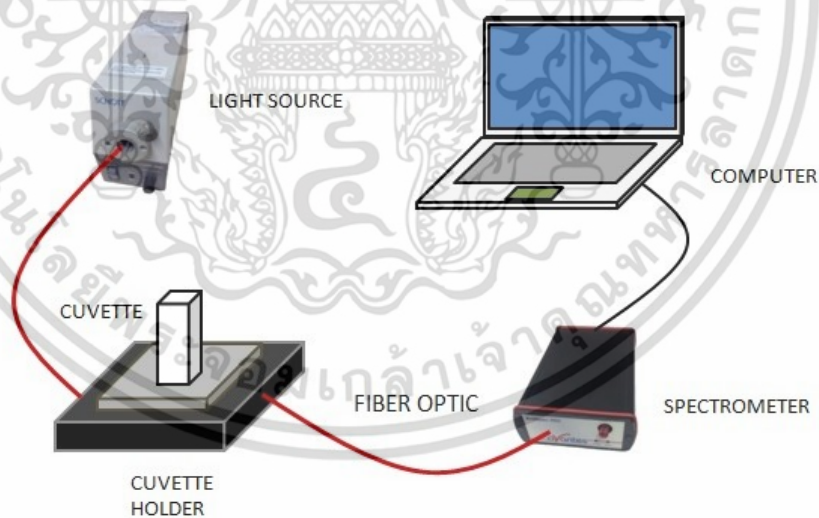


รูปที่ 3.8 การจัดทำแม่พิมพ์

3.3 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง

3.3.1 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในรูปของสารละลาย

ในการวัดสเปกตรัมของดูดกลืนแสงของสารละลายที่จัดเตรียมจะอาศัยระบบวัดที่แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ระบบวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย

การวัดค่าการดูดกลืนของสารละลาย ซึ่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะเดินทางผ่านสายใยแก้วนำแสง ตกกระทบกับคิวเวทที่บรรจุสารละลาย และแสงที่สามารถส่องผ่านออกมาได้ จะเดินทางเข้าสู่สายใยแก้วนำแสงอีกเส้นหนึ่ง เพื่อนำแสงไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ แสงที่ถูกนำเข้าสู่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์จะถูกวิเคราะห์ และส่งผ่านเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ถูกเชื่อมต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ผ่านสาย USB และทำการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้โปรแกรม AvaSoft รุ่น 7.4 ด้วยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

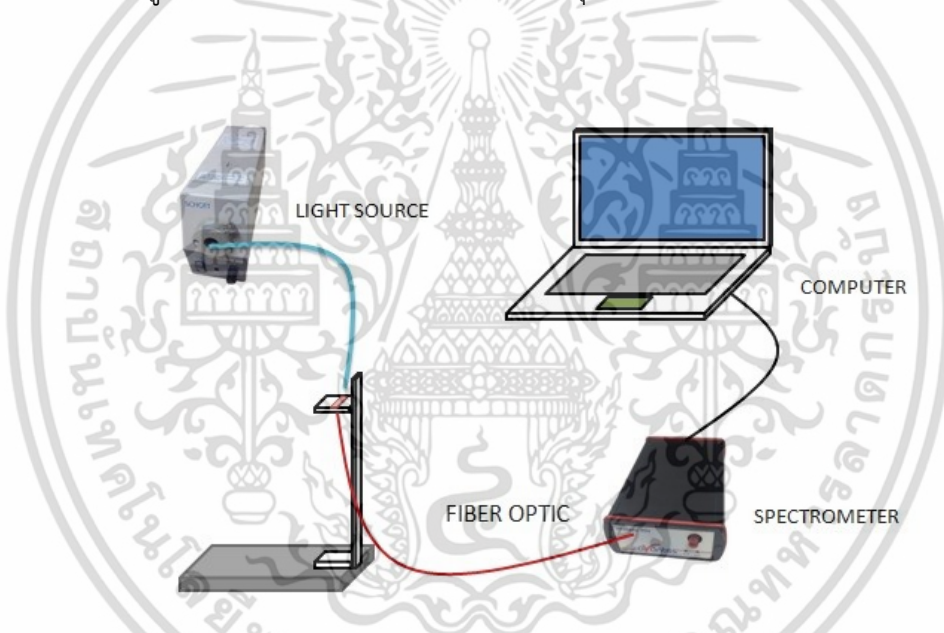
เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย

I คือ ความเข้มแสงอ้างอิง ซึ่งมาจากการวัดความเข้มแสงที่ผ่านสารละลายอ้างอิง

I_0 คือ ความเข้มแสงซึ่งมาจากการวัดความเข้มแสงที่ผ่านสารละลาย

3.3.2 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม

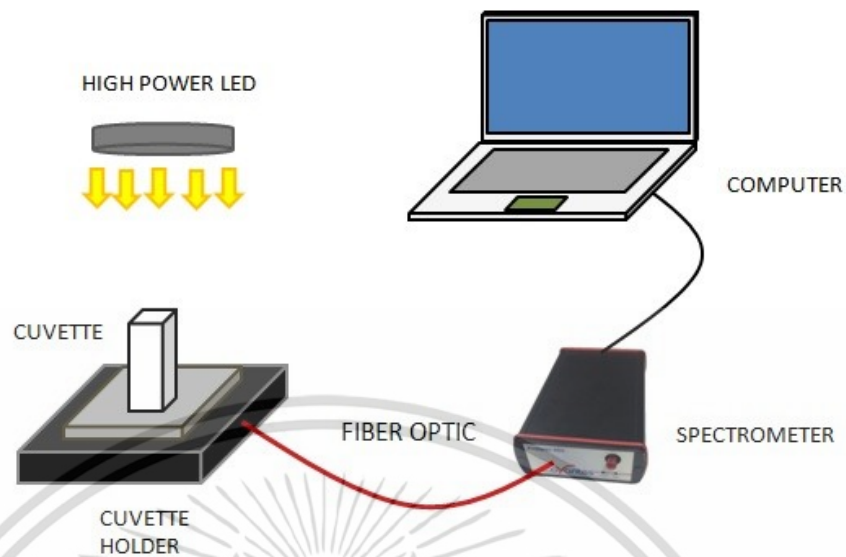
การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางจะกระทำโดยอาศัยระบบวัดที่แสดงดังรูปที่ 3.10 โครงสร้างของระบบประกอบด้วยแสงจากแหล่งกำเนิดแสงทั้งสแตน เดินทางผ่านสายใยแก้วนำแสง ตกกระทบกับแท่นสำหรับวางกระจกสไลด์ที่เคลือบฟิล์มบางที่ต้องการทดสอบ แสงที่ส่องผ่านชิ้นงานจะเดินทางเข้าสู่สายใยแก้วนำแสงอีกเส้นหนึ่งที่เชื่อมต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ และถูกนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้โปรแกรม AvaSoft รุ่น 7.4 เช่นเดียวกับสารละลาย



รูปที่ 3.10 ระบบวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง

3.3.3 การวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงในรูปของสารละลาย

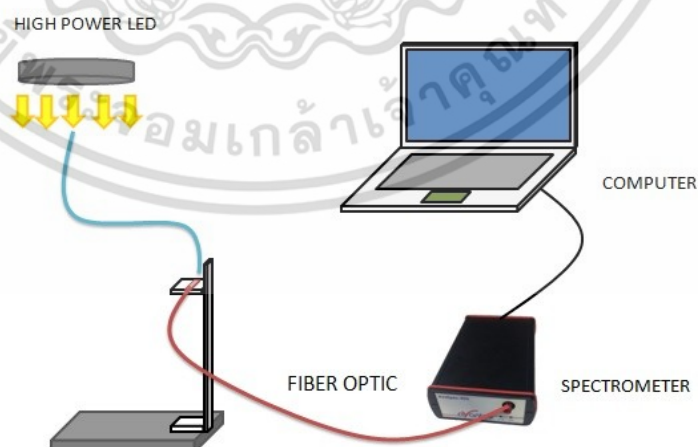
การวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายจะอาศัยระบบวัดที่แสดงดังรูปที่ 3.11 ในที่นี้จะใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดแอลอีดีเป็นตัวกระตุ้นวัสดุที่ต้องการทดสอบโดยจัดวางให้แสงตกกระทบในทิศทางทำมุม 90 องศา กับสายใยแก้วนำแสงที่ทำหน้าที่ตรวจวัดแสง



รูปที่ 3.11 ระบบวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย

3.3.4 การวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงในรูปของฟิล์ม

ระบบสำหรับวัดสมบัติทางแสงของฟิล์ม แสดงดังรูปที่ 3.12 ในสมบัติการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์มนั้น แสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะถูกรวบรวมโดยสายใยแก้วนำแสงที่เชื่อมต่ออยู่กับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์สำหรับฟิล์มบางนั้นโดยให้เส้นใยแก้วโดยทำมุม 45 องศา กับแหล่งพลังงานกระตุ้น



รูปที่ 3.12 ระบบวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การศึกษาสเปกตรัมของแสงในรูปของสารละลายอนุภาคนาโนโลหะ สารละลายของสารสีย้อม และสารละลายของสารสีย้อมผสมกับสารละลายอนุภาคนาโนโลหะ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้อนุภาคโลหะผ่านปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ของอนุภาคโลหะระดับนาโน 3 ชนิด คือ Gold/Palladium (Au@Pd), Pd (porous) และ Gold (Au) ในรูปของสารละลาย
2. เพื่อศึกษาสมบัติของสีย้อมไวแสง Rhodamine 6G (Rh6G) และ Coumarin 153 (C153) ที่นำมาใช้ร่วมกับอนุภาคโลหะนาโนในรูปของสารละลาย
3. เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ระหว่างสารละลายสีย้อมไวแสงที่ผสมกับอนุภาคโลหะนาโน

3.4.1 การศึกษาสเปกตรัมของสารอนุภาคนาโนโลหะ

วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโน Au/Pd, อนุภาคนาโน Au, อนุภาค Pd
- 2) ศึกษาการเปล่งแสงของอนุภาคนาโน Au/Pd, อนุภาคนาโน Au, อนุภาคนาโน Pd

ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

1) วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงของอนุภาคนาโน Au/Pd, อนุภาคนาโน Au และอนุภาคนาโน Pd วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงของอนุภาคนาโน Au/Pd, อนุภาคนาโน Au, อนุภาคนาโน Pd โดยอาศัยระบบการวัดที่แสดงในรูป 3.9 และ 3.11 ตามลำดับ

2) วิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง

3.4.2 การศึกษาสเปกตรัมของแสงของสารละลายสีย้อมไวแสง

3.4.2.1 การศึกษาสเปกตรัมของสารละลายโรดามีน 6จี

วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายโรดามีน 6จี
- 2) ศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี
- 3) ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโรดามีน 6จี ที่มีเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้กับอนุภาคโลหะที่มีขนาดนาโน

ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

1) นำสารละลาย Rh6G ที่จัดเตรียมไว้ในหัวข้อ 3.2.1.1 มาวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงโดยอาศัยระบบการวัดที่แสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.11 ตามลำดับ

2) วิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสง

3.4.2.2 ศึกษาสเปกตรัมของสารละลายคูมาริน 153

วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายคูมาริน 153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายคูมาริน 153

3) ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายคูมาริน 153 ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้กับอนุภาคโลหะที่มีขนาดนาโน

ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

1) นำสารละลายคูมาริน 153 ที่จัดเตรียมไว้ในหัวข้อ 3.2.1.2 มาวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงโดยอาศัยระบบการวัดที่แสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.11 ตามลำดับ

2) วิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง

3.4.3 ศึกษาสเปกตรัมของแสงของสารละลายสีย้อมผสมกับสารละลายของอนุภาคโลหะนาโน

3.4.3.1 ศึกษาสเปกตรัมของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd
วัตถุประสงค์

1) ศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี ผสมกับสารอนุภาคนาโน Au/Pd

2) ศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับสารอนุภาคนาโน Au/Pd

3) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ระหว่างสารละลายสีย้อมไวแสงที่ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd

ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

1) นำสารอนุภาคนาโน Au/Pd ที่มีความเข้มข้น 3.6×10^{-4} M ผสมกับสารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 6×10^{-6} M ที่จัดเตรียมไว้ในหัวข้อ 3.2.3.1 มาใส่ในคิวเวทสำหรับบรรจุสารละลาย มาวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงโดยอาศัยระบบการวัดที่แสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.11 ตามลำดับ

2) วิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ระหว่างสารละลายสีย้อมไวแสงที่ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd

3.4.3.2 ศึกษาสเปกตรัมของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโน Gold (Au)
วัตถุประสงค์

1) ศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี ผสมกับสารอนุภาคนาโน Au

2) ศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับสารอนุภาคนาโน Au

3) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ระหว่างสารละลายสีย้อมไวแสงที่ผสมกับอนุภาคนาโน Au

ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

1) นำสารอนุภาคนาโน Au ที่มีความเข้มข้น 5.1×10^{-4} M ผสมกับ สารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 6×10^{-6} M ที่จัดเตรียมไว้ในหัวข้อ 3.2.3.2 มาใส่ในคิวเวทสำหรับบรรจุสารละลาย มาวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งโดยอาศัยระบบการวัดที่แสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.11 ตามลำดับ

2) วิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ระหว่างสารละลายสีย้อมไวแสงที่ผสมกับอนุภาคนาโน Au

3.4.3.3 ศึกษาสเปกตรัมของสารละลายคูมาริน 153 (C153) ผสมกับสารละลายของ Palladium (Pd)

วัตถุประสงค์

1) ศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย C153 ผสมกับสารละลายอนุภาค Pd แต่ละความเข้มข้น

2) ศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153 ผสมกับสารละลายอนุภาค Pd แต่ละความเข้มข้น

3) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer ระหว่างสารละลาย C153 ผสมกับสารละลายอนุภาค Pd

ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

1) นำสารอนุภาคนาโน Pd ที่มีความเข้มข้น 4.7×10^{-4} M ผสมกับสารละลาย C153 ที่มีความเข้มข้น 2×10^{-6} M ที่จัดเตรียมไว้ในหัวข้อ 3.2.3.3 มาใช้ในคิวเวทสำหรับบรรจุสารละลาย มาวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งโดยอาศัยระบบการวัดที่แสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.11 ตามลำดับ

2) นำกราฟวิเคราะห์ผลหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่น และหาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น และวิเคราะห์อัตราส่วนความเข้มข้นของสาร C153 ต่อ Pd กับความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์

3.5 การศึกษาสเปกตรัมของแสงในรูปของฟิล์ม

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาผลของการใช้อนุภาคโลหะผ่านปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ของอนุภาคโลหะระดับนาโน 3 ชนิด คือ อนุภาคนาโน Au/Pd และ อนุภาคนาโน Au ในรูปของฟิล์ม

2) เพื่อศึกษาสมบัติของสีย้อมไวแสง Rh6G ที่นำมาใช้ร่วมกับอนุภาคโลหะนาโนในรูปของฟิล์ม

3) เพื่อศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer สำหรับสารสีย้อมไวแสงกับอนุภาคโลหะนาโนในรูปของฟิล์ม

5.3.1 การศึกษาฟิล์ม Rhodamine 6G (Rh6G) ผสมกับสารละลายของ Gold/Palladium (Au/Pd)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

- ล้างกระจกโดยใช้น้ำยาล้างจาน เพื่อให้กระจกมีความสะอาด ไม่มีคราบปนเปื้อน
- นำกระจกไปแช่ในอะซิโตนแล้วนำไปใส่เครื่องอัลตราโซนิกประมาณ 10 นาที
- นำกระจกไปแช่ในเอทานอลแล้วนำไปใส่เครื่องอัลตราโซนิกประมาณ 10 นาที แล้วนำมาผึ่งให้แห้ง
- เตรียมจัดทำแม่พิมพ์สำหรับฟิล์ม (ตามหัวข้อที่ 3.3)
- เตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการจัดทำฟิล์ม โดยการนำสาร Au/Pd ที่มีความเข้มข้น 3.6×10^{-4} M ผสมกับสารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 6×10^{-6} M โดยมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาตรสารดังตารางที่ 3.9 โดยจะมีการเติม PMMA ปริมาณ 0.4 g เข้าไปด้วยเพื่อเป็นวัสดุตัวกลางที่ทำหน้าที่ยึดเกาะโมเลกุลหรืออนุภาคของวัสดุสีย้อมและอนุภาคโลหะ โดยจะผสมสารให้เข้ากันในเครื่องเขย่าสาร Vortex Mixer GENIE 2 รุ่น G560E ยี่ห้อ Scientific Industries ใช้เวลาในการเขย่าสารเป็นเวลา 10 นาที

ตารางที่ 3.9 อัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ผสมกับสาร Au/Pd ใน PMMA

สารละลายตัวอย่าง Rh6G : Au/Pd	Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M (ml)	Au@Pd (ml)	DCM (ml)	PMMA (g)
สาร A	0.5	0.5	1	0.4
สาร B	0.75	0.25	1	0.4
สาร C	0.0875	0.125	1	0.4
สาร D	0.9375	0.0625	1	0.4
สาร E	0.96875	0.3125	1	0.4

- จัดเตรียมสารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 6×10^{-6} M ใน DCM เพื่อเป็นสารเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 3.10 โดยจะมีการเติม PMMA ปริมาณ 0.4 g เข้าไปด้วยเพื่อเป็นวัสดุตัวกลางที่ทำหน้าที่ยึดเกาะโมเลกุลหรืออนุภาคของวัสดุสีย้อมและอนุภาคโลหะ โดยจะผสมสารให้เข้ากันในเครื่องเขย่าสาร Vortex Mixer GENIE 2 รุ่น G560E ยี่ห้อ Scientific Industries ใช้เวลาในการเขย่าสารเป็นเวลา 10 นาที

ตารางที่ 3.10 อัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ใน PMMA เพื่อเปรียบเทียบ

สารละลายตัวอย่าง Rh6G	Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M (ml)	DCM (ml)	PMMA (g)
สาร Aref	0.5	1.5	0.4
สาร Bref	0.75	1.25	0.4
สาร Cref	0.0875	1.125	0.4
สาร Dref	0.9375	1.0625	0.4
สาร Eref	0.96875	1.3125	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำสารละลายที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 5 และ 6 มาเทลงในแม่พิมพ์ที่จัดเตรียมไว้
8. เมื่อเทสารละลายลงในแม่พิมพ์ทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้สารละลายแห้งสนิท นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทำวัดการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง (ตามหัวข้อที่ 3.3.2 และ 3.3.4)
9. นำกราฟมาวิเคราะห์ผลหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่น และหาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น และวิเคราะห์อัตราส่วนความเข้มชั้นของสาร Rh6G ต่อ Au/Pd กับความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์

3.3.1 การศึกษาฟิล์ม Rhodamine 6G (Rh6G) และ Gold (Au)

ขั้นตอนการทดลอง

1. ล้างกระจกโดยใช้น้ำยาล้างจาน เพื่อให้กระจกมีความสะอาด ไม่มีคราบปนเปื้อน
2. นำกระจกไปแช่ในอะซิโตนแล้วนำไปใส่เครื่องอัลตราโซนิกประมาณ 10 นาที
3. นำกระจกไปแช่ในเอทานอลแล้วนำไปใส่เครื่องอัลตราโซนิกประมาณ 10 นาที แล้วนำมาผึ่งให้แห้ง
4. เตรียมจัดทำแม่พิมพ์สำหรับฟิล์ม (ตามหัวข้อที่ 3.3)
5. เตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการจัดทำฟิล์ม โดยการนำสารอนุภาคนาโน Au ที่มีความเข้มข้น 5.1×10^{-4} M ผสมกับสารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 6×10^{-6} M โดยมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาตรสารดังตารางที่ 3.12 โดยจะมีการเติม PMMA ปริมาณ 0.4 g เข้าไปด้วยเพื่อเป็นวัสดุตัวกลางที่ทำหน้าที่ยึดเกาะโมเลกุลหรืออนุภาคของวัสดุสีย้อมและอนุภาคโลหะ โดยจะผสมสารให้เข้ากันในเครื่องเขย่าสาร Vortex Mixer GENIE 2 รุ่น G560E ยี่ห้อ Scientific Industries ใช้เวลาในการเขย่าสารเป็นเวลา 10 นาที

ตารางที่ 3.11 อัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ผสมกับสาร Au ใน PMMA

สารละลายตัวอย่าง Rh6G : Au	Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M (ml)	Au (ml)	DCM (ml)	PMMA (g)
สาร A	0.5	0.5	1	0.4
สาร B	0.75	0.25	1	0.4
สาร C	0.0875	0.125	1	0.4
สาร D	0.9375	0.0625	1	0.4
สาร E	0.96875	0.3125	1	0.4

6. จัดเตรียมสารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 6×10^{-6} M ใน DCM เพื่อเป็นสารเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 3.12 โดยจะมีการเติม PMMA ปริมาณ 0.4 g เข้าไปด้วยเพื่อเป็นวัสดุตัวกลางที่ทำหน้าที่ยึดเกาะโมเลกุลหรืออนุภาคของวัสดุสีย้อมและอนุภาคโลหะ โดยจะผสมสารให้เข้ากันในเครื่องเขย่าสาร Vortex Mixer GENIE 2 รุ่น G560E ยี่ห้อ Scientific Industries ใช้เวลาในการเขย่าสารเป็นเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.12 อัตราส่วนในการผสมสารละลาย Rh6G ใน PMMA

สารละลายตัวอย่าง Rh6G	Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M (ml)	DCM (ml)	PMMA (g)
สาร Aref	0.5	1.5	0.4
สาร Bref	0.75	1.25	0.4
สาร Cref	0.0875	1.125	0.4
สาร Dref	0.9375	1.0625	0.4
สาร Eref	0.96875	1.3125	0.4

7. นำสารละลายที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 5 และ 6 มาเทลงในแม่พิมพ์ที่จัดเตรียมไว้
8. เมื่อเทสารละลายลงในแม่พิมพ์ทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้สารละลายแห้งสนิท นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทำวัดการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง (ตามหัวข้อที่ 3.3.2 และ 3.3.4)
9. นำกราฟมาวิเคราะห์ผลหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่น และหาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น และวิเคราะห์อัตราส่วนความเข้มของสาร Rh6G ต่อ Au กับความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

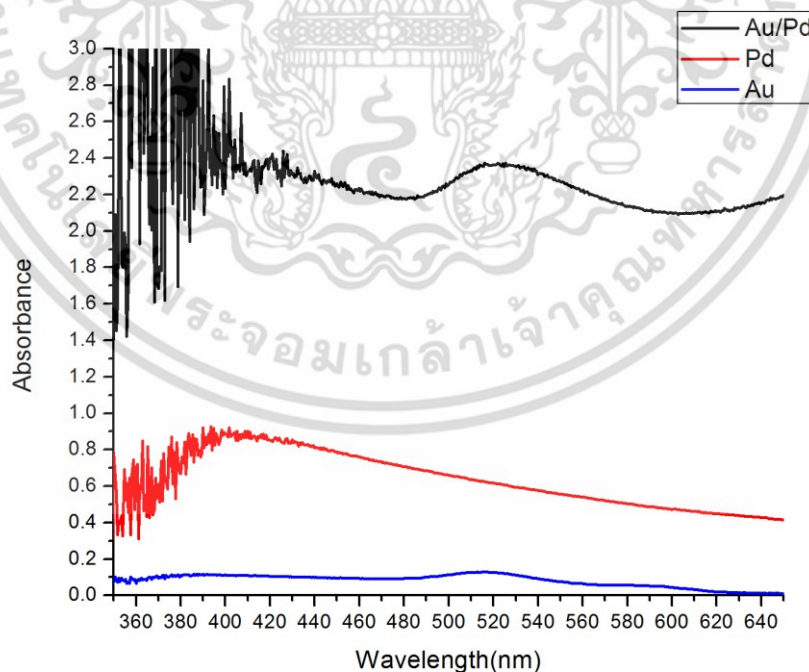
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการแปลงแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารสีย้อม Rh6G และ C153 และผลการนำอนุภาคนาโนโลหะ Au, Au/Pd, Pd มาผสมร่วมกับสารสีย้อมที่มีผลต่อสเปกตรัม โดยผู้วิจัยได้นำเสนอผลทั้งในรูปแบบของสารละลายและในรูปแบบของฟิล์ม

4.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมของแสงของสารอนุภาคนาโนโลหะในรูปแบบของสารละลาย

จากการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารนาโนพลาสมาเคลือบทองคำ (Au/Pd) ที่มีความเข้มข้น 3.6×10^{-4} M อนุภาคนาโนทองคำ (Au) มีความเข้มข้น 5.1×10^{-4} M และอนุภาคนาโนคริสตัลพลาสมาเคลือบ (Pd) มีความเข้มข้น 4.7×10^{-4} M ที่ถูกจัดเตรียมขึ้นตามขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อ 3.4.1 พบว่าได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 4.1 ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าสารอนุภาค Au/Pd ดูดกลืนแสงได้ดีและมีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด โดยมีค่าการดูดกลืนแสงสูงถึง 2.36 ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร อนุภาคนาโน Pd มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดประมาณ 0.83 ที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร และอนุภาค Au มีค่าการดูดกลืนแสงต่ำสุด มีพีคการดูดกลืนแสงประมาณ 0.13 ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

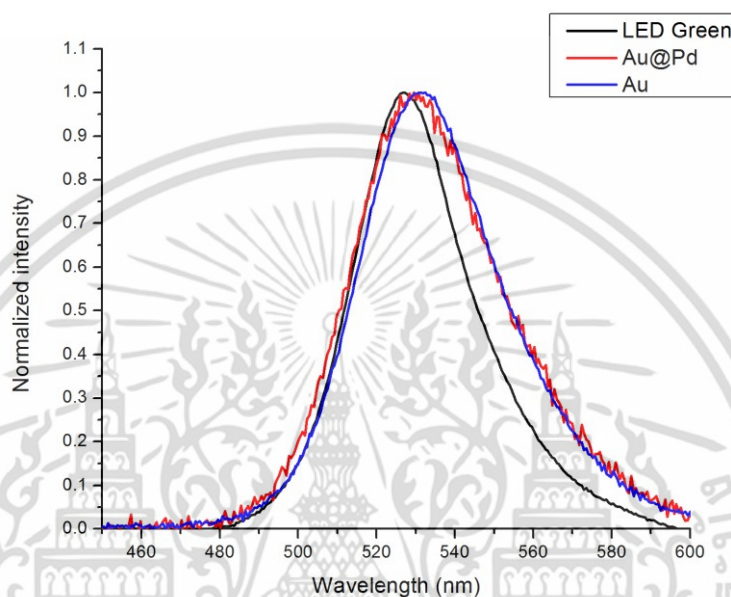


รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาค Au/Pd (3.6×10^{-4} M) อนุภาค Au (5.1×10^{-4} M)

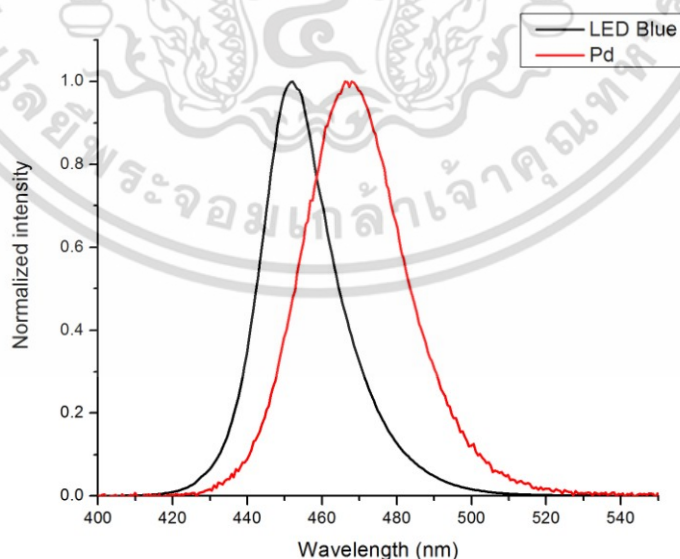
และอนุภาค Pd (4.7×10^{-4} M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อพิจารณาสเปกตรัมการเปล่งแสงของวัสดุ พบว่าอนุภาค Au/Pd และ Au มีการเปล่งแสงในย่านความยาวคลื่นใกล้เคียงกันคือประมาณ 480-600 นาโนเมตร และพีคการเปล่งแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 529 นาโนเมตร และ 530 นาโนเมตร ตามลำดับ (รูป 4.2) สำหรับอนุภาค Pd มีการเปล่งแสงในย่านความยาวคลื่น 425-525 นาโนเมตร และมีพีคการเปล่งแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 466 นาโนเมตร (รูป 4.3)



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมการเปล่งแสงของอนุภาค Au/Pd และ Au เมื่อใช้แอลอีดีสีเขียวกระตุ้น



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการเปล่งแสงของอนุภาค Pd เมื่อใช้แอลอีดีสีน้ำเงินกระตุ้น

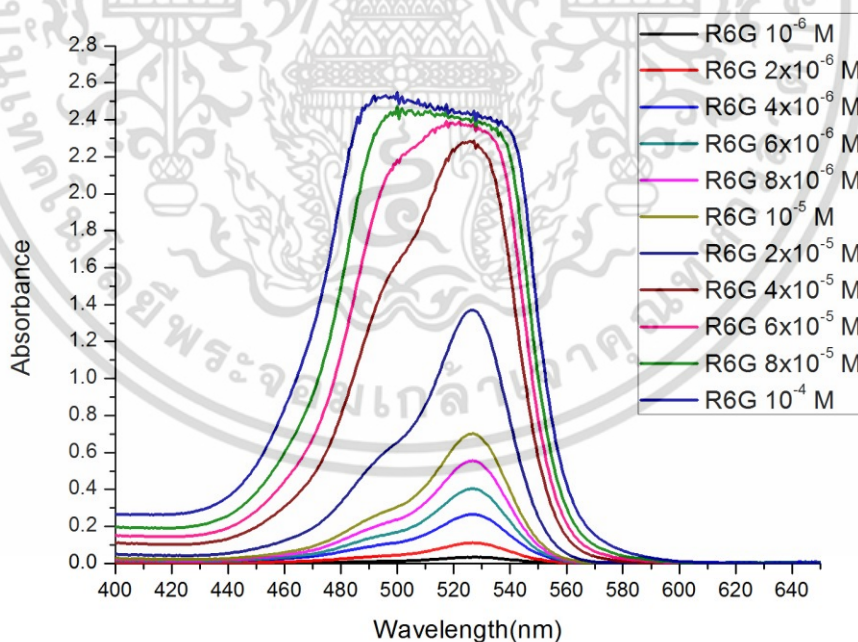
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาสเปกตรัมแสงของสารละลายสีเขียวในรูปของสารละลาย

จากการศึกษาสเปกตรัมแสงของสารละลายสีเขียวในรูปของสารละลายตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.4.2 ได้ผลการศึกษาดังนี้

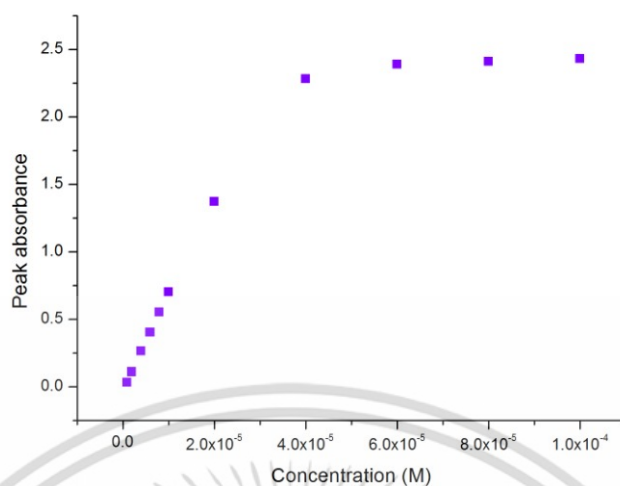
4.2.1 สเปกตรัมแสงของสารละลายโรดามีน 6จี (Rh6G)

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G ที่มีค่าความเข้มข้น 10^{-6} M- 10^{-3} M แสดงดังรูปที่ 4.4 จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าสารละลาย Rh6G ดูดกลืนแสงได้มากเมื่อมีค่าความเข้มข้นของสารมีค่าสูงขึ้น และสามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 460 - 575 นาโนเมตร มีพีคการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 527 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเป็นเชิงเส้นซึ่งสอดคล้องกับกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ในย่านความเข้มข้น 10^{-6} M- 4×10^{-5} M (ดูกราฟในรูป 4.5) และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น ทั้งนี้มีสาเหตุจากแสงที่ผ่านเข้ามาไม่สามารถเดินทางผ่านออกมาจากสารละลายได้ เนื่องจากถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลที่มีความหนาแน่นสูง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า inner filter effect[34]



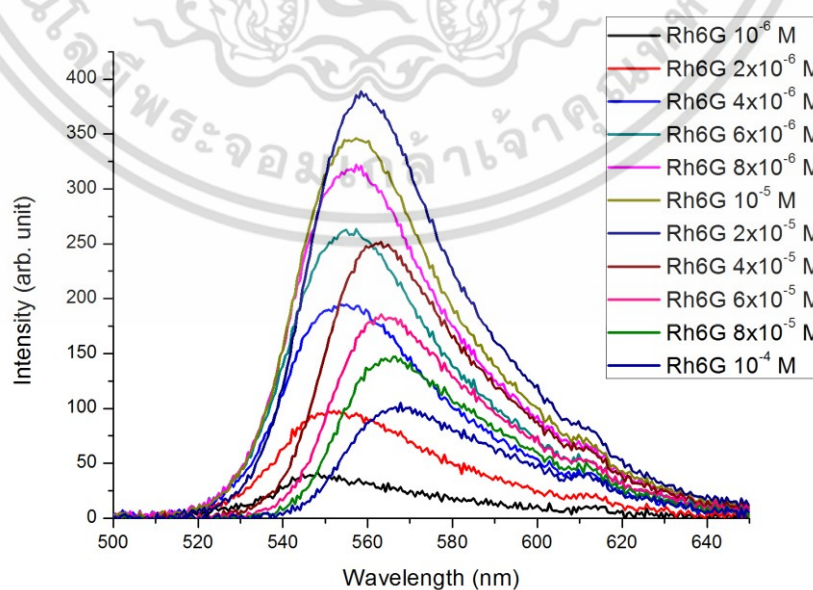
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายโรดามีน 6จี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

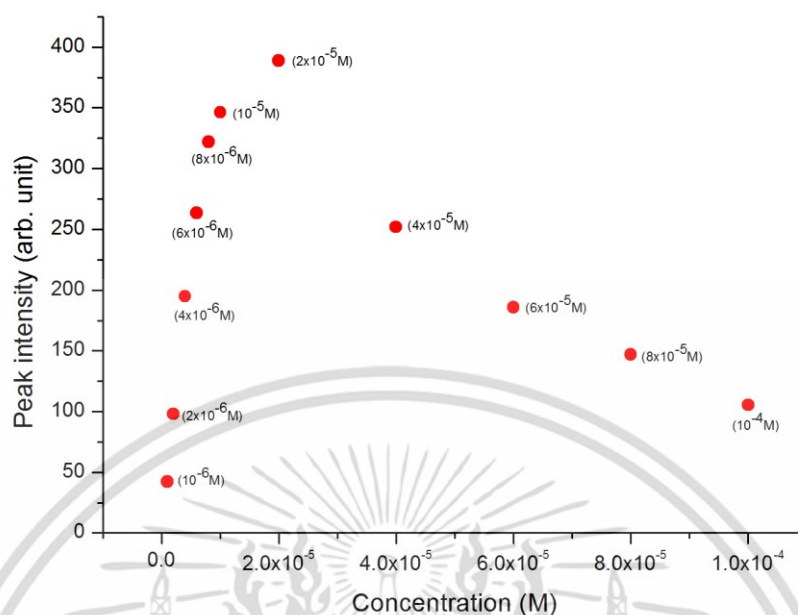


รูปที่ 4.5 ค่าพีคสูงสุดของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโรดามีน 6จี

จากการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ได้สเปกตรัมการเปล่งแสงดังรูปที่ 4.6 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าสารละลายจะเปล่งแสงในย่านความยาวคลื่น 520 – 640 นาโนเมตร โดยมีพีคการเปล่งแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายในย่านความเข้มข้น 10^{-6} M- 2×10^{-5} M ทั้งนี้เนื่องจากการเปล่งแสงเพิ่มขึ้นตามค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร และเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มสูงกว่า 2×10^{-5} M ความเข้มแสงมีแนวโน้มลดลง (ดังรูป 4.7) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากการที่แสงที่ถูกปลดปล่อยเกิดจากโมเลกุลหนึ่งถูกดูดกลืนซ้ำโดยโมเลกุลข้างเคียง หรือเรียกว่าเกิดกลไกการดูดกลืนซ้ำสูง หรืออาจเกิดจากการสูญเสียพลังงานในรูปแบบอื่นเนื่องจากโมเลกุลทำอันตรกิริยากัน[39]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.6 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารโรดามีน 6จี ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

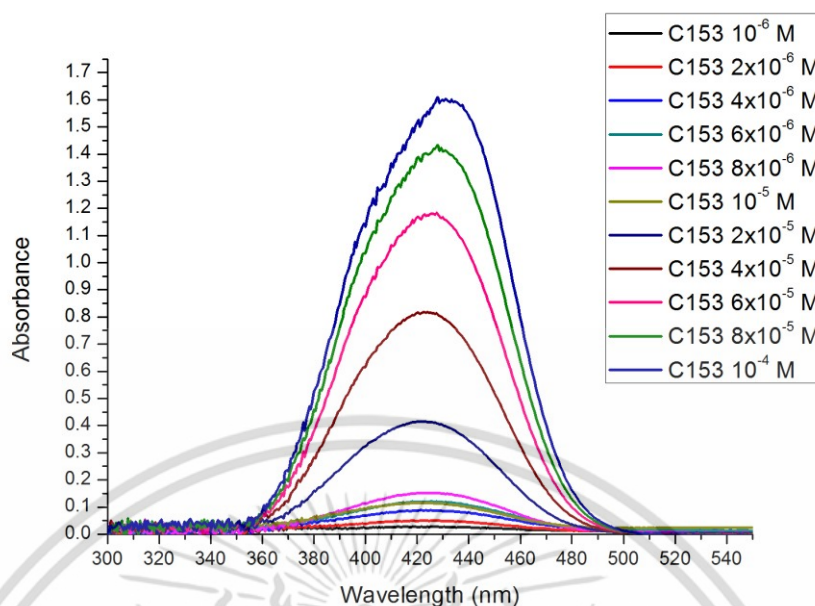


รูปที่ 4.7 ค่าพีคสูงสุดของสเปกตรัมการเปล่งแสงของโรดามีน 6จี

จากผลการการวัดข้างต้น ผู้วิจัยจึงเลือกนำสารสีย้อม Rh6G ที่มีค่าเท่ากับ 6×10^{-6} M เพื่อผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd และ Au ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเข้มข้นค่านี้ สารละลาย Rh6G มีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโน Au/Pd ประมาณ 10 เท่า ดังนั้นจะส่งผลให้สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ง่ายเมื่อมีการผสมอนุภาคนาโนโลหะ

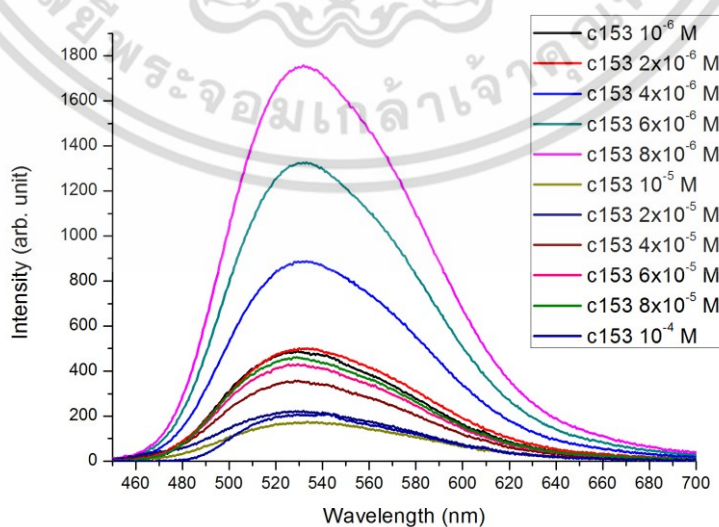
4.2.1 การศึกษาสเปกตรัมของแสงของสารละลายคูมาริน 153 (C153)

จากการศึกษาสเปกตรัมของแสงของสารละลาย C153 ที่มีค่าความเข้มข้น 10^{-6} M- 10^{-4} M ตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.4.2.2 ได้สเปกตรัมการดูดกลืนดังรูปที่ 4.8 จากกราฟจะสังเกตเห็นว่า สารละลาย C153 ดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 350 – 500 นาโนเมตร มีพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น ประมาณ 431 นาโนเมตร มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด 1.604 ที่ค่าความเข้มข้น 10^{-4} M และมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำสุด 0.027 ที่ค่าความเข้มข้น 10^{-6} M



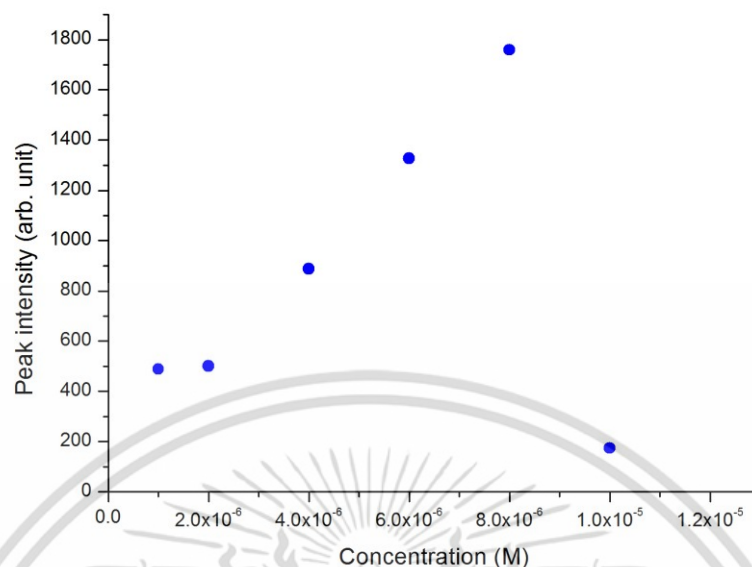
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย C153

ผลการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของสาร C153 แสดงดังรูป 4.9 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า สารละลาย C153 จะเปล่งแสงในย่านความยาวคลื่น 450 – 700 นาโนเมตร มีพีคการเปล่งแสงเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสารละลายเพียงเล็กน้อยโดยจะปรากฏค่าพีคที่ความยาวคลื่นประมาณ 531 นาโนเมตร ค่าความเข้มแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นในช่วง 10^{-6} M - 8×10^{-6} M และเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มสูงกว่า 8×10^{-6} M (รูป 4.10) ความเข้มแสงมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดกลไกการดูดกลืนซ้ำ (Re-absorption) เช่นเดียวกับสาร Rh6G



รูปที่ 4.9 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายคิวมาริน 153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ค่าพีคสูงสุดของสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153

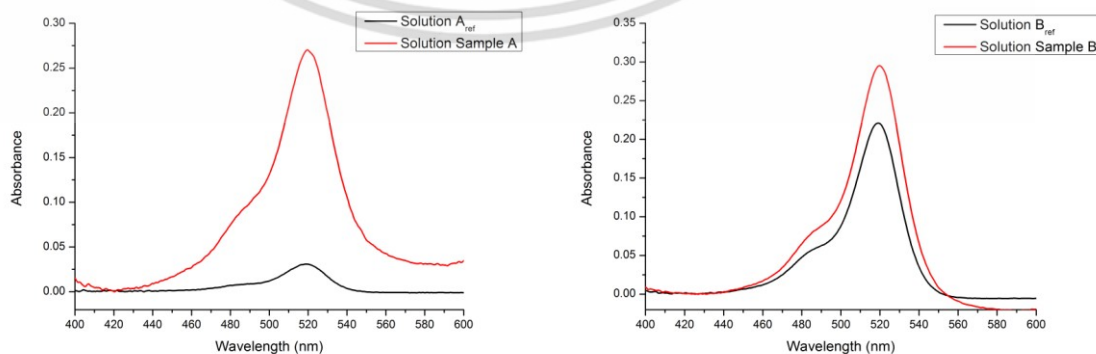
4.3 ผลการศึกษาสเปกตรัมแสงของสารละลายสีย้อมผสมกับสารละลายของอนุภาคโลหะนาโน

จากการศึกษาสเปกตรัมของสารละลายของสารละลายสีย้อมผสมกับสารอนุภาคโลหะนาโนที่ถูกจัดเตรียมขึ้น 5 เงื่อนไข ตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.3.1 ได้ผลดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมของสารละลาย Rh6G ผสมกับสารอนุภาคนาโน Au/Pd

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd แสดงดังรูป

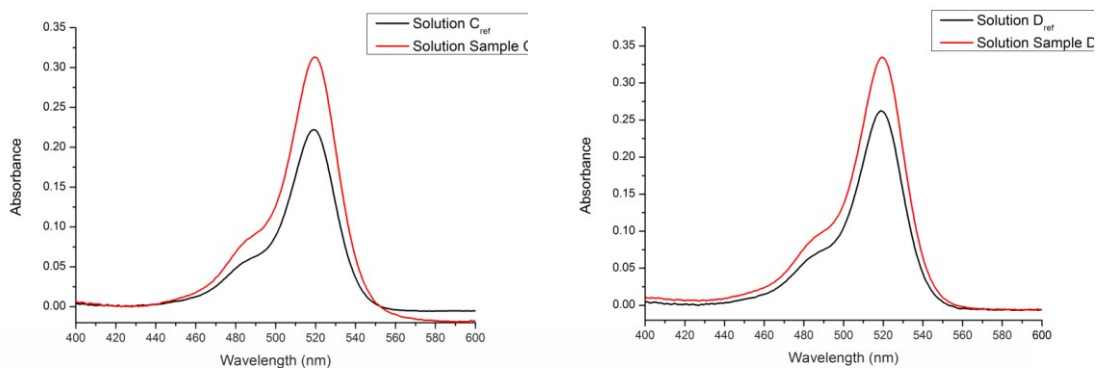
4.11



สารตัวอย่าง A

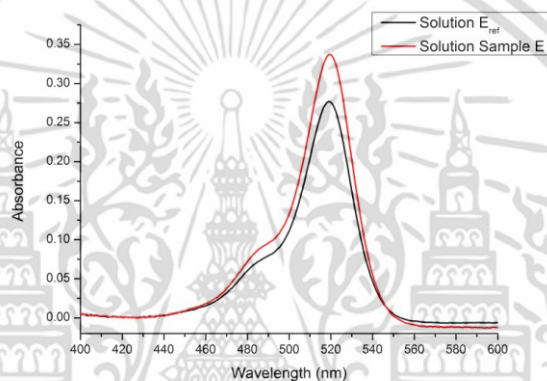
สารตัวอย่าง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สารตัวอย่าง C

สารตัวอย่าง D



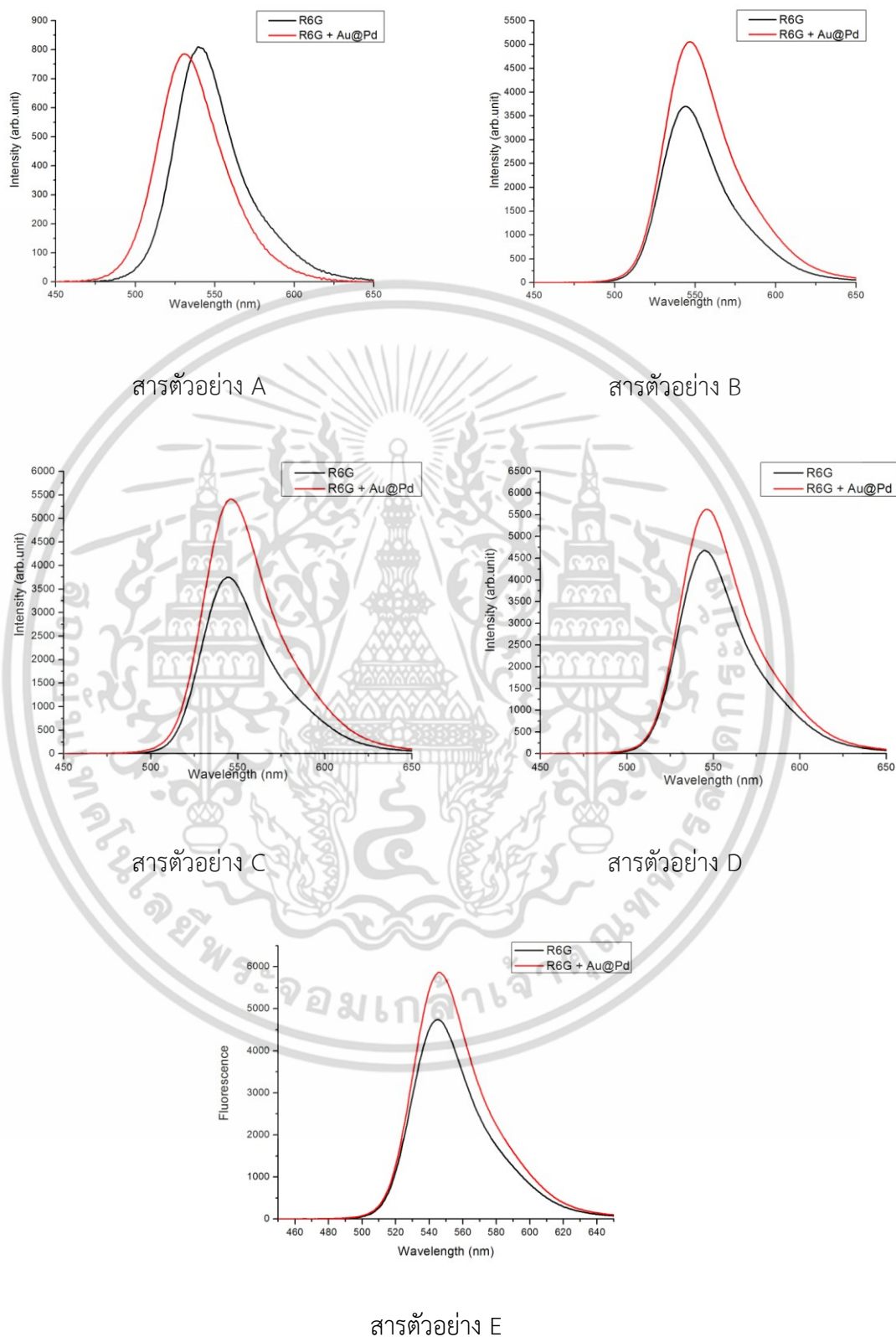
สารตัวอย่าง E

รูปที่ 4.11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G เทียบกับ สารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G ที่ผสมกับสารอนุภาคนาโน Au/Pd มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่เติมสารอนุภาคนาโน Au/Pd ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาค Au/Pd มีการดูดกลืนแสงในย่านที่ใกล้เคียงกันกับสารละลาย Rh6G จึงส่งผลให้ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และสารตัวอย่าง A มีค่าการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากที่สุดถึง 2.8 เท่า ซึ่งเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้เติมอนุภาคนาโน Au/Pd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

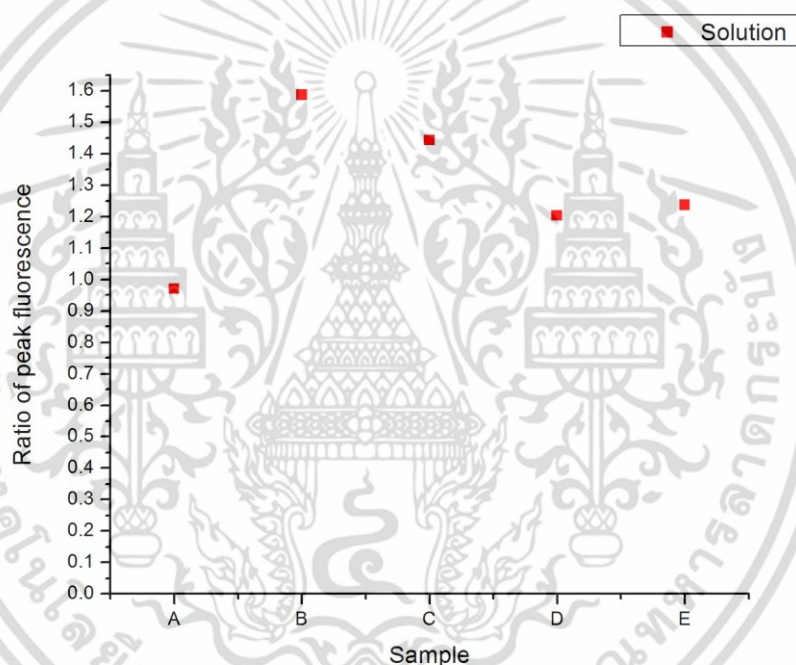
สเปกตรัมการเปล่งของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd แสดงดังรูป 4.12



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd เทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยที่ได้รับอนุญาตให้ดำเนินการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะเห็นว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd มีการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่น 450 – 650 นาโนเมตร สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารผสม A มีค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ต่ำกว่าสารละลาย Aref (Rh6G) และกรณีสารตัวอย่าง B-E จะมีค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารผสมสูงกว่ากรณีไม่ผสม โดยค่าความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นจะสูงกว่าเดิมถึง 1.6 เท่า (รูปที่ 4.13) การเพิ่มขึ้นของความเข้มแสงนี้น่าจะมีสาเหตุจากการที่อนุภาค Au/Pd และโมเลกุล Rh6G อยู่ห่างกันในระยะที่เหมาะสม ทำให้พลังงานที่สะสมในกลุ่มอิเล็กตรอนอิสระของอนุภาคโลหะที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ surface Plasmon ถูกส่งผ่านไปยังโมเลกุล Rh6G หรือเรียกว่าเกิดกลไก Plasmonic resonance energy transfer (PRET) ขึ้น ปรากฏการณ์นี้ส่งผลอิเล็กตรอนของสาร Rh6G ถูกกระตุ้นไปยังสถานะกระตุ้นเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ปลดปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นด้วย[41,42,43]



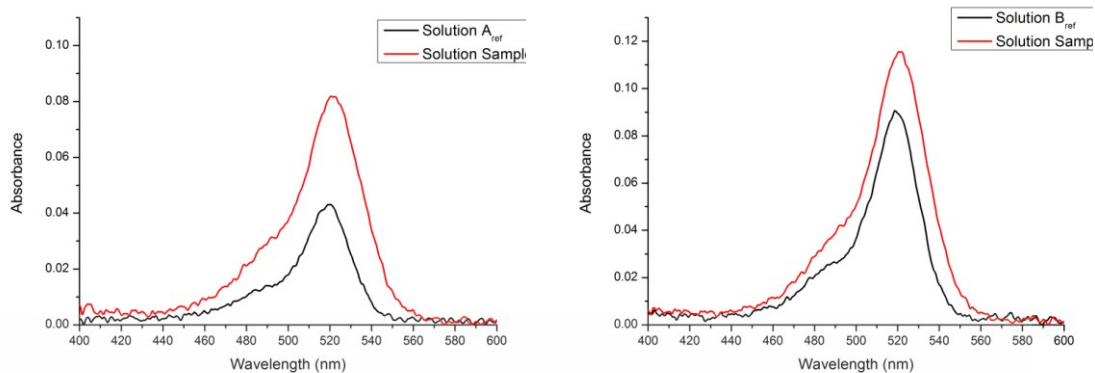
รูปที่ 4.13 อัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ Au/Pd + Rh6G : Rh6G

4.3.2 ผลการศึกษาสเปกตรัมของสารละลาย Rh6G ผสมกับสารอนุภาคนาโน Gold (Au)

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd แสดงดังรูป

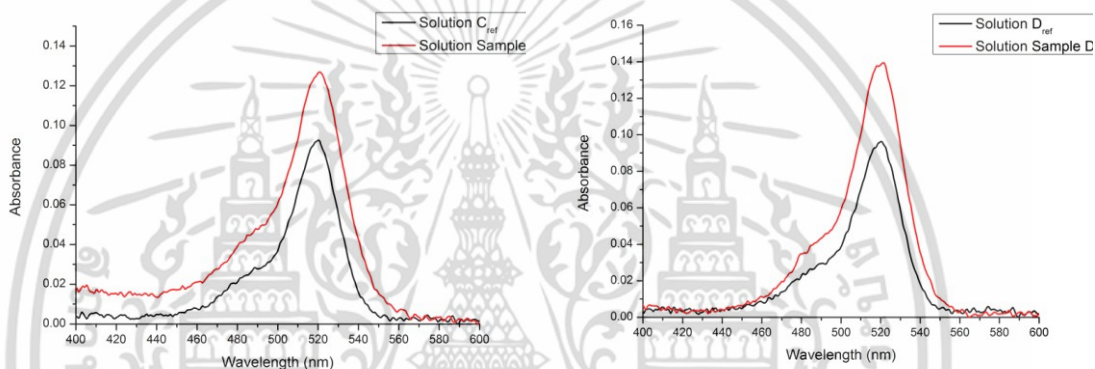
4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



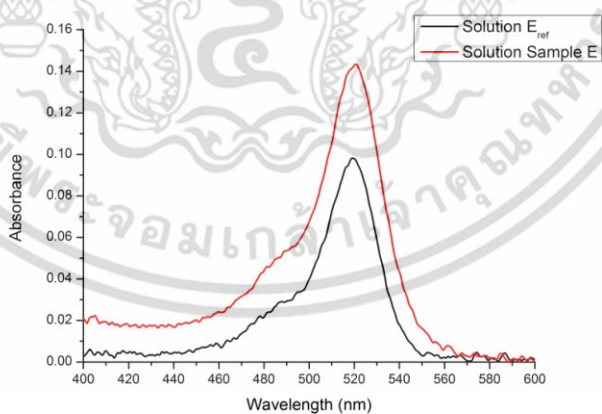
สารตัวอย่าง A

สารตัวอย่าง B



สารตัวอย่าง C

สารตัวอย่าง D



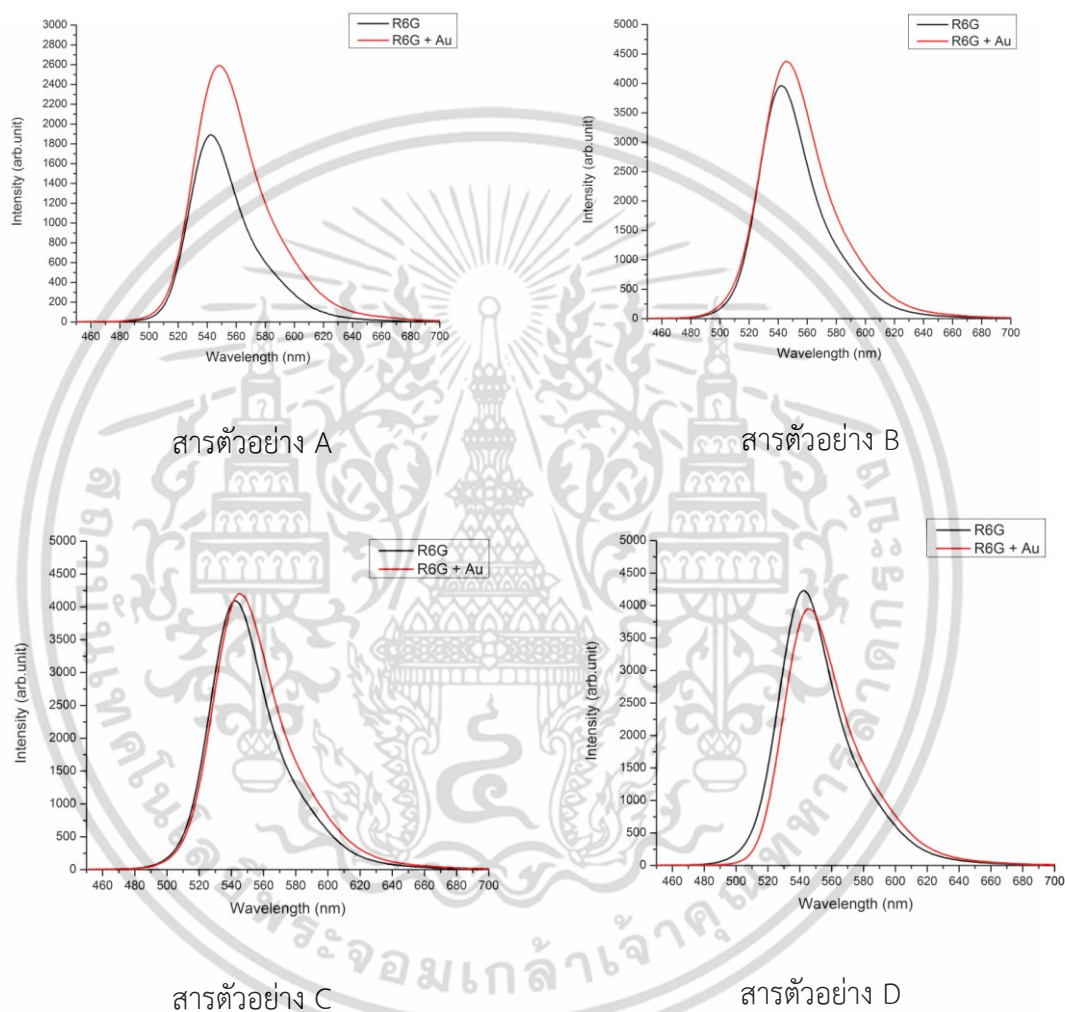
สารตัวอย่าง E

รูปที่ 4.14 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G

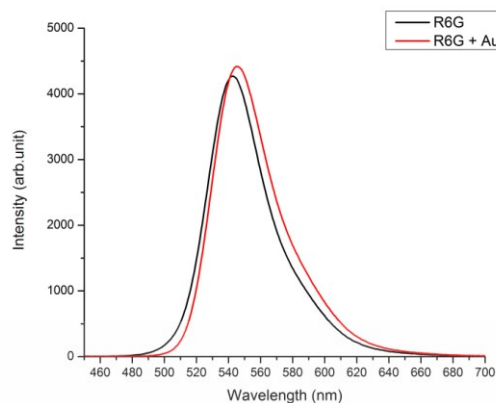
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G ที่ผสมกับสารอนุภาคนาโน Au มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่เติมสารอนุภาคนาโน Au โดยสารผสมตัวอย่าง A มีค่าการดูดกลืนเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากที่สุดถึง 2.2 เท่า โดยค่าการดูดกลืนแสงที่จุดสูงสุดที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ทั้งในกรณีไม่เติมสารอนุภาคนาโน Au และกรณีสารผสมตัวอย่าง

สเปกตรัมการเปล่งของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au แสดงดังรูป 4.15



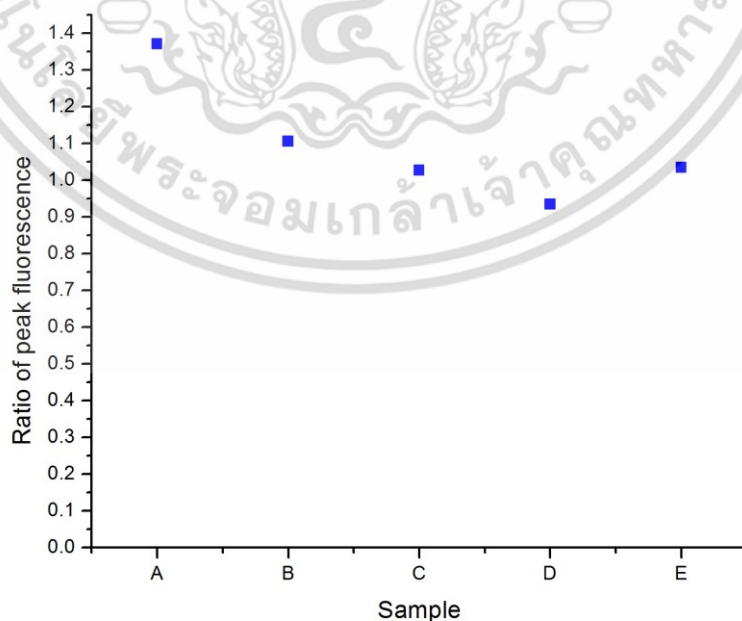
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สารตัวอย่าง E

รูปที่ 4.15 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับ สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G

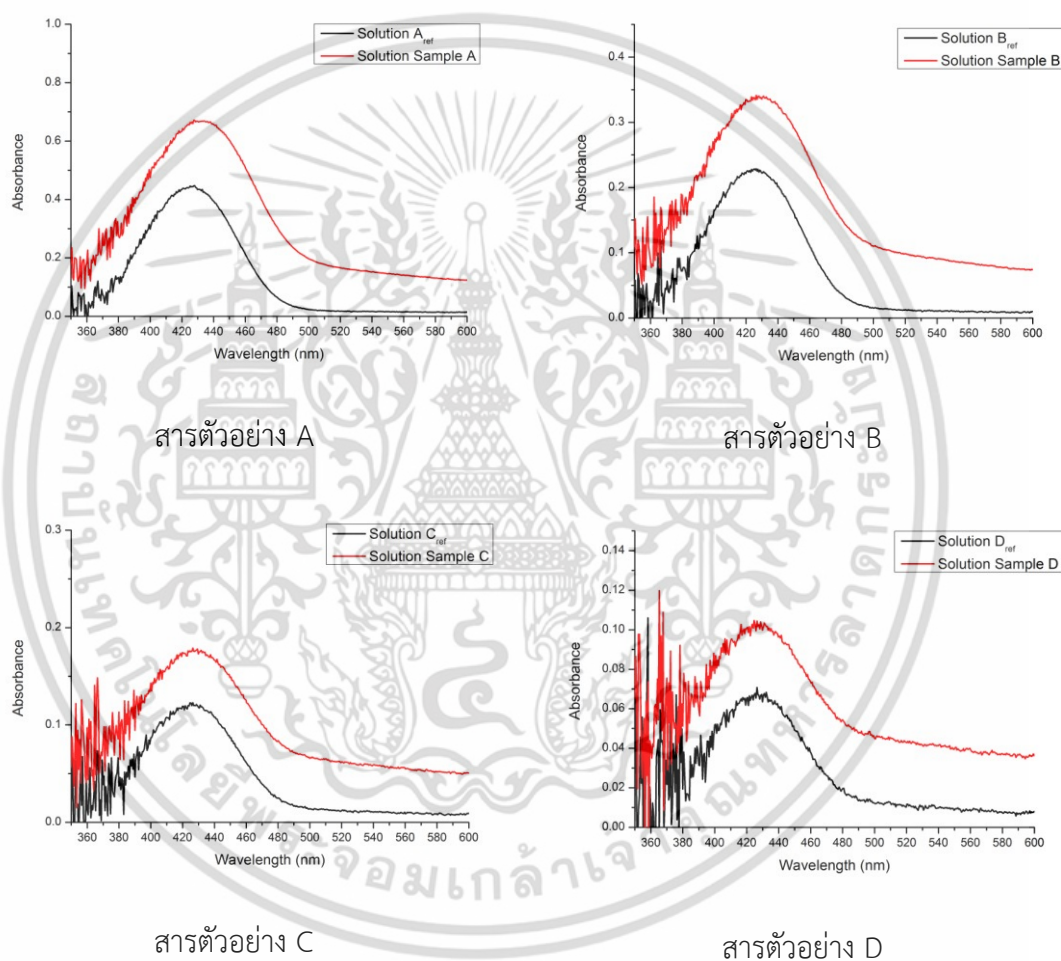
จากกราฟจะเห็นว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au มีการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่น 480 – 650 นาโนเมตร สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารผสม D มีค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ต่ำกว่าสารละลาย Dref (Rh6G) และกรณีสาร A, B, C และ E จะมีค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารผสมสูงกว่ากรณีไม่ผสม โดยค่าความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นจะสูงกว่าเดิมถึง 1.4 เท่า (รูปที่ 4.16) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความเข้มแสงนี้น่าจะมีสาเหตุจากการเกิดปรากฏการณ์ PRET เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.3.1



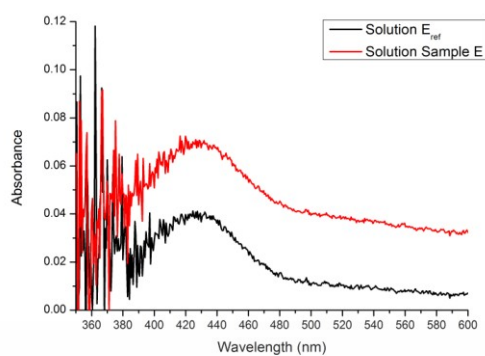
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รูปที่ 4.16 อัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ Au + Rh6G : Rh6G
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 โดยมีการศึกษาสเปกตรัมของสารละลาย Coumarine 153 (C153) ผสมกับสารละลายของ Palladium (Pd)

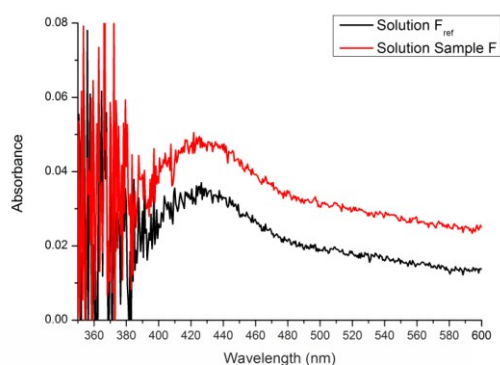
สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย C153 และสาร C153 ที่ผสมกับอนุภาคนาโน Pd แสดงดังรูปที่ 4.17



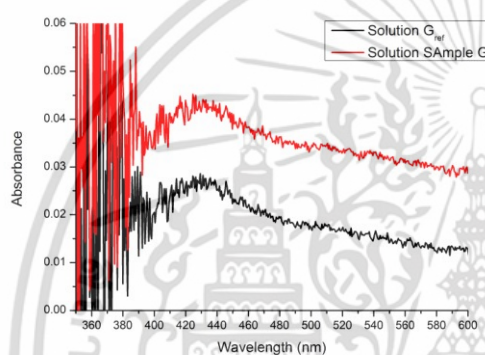
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



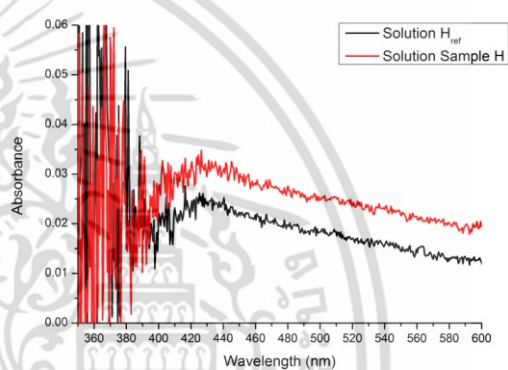
สารตัวอย่าง E



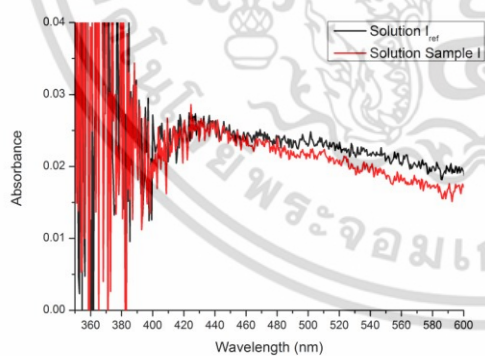
สารตัวอย่าง F



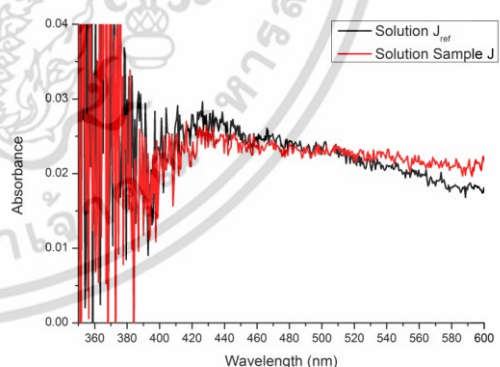
สารตัวอย่าง G



สารตัวอย่าง H



สารตัวอย่าง I



สารตัวอย่าง J

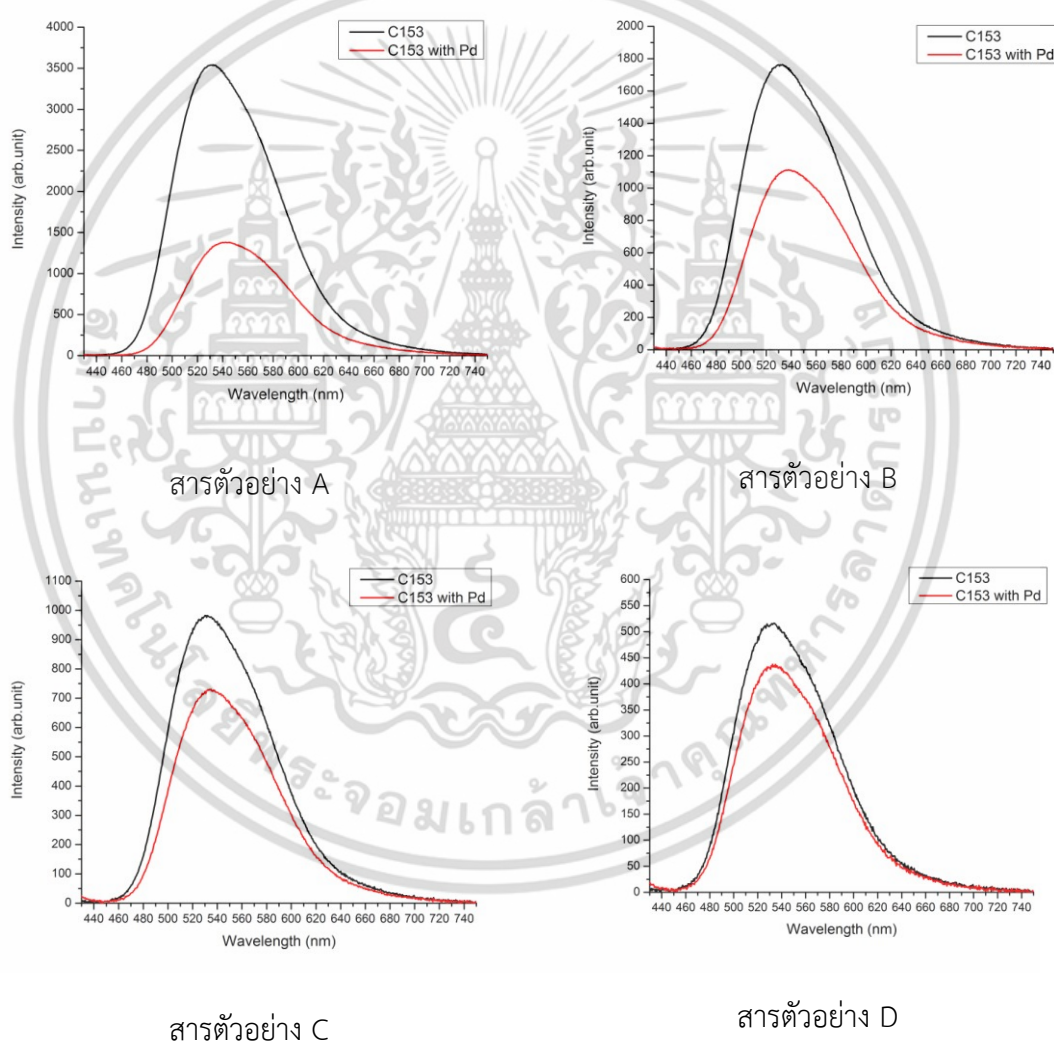
รูปที่ 4.17 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย C153 ผสมกับอนุภาคนาโน Pd เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย C153

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย C153 ที่ผสมกับสารอนุภาคนาโน Pd มีย่านของการดูดกลืนแสงในช่วงที่ใกล้เคียงกับสารละลาย C153 และการผสม

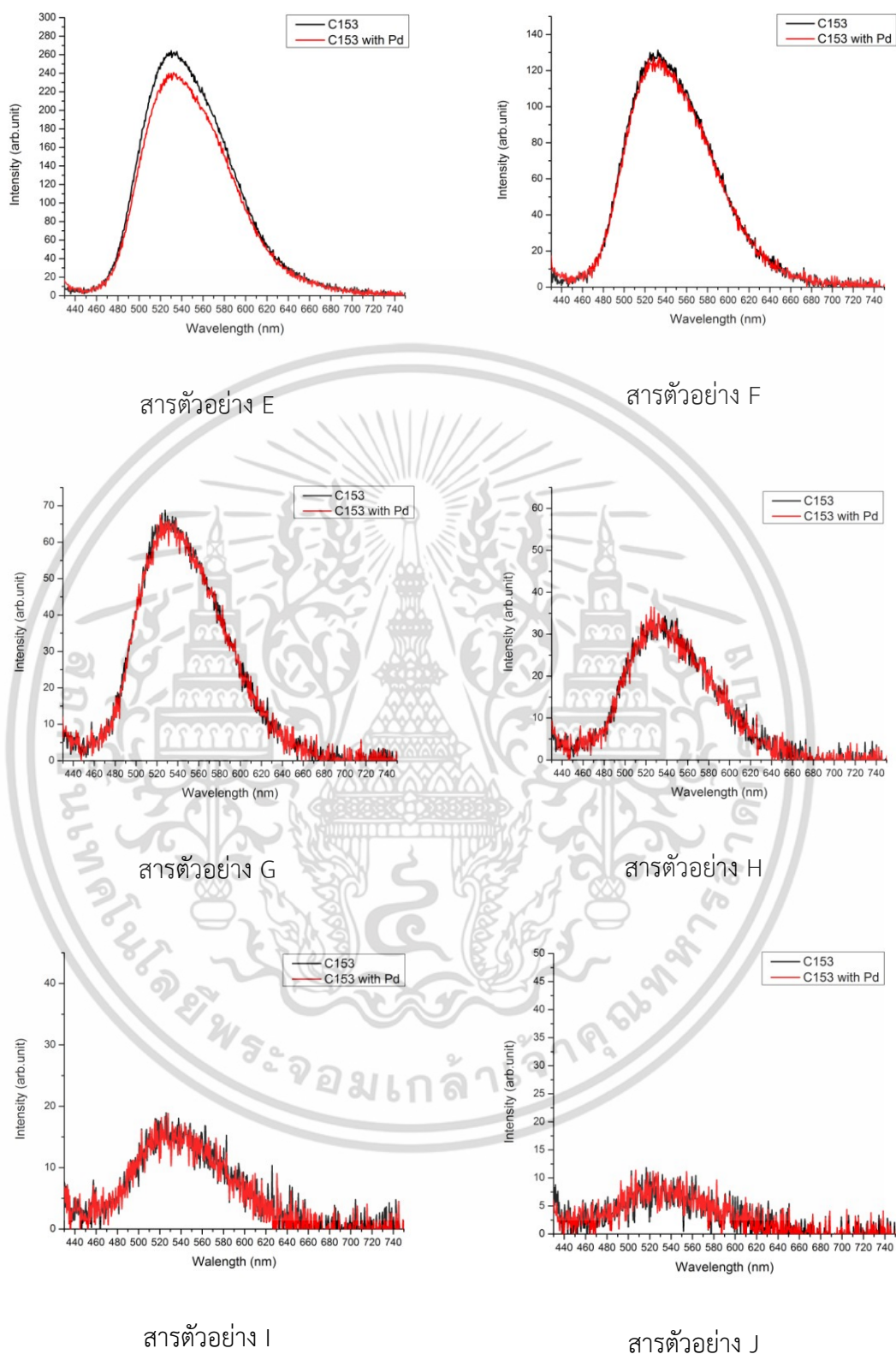
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาค Pd กับสารละลายส่งผลให้การดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นกว่ากรณีที่ไม่เติมสารอนุภาคนาโน Pd โดยสารตัวอย่าง A มีค่าการดูดกลืนเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากที่สุดถึง 1.7 เท่า

จากการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153 ผสมกับอนุภาคนาโน Pd ดังรูปที่ 4.18 จากกราฟจะเห็นว่า สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153 ผสมกับอนุภาคนาโน Pd มีการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่น 460 – 740 นาโนเมตร สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153 ผสมสารอนุภาคนาโน Pd มีค่าฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลายที่ต่ำกว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153 ทุกเงื่อนไขที่ทำการศึกษา ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากอนุภาคนาโน Pd ไม่เกิดกระบวนการ Metal Enhancement Fluorescence



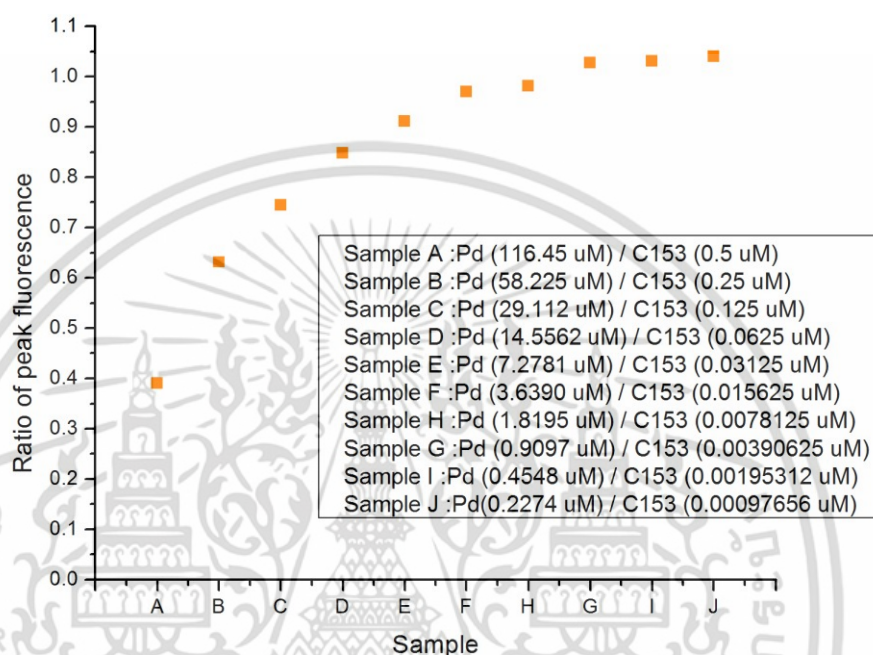
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153 ผสมกับอนุภาคนาโน Pd เทียบกับ สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าอัตราส่วนของพีคการเปล่งแสงของสาร C153:Pd และ C153 แต่ละเงื่อนไขมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์พบว่า ได้กราฟดังรูปที่ 4.19 ค่าอัตราส่วนที่แสดงมีค่าต่ำกว่า 1 ทุกกรณี จึงสามารถสรุปได้ว่าการเลือกผสมสารในช่วงที่ศึกษาในงานวิจัยอาจยังอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม จึงไม่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลาย C153 เนื่องจากปรากฏการณ์ PRET



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพีคฟลูออเรสเซนซ์ของสาร C153:Pd กับ C153 ของสารตัวอย่าง A-J

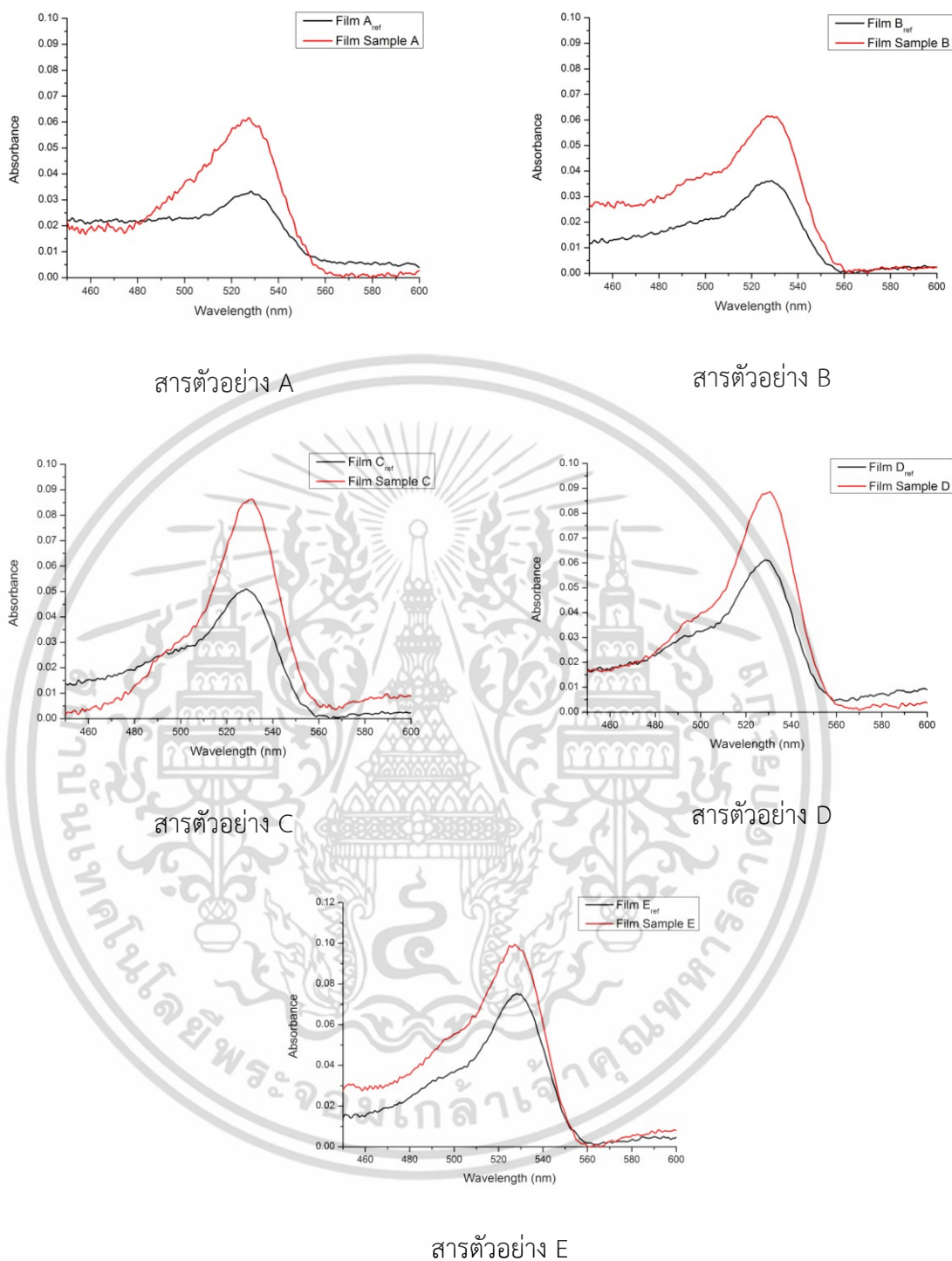
4.4 การศึกษาสเปกตรัมของแสงในรูปของฟิล์ม

จากการศึกษาสเปกตรัมของแสงของฟิล์มของสารละลายสีย้อมผสมกับสารละลายของอนุภาคโลหะนาโนที่ถูกจัดเตรียมขึ้นตามเงื่อนไข 5 เงื่อนไข ตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.4.1 ได้ผลดังนี้

4.4.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมของฟิล์ม Rh6G ผสมกับสารอนุภาคนาโน Au/Pd

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G แสดงดังรูป 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



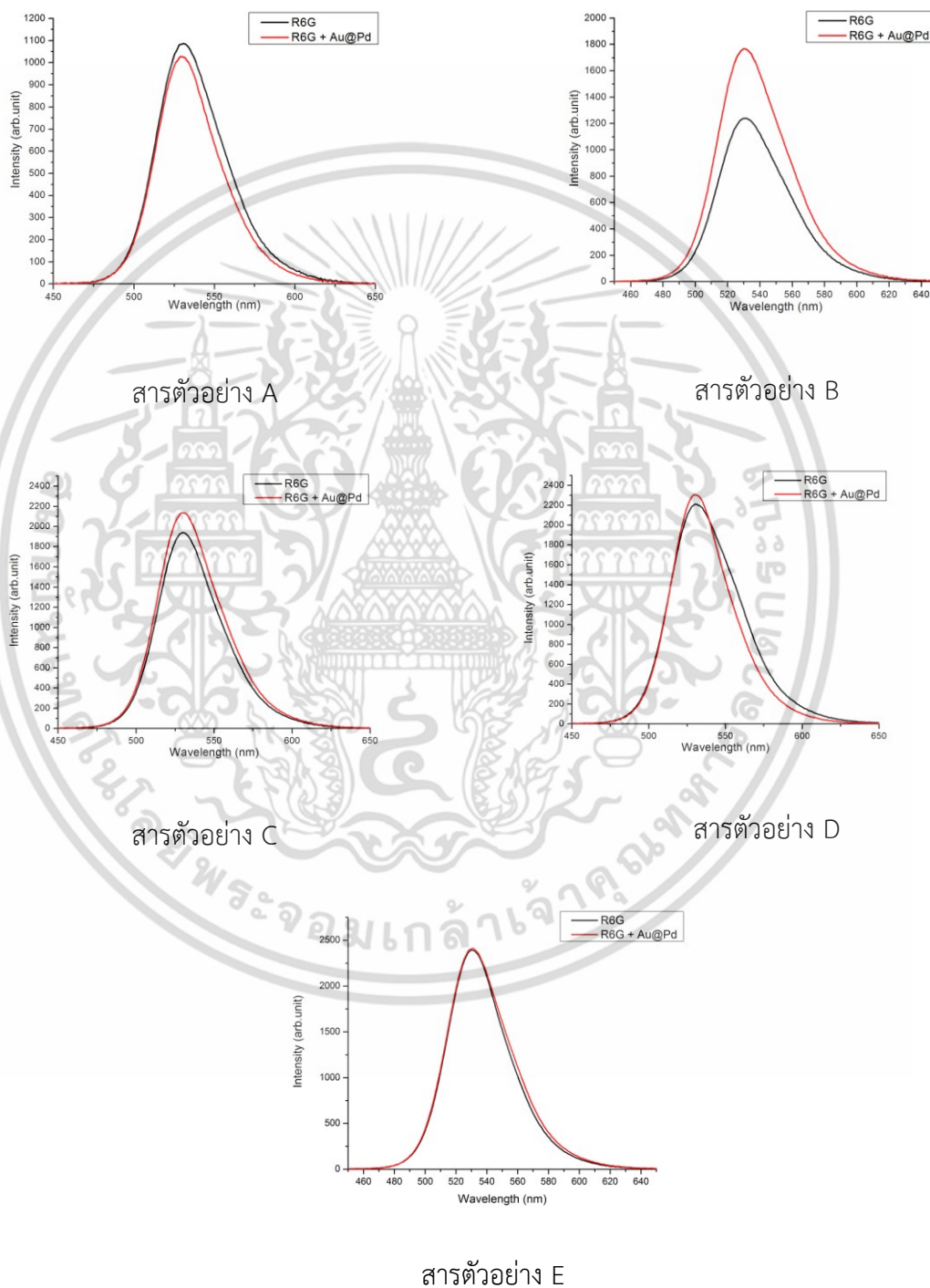
รูปที่ 4.20 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G ที่ผสมกับสารอนุภาคนาโน Au/Pd มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่เติมสารอนุภาคนาโน Au/Pd โดยสารผสม สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง A มีค่าการดูดกลืนเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากที่สุดถึง 2.1 เท่า ซึ่งพีคสูงสุดของค่าการดูดกลืนแสงอยู่ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร

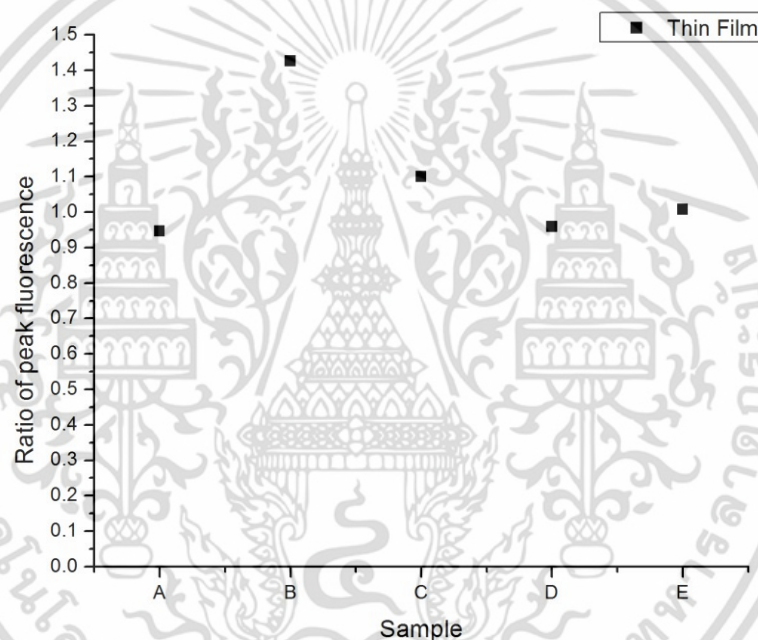
สเปกตรัมการเปล่งของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G แสดงดังรูป 4.21



รูปที่ 4.21 สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd เทียบกับ สเปกตรัม

การเปล่งแสงของฟิล์ม Rh6G เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะเห็นว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd มีการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่น 480 – 620 นาโนเมตร สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มของตัวอย่างผสม A มีค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ต่ำกว่าฟิล์มตัวอย่าง Aref (Rh6G) และกรณีฟิล์ม B-E จะมีค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์มสูงกว่ากรณีไม่ผสม โดยค่าความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นจะสูงกว่าเดิมถึง 1.4 เท่า (รูปที่ 4.22) การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์มที่เกิดขึ้นมีลักษณะเช่นเดียวกับสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย ที่เกิดจากกลไก MEF ที่วัสดุฟลูออเรสเซนซ์ถูกแวดล้อมด้วยอนุภาคโลหะนาโนที่เกิดจากอันตรกิริยาของสาร Au/Pd กับ Rh6G ค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์มมีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากความเป็นอิสระของโมเลกุลและอนุภาคนาโนโลหะมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่อยู่ในรูปของสารละลาย

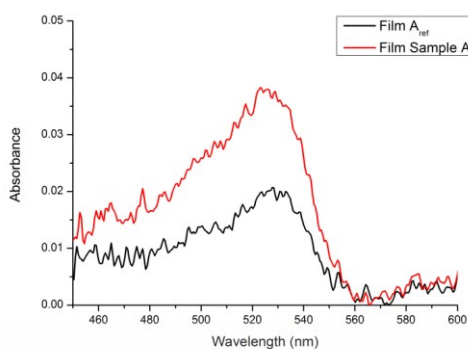


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนฟลักซ์แสงฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์ม Rh6G ผสม Au/Pd และ Rh6G ของสารตัวอย่าง A-E

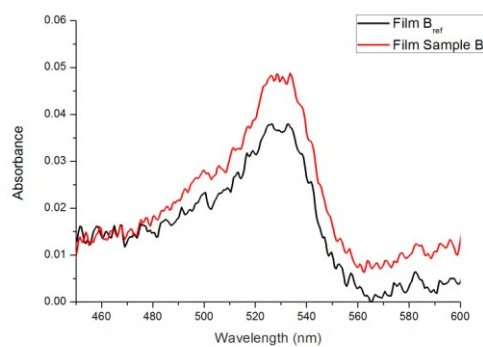
4.3.2 ผลการศึกษาสเปกตรัมของฟิล์ม Rh6G ผสมกับสารละลายของ Au

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G แสดงดังรูป 4.23

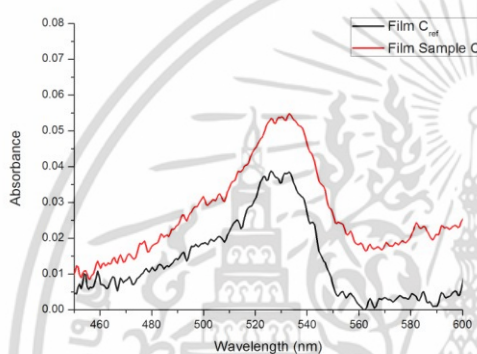
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



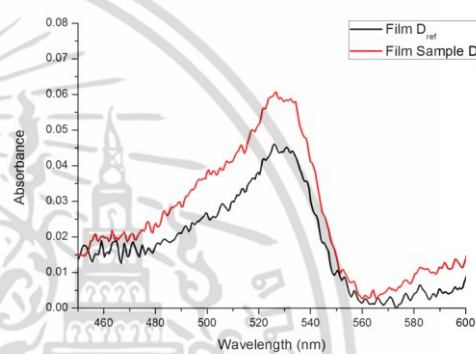
สารตัวอย่าง A



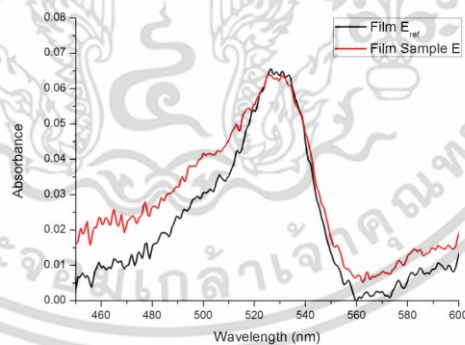
สารตัวอย่าง B



สารตัวอย่าง C



สารตัวอย่าง D



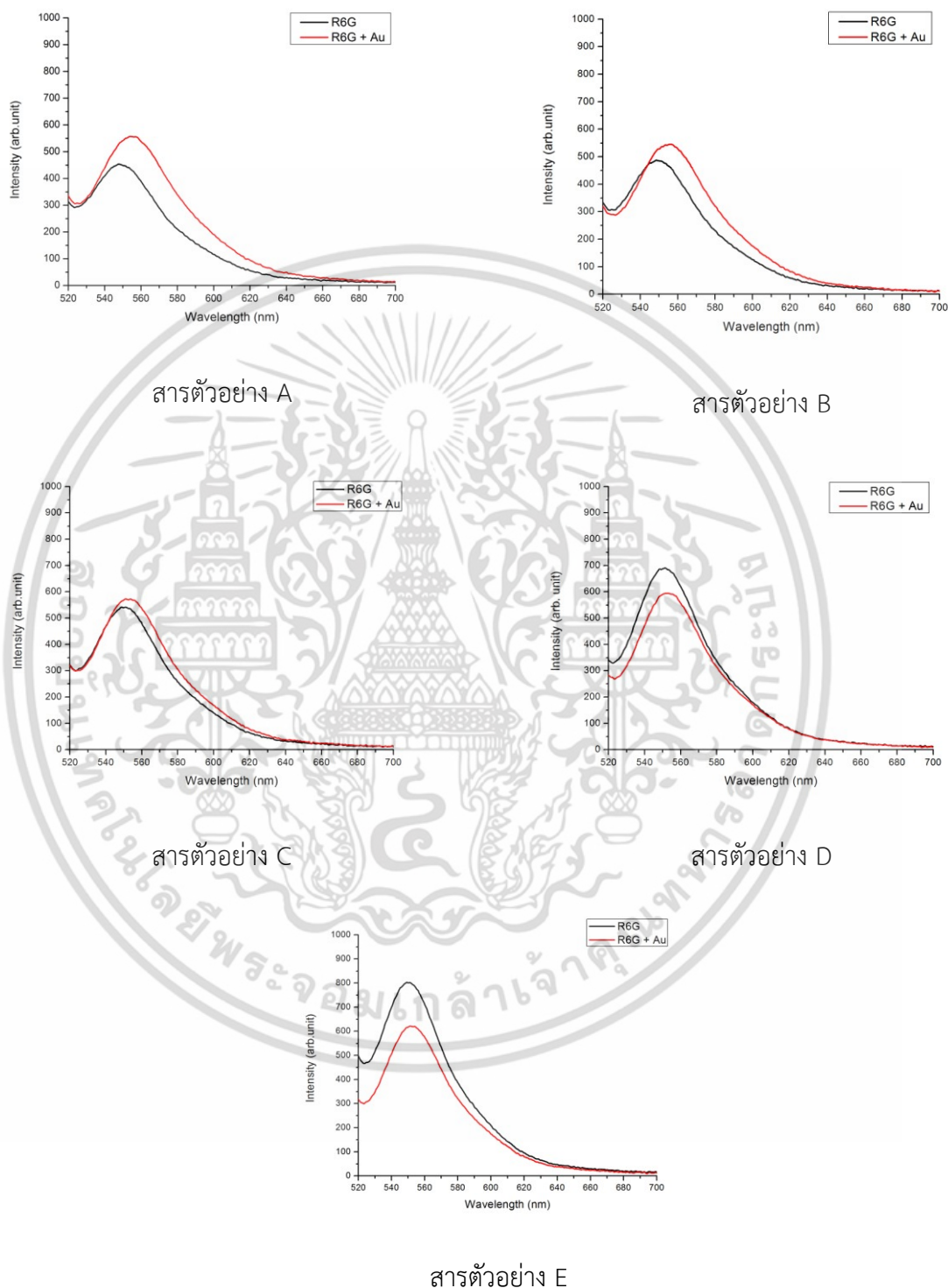
สารตัวอย่าง E

รูปที่ 4.23 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G ที่ผสมกับสารอนุภาคนาโน Au มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่เติมสารอนุภาคนาโน Au โดยฟิล์มของสาร A มีค่าการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากที่สุดถึง 2 เท่า และจุดพีคสูงสุดของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 528 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

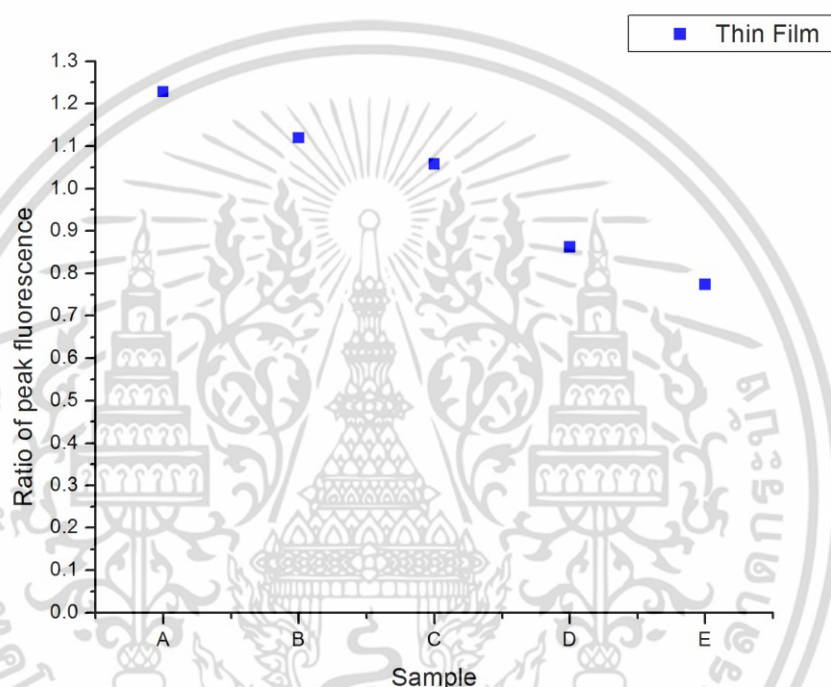
สเปกตรัมการเปล่งของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G แสดงดังรูป 4.24



รูปที่ 4.24 สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับ สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์ม Rh6G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะเห็นว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au มีการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่น 520 – 650 นาโนเมตร สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์ม D และ E มีค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ต่ำกว่าฟิล์ม Dref (Rh6G) และ Eref (Rh6G) ส่วนกรณีฟิล์ม A-C จะมีความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์มสูงกว่ากรณีไม่ผสมอนุภาคโลหะ โดยค่าความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นจะสูงกว่าเดิมถึง 1.2 เท่า (รูปที่ 4.25) ความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับสารละลาย ซึ่งการที่วัสดุฟลูออเรสเซนซ์ถูกแวดล้อมด้วยอนุภาคนาโน ที่มีระยะห่างระหว่างโมเลกุลที่เหมาะสมระหว่างสาร Au และ Rh6G ส่งผลให้เกิดกลไก MEF เช่นเดียวกับสารละลาย



รูปที่ 4.25 อัตราส่วนพีคฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์ม Rh6G ผสมอนุภาค Au และ Rh6G ของสารตัวอย่าง A-E

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้การศึกษาการประยุกต์ใช้อุณหภูมิโลหะระดับนาโน 3 ชนิด คือ Au/Pd, Pd และ Au กับสีย้อมไวแสง Rh6G และ C153 ในรูปของสารละลายและฟิล์ม ผลการศึกษาวิจัยสามารถสรุปได้เป็นหัวข้อดังนี้

5.1.1 การดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd ในรูปแบบของสารละลาย

ตารางที่ 5.1 สรุปอัตราการดูดกลืนแสงและอัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ สาร A-E ของสาร Au/Pd และ Au/Pd + Rh6G ในรูปของสารละลาย

สารละลายตัวอย่าง	อัตราส่วนความเข้มข้น $C_{Au/Pd} : C_{Rh6G}$	อัตราการดูดกลืน แสงของ Au/Pd + Rh6G : Rh6G	อัตราส่วนแสงฟลูออเรส เซนซ์ของ Au/Pd + Rh6G : Rh6G
สาร A	60 : 1	2.8	1.0
สาร B	14 : 1	1.3	1.6
สาร C	5 : 1	1.4	1.4
สาร D	2 : 1	1.4	1.2
สาร E	1 : 1	1.25	1.2

จากการศึกษาสารตัวอย่าง Au/Pd และ Rh6G ที่จัดเตรียมด้วยเงื่อนไขความเข้มข้นที่แตกต่างกันดังตารางที่ 5.1 พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่เพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนระหว่างพีคการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd กับพีคการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G มีค่าเพิ่มในช่วง 1.25 – 2.8 เท่า และอัตราส่วนระหว่างพีคฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd กับพีคฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลาย Rh6G ในช่วงระหว่าง 1.0 – 1.6 เท่า และเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแสงสูงสุด 1.6 เท่า คือการผสมสารด้วยอัตราส่วนความเข้มข้นของ $C_{Au@Pd} : C_{R6G}$ เท่ากับ 14 : 1

5.1.2 การดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au ในรูปแบบของสารละลาย

ตารางที่ 5.2 สรุปอัตราส่วนการดูดกลืนแสงและอัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ สาร A-E ของสาร Au และ Au + Rh6G ในรูปของสารละลาย

สารละลายตัวอย่าง	อัตราส่วนความเข้มข้น $C_{Au} : C_{Rh6G}$	อัตราส่วนการดูดกลืน แสงของ Au + Rh6G : Rh6G	อัตราส่วนแสงฟลูออเรส เซนซ์ของ Au + Rh6G : Rh6G
สาร A	85 : 1	2.2	1.3
สาร B	20 : 1	1.3	1.1
สาร C	7 : 1	1.4	1.0
สาร D	3 : 1	1.4	0.9
สาร E	1 : 1	1.5	1.0

จากการศึกษาสารตัวอย่าง Au และ Rh6G ที่จัดเตรียมด้วยเงื่อนไขความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5.2 พบว่าให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงที่เพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนระหว่างพีคการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au กับพีคการดูดกลืนแสงของสารละลาย Rh6G มีค่าเพิ่มในช่วง 1.3 – 2.2 เท่า และอัตราส่วนระหว่างพีคสูงสุดของค่าฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au เทียบกับพีคสูงสุดค่าฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลาย Rh6G และเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแสงสูงสุด 1.3 เท่า คือการผสมสารด้วยอัตราส่วนความเข้มข้นของ $C_{Au} : C_{Rh6G}$ เท่ากับ 85 : 1

5.1.3 การดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลาย C153 ผสมกับอนุภาคนาโน Pd ในรูปแบบของสารละลาย

สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย C153 ผสมกับอนุภาคนาโน Pd ลดลงตามการเจือจางของค่าความเข้มข้น และเมื่อเทียบกับสเปกตรัมการเปล่งแสงสารละลาย C153 มีค่าฟลูออเรสเซนซ์ที่น้อยกว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงสารละลาย C153 จึงสรุปได้ว่าไม่เกิดปรากฏการณ์พลาสมอนิกส์เรโซแนนซ์ในเงื่อนไขที่ได้ศึกษา เนื่องจากมีค่า Intensity Ratio of Fluorescence ของสารละลายไม่เกิน 1

5.1.4 การศึกษาสเปกตรัมของแสงของฟิล์ม

5.1.4.1 การดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd ในรูปแบบของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 สรุปลักษณะการดูดกลืนแสงและอัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ สาร A-E ของสาร Au/Pd และ Au/Pd + Rh6G ในรูปของฟิล์ม

ฟิล์มตัวอย่าง	อัตราส่วนความเข้มข้น $C_{Au/Pd} : C_{Rh6G}$	อัตราส่วนการดูดกลืน	อัตราส่วนแสงฟลูออเรส
		แสงของ Au/Pd + Rh6G : Rh6G	เซนส์ของ Au/Pd + Rh6G : Rh6G
สาร A	60 : 1	2.0	0.9
สาร B	14 : 1	1.8	1.4
สาร C	5 : 1	1.8	1.1
สาร D	2 : 1	1.5	0.9
สาร E	1 : 1	1.5	1.0

จากการศึกษาสารตัวอย่าง Au/Pd และ Rh6G ที่จัดเตรียมด้วยเงื่อนไขความเข้มข้นที่แตกต่างกันดังตารางที่ 5.3 พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่เพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนระหว่างฟิสิกการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd กับฟิสิกการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G มีค่าเพิ่มในช่วง 1.5 – 2.0 เท่า และอัตราส่วนระหว่างฟิสิกฟลูออเรสเซนส์ของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd กับฟิสิกฟลูออเรสเซนส์ของฟิล์ม Rh6G ในช่วงระหว่าง 0.9 – 1.4 เท่า และเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแสงสูงสุด 1.4 เท่า คือการผสมสารด้วยอัตราส่วนความเข้มข้นของ $C_{Au@Pd} : C_{Rh6G}$ เท่ากับ 14 : 1

5.1.4.2 โดยศึกษาการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au ในรูปแบบของฟิล์ม

ตารางที่ 5.4 สรุปลักษณะการดูดกลืนแสงและอัตราส่วนแสงฟลูออเรสเซนซ์ สาร A-E ของสาร Au และ Au + Rh6G ในรูปของฟิล์ม

ฟิล์มตัวอย่าง	อัตราส่วนความเข้มข้น $C_{Au} : C_{Rh6G}$	อัตราส่วนการดูดกลืน	อัตราส่วนแสงฟลูออเรส
		แสงของ Au + Rh6G : Rh6G	เซนส์ของ Au + Rh6G : Rh6G
สาร A	85 : 1	2.0	1.2
สาร B	20 : 1	1.2	1.1
สาร C	7 : 1	1.5	1.0
สาร D	3 : 1	1.5	1.1
สาร E	1 : 1	1.0	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาสารตัวอย่าง Au และ Rh6G ที่จัดเตรียมด้วยเงื่อนไขความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5.4 พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงที่เพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนระหว่างพีคการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au กับพีคการดูดกลืนแสงของฟิล์ม Rh6G มีค่าเพิ่มในช่วง 1.0 – 2.0 เท่า และอัตราส่วนระหว่างพีคฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์ม Rh6G ผสมกับอนุภาคนาโน Au กับพีคฟลูออเรสเซนซ์ของฟิล์ม Rh6G ในช่วงระหว่าง 0.8 – 1.2 เท่า และเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแสงสูงสุด 1.2 เท่า คือการผสมสารด้วยอัตราส่วนความเข้มข้นของ $C_{Au} : C_{Rh6G}$ เท่ากับ 85 : 1

5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยที่การศึกษาออปติคอลสเปกโทรสโกปีจากสีย้อมไวแสงร่วมกับโลหะในระดับอนุภาคนาโน เมื่อผู้ทำวิจัยได้พบกับปัญหาในงานวิจัยในด้านต่างๆ ดังนี้

1. อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของอนุภาคนาโนคืออนุภาคนาโนมีปริมาณที่จำกัด มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงต้องหาปริมาณสารที่ใช้ในปริมาณเหมาะสมที่สุด
2. ข้อจำกัดเกี่ยวกับการวัดสเปกตรัมทางแสงของฟิล์มบาง ซึ่งระบบการวัดสเปกตรัมทางแสงในรูปแบบต่างๆ นั้นเป็นการสร้างระบบการวัดขึ้นมาเอง จึงทำให้มีมาตรฐานในการวัดน้อยก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลวิจัยได้ ดังนั้นจึงต้องทำการสร้างระบบการวัดหรือมีการจัดระบบการวัดให้มาตรฐานมากขึ้น
3. สำหรับในการจัดเตรียมฟิล์ม ควรศึกษาวิธีการอื่นๆ เพื่อให้แผ่นฟิล์มมีความบางและเรียบเนียนมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับฟิล์มบาง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kadir Aslan, Ignacy Gryczynski, et al. 2005. "Metal-enhanced fluorescence: an emerging tool in biotechnology" *Current Opinion in Biotechnology*. 2015(16): 55–62.
- [2] Ewa M Goldys. 2009. "Fluorescence Applications in Biotechnology and Life Sciences FABLS" ARC / NHMRC Research Network. Macquarie University.
- [3] กฤษ เศรษฐการ. 2555. "การสังเคราะห์สารที่มีความว่องไวทางแสงสำหรับประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดไอออนและไดโอดเปล่งแสงชนิดอินทรีย์" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีอินทรีย์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [4] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2557. "การออกแบบเซนเซอร์ทางเคมีสำหรับตรวจวัดไอออนปรอทด้วยตาเปล่า" *วิทยาศาสตร์ มข.* 42(4): 748-760.
- [5] Viktoria Levchenko, Michael Grouchko, et al. 2011. "Enhancement of luminescence of Rhodamine B by gold nanoparticles in thin films on glass for active optical materials applications" *Optical Materials* 2011(34): 360-364.
- [6] The world of david darling encyclopedia of alternative energy. Thin film. [Online] Available:http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_thin_film_cell.html
- [7] Jiang, Ruibin. 2013. "Plasmonic Properties of Bimetallic Nanostructures and Their Applications in Hydrogen Sensing and Chemical Reactions" *The Chinese University of Hong Kong*. Volume: 7506(E), 176 p.
- [8] Krystyna Drozdowicz-Tomsia and Ewa M. Goldys. 2011. *Nanowires - Fundamental Research*. China : InTech.
- [9] S. Chandra, J. Doran, et al. 2012. "Enhanced quantum dot emission for luminescent solar concentrators using plasmonic interaction" *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2012(98): 385-390.
- [10] shodhganga. Surface Plasmon Resonance (SPR). [Online] Available:<http://shodhganga.inflibnet.ac.in/>
- [11] พิษิตชัย ปิมแปง. 2552. "การเตรียมและการหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนทองคำโดยวิธีการบดและรีดักชันทางเคมี" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Yeonho Choi, Taewook Kang and Luke P. Lee. “Plasmon Resonance Energy Transfer (PRET)-based Molecular Imaging of Cytochrome c in Living Cells” *Nano Letters* 2009 (1): 85–90.
- [13] Yeechi Chen, Keiko Munechika, and David S. Ginger. 2007. “Dependence of Fluorescence Intensity on the Spectral Overlap between Fluorophores and Plasmon Resonant Single Silver Nanoparticles” *Nano Letters*. 2007 Vol.7, No.3 : 690-696.
- [14] Chris D. Geddes and Joseph R. Lakowicz. 2002. “Metal-Enhanced Fluorescence” *Journal of Fluorescence*, Vol.12 No.2.
- [15] Joseph R. Lakowicz, Mustafa H. Chowdhury, et al. 2006. “Plasmon-controlled fluorescence: A new detection technology” *Plasmonics in Biology and Medicine III*. Vol. 6099.
- [16] S.M. El-Bashir, F.M. Barakat and M.S. AlSalhi. 2013. “Metal-enhancement of mixed coumarin dyes by silver and gold nanoparticles: Towards plasmonic thin-film luminescent solar concentrator” *Journal of Luminescence*. 2013(143): 43-49.
- [17] Shweta Verma, B. Tirumala Rao, et al. 2014. “Studies on interdependent optical properties of Rhodamine 6G dye and gold nanoparticles at different dilutions of aqueous solutions” *Journal of Luminescence*. 2014(155): 156-164.
- [18] อภิวัฒน์ ชมภูสอ. 2556. “โครงสร้างระดับนาโนของทอง: การสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง” *วิทยาศาสตร์ มข.* 41(4): 859-872.
- [19] Plasmonix. 2014. Metal Enhanced Fluorescence (MEF). [Online]. Available:<http://plasmonixinc.com/metal-enhanced-fluorescence-mef/research.html>
- [20] Zhilin Yang, Yan Li, et al. 2009. “Surface enhanced Raman scattering of pyridine adsorbed on Au@Pd core/shell nanoparticles” *The Journal of Chemical Physics*. 2009(234705):130.
- [21] Wikipedia. 2016. **Rhodamine 6G**. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Rhodamine_6G
- [22] Alibaba. 2016. **สารสีย้อมRhodamine6G**. [online]. Available: <https://thai.alibaba.com/g/dyestuffs-rhodamine.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] SIGMA-ALDRICH. **Coumarin 153**. [Online]
Available: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/546186?lang=en®ion=TH>
- [24] AMERICAN. **Gold Nanorods, Palladium-coated**. [Online]
Available: <https://www.americanelements.com/gold-nanorods-palladium-coated-7440-57-5>
- [25] Kitsakorn Locharoenrat and Pattareeya Damrongsak. 2015. “Plasmonic properties of gold-palladium core-shell nanorods” Ukr. J. Phys. Opt. 2015, Volume 16, Issue 3.
- [26] NanoSeedz. **Porous Single-Crystalline Palladium Nanocrystals**. [Online]
Available: <http://www.nanoseedz.com/PorousPd.html>
- [27] Aditi Halder, S. Patra, et al. 2010. “Porous, catalytically active palladium nanostructures by tuning nanoparticle interactions in an organic medium” Nanoscale. 2011(3): 725–730
- [28] NanoSeedz. **Gold Nanobipyramids**. [Online]
Available: http://www.nanoseedz.com/Gold_Nanobipyramids_en.html
- [29] นิชากร บูลพิภพอนันต์, นารี บำรุงจิตต์ และปิยสิริ แก้วปาน. 2556. “การศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง ZnO/PMMA สำหรับการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์รวมแสงอาทิตย์” วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [30] Antonie J.W.G. Visser and Olaf J. Rolinski. **BASIC PHOTOPHYSICS**. [Online]
Available: <http://photobiology.info/Visser-Rolinski.html>
- [31] ThermoFisher SCIENTIFIC. **Stokes shift**. [Online]
Available: <https://www.thermofisher.com/th/en/home/life-science/protein-biology/protein-biology-learning-center/protein-biology-resource-library/pierce-protein-methods/fluorescent-probes.html>
- [32] nanoComposix. **Plasmonics and Nanophotonics**. [Online]
Available: <http://nanocomposix.com/pages/plasmonics-and-nanophotonics>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[33] Vamsi K. Kandimalla. 2010. “Influence of Metal Nanoparticles on Fluorescence Properties” MASTER OF SCIENCE in Chemistry, Eastern Michigan University.

[34] วิชญาพร สูญพานิช. 2556. “การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสารเรืองแสง” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[35] Wikipedia. 2016. **Spectrometry**. [Online]

Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrometry>

[36] Blogspot. 2558. **Silicon diode detector**. [Online]

Available: <http://ruxmeter.blogspot.com/2015/09/blog-post.html>

[37] Jim Clark. 2006. **Simple double beam spectrometer**. [Online]

Available: <http://www.chemguide.co.uk/analysis/uvvisible/spectrometer.html>

[38] Avantes. 2015. Avantes enlightening spectroscopy. Bangkok : Avantes.

[39] R. Vogel, P. Meredith, M.D. Harvey and H. Rubinsztein-Dunlop. 2004. “Absorption and fluorescence spectroscopy of rhodamine 6G in titanium dioxide nanocomposites” *Spectrochimica Acta Part A*, 2004(60): 245–249.

[40] Suneetha Sebastian, Sooraj S, et al. “Impact of laser ablated gold nanoparticles on absorption and fluorescence of Rhodamine 6G in Methyl Methacrylate” International School of Photonics, Cochin University of Science And Technology, Cochin, India

[41] L. Dong, F. Ye, et al. 2011. “Fluorescence quenching and photobleaching in Au/Rh6G nano-assemblies: impact of competition between radiative and non-radiative decay” *Journal of the European Optical Society*, 2011(11019)

[42] Ashley E. Augspurger, Anthony S, et al. 2014. “Detecting Plasmon Resonance Energy Transfer Differential Interference Contrast Microscopy” *Anal. Chem*, 2014, 86(2): 1196-1201.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณ

1. คำนวณความเข้มข้นของอนุภาคนาโน

$$\begin{aligned} \text{ค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโน Au/Pd} &= \frac{\mu\text{g/mL}}{\text{MW}} \\ &= \frac{38.5\mu\text{g/mL}}{106.42\text{ MW}} \\ &= 0.3617\text{ mM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโน Au} &= \frac{\mu\text{g/mL}}{\text{MW}} \\ &= \frac{100\mu\text{g/mL}}{196.96\text{ MW}} \\ &= 0.5077\text{ mM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโน Pd} &= \frac{\mu\text{g/mL}}{\text{MW}} \\ &= \frac{50\mu\text{g/mL}}{106.42\text{ MW}} \\ &= 0.4658\text{ mM} \end{aligned}$$

2. การจัดเตรียมสารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆ

2.1 วิธีการคำนวณปริมาณสาร Rh6G เพื่อเตรียมสารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 50 ml

เมื่อ Rh6G มีมวลโมเลกุล 479.01 g/mol

$$\text{คำนวณได้จากสูตร } \frac{\text{g}}{\text{MW}} = \frac{N_1 V_1}{1000}$$

เมื่อ g คือ ปริมาณสาร Rh6G ที่ต้องการ (หน่วย g)

MW คือ มวลโมเลกุลของ Rh6G (หน่วย g/mol)

N_1 คือ ความเข้มข้น (หน่วย M)

V_1 คือ ปริมาตร (หน่วย ml)

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ปริมาณ Rh6G ที่ต้องชั่ง} &= \frac{\text{g}}{479.01} = \frac{10^{-3} \times 10}{1000} \\ \text{g} &= 0.00479\text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 10 ml โดยการชั่งสาร Rh6G มา 0.00479 g ละลายด้วย DCM 10 ml

2.2 วิธีการเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยการเจือจาง

$$\text{คำนวณได้จากสูตร } C_1 V_1 = C_2 V_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G เริ่มต้น (หน่วย M)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย Rh6G เริ่มต้น (หน่วย ml)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G สุดท้าย (หน่วย M)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลาย Rh6G สุดท้าย (หน่วย ml)

1) การเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

$$\text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad (10^{-3})V_1 = (10^{-6})(10)$$

$$V_1 = \frac{10^{-6} \times 10}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.01 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.01 ml เติม DCM 9.99 ml
จะได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

2) การเตรียมสารละลาย h ที่ความเข้มข้น 2×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

$$\text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad (10^{-3})V_1 = (2 \times 10^{-6}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(2 \times 10^{-6}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.02 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.02 ml เติม DCM 9.98 ml
จะได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 2×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

3) การเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 4×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

$$\text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad (10^{-3})V_1 = (4 \times 10^{-6}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(4 \times 10^{-6}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.04 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.04 ml เติม DCM 9.96 ml
จะได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 4×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

4) การเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

$$\text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad (10^{-3})V_1 = (6 \times 10^{-6}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(6 \times 10^{-6}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.06 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.06 ml เติม DCM 9.94 ml
จะได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

5) การเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 8×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (8 \times 10^{-6}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(8 \times 10^{-6}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.08 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.08 ml เติม DCM 9.92 ml
จะได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 8×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

6) การเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (10^{-5}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(10^{-5}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.1 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.1 ml เติม DCM 9.9 ml จะ
ได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

7) การเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 2×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (2 \times 10^{-5}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(2 \times 10^{-5}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.2 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.2 ml เติม DCM 9.8 ml จะ
ได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 2×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

8) การเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 4×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (4 \times 10^{-5}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(4 \times 10^{-5}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.4 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.4 ml เติม DCM 9.6 ml จะได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 4×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

9) การเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (6 \times 10^{-5}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(6 \times 10^{-5}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.6 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.6 ml เติม DCM 9.4 ml จะได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

10) การเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (8 \times 10^{-5}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(8 \times 10^{-5}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.8 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.8 ml เติม DCM 9.2 ml จะได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 8×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

11) การเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (10^{-4}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(10^{-4}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 1 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 1 ml เติม DCM 9 ml จะได้สารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-4} M ปริมาตร 10 ml

ตารางการเจือจางของ Rh6G กับ DCM

ความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G (M)	Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M (ml)	DCM ที่ต้องเติม (ml)
10^{-6}	0.01	9.99
2×10^{-6}	0.02	9.98
4×10^{-6}	0.04	9.96
6×10^{-6}	0.06	9.94
8×10^{-6}	0.08	9.92
10^{-5}	0.1	9.9
2×10^{-5}	0.2	9.8
4×10^{-5}	0.4	9.6
6×10^{-5}	0.6	9.4
8×10^{-5}	0.8	9.2
10^{-4}	1	9

3. การจัดเตรียมสารละลาย C153 ที่มีความเข้มข้นต่างๆ

3.1 วิธีการคำนวณปริมาณสาร C153 เพื่อเตรียมสารละลาย C153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 10 ml

เมื่อ C153 มีมวลโมเลกุล 309.24 g/mol

$$\text{คำนวณได้จากสูตร } \frac{g}{MW} = \frac{N_1 V_1}{1000}$$

เมื่อ g คือ ปริมาณสาร C153 ที่ต้องการ (หน่วย g)

MW คือ มวลโมเลกุลของ C153 (หน่วย g/mol)

N_1 คือ ความเข้มข้น (หน่วย M)

V_1 คือ ปริมาตร (หน่วย ml)

$$\text{ดังนั้น ปริมาณ C153 ที่ต้องชั่ง } \frac{g}{309.24} = \frac{10^{-3} \times 10}{1000}$$

$$g = 0.0030924 \text{ g}$$

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 10 ml โดยการชั่งสาร C153 มา 0.00309 g ละลายด้วย Ethanol 10 ml

2.2 วิธีการเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยการเจือจาง

$$\text{คำนวณได้จากสูตร } C_1 V_1 = C_2 V_2$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย C153 เริ่มต้น (หน่วย M)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย C153 เริ่มต้น (หน่วย ml)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย C153 สุดท้าย (หน่วย M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลาย C153 สุดท้าย (หน่วย ml)

1) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (10^{-3})V_1 &= (10^{-6})(10) \\ V_1 &= \frac{10^{-6} \times 10}{10^{-3}} \\ V_1 &= 0.01 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.01 ml เติม Ethanol 9.99 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

2) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 2×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (10^{-3})V_1 &= (2 \times 10^{-6}) \times (10) \\ V_1 &= \frac{(2 \times 10^{-6}) \times (10)}{10^{-3}} \\ V_1 &= 0.02 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.02 ml เติม Ethanol 9.98 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 2×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

3) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 4×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (10^{-3})V_1 &= (4 \times 10^{-6}) \times (10) \\ V_1 &= \frac{(4 \times 10^{-6}) \times (10)}{10^{-3}} \\ V_1 &= 0.04 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.04 ml เติม Ethanol 9.96 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 4×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

4) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (10^{-3})V_1 &= (6 \times 10^{-6}) \times (10) \\ V_1 &= \frac{(6 \times 10^{-6}) \times (10)}{10^{-3}} \\ V_1 &= 0.06 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.06 ml เติม Ethanol 9.94 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 8×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (8 \times 10^{-6}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(8 \times 10^{-6}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.08 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.08 ml เติม Ethanol 9.92 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 8×10^{-6} M ปริมาตร 10 ml

6) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (10^{-5}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(10^{-5}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.1 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.1 ml เติม Ethanol 9.9 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

7) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 2×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (2 \times 10^{-5}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(2 \times 10^{-5}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.2 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.2 ml เติม Ethanol 9.8 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 2×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

8) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 4×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (4 \times 10^{-5}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(4 \times 10^{-5}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.4 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.4 ml เติม Ethanol 9.6 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 4×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (6 \times 10^{-5}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(6 \times 10^{-5}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.6 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.6 ml เติม Ethanol 9.4 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 6×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

10) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (8 \times 10^{-5}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(8 \times 10^{-5}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 0.8 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 0.8 ml เติม Ethanol 9.2 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 8×10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

11) การเตรียมสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ดังนั้น

$$(10^{-3})V_1 = (10^{-4}) \times (10)$$

$$V_1 = \frac{(10^{-4}) \times (10)}{10^{-3}}$$

$$V_1 = 1 \text{ ml}$$

ดังนั้น นำสารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 1 ml เติม Ethanol 9 ml จะได้สารละลาย C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-4} M ปริมาตร 10 ml

ตารางการเจือจางของ C153 กับ Ethanol

ความเข้มข้นของสารละลาย C153 (M)	C153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M (ml)	Ethanol ที่ต้องเติม (ml)
10^{-6}	0.01	9.99
2×10^{-6}	0.02	9.98
4×10^{-6}	0.04	9.96
6×10^{-6}	0.06	9.94
8×10^{-6}	0.08	9.92
10^{-5}	0.1	9.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2×10^{-5}	0.2	9.8
4×10^{-5}	0.4	9.6
6×10^{-5}	0.6	9.4
8×10^{-5}	0.8	9.2
10^{-4}	1	9

4. วิธีการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G ผสมอนุภาคนาโน Au/Pd ที่ทำการเจือจางทั้งหมด 5 ครั้ง

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารอนุภาค Au/Pd ตั้งต้น (หน่วย M)

V_1 คือ ปริมาตรของสารอนุภาค Au/Pd ตั้งต้น (หน่วย ml)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารอนุภาค Au/Pd สุดท้าย (หน่วย M)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายสุดท้าย (หน่วย ml)

Sample A

เมื่อนำสารอนุภาค Au/Pd ที่ความเข้มข้น 0.3617×10^{-3} M ปริมาตร 0.5 ml ผสมกับ DCM และ Rh6G 1.5 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.3617 \times 10^{-3}) \times (0.5) &= C_2 \times (1.5) \\ C_2 &= \frac{(0.3617 \times 10^{-3}) \times (0.5)}{1.5} \\ C_2 &= 0.1206 \text{ mM} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารอนุภาค Au/Pd ที่ความเข้มข้น 0.3617×10^{-3} M ปริมาตร 0.5 ml เติมลงใน DCM และ Rh6G 1.5 ml จะได้สารอนุภาค Au/Pd ที่มีความเข้มข้น 0.1206 uM

Sample B

เมื่อนำสารอนุภาค Au/Pd ที่ความเข้มข้น 0.3617×10^{-3} M ปริมาตร 0.25 ml ผสมกับ DCM และ Rh6G 1.75 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.3617 \times 10^{-3}) \times (0.25) &= C_2 \times (1.75) \\ C_2 &= \frac{(0.3617 \times 10^{-3}) \times (0.25)}{1.75} \\ C_2 &= 0.0516 \text{ mM} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารอนุภาค Au/Pd ที่ความเข้มข้น 0.3617×10^{-3} M ปริมาตร 0.25 ml เติมลงใน DCM และ Rh6G 1.75 ml จะได้สารอนุภาค Au/Pd ที่มีความเข้มข้น 0.0516 uM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample C

เมื่อนำสารอนุภาค Au/Pd ที่ความเข้มข้น 0.3617×10^{-3} M ปริมาตร 0.125 ml ผสมกับ DCM และ Rh6G 1.875 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.3617 \times 10^{-3}) \times (0.125) &= (C_2) \times (1.875) \\ C_2 &= \frac{(0.3617 \times 10^{-3}) \times (0.125)}{1.875} \\ C_2 &= 0.0241 \text{ mM} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารอนุภาค Au/Pd ที่ความเข้มข้น 0.3617×10^{-3} M ปริมาตร 0.125 ml เติมลงใน DCM และ Rh6G 1.875 ml จะได้สารอนุภาค Au/Pd ที่มีความเข้มข้น 0.0241 uM

Sample D

เมื่อนำสารอนุภาค Au/Pd ที่ความเข้มข้น 0.3617×10^{-3} M ปริมาตร 0.0625 ml ผสมกับ DCM และ Rh6G 1.9375 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.3617 \times 10^{-3}) \times (0.0625) &= (C_2) \times (1.9375) \\ C_2 &= \frac{(0.3617 \times 10^{-3}) \times (0.0625)}{1.9375} \\ C_2 &= 0.0117 \text{ mM} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารอนุภาค Au/Pd ที่ความเข้มข้น 0.3617×10^{-3} M ปริมาตร 0.0625 ml เติมลงใน DCM และ Rh6G 1.9375 ml จะได้สารอนุภาค Au/Pd ที่มีความเข้มข้น 0.0117 uM

Sample E

เมื่อนำสารอนุภาค Au/Pd ที่ความเข้มข้น 0.3617×10^{-3} M ปริมาตร 0.03125 ml ผสมกับ DCM และ Rh6G ที่ปริมาตร 1.96875 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.3617 \times 10^{-3}) \times (0.03125) &= (C_2) \times (1.96875) \\ C_2 &= \frac{(0.3617 \times 10^{-3}) \times (0.03125)}{1.96875} \\ C_2 &= 0.0574 \text{ mM} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารอนุภาค Au/Pd ที่ความเข้มข้น 0.3617×10^{-3} M ปริมาตร 0.03125 ml เติมลงใน DCM และ Rh6G 1.96875 ml จะได้สารอนุภาค Au/Pd ที่มีความเข้มข้น 0.0574 uM

5. วิธีการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G ผสมอนุภาคนาโน Au ที่ทำการเจือจางทั้งหมด 5 ครั้ง

$$\text{คำนวณได้จากสูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารอนุภาค Au ตั้งต้น (หน่วย M)

V_1 คือ ปริมาตรของสารอนุภาค Au ตั้งต้น (หน่วย ml)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารอนุภาค Au สุดท้าย (หน่วย M)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายสุดท้าย (หน่วย ml)

Sample A

เมื่อนำสารอนุภาค Au ที่ความเข้มข้น 0.5077×10^{-3} M ปริมาตร 0.5 ml ผสมกับ DCM และ Rh6G 1.5 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร } C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น } (0.5077 \times 10^{-3}) \times (0.5) &= C_2 \times (0.5) \\ C_2 &= \frac{(0.5077 \times 10^{-3}) \times (0.5)}{0.5} \\ C_2 &= 0.1692 \text{ mM} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารอนุภาค Au ที่ความเข้มข้น 0.5077×10^{-3} M ปริมาตร 0.5 ml เติมลงใน DCM และ Rh6G 1.5 ml จะได้สารอนุภาค Au ที่มีความเข้มข้น 0.1692 mM

Sample B

เมื่อนำสารอนุภาค Au ที่ความเข้มข้น 0.5077×10^{-3} M ปริมาตร 0.25 ml ผสมกับ DCM และ Rh6G 1.75 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร } C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น } (0.5077 \times 10^{-3}) \times (0.25) &= C_2 \times (1.75) \\ C_2 &= \frac{(0.5077 \times 10^{-3}) \times (0.25)}{1.75} \\ C_2 &= 0.0725 \text{ mM} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารอนุภาค Au ที่ความเข้มข้น 0.5077×10^{-3} M ปริมาตร 0.25 ml เติมลงใน DCM และ Rh6G 1.75 ml จะได้สารอนุภาค Au ที่มีความเข้มข้น 0.0725 mM

Sample C

เมื่อนำสารอนุภาค Au ที่ความเข้มข้น 0.5077×10^{-3} M ปริมาตร 0.125 ml ผสมกับ DCM และ Rh6G 1.875 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร } C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น } (0.5077 \times 10^{-3}) \times (0.125) &= C_2 \times (1.875) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_2 = \frac{(0.5077 \times 10^{-3}) \times (0.125)}{1.875}$$

$$C_2 = 0.0338 \text{ mM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารอนุภาค Au ที่ความเข้มข้น 0.5077×10^{-3} M ปริมาตร 0.125 ml เติมลงใน DCM และ Rh6G 1.875 ml จะได้สารอนุภาค Au ที่มีความเข้มข้น 0.0338 mM

Sample D

เมื่อนำสารอนุภาค Au ที่ความเข้มข้น 0.5077×10^{-3} M ปริมาตร 0.0625 ml ผสมกับ DCM และ Rh6G 1.9375 ml

$$\text{คำนวณได้จากสูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{ดังนั้น } (0.5077 \times 10^{-3}) \times (0.0625) = (C_2) \times (1.9375)$$

$$C_2 = \frac{(0.5077 \times 10^{-3}) \times (0.0625)}{1.9375}$$

$$C_2 = 0.0163 \text{ mM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารอนุภาค Au ที่ความเข้มข้น 0.5077×10^{-3} M ปริมาตร 0.0625 ml เติมลงใน DCM และ Rh6G 1.9375 ml จะได้สารอนุภาค Au ที่มีความเข้มข้น 0.0163 mM

Sample E

เมื่อนำสารอนุภาค Au ที่ความเข้มข้น 0.5077×10^{-3} M ปริมาตร 0.03125 ml ผสมกับ DCM และ Rh6G ที่ปริมาตร 1.96875 ml

$$\text{คำนวณได้จากสูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{ดังนั้น } (0.5077 \times 10^{-3}) \times (0.03125) = (C_2) \times (1.96875)$$

$$C_2 = \frac{(0.5077 \times 10^{-3}) \times (0.03125)}{1.96875}$$

$$C_2 = 0.00805 \text{ mM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารอนุภาค Au ที่ความเข้มข้น 0.5077×10^{-3} M ปริมาตร 0.03125 ml เติมลงใน DCM และ Rh6G 1.96875 ml จะได้สารอนุภาค Au ที่มีความเข้มข้น 0.00805 mM

6. วิธีการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G ที่ทำการเจือจางทั้งหมด 5 ครั้ง

$$\text{คำนวณได้จากสูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G เริ่มต้น (หน่วย M)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย Rh6G เริ่มต้น (หน่วย ml)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G สุดท้าย (หน่วย M)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายสุดท้าย (หน่วย ml)

Sample A_{ref}

เมื่อนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 0.5 ml ผสมกับอนุภาคนาโน Au/Pd กับ DCM ที่ปริมาตร 1.5 ml

$$\text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad (6 \times 10^{-6}) \times (0.5) = (C_2) \times (1.5)$$

$$C_2 = \frac{(6 \times 10^{-6}) \times (0.5)}{1.5}$$

$$C_2 = 2.0 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 0.5 ml ผสมกับสารละลาย Au/Pd และ DCM ที่ปริมาตร 1.5 ml จะได้สารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 2.0 uM

Sample B_{ref}

เมื่อนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 0.75 ml ผสมกับ อนุภาคนาโน Au/Pd กับ DCM ที่ปริมาตร 1.25 ml

$$\text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad (6 \times 10^{-6}) \times (0.75) = (C_2) \times (1.25)$$

$$C_2 = \frac{(6 \times 10^{-6}) \times (0.75)}{1.25}$$

$$C_2 = 3.6 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 0.75 ml ผสมกับสารละลาย Au/Pd และ DCM ที่ปริมาตร 1.25 ml จะได้สารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 3.6 uM

Sample C_{ref}

เมื่อนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 0.875 ml ผสมกับ อนุภาคนาโน Au/Pd กับ DCM ที่ปริมาตร 1.125 ml

$$\text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad (6 \times 10^{-6}) \times (0.875) = (C_2) \times (1.125)$$

$$C_2 = \frac{(6 \times 10^{-6}) \times (0.875)}{1.125}$$

$$C_2 = 4.6 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 0.875 ml ผสมกับสารละลาย Au/Pd และ DCM ที่ปริมาตร 1.125 ml จะได้สารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 4.6 uM

Sample D_{ref}

เมื่อนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 0.9375 ml ผสมกับ อนุภาคนาโน Au/Pd กับ DCM ที่ปริมาตร 1.0625 ml

$$\text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad (6 \times 10^{-6}) \times (0.9375) &= (C_2) \times (1.0625) \\ C_2 &= \frac{(6 \times 10^{-6}) \times (0.9375)}{1.0625} \\ C_2 &= 5.29 \text{ uM} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 0.9375 ml ผสมกับ สารละลาย Au/Pd และ DCM ที่ปริมาตร 1.0625 ml จะได้สารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 5.29 uM

Sample E_{ref}

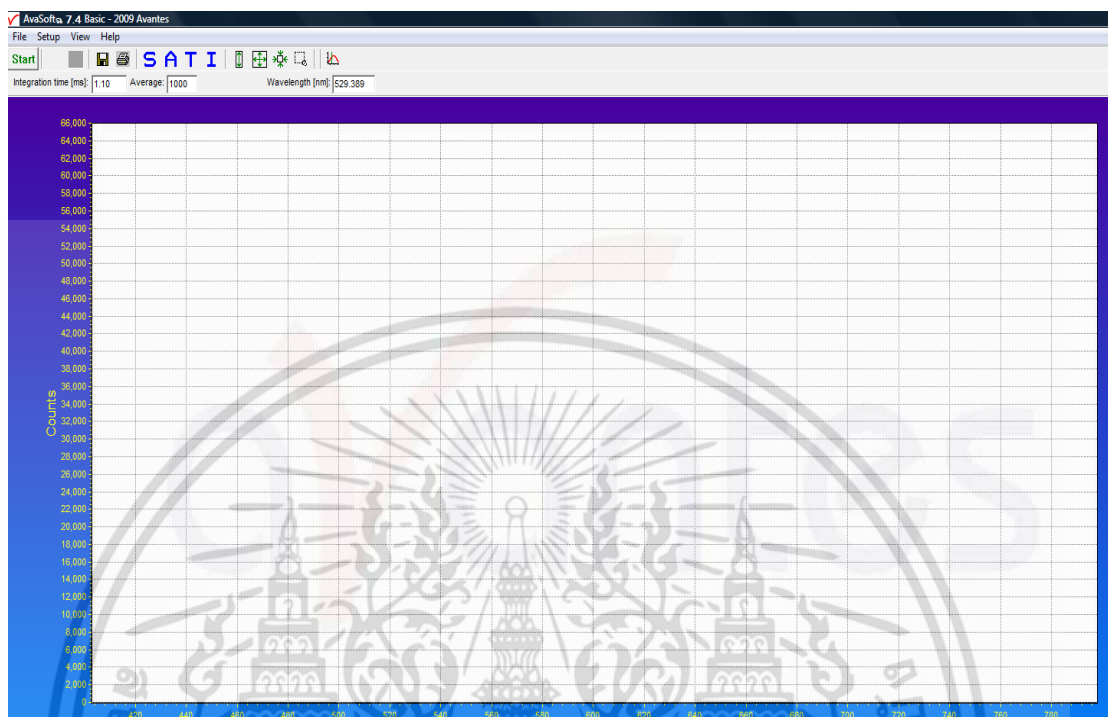
เมื่อนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 0.96875 ml ผสมกับ อนุภาคนาโน Au/Pd กับ DCM ที่ปริมาตร 1.03125 ml

$$\begin{aligned} \text{คำนวณได้จากสูตร} \quad C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (6 \times 10^{-6}) \times (0.96875) &= (C_2) \times (1.03125) \\ C_2 &= \frac{(6 \times 10^{-6}) \times (0.96875)}{1.03125} \\ C_2 &= 5.47 \text{ uM} \end{aligned}$$

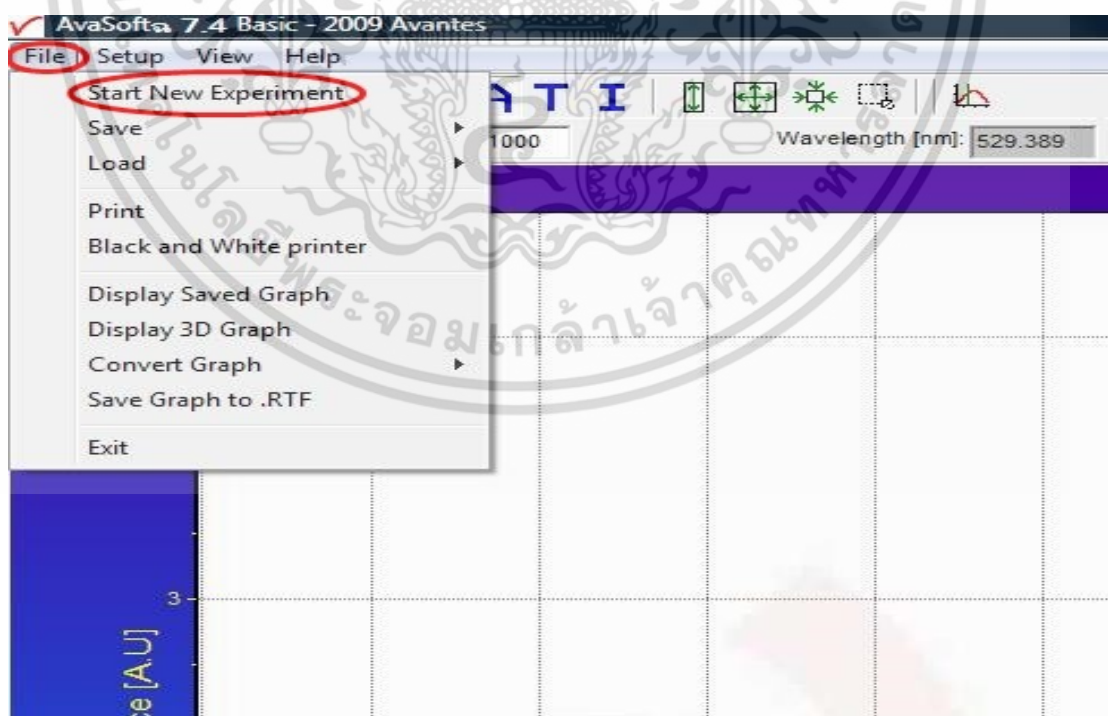
ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 6×10^{-6} M ปริมาตร 0.96875 ml ผสมกับ สารละลาย Au/Pd และ DCM ที่ปริมาตร 1.03125 ml จะได้สารละลาย Rh6G ที่มีความเข้มข้น 5.47 uM

วิธีการใช้โปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic

1. เปิดโปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic

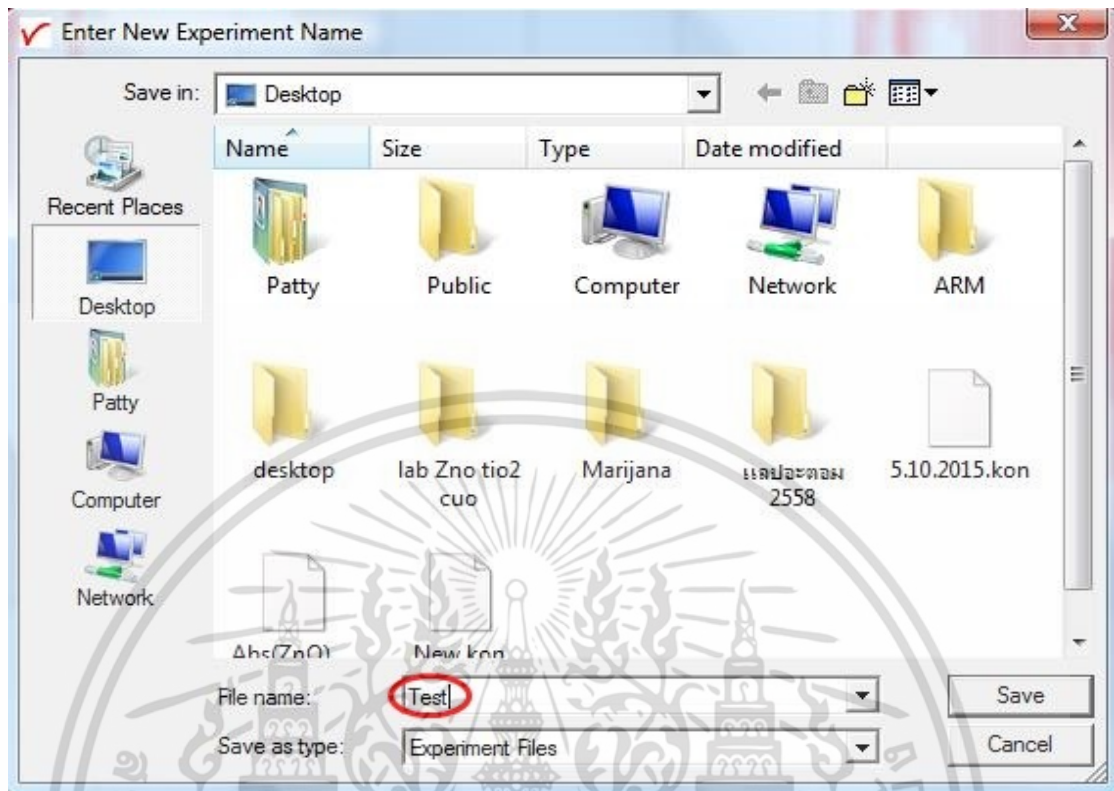


2. คลิกที่ file เลือก Start New Experiment เพื่อทำการตั้งชื่อไฟล์งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ให้สร้าง Folder ใหม่ เพื่อเก็บไฟล์งานของเรา และตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการให้โปรแกรมบันทึกผล

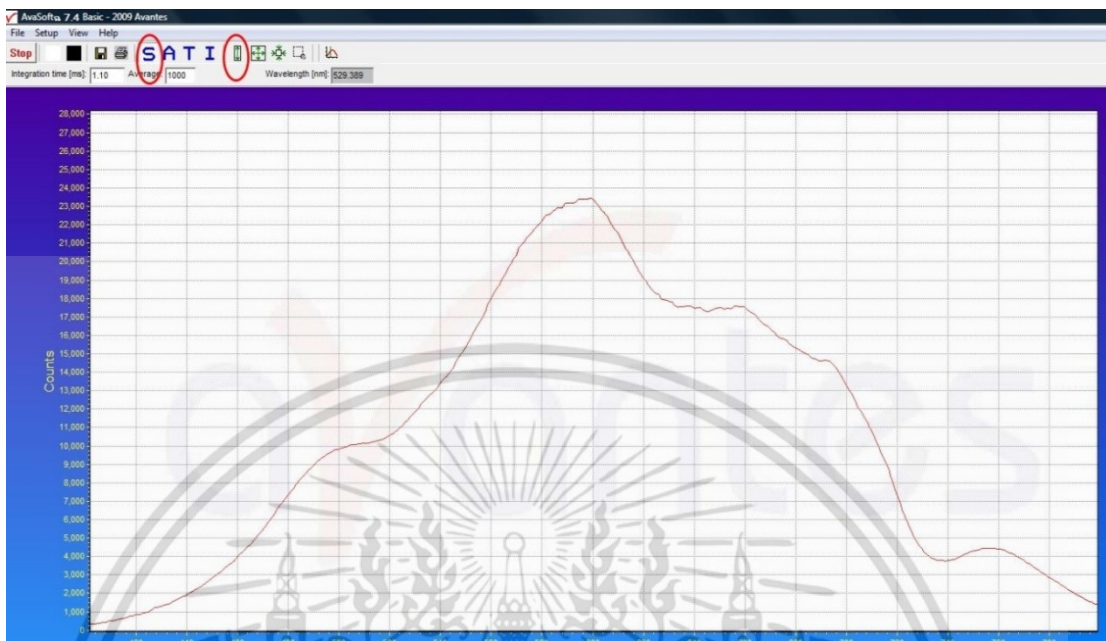


4. คลิก Start ที่โปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic

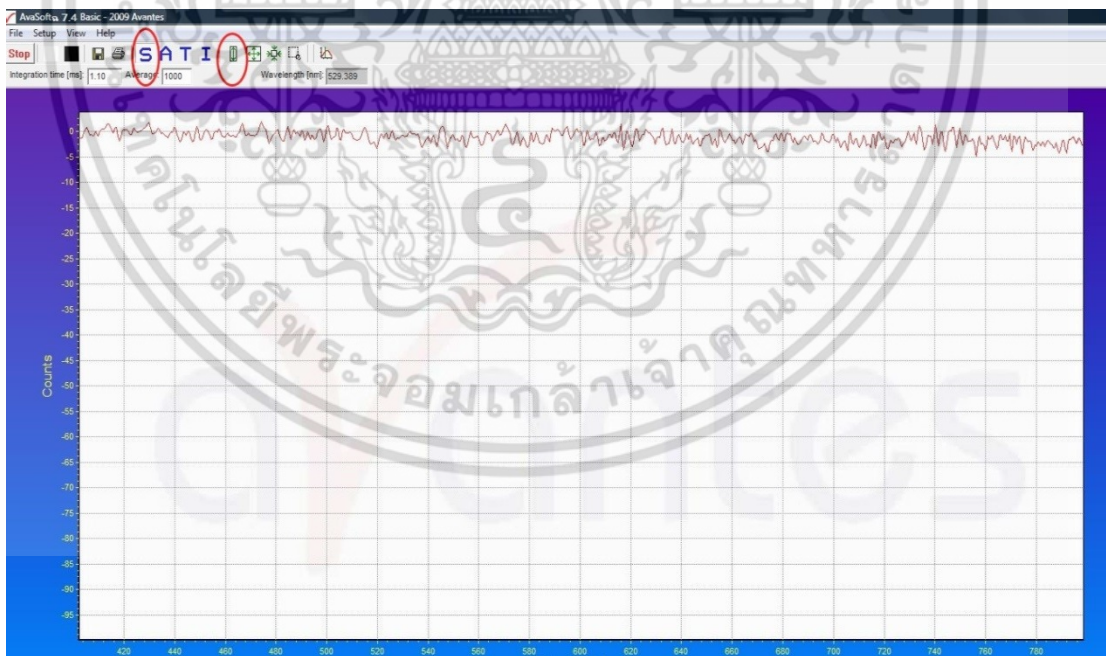


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คลิก S (scope mode) และ Auto scale เพื่อปรับความเข้มแสงของหลอด tungsten ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง จนได้ความเข้มชั้น 50,000 counts



6. ปิดทางเดินของแสงที่เข้าเครื่อง UV-Vis Spectrometer (ถอดสาย Optic fiber ออกแล้วปิดฝาจุกแดง) พร้อมกับเช็คว่ามีแสงเข้าไปในตัวเครื่อง โดยคลิก S (scope mode) และ Auto scale

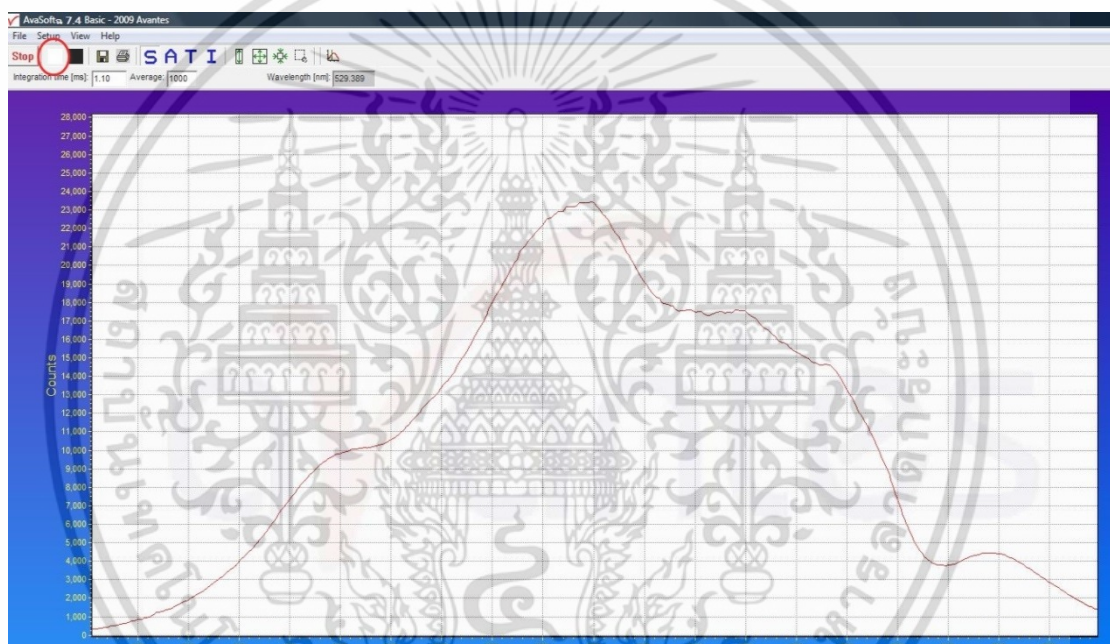


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการวัด Dark mode โดยคลิกที่ปุ่มสี่เหลี่ยมสีดำ และทำการ save สัญญาณ จากนั้นต่อสาย Optic fiber เข้าที่เดิม

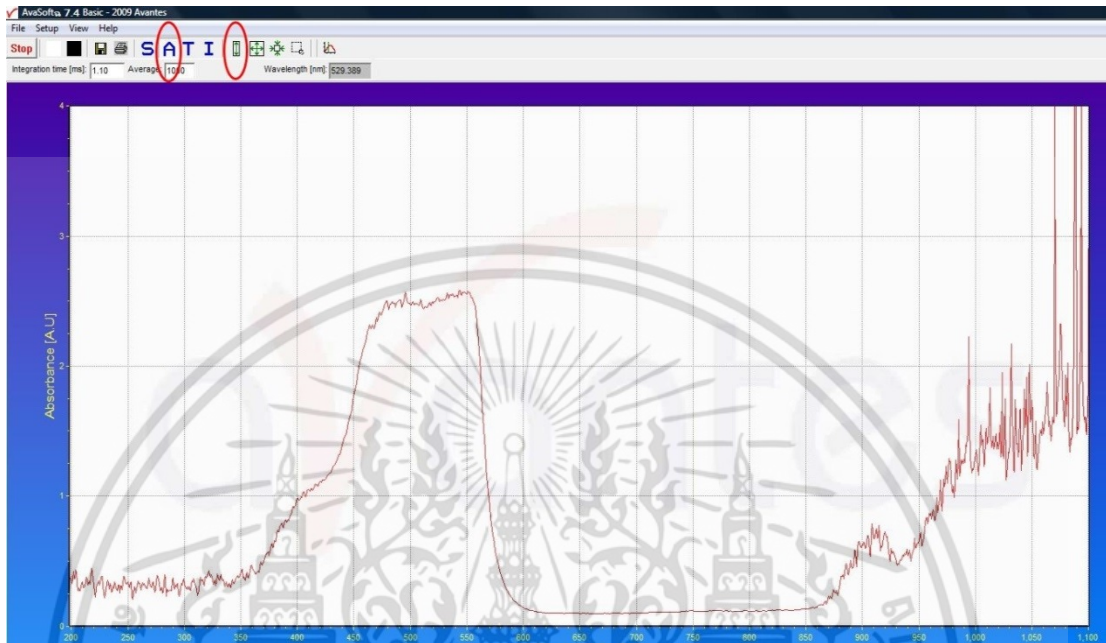


8. ในการวัด Absorbance spectrum ให้ทำการใส่ reference sample ในแท่นวาง sample วัด White mode โดยคลิกที่ปุ่มสี่เหลี่ยมสีขาวและทำการ save สัญญาณ หน้าจอแสดงผลควรจะปรากฏสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดที่ผ่าน reference sample ออกมา

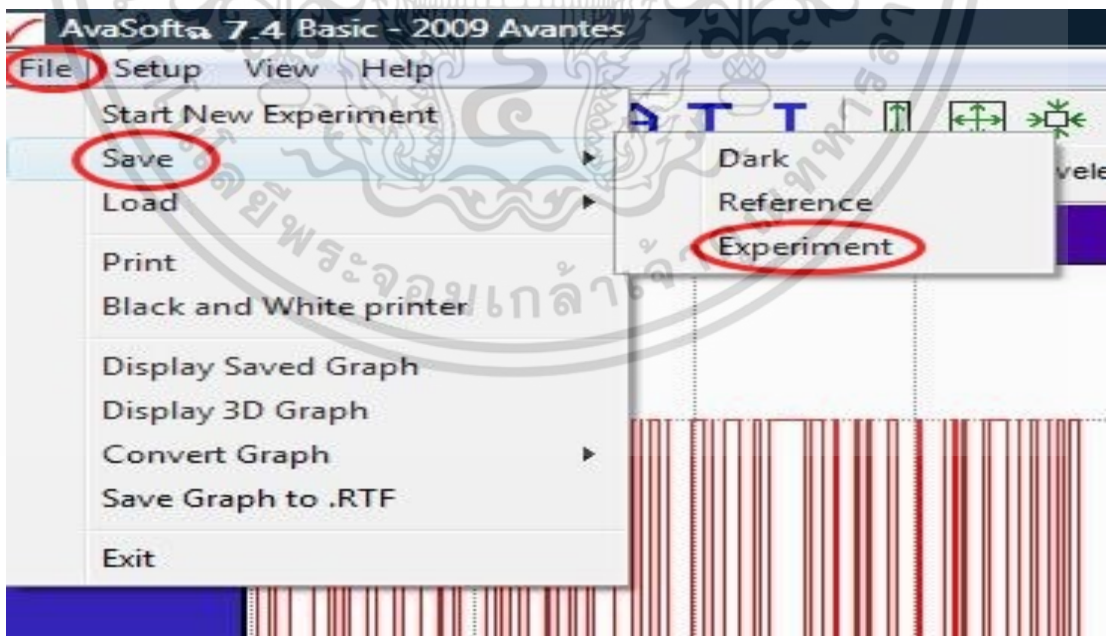


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. นำ sample ที่ต้องการวัดใส่แทนที่ reference sample เพื่อทำการวัดค่า Absorbance โดยคลิกปุ่มเอาต์วใหญ่ A และคลิก Auto scale หน้าจอแสดงผลจะปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของวัสดุที่ถูกทดสอบ เมื่อได้กราฟที่ต้องการแล้ว คลิก Stop เพื่อหยุดเส้นกราฟนั้นไว้ และหากต้องการวัดครั้งต่อไป คลิก Start



10. จากนั้นคลิก File>Save> Experiment เพื่อทำการบันทึกข้อมูลการวัดค่าการดูดกลืนแสง แล้วตั้งชื่อให้สอดคล้องกับสารละลาย ซึ่งไฟล์ที่ได้จะเป็น .ABS

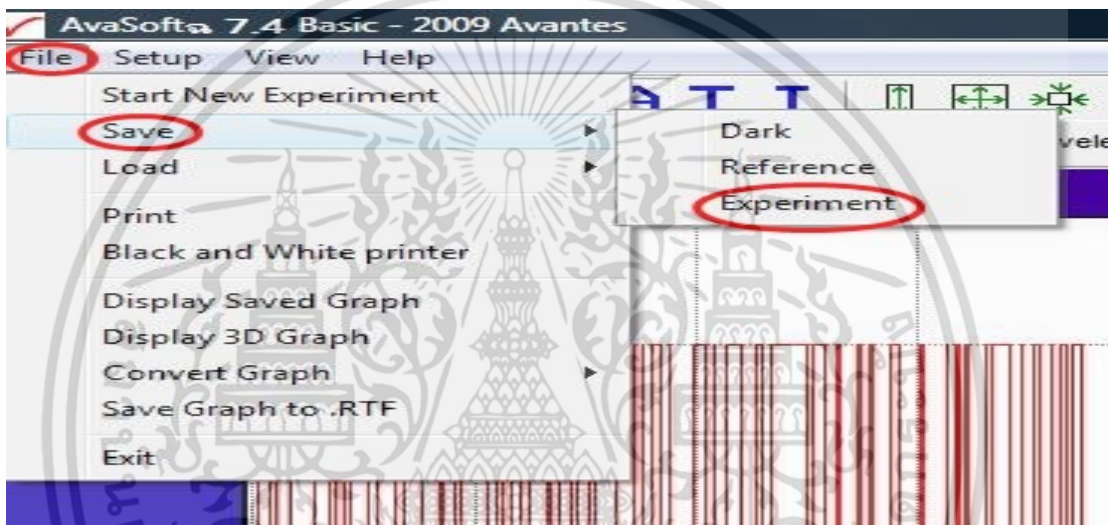


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

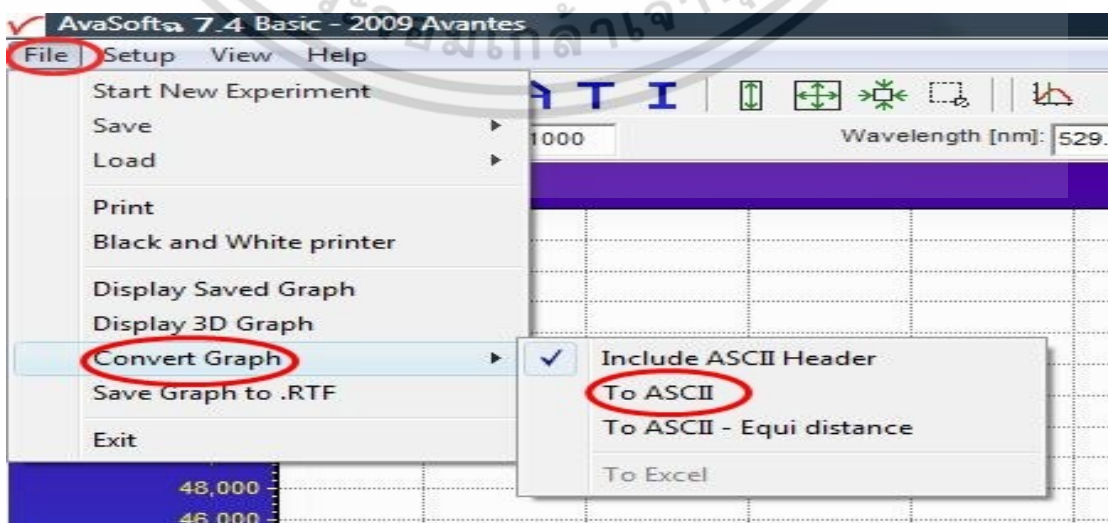
11. ในกรณีที่ต้องการวัดสัญญาณ Fluorescence ของ sample ให้จัดสายใยแก้วที่ตรวจวัดสัญญาณ ทำมุม 90 องศา กับแสงตกกระทบ แล้วนำ Sample ที่ต้องการทดสอบมาวัดค่าสัญญาณ set โปรแกรมการวัดใน Scope mode โดยคลิก S (scope mode) และ Auto scale



12. จากนั้นคลิก File>Save> Experiment เพื่อทำการบันทึกข้อมูลการวัดค่าการปลดปล่อยแสง แล้วตั้งชื่อให้สอดคล้องกับสารละลาย ซึ่งไฟล์ที่ได้จะเป็น .ROH

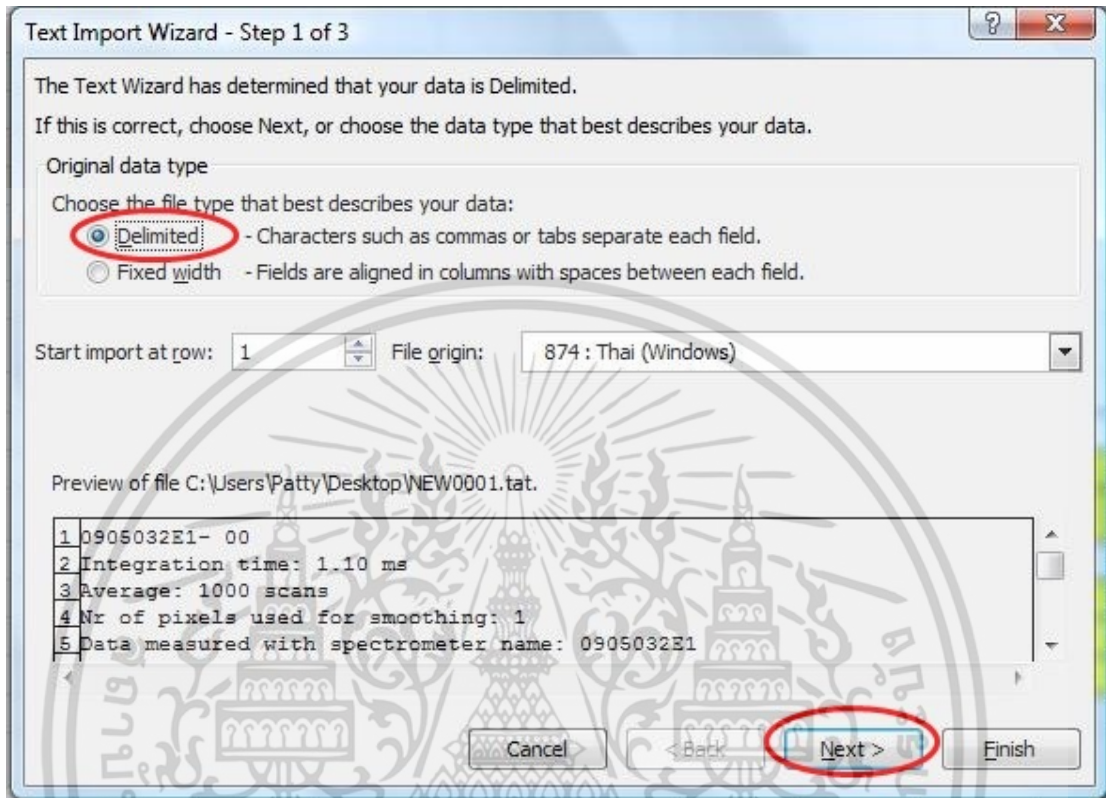


13. ทำการ Convert file ที่ save แล้วให้อยู่ใน ASCII format เพื่อจะนำไปเปิดด้วยโปรแกรม Excel โดยเลือก File => ASCII เลือกไฟล์ที่ต้องการ convert ในที่นี้คือไฟล์ที่มีนามสกุล .ABS หรือนามสกุล .ROH ขึ้นกับว่าไฟล์ถูก save มาในโหมด A หรือ โหมด S เมื่อ convert แล้วจะได้ไฟล์ชื่อ Test0001.tat (ถ้า convert .ABS) หรือ Test0001.trt (ถ้า convert .ROH) เพิ่มขึ้นมาใน folder

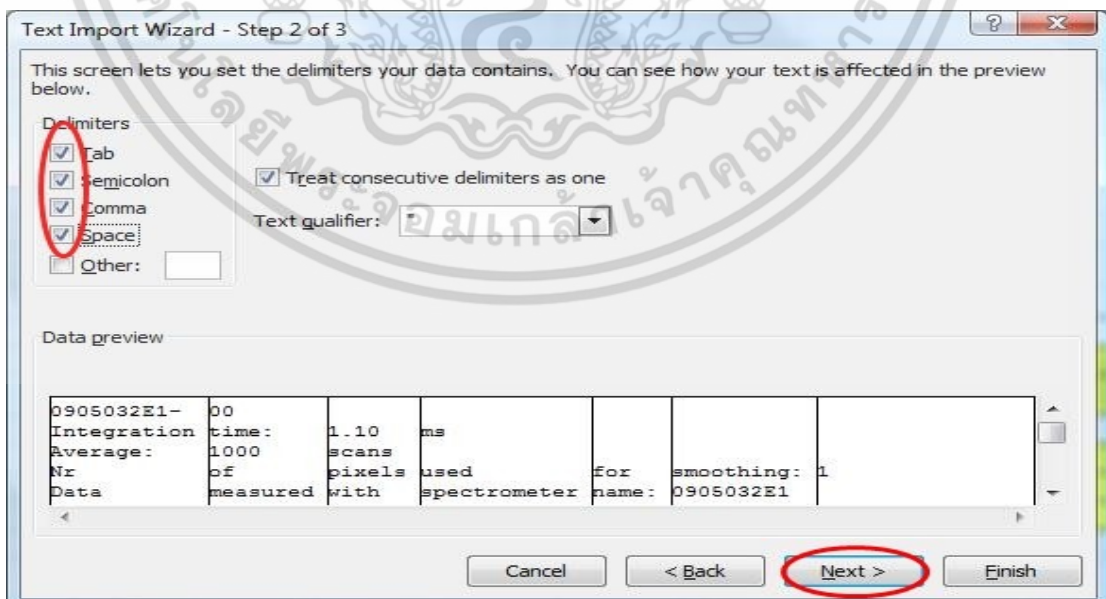


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เปิดโปรแกรม Excel และเลือกไฟล์ที่มีนามสกุล .tat หรือ .trt ที่โปรแกรมสร้างขึ้นใหม่ จะปรากฏหน้าต่างดังรูป ให้เลือก Delimited และ กด Next

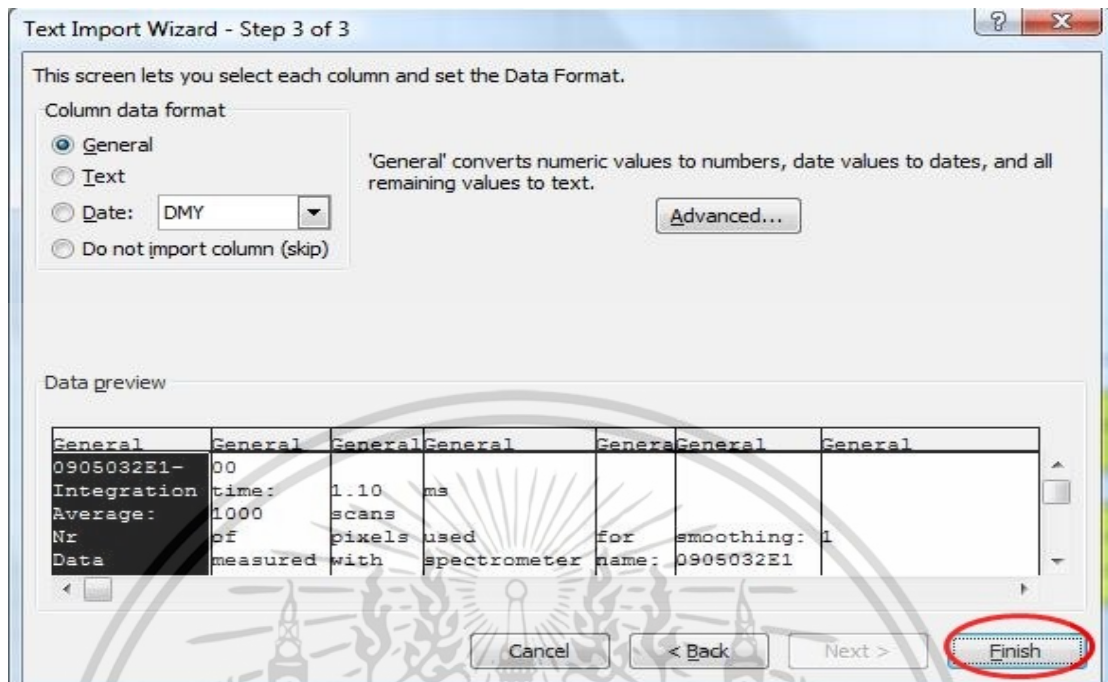


15. ในหน้าต่างที่ปรากฏถัดมา ให้ทำการคลิกเป็นเครื่องหมายถูกตามภาพ และกดปุ่ม Next



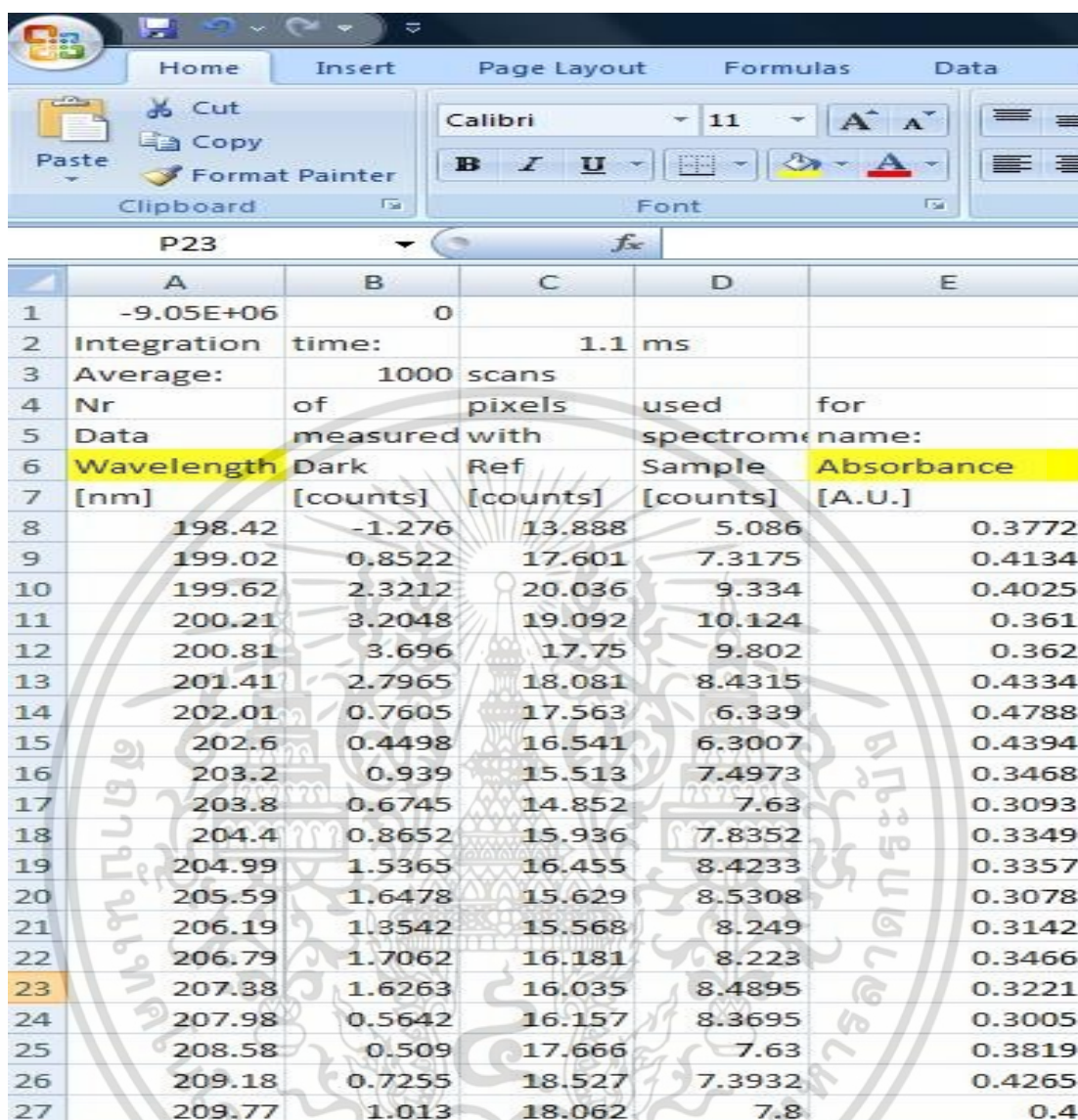
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. เมื่อปรากฏหน้าต่างใหม่ ให้กดปุ่ม Finish



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Wavelength กับ Absorbance



	A	B	C	D	E
1	-9.05E+06	0			
2	Integration	time:	1.1	ms	
3	Average:	1000	scans		
4	Nr	of	pixels	used	for
5	Data	measured	with	spectromer	name:
6	Wavelength	Dark	Ref	Sample	Absorbance
7	[nm]	[counts]	[counts]	[counts]	[A.U.]
8	198.42	-1.276	13.888	5.086	0.3772
9	199.02	0.8522	17.601	7.3175	0.4134
10	199.62	2.3212	20.036	9.334	0.4025
11	200.21	3.2048	19.092	10.124	0.361
12	200.81	3.696	17.75	9.802	0.362
13	201.41	2.7965	18.081	8.4315	0.4334
14	202.01	0.7605	17.563	6.339	0.4788
15	202.6	0.4498	16.541	6.3007	0.4394
16	203.2	0.939	15.513	7.4973	0.3468
17	203.8	0.6745	14.852	7.63	0.3093
18	204.4	0.8652	15.936	7.8352	0.3349
19	204.99	1.5365	16.455	8.4233	0.3357
20	205.59	1.6478	15.629	8.5308	0.3078
21	206.19	1.3542	15.568	8.249	0.3142
22	206.79	1.7062	16.181	8.223	0.3466
23	207.38	1.6263	16.035	8.4895	0.3221
24	207.98	0.5642	16.157	8.3695	0.3005
25	208.58	0.509	17.666	7.63	0.3819
26	209.18	0.7255	18.527	7.3932	0.4265
27	209.77	1.013	18.062	7.8	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ	นางสาวณิชกร บูลพิภพอนันต์
วัน เดือน ปีเกิด	17 พฤศจิกายน 2534
ที่อยู่ปัจจุบัน	25 ม.4 ต.คำโตนด อ.ประจันตคาม จ.ปราจีนบุรี 25130
ประวัติการศึกษา	(2556) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 2.96 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาของคณะวิทยาศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	Applied Mechanics and Materials ISSN: 1662-7482, Vol. 851, pp 14-18 “Comparison of Fluorescence Behaviors of Rhodamine 6G with Palladium-coated Gold Nanorods in Formations of Solutions and Thin Films”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison of Fluorescence Behaviors of Rhodamine 6G with Palladium-coated Gold Nanorods in Formations of Solutions and Thin Films

Nichakorn Boonpiphobanun^{1, a}, Pattareeya Damrongsak^{1, b},
Kitsakorn Locharoenrat^{1, c*}

¹Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

^a57605079@kmitl.ac.th, ^bpattareeya.da@kmitl.ac.th,
^ckitsakorn.hokudai@gmail.com (Corresponding Author)

Keywords: Fluorescence, Metals, Plasmon resonance, Nanoparticles, Dyes.

Abstract. We have reported on the fluorescence behaviors of Rhodamine 6G with the palladium-coated gold nanorods in dichloromethane solutions and in polymethylmethacrylate thin films. By monitoring the emission intensity of these samples, they have been displayed the enhancement of fluorescence intensity through the optical effect known as a plasmon resonance energy transfer. The enhancement intensity of fluorescence is enhanced up to 1.6 fold for the sample solutions and 1.4 fold for the sample thin films.

Introduction

Metal nanoparticles are interesting nanomaterials as compared with the bulk form because of their outstanding optical properties, such as absorption and scattering [1-3]. In metal nanoparticles, surface plasmon resonance is possible because the simultaneous vibration of electrons in the conduction band under the applied electric field can cause the high field near their surfaces [4-6]. This enhancement of the electric field can promote the optical intensity in Raman scattering, absorption and fluorescence intensities. Furthermore, the metal nanoparticles as combination with the fluorescent materials result in the high fluorescence intensity partly due to the plasmon resonance energy transfer [7]. This enhancement of fluorescence intensity is suggested to increase the limitation of a detection of in the applications of chemical, physical and biomedical aspects [8-10]. Among the monometallic nanoparticles, gold and silver have been studied extensively. Although these nanoparticles show the plasmonic properties in the visible and near infrared light, they are not suitable to apply for a certain areas, such as using them as a photocatalyst [11]. In addition to the monometallic nanoparticles, bimetallic nanoparticles have been reported their outstanding chemical and physical features. Many researchers have reported that the core-shell structures, for instance the palladium-coated gold nanoparticles can improve their optical properties [12-13]. In this contribution we aim to study the optical properties the gold-palladium core-shell nanorods in conjunction with Rhodamine 6G served as the fluorescent materials in the formations of the thin films and the aqueous solutions.

Experimental

Rhodamine 6G (Rh6G) was purchased from Sigma-Aldrich, Singapore. This dye has a good optical stability and high optical absorption coefficient. It is also cheap and environmental nontoxicity [14]. Gold-palladium core-shell nanorods (Au@Pd) were ordered from Nanoseedz, Hong Kong. The samples were prepared in different concentrations in dichloromethane (DCM) solution as shown in Table 1.

On the other hand, the above-mentioned sample solutions were prepared under the polymethylmethacrylate (PMMA) matrix by using the spin coating technique in order to get the sample thin films. That is, the obtained sample solutions in Table 1 were mixed with 0.4 gm

PMMA powder under a sonicator. Each mixed solution was spun on the glass substrates at a constant rotation speed of 3500 rpm for 40 sec. This rotation conditions gave thin films of the thickness of 3.58 micron. Finally, the optical fluorescence spectra of the sample solutions and thin films were detected by using a UV-Vis spectrometer. The wavelength of the excitation using the high power LED was 524 nm [15].

Table 1. Concentration of the sample solution.

Sample code	Concentration (M = Molar)			
	Reference solutions (Rh6G in DCM)	Mixed solutions (Rh6G+Au@Pd in DCM)		
		Rh6G	Au@Pd	Molar ratio (Au@Pd:Rh6G)
A	2.0 μM	2.0 μM	0.1206 mM	60.3
B	3.6 μM	3.6 μM	0.0516 mM	14.3
C	4.6 μM	4.6 μM	0.0241 mM	5.24
D	5.3 μM	5.3 μM	0.0117 mM	2.21

Results and Discussion

Fig. 1 shows the fluorescence of Au@Pd solution and the absorbance of Rh6G solution. Absorbance of Au@Pd solution exists at a range of 490-550 nm, whereas fluorescence of Rh6G solution occurs at a range of 523-645 nm. The absorption band of Au@Pd solution shows the overlapping with the fluorescence spectra of Rh6G solution, leading to the favorable metal-enhanced fluorescence effect.

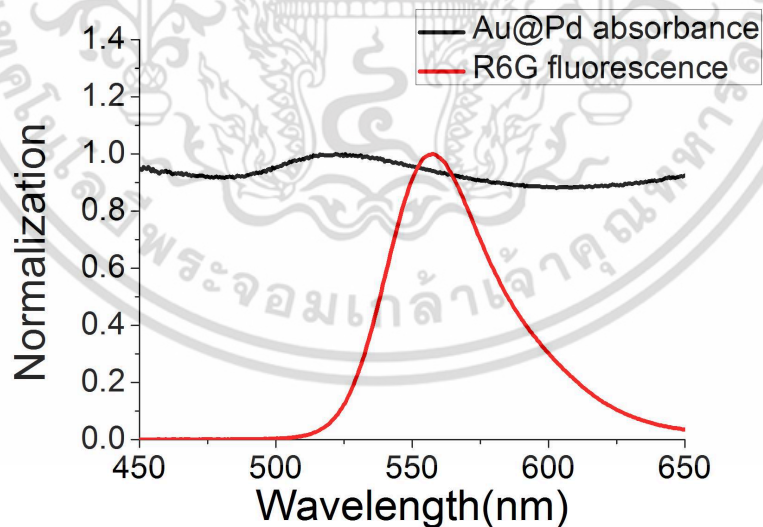


Fig. 1. Absorbance of Rh6G solution and fluorescence of Au@Pd solution.

Fig. 2 shows and fluorescence spectra of Rh6G before and after mixing with Au@Pd in the formations of the solutions and the thin films. The addition of Au@Pd into Rh6G tends to enhance the fluorescence signals. The fluorescence enhancement ratios of the peak signals (R) are calculated using the peak intensity of Rh6G+Au@Pd divided by that of Rh6G.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

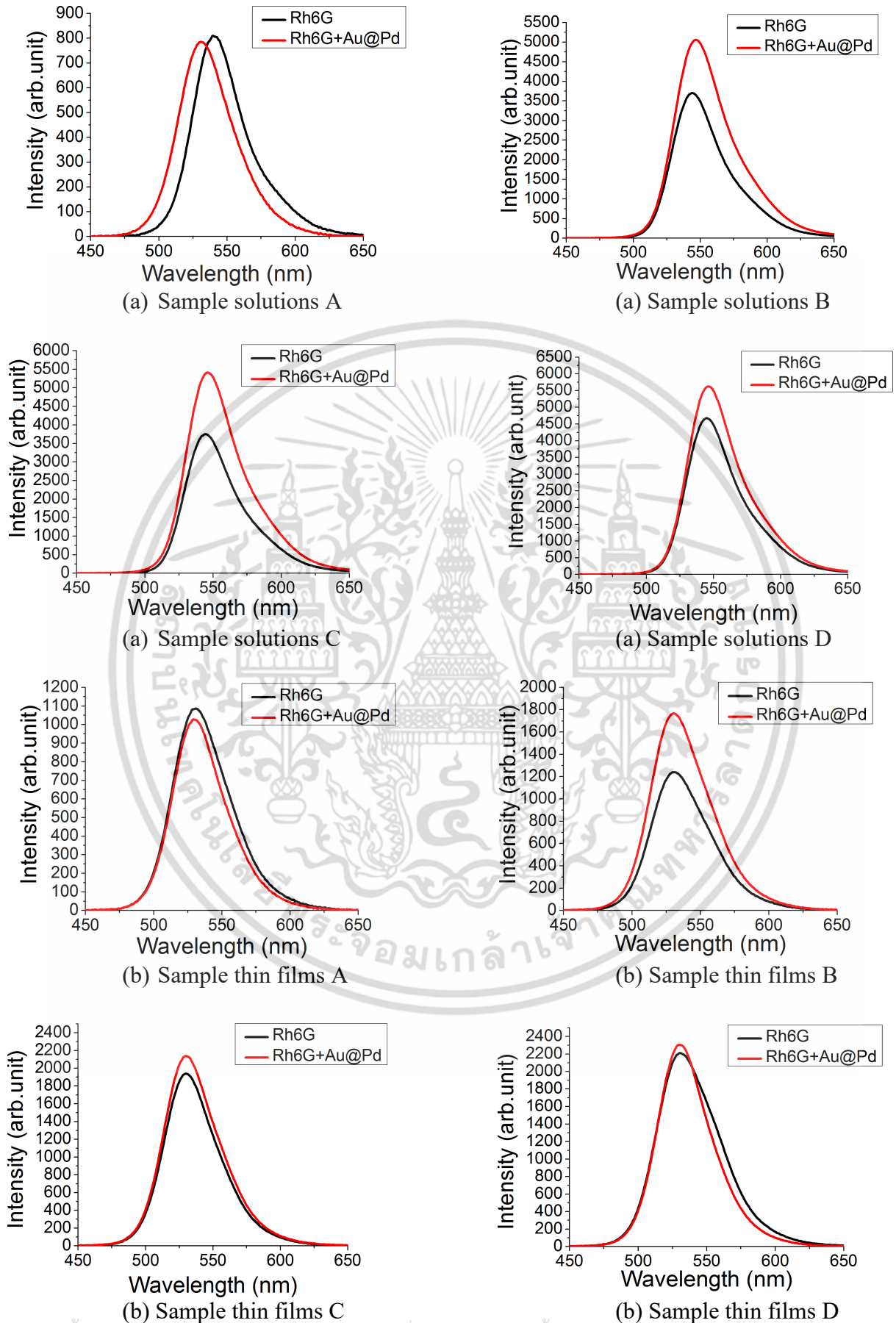


Fig. 2. (a) Fluorescence spectra of sample solutions: Rh6G and Rh6G+Au@Pd. (b) Fluorescence spectra of sample thin films: Rh6G and Rh6G+Au@Pd.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The intensity ratios are therefore plotted in Fig. 3. The enhancement intensity of fluorescence is increased approximately 1.6 fold for sample solutions and 1.4 fold for sample thin films

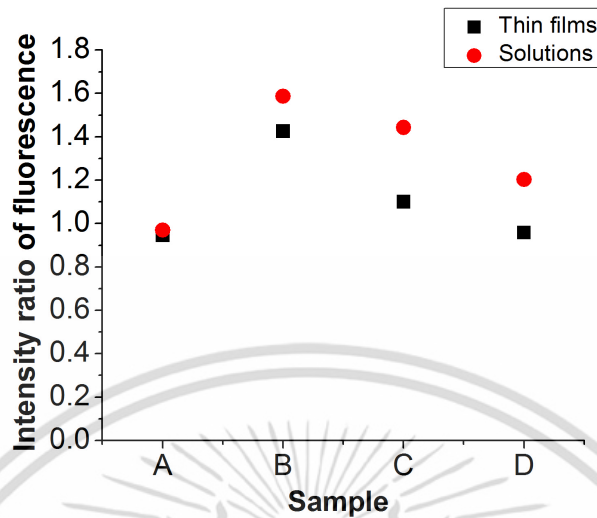


Fig. 3. Intensity ratios of fluorescence from samples A, B, C and D according to Table 1.

The tendency of the intensity ratios of the sample solutions is similar to the sample thin films. High concentration of sample A offers a low intensity ratio partly due to the interactions of nearby molecules. Optimum concentration of sample B provides a maximum intensity ratio because the plasmon resonance energy transfer of free electron from Au@Pd to molecules of Rh6G is likely to occur. When the sample concentration keeps on decreasing (samples C and D), the intensity ratios seem to decrease because the coupling between Au@Pd and Rh6G tends to disappear. It is noted that the fluorescence in the formations of the aqueous solutions and the thin films tend to go in the same direction. Moreover, it is found that the intensity ratios of the sample solutions are higher than the sample thin films. It is possible that the free movement of the molecules is more possible for the sample solutions than the sample thin films which are trapped by the polymethylmethacrylate matrix.

Conclusion

We have studied the optical properties of Rhodamine 6G with gold-palladium core-shell nanorods in the formations of dichloromethane solutions. This solution is also prepared in thin films through polymethyl methacrylate matrix. The sample concentration ratios varied from 2.21 to 60.3 results in the changes of the fluorescence intensity. Incensement of the fluorescence intensity involves with the plasmon resonance energy transfer from the metallic nanoparticles to the dyes. The enhancement intensity of fluorescence is enhanced up to 1.6 and 14 folds for the sample solutions and the sample thin films, respectively.

References

- [1] R. Jiang, Plasmonic properties of bimetallic nanostructures and their applications in hydrogen sensing and chemical reactions, Dissert. Abst. Inter. 75-06(E) (2013) 1-176.
- [2] K. D. Tomsia, E. M. Goldys, Gold and silver nanowires for fluorescence enhancement, Nanowires - Fundamental Research, InTech, Croatia, 2011.
- [3] A. Zhdanov, M. P. Kreuzer, S. Rao, A. Fedyanin, P. Ghenuche, R. Quidant, D. Petrov, Detection of plasmon-enhanced luminescence fields from an optically manipulated pair of partially metal covered dielectric spheres, Opt. Lett. 33(23) (2008) 2749-2751.

- [4] C. D. Geddes, J. R. Lakowicz, Metal-enhanced fluorescence, *J. Fluorescence*, 12(2) (2002) 121-129.
- [5] J. R. Lakowicz, M. H. Chowdhurya, K. Raya, J. Zhanga, Y. Fua, R. Badugua, C. R. Sabanayagama, K. Nowaczyka, H. Szmackinska, K. Aslanb, C. D. Geddesa, Plasmon-controlled fluorescence: A new detection technology, *Proc.of SPIE 6099* (2006) 609909-1-15.
- [6] S. Chandra, J. Doran, S. J. McCormack, M. Kennedy, A. J. Chatten, Enhanced quantum dot emission for luminescent solar concentrators using plasmonic interaction, *Sol. Energ. Mater. Sol. Cell.* 98 (2012) 385–390.
- [7] S. M. El-Bashir, F. M. Barakat, M. S. AlSalhi, Metal-enhanced fluorescence of mixed coumarin dyes by silver and gold nanoparticles: Towards plasmonic thin-film luminescent solar concentrator, *J. Luminesc.* 143 (2013) 43-49.
- [8] K. Aslan, I. Gryczynski, J. Malicka, E. Matveeva, J. R. Lakowicz, C. D. Geddes, Metal-enhanced fluorescence: an emerging tool in biotechnology, *Current Opinion in Biotechnol.* 16 (2005) 55-62.
- [9] K. Setthakarn, Synthesis of photoactive compounds for ion-sensing and organic light emitting diodes applications, Master thesis of Silpakorn University (2005) 3-212.
- [10] W. Chansuwan, The design of chemosensors for naked-eye detection of mercury(II)ion, *KKU Sci. J.* 42(4) (2014) 748-760.
- [11] Y. Choi, T. Kang, L. P. Lee, Plasmon resonance energy transfer (PRET)-based molecular imaging of cytochrome-c in living cells, *Nano Lett.* 9(1) (2009) 85–90.
- [12] Z. Yang, Y. Li, L. Zhipeng, D. Wu, J. Kang, H. Xu, M. Sun, Surface enhanced Raman scattering of pyridine adsorbed on Au@Pd core/shell nanoparticles, *J. Chem. Phys.* 130 (2009) 2345705-1-7.
- [13] K. Locharoenrat, P. Damrongsak, Plasmonic properties of gold-palladium core-shell nanorods, *Ukr. J. Phys. Opt.* 16(3) (2015) 120-126.
- [14] W. Soonpanich, Enhancing the performance of solar cell with luminescent materials. Mater thesis of KMITL (2013) 8-31.
- [15] K. Locharoenrat, P. Damrongsak, Enhancement of fluorescence in inorganic dyes by metallic nanostructured surfaces, *Ukr. J. Phys. Opt.* 17(1) (2016) 21-26.