



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเตรียมและการศึกษาออปติคอลลสเปกโทรสโคปีจากสีย้อมไวแสงผสมกับ
โลหะผสมในระดับอนุภาคนาโนเพื่อใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของ
หน้าต่างโซลาร์เซลล์

**Synthesis and Optical Spectroscopy Studies of Fluorescent Dyes with Bimetallic
Nanoparticles for Efficient Solar Concentrators**

นาย กฤษกร โล้เจริญรัตน์ ภาควิชาฟิสิกส์

นาง กัทริยา ดำรงค์ศักดิ์ ภาควิชาฟิสิกส์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเตรียมและการศึกษาออปติคอลสเปกโทรสโกปีจากสีย้อมไวแสงผสมกับ
โลหะผสมในระดับอนุภาคนาโนเพื่อใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของ
หน้าต่างโซลาร์เซลล์

**Synthesis and Optical Spectroscopy Studies of Fluorescent Dyes with Bimetallic
Nanoparticles for Efficient Solar Concentrators**

นาย กฤษกร ไถ้เจริญรัตน์ ภาควิชาฟิสิกส์
นาง ศัทธรียา ดำรงค์ศักดิ์ ภาควิชาฟิสิกส์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การเตรียมและการศึกษาออปติคอลสเปกโทรสโคปีจากสีย้อมไวแสงผสมกับโลหะผสมในระดับอนุภาคนาโนเพื่อใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของหน้าต่างโซลาร์เซลล์
แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ

นาย กฤษกร โฉ่เจริญรัตน์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมโครงการวิจัย

นาง ภัทรียา ดำรงค์ศักดิ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงของวัสดุทองร่วมกับสีย้อม Rhodamine 6G ในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง โดยเตรียมสารละลาย Au และ R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในส่วนการเตรียมฟิล์มบางจะใช้แม่พิมพ์ที่ทำขึ้นเอง ซึ่งจะได้แผ่นฟิล์มบางที่มีความหนาประมาณ 1 ไมครอน การศึกษาสมบัติทางแสงของสารตัวอย่างทั้งในรูปของสารละลายและฟิล์มบางจะวัดได้โดยเครื่อง UV-VIS spectrometer พบว่าสารละลาย Au ความเข้มข้น 2.1×10^{-4} M ต่อ สารละลาย Rhodamine 6G ความเข้มข้น 1 M ให้ค่า Fluorescence Enhancement Ratio ที่สูงสุด จึงเป็นเงื่อนไขของความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของ Au ที่มีต่อ R6G ซึ่งเกิดขึ้นมาจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนอิสระได้ดีที่สุดจาก Au ไปยังชั้นระดับพลังงานต่ำสุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ของ R6G

คำสำคัญ: ทองคำ, ฟลูออเรสเซนซ์, สีย้อม R6G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

II

Research Title: Synthesis and Optical Spectroscopy Studies of Fluorescent Dyes with Bimetallic Nanoparticles for Efficient Solar Concentrators

Main-Researcher: Mr. Kitsakorn Locharoenrat

Faculty: Science

Department: Physics

Co-Researcher: Mrs. Pattareeya Damrongsak

Faculty: Science

Department: Physics

ABSTRACT

This project aims to study the optical properties of Gold with Rhodamine 6G in the formations of a solutions and thin films. The Au and R6G solutions were mixed with different concentrations. For preparation of the thin films using our own home-made mold, we obtain the sample with thickness of about 1 millimeter. The optical properties of the samples in the formations of solutions and thin films were measured by a UV-VIS spectrometer. It is found that Au solution at concentration of 2.1×10^{-3} M and the solution of Rhodamine 6G at concentration of 1 M offers the optimized fluorescence enhancement. This dominance is attributed to the free electron transfer from Au to the lowest unoccupied molecular orbital of R6G

Keywords : Gold, Fluorescence, Rhodamine 6G.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

นาย กฤษกร โต้เจริญรัตน์

นาง ภัทรียา คำรงค์คีติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 फिल्मบางดुमीनेससेनदु	4
2.2 สมบัติพื้นฐานของทองคำ	12
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
2.4 เอกสารอ้างอิง	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	16
บทที่ 4 ผลการวิจัย	26
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	44
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย	45
ประวัติผู้วิจัย	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	2
2.1 ชนิดของลูมิเนสเซนส์ประเภทต่างๆ	6
3.1A การเตรียมสารละลาย R6G+Au ที่ความเข้มข้นต่างๆ	22
3.1B การเตรียมฟิล์ม R6G+Au ที่ความเข้มข้นต่างๆ	22
3.2A การเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ	23
3.2B การเตรียมฟิล์ม R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ	23
4.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลาย R6G และ สารละลาย R6G+Au ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ	30
4.2 Maximum Fluorescence Intensity ของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย	41
4.3 Maximum Fluorescence Intensity ของ R6G+Au ในรูปของฟิล์ม	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 โครงสร้างแผ่นรวมแสงลูมิเนสเซนซ์	1
2.1 แผนภาพแสดงการเกิดพลาสมอนเรสเซนซ์และฟอสฟอเรสเซนซ์	7
2.2 แผนภาพแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง	8
2.3 กลไกการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปลี่ยนแปลงระดับ	8
2.4 รูปแสดงปริมาณแสงที่ฉายผ่านมายังสสารและปริมาณแสงที่ถูกส่งผ่านออกมา	9
2.5 องค์ประกอบของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์	11
2.6 Double beam spectrophotometer	12
2.7 กระบวนการสั่นของพลาสมอน (plasmon oscillation) สำหรับอนุภาคทรงกลม	13
2.8 การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีลักษณะรูปร่างต่างๆ ตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน	13
3.1 เครื่องฉายแสงจากหลอดทั้งสแตน	16
3.2 สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ	17
3.3 สายใยแก้วนำแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร (ซ้าย) และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตร (ขวา)	17
3.4 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์	18
3.5 อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง	18
3.6 อุปกรณ์จับยึดแผ่นฟิล์ม Au/PMMA และคิวเวท	18
3.7 ไดโอดเปล่งแสง	19
3.8 การเตรียมแม่พิมพ์	20
3.9 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่าการดูดกลืนของสารตัวอย่าง	24
3.10 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่าสเปกตรัมลูมิเนสเซนซ์แบบใช้ High power LED	25
4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au	26
4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 1, 2, 4, 6 และ 8 μM	27
4.3 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงของสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น 6 μM	28
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au และการปลดปล่อยแสงของสารละลาย R6G	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 สเปกตรัมของ LED สีเขียว	30
4.6 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน	31
4.7 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน	32
4.8 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 1	32
4.9 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample	33
4.10 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 3	33
4.11 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 4	34
4.12 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 5	35
4.13 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน	36
4.14 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน	37
4.15 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 1	37
4.16 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 2	38
4.17 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample	38
4.18 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 4	39
4.19 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 5	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.20 Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย	40
4.21 Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง	41
4.22 กราฟเทียบระหว่าง Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสง ของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

ในปัจจุบันการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์รวมแสงลูมิเนสเซนต (Luminescent Solar Concentrators: LSCs) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยหลายกลุ่ม เนื่องจากมีข้อได้เปรียบมากกว่าการใช้เลนส์หรือกระจกในการรวมแสงหลายประการ คือ สามารถใช้ประโยชน์จากแสงที่ตกกระทบได้ทั้งแสงตรง และแสงที่เกิดจากการกระเจิงจากชั้นบรรยากาศ หรือก้อนเมฆ นอกจากนี้ต้นทุนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อุปกรณ์รวมแสงลูมิเนสเซนตยังต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เลนส์ในการรวมแสง ทำให้ไม่ต้องอาศัยระบบหล่อเย็นในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

อุปกรณ์รวมแสงลูมิเนสเซนต มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์โปร่งแสง ซึ่งภายในแผ่นหรือฟิล์มมีโมเลกุลของสารเรืองแสงกระจายอยู่ทั่วแผ่นและบริเวณด้านขอบของแผ่นประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างแผ่นรวมแสงลูมิเนสเซนต

เมื่อแสงตกกระทบบนผิวหน้าของแผ่นรวมแสง วัสดุลูมิเนสเซนตภายในแผ่นจะดูดกลืนแสงในย่านพลังงานที่เหมาะสมและคายพลังงานออกมาในรูปของแสงลูมิเนสเซนต โดยแสงลูมิเนสเซนตจะถูกปลดปล่อยออกมาทุกทิศทางและแสงบางส่วนถูกดูดกลืนด้วยสารเรืองแสงที่อยู่ภายในแผ่น จะเคลื่อนที่อยู่ภายในแผ่นรวมแสง โดยอาศัยกลไกการสะท้อนกลับหมด (Total internal reflection) และเคลื่อนที่ไปยังเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกบติดอยู่บริเวณขอบของแผ่นรวมแสง ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ทำการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการเตรียมสารเรืองแสงในรูปของสารละลายและฟิล์มร่วมกับทองนาโน โดยผู้วิจัยจะได้ทำการศึกษาระบวนการในการจัดเตรียมสารเรืองแสง รวมถึงทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางแสงของสารเรืองแสงที่จัดเตรียมได้ อาทิ การคายพลังงานในรูปของแสงลูมิเนสเซนซ์ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเตรียมวัสดุของคำร่วมกับสีย้อม Rhodamine 6G ในรูปของสารละลายและฟิล์ม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงของวัสดุของคำร่วมกับสีย้อม Rhodamine 6G ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีของวัสดุของคำในระดับนาโน
- 1.3.2 จัดเตรียมสารละลายและฟิล์มจากวัสดุของคำที่มีความเข้มข้นที่ค่าต่างๆ ร่วมกับสีย้อม
- 1.3.3 ศึกษาสมบัติทางแสงของวัสดุของคำร่วมกับสีย้อมในรูปของสารละลายและฟิล์ม

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและสีย้อมแสงลูมิเนสเซนซ์
- ขั้นตอนที่ 2 สังเคราะห์วัสดุสำหรับจัดเตรียมสารละลายและฟิล์ม
- ขั้นตอนที่ 3 จัดเตรียมสารละลายและฟิล์มจาก R6G + Au
- ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาสมบัติเชิงแสงของสารละลายและฟิล์มจาก R6G + Au
- ขั้นตอนที่ 5 จัดเตรียมเล่มรายงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	2558/2559												
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
ขั้นตอนที่ 1													
ขั้นตอนที่ 2													
ขั้นตอนที่ 3													
ขั้นตอนที่ 4													
ขั้นตอนที่ 5													

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการที่เหมาะสมในการจัดเตรียมสารละลายและฟิล์ม
- 1.5.2 สามารถนำงานวิจัยนี้ไปตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 फिल्मลูมิเนสเซนซ์

ส่วนประกอบของฟิล์มลูมิเนสเซนซ์ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

2.1.1 สารเรืองแสง

สารเรืองแสงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในฟิล์มลูมิเนสเซนซ์ เนื่องจากเป็นตัวที่ทำหน้าที่ในการเกิดกลไกการเรืองแสง หรืออีกนัยหนึ่งคือเป็นวัสดุสำคัญในการแปลงความยาวคลื่นหรือพลังงานของแสง สมบัติของสารเรืองแสงที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งานในรูปแบบของอุปกรณ์มีดังนี้

- มีความเสถียรเชิงแสง
- มีค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนสูงเพื่อให้เกิดการดูดกลืนแสงได้ดี
- มีย่านการดูดกลืนแสงที่กว้างและสามารถปลดปล่อยแสงในย่านที่เหมาะสมกับเซลล์แสงอาทิตย์
- ไม่เกิดปรากฏการณ์ดูดกลืนซ้ำ
- ราคาถูกและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันยังไม่มีสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ชนิดใดที่มีสมบัติครบถ้วนดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่ในสารแต่ละชนิดจะมีข้อได้เปรียบและข้อบกพร่องที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดของสาร ซึ่งขอยกตัวอย่างสาร 2 ชนิดดังนี้

- สารเรืองแสงชนิดอนินทรีย์ (Inorganic dyes)

สารเรืองแสงชนิดอนินทรีย์มีข้อได้เปรียบกว่าสารเรืองแสงชนิดอื่นคือมีความทนทานต่อความร้อนได้สูง และในสารอนินทรีย์จำพวกสารจากธาตุ rare earth จะมีการเกิดปรากฏการณ์การดูดกลืนซ้ำขึ้นน้อย นอกจากนั้นสารอนินทรีย์ยังมีความเสถียรเชิงแสงสูง แต่มีข้อบกพร่องในเรื่องของประสิทธิภาพในการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ได้ค่อนข้างต่ำ และมีความสามารถดูดกลืนแสงได้ไม่ดีนัก ซึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้คือการเพิ่มความเข้มข้นของสารที่มากขึ้น แต่การแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้จะทำให้โอกาสในการเกิดปัญหาการดูดกลืนซ้ำเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างสารเรืองแสงชนิดอนินทรีย์เช่น Eosin B (EB), Fast Sulphon Black F (FSF), Solochrome Black T (SBT) และ Rhodamine 6G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารเรืองแสงชนิดอินทรีย์ (Organic dyes) สารเรืองแสงชนิดอินทรีย์มีข้อได้เปรียบกว่าสารชนิดอื่น คือมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมแสงลูมิเนสเซนส์อยู่ในย่านความยาวคลื่นที่หลากหลาย และมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่สูง อีกทั้งในสารอินทรีย์หลายชนิดมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนส์สูงเข้าใกล้หนึ่งและในปัจจุบันยังได้มีการสังเคราะห์สารอินทรีย์ชนิดใหม่ขึ้นอย่างแพร่หลายเพื่อให้มีการดูดกลืนแสงที่ครอบคลุมหลายความยาวคลื่นและปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนส์ได้สูง แต่มีข้อบกพร่องในแง่ของความเสถียรเชิงแสงที่ค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้สารอินทรีย์หลายชนิดที่มีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนส์สูงจะปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนส์ที่มีความยาวคลื่นในช่วงของแสงสีเขียว-เหลือง ซึ่งถ้าพิจารณาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนย่านแสงดังกล่าวจะไกลจากแถบพลังงาน E_g (1.12 eV) ของสารซิลิกอนอยู่มาก ตัวอย่างสารเรืองแสงชนิดอินทรีย์ เช่น สีอะโซ (azo dyes) และสีอะมิโนแอนทราควิโนน (amino anthraquinone)

2.1.2 วัสดุตัวกลาง

วัสดุตัวกลางในฟิล์มลูมิเนสเซนส์ทำหน้าที่เป็นตัวกลางทางเดินแสงให้กับโฟตอนที่ถูกปลดปล่อยจากกลไกการเรืองแสง ลักษณะสมบัติของวัสดุตัวกลางที่ดี ดังนี้

- มีความโปร่งแสง
- มีความเสถียรในเชิงเคมี
- สามารถขึ้นรูปได้ง่าย
- มีแรงเชิงกลสูง
- ทนทานต่อสภาพอากาศในฤดูกลางคืนได้ดี
- มีความหนาแน่นต่ำ
- ราคาถูก
- ไม่มีความเป็นพิษ

จากสมบัติที่แสดงข้างต้น พบว่ามีสารหลายชนิดที่คุณสมบัติเหมาะสม เช่น สารพอลิเมอร์ โปร่งแสงจำพวกพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate: PMMA) เป็นต้น ซึ่งสาร PMMA เป็นวัสดุตัวกลางที่มีความนิยมนมากที่สุด เนื่องจากมีความโดดเด่นในเรื่องของความเหนียวทนความร้อน คงทนต่อการใช้งาน มีความเสถียรในเชิงเคมีที่สูง มีน้ำหนักเบา มีเสถียรภาพเชิงแสง มีราคาถูกและง่ายต่อการสังเคราะห์อีกด้วย ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการนำมาเป็นวัสดุตัวกลางที่ทนทานต่อแสงอาทิตย์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polymethyl Methacrylate (PMMA)

PMMA รู้จักกันดีในชื่อว่าการค้าที่ว่าเพลคซิกกลาส (Plexiglass) ลูซิท์ (Lucite) โพลีกลาส (Polyglass) PMMA มีลักษณะใส ไม่มีสี สามารถให้แสงส่องผ่านได้ถึง 92% มีความแข็งแรงแรงและทนทานต่อดินฟ้าอากาศได้ดีกว่า Polystyrene สมบัติเชิงกล และความคงทนต่อความร้อนดีมาก ส่วนสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าดีปานกลาง เนื่องจากสมบัติเด่นของ PMMA คือ ความโปร่งใส และการนำไปซ่อมสีได้ง่าย จึงถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้าและส่วนประกอบรถยนต์ เช่น ไฟเลี้ยว ไฟท้าย กระจกรถยนต์ หน้าปัดเข็มไมล์ ประโยชน์การใช้งานอื่นๆ เช่น ป้ายโฆษณา แวนตา เลนส์ ใช้ทำกระจกแทนแก้ว หลังคาโปร่งแสง ก๊อกน้ำ เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องประดับ เป็นต้น

2.1.3 กลไกการเรืองแสงของสารเรืองแสง

แสงที่ดูตกคืนโดยโมเลกุลของสารเรืองแสงที่อยู่ภายในฟิล์มลูมิเนสเซนซ์ถูกใช้ป็นแหล่งพลังงานในการกระตุ้นอิเล็กตรอนในอะตอมของโมเลกุลสารเรืองแสงอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น หรืออยู่ในสถานะกระตุ้นและเพื่อให้เข้าสู่ความเสถียรของระบบ อิเล็กตรอนในสถานะดังกล่าวจะตกกลับมายังสถานะพื้น กระบวนการตกกลับลงมาของอิเล็กตรอนจากสถานะกระตุ้นมายังสถานะพื้นจะมีการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence) ออกมา แสงลูมิเนสเซนซ์สามารถจำแนกได้หลายประเภทดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแต่ละประเภทจะถูกแบ่งตามแหล่งพลังงานที่กระตุ้นโมเลกุลของสารเรืองแสงแล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์

ตารางที่ 2.1 ชนิดของลูมิเนสเซนซ์ประเภทต่างๆ

ชนิดของลูมิเนสเซนซ์	แหล่งพลังงานในการกระตุ้นโมเลกุล
Bioluminescence	Biological process
Cathodoluminescence	Cathode ray
Chemiluminescence	Chemical energy
Electroluminescence	Electric field
Photoluminescence	Photon
Thermoluminescence	Thermal

สารเรืองแสงได้อาศัยหลักการในการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ประเภทโฟโตลูมิเนสเซนซ์ ซึ่งมีแหล่งพลังงานในการกระตุ้นโมเลกุลสารเรืองแสงเป็นแสงอาทิตย์ที่มาจากกระทบบนผิวหน้าของฟิล์มลูมิเนสเซนซ์ โดยโฟโตลูมิเนสเซนซ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือฟลูออเรสเซนซ์และฟอสฟอเรสเซนซ์ซึ่งขึ้นอยู่กับ Lifetime และกลไกการเกิด

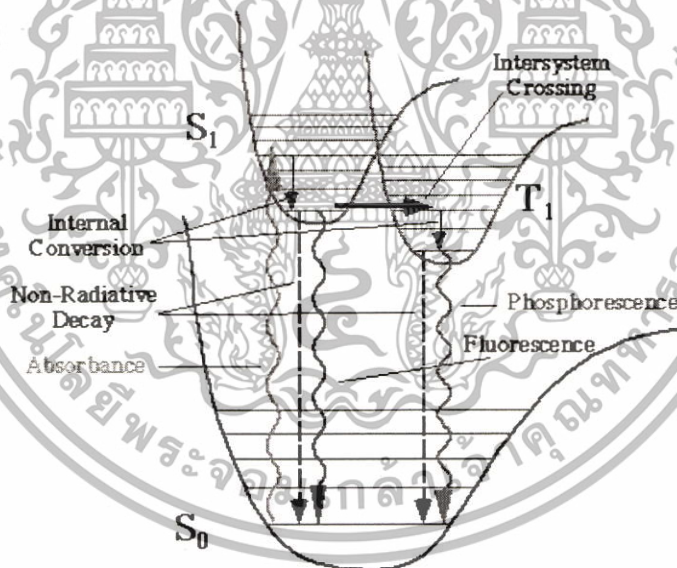
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence)

เมื่ออิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงมากผ่านกระบวนการลดระดับพลังงานแบบไม่เกิดแสงจนกระทั่งเมื่ออิเล็กตรอนในโมเลกุลลดระดับพลังงานมาถึงระดับพลังงานการสั่นต่ำสุดของสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้นจะเกิดการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้น ซึ่งการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้นนี้จะเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปของแสงทันที หลังจากการฉายแสง โดยมี Lifetime ประมาณ $10^{-8} - 10^{-9}$ วินาทีเรียกระบวนการคายพลังงานนี้ว่า“ฟลูออเรสเซนซ์”ดังรูปที่ 2.1

- ฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence)

การคายพลังงานในกระบวนการนี้จะแตกต่างจากการคายพลังงานแบบฟลูออเรสเซนซ์เนื่องจากฟอสฟอเรสเซนซ์เป็นการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในระดับพลังงานการสั่นต่ำที่สุดของสถานะสามของสถานะกระตุ้น และเกิดการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้นนี้จะทิ้งช่วงระยะหนึ่งก่อน จึงจะเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปของแสง โดยมี Lifetime ประมาณ $10^{-4} - 20$ วินาที เรียกระบวนการคายพลังงานแสงแบบนี้เรียกว่า“ฟอสฟอเรสเซนซ์” ดังรูปที่ 2.1

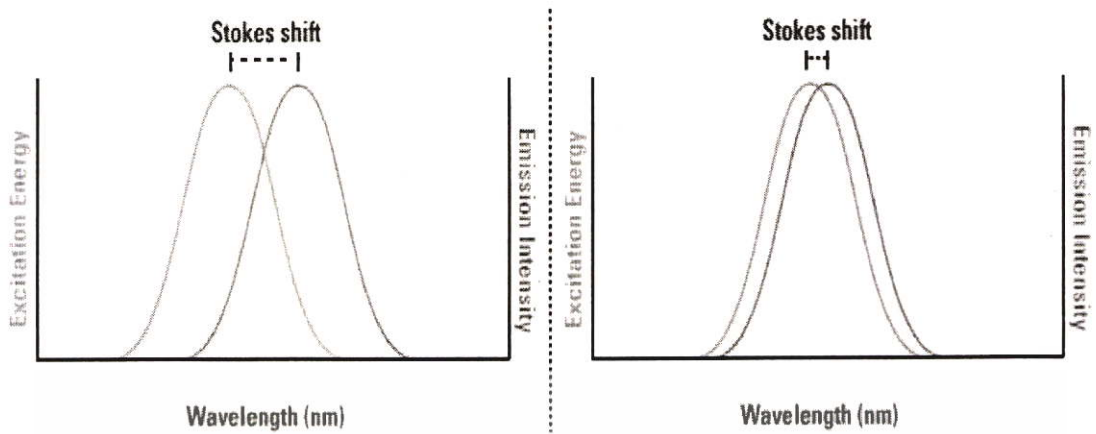


รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงการเกิดฟลูออเรสเซนซ์และฟอสฟอเรสเซนซ์ [1]

กระบวนการคายพลังงานแบบที่เกิดแสงทั้งสองชนิดจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในย่านความยาวคลื่นที่ยาวกว่าความยาวคลื่นที่กระตุ้น โมเลกุล โดยการเลื่อนของสเปกตรัมแสงลูมินิสเซนซ์ถูกเรียกว่า “Stoke shift” ซึ่งมีนิยามว่าเป็นระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมแสงลูมินิสเซนซ์ในการเกิดฟอสฟอเรสเซนซ์ระยะห่างจากจุดสูงสุดของทั้งสองสเปกตรัมจะมากกว่าการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ เพราะว่าชั้นพลังงานของสถานะสามในสถานะกระตุ้น

จะสูงกว่าสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้น

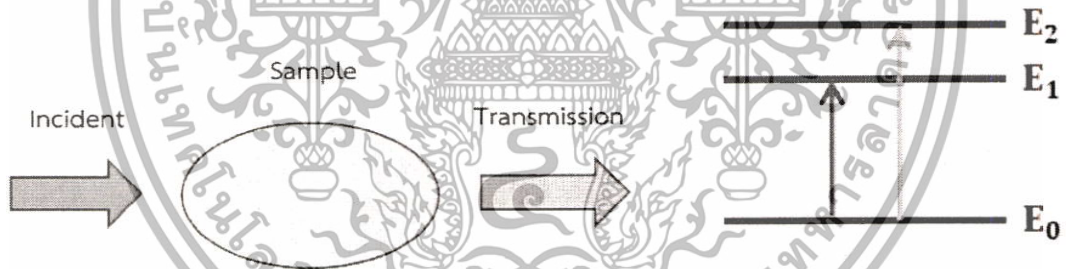
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง [2]

2.1.4 กลไกการดูดกลืนแสงของสารเรืองแสง

กลไกการดูดกลืนแสง คือ กระบวนการที่พลังงานของแสงที่ถูกถ่ายเทไปยังอะตอม ไอออน หรือโมเลกุลที่อยู่ในตัวกลาง การดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างใดๆสามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 ลักษณะหลักคือ ดูดกลืนในระดับอะตอมและดูดกลืนใน โมเลกุล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่แสงนั้นทำอันตรกิริยา



รูปที่ 2.3 กลไกการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปลี่ยนแปลงระดับ

- การดูดกลืนแสงหรือพลังงานที่ทำให้อนุภาคเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะปกติหรือสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะที่มีระดับพลังงานสูงกว่าหรือสถานะกระตุ้น (excited state) เราเรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า การเปลี่ยนแปลงสถานะหรือการทรานสิชัน (transition)

- การเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาคนี้จะต้องอาศัยพลังงานที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าผลต่างของระดับพลังงานระหว่างสถานะพื้นและสถานะกระตุ้น ซึ่งค่าความถี่ (พลังงาน) น้อยสุด

ของโฟตอนที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาคที่มีค่าเท่ากับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_1 - E_0 = hv \quad (2.1)$$

การเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาคจากสถานะพื้นไปยังสถานะที่สูงกว่าจะเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ ย้ายจากชั้น E_0 ไปยัง E_1 (ดูดกลืนแสงความยาวคลื่น λ_2) หรือ จาก E_0 ไปยัง E_2

2.1.5 กฎแห่งการดูดกลืนแสง

เมื่อฉายแสงผ่านตัวกลางใดๆ จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างแสงและอนุภาคตัวกลางที่แสงเคลื่อนที่ผ่าน การวิเคราะห์หว่าแสงถูกดูดกลืนภายในตัวกลางได้มากหรือน้อยเพียงใดนั้น สามารถกระทำได้โดยอาศัยกฎของ เบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's Law) ซึ่งเป็นกฎที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ฉายผ่านมายังสารและปริมาณแสงที่ถูกส่งผ่านออกมา



รูปที่ 2.4 รูปแสดงปริมาณแสงที่ฉายผ่านมายังสารและปริมาณแสงที่ถูกส่งผ่านออกมา

เนื่องจากการดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer - Lambert law) ดังสมการ

$$A = cl\varepsilon \quad (2.2)$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (absorbance)

l = ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่างหรือความกว้างของฟิล์มบาง (cm)

c = ความเข้มข้นของสาร (M)

ε = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสาร ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

Absorbance (A) นิยามสมการได้เป็น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = -\log T \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าทรานสมิตแตนซ์ (Transmittance)

นอกจากการพิจารณาค่าแอมพลิจูดของแสงซึ่งในการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารใดๆแล้ว ปริมาณสำคัญอีกปริมาณที่มักจะถูกพิจารณาร่วมกันคือ ค่าทรานสมิตแตนซ์ (Transmittance) ซึ่งคือค่าที่บอกถึงความสามารถในการยอมให้แสงผ่านของสาร

$$T = \frac{I}{I_0} \times 100\% \quad (2.4)$$

เมื่อ T = ค่าทรานสมิตแตนซ์ (Transmittance)

I_0 = ความเข้มแสงที่ฉายผ่านมายังฟิล์มบาง

I = ความเข้มแสงที่ถูกส่งผ่านออกมาฟิล์มบาง

2.1.6 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)

สเปกโตรมิเตอร์คือเครื่องมือวัดเชิงแสงชนิดหนึ่งที่ใช้ในการตรวจวัดคุณสมบัติเฉพาะของแสง ได้แก่ สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยนำมาใช้ในระบบการวิเคราะห์สเปกโตรสโคปิกเพื่อระบุชนิดของสาร ผลการวัดที่แตกต่างกันโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากความเข้มของแสงที่แตกต่างกัน แต่บางทีก็อาจเกิดจากปรากฏการณ์โฟลวไรซ์ก็ได้ ตัวแปรอิสระได้แก่ความยาวคลื่นของแสง มักระบุเป็นหน่วยย่อยของเมตร หรือบางครั้งก็ระบุเป็นสัดส่วนของพลังงานโฟตอน เช่น หมายเลขคลื่น หรืออิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมักจะมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นอยู่แล้ว เราใช้สเปกโตรมิเตอร์ในระบบการวิเคราะห์สเปกโตรสโคปิก โดยสร้างเส้นสเปกตรัมขึ้น และตรวจวัดความยาวคลื่นกับความเข้ม สามารถวัดได้ตั้งแต่รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ ไปจนถึงรังสีอินฟราเรด ถ้าย่านความถี่ของคลื่นที่สนใจตกอยู่ในย่านของสเปกตรัมที่ตามองเห็น มักเรียกการศึกษาเช่นนั้นว่า "spectrophotometry" [3]

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ประกอบไปด้วย

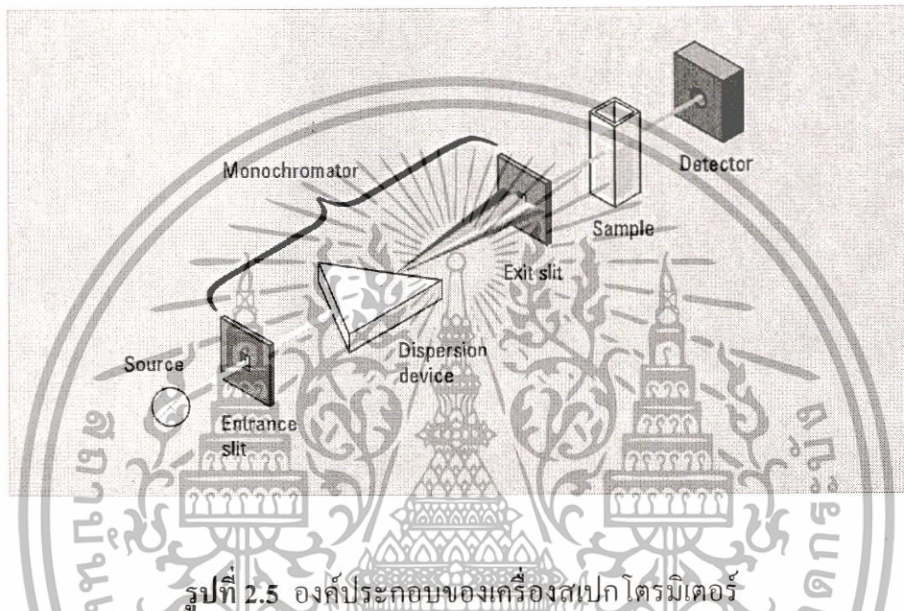
1. Light source แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอด H₂ and D₂ lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm และช่วง visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm เป็นต้น

2. Monochromator เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสงซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือเกรตติง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Cell sample เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วง visible เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงUVได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอตซ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงUVและ visible

4. Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด Silicon diode detector [4]



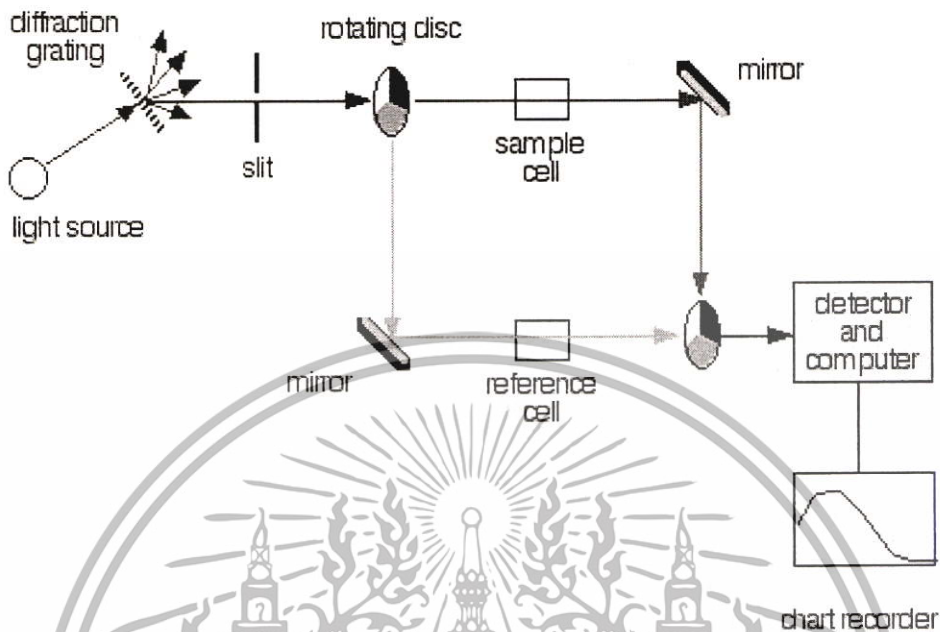
เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. Single-Beam spectrophotometer เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์โมโนโครเมเตอร์ที่เป็นเกรตติงผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณ เนื่องจากสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดลำรังสีนี้จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน

2. Double-Beam Spectrophotometer (รูปที่ 2.6) ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้ว ลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะสะท้อนไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดียวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่



รูปที่ 2.6 Double beam spectrophotometer [5]

ค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำมีความสัมพันธ์กับค่าความยาวคลื่น (λ) ตามสมการดังนี้

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} \text{ หรือ } E_g (\text{in eV}) = \frac{1240}{\lambda (\text{in nm})} \quad (2.5)$$

เมื่อ E_g = พลังงานของช่องว่างแถบพลังงาน (Band gap energy)

c = ความเร็วของแสง (Velocity of light)

h = ค่าคงที่ของแพลงค์ (Planck constant)

λ = ค่าความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมา (Emitted wavelength)

2.2 สมบัติพื้นฐานของทองคำ

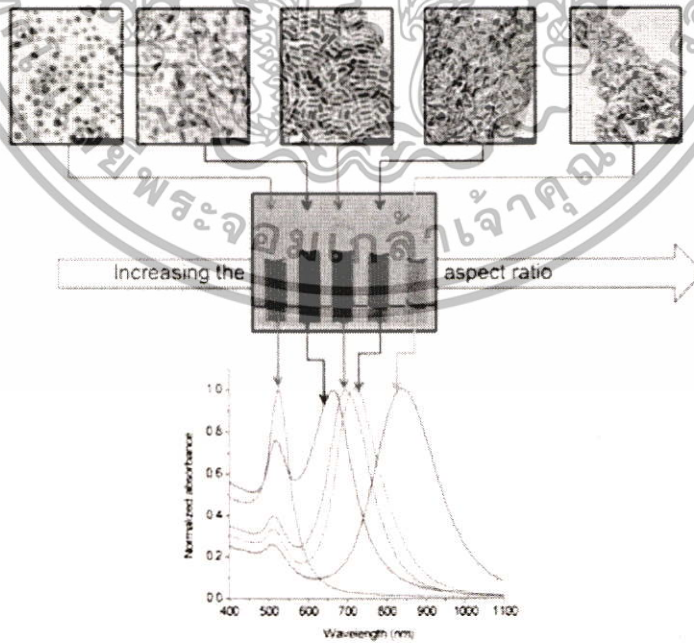
ทองคำ (Au) มีลักษณะทั่วไป คือ มักเป็นสารแขวนลอยในตัวทำละลาย เช่น น้ำ หรือ สารเคมีอื่น ๆ มีสีต่างๆ เช่น แดง ม่วง ฟ้า เขียว เป็นต้น เป็นสารไม่ละลายน้ำ (water insoluble) และไม่ลุกติดไฟ (Non-flammable)

ทองคำเป็นธาตุที่รู้จักกันโดยทั่วไป โดยมีลักษณะสมบัติที่เป็นธาตุเฉื่อย มักไม่ทำปฏิกิริยา เมื่อทองคำมีขนาดเล็กลงจนอยู่ในระดับนาโนที่มีขนาดตั้งแต่ 5 นาโนเมตรขึ้นไป จะยังคงมีลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเหมือนกันกับทองคำทั่วไป แต่เมื่อมีขนาดต่ำกว่า 5 นาโนเมตร จะมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างจากทองคำ ได้แก่ สีของอนุภาคนาโนของทองคำจะมีสีหลากหลาย เช่น แดง ฟ้า เขียว หรือน้ำตาล ซึ่งไม่ได้ปรากฏเป็นสีทองเหมือนกับทองคำทั่วไป สีที่แตกต่างนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนใน conduction band ของอนุภาคนาโนโลหะกับสนามไฟฟ้าที่มาจากแสงที่ตกกระทบ ซึ่งทำให้เกิดการแทรกสอดของอิเล็กตรอนใน conduction band เกิดขึ้น ซึ่งการแทรกสอดนี้เรียกว่า Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) ซึ่งเกิดภายใต้สเปกตรัมของแสง visible และแสงใกล้อินฟราเรดสีเหนือม่วง ดังรูปที่ 2.7 โดยการเปล่งแสงสีต่างๆ นี้จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของอนุภาคนาโนของทองคำ เช่น ทองคำในรูปของแท่งนาโนจะสามารถดูดซับแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 800-1200 นาโนเมตร เป็นต้น การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างแตกต่างกันแสดงในรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.7 กระบวนการสั่นของพลาสมอน (plasmon oscillation) สำหรับอนุภาคนาโนทองคำ [6]



รูปที่ 2.8 การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีลักษณะรูปร่างต่างๆ ตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2012 C. C. Vidyasagar และคณะ ได้ศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เพื่อใช้ในการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีการสังเคราะห์ ZnO และ Cd-ZnO จากการทดลอง พบว่า โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคนาโนถูกนำมาวิเคราะห์โดยการศึกษาลึขบวนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) นอกจากนี้คุณสมบัติทางแสงและช่องว่างแถบพลังงานถูกศึกษาโดยสเปกตรัมการดูดกลืนแสงย่านอัลตราไวโอเลตถึงแสงย่านตามองเห็น แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเจือด้วย Cd จะทำให้ช่องว่างแถบพลังงานลดลงด้วยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการอบ ซึ่งอยู่ในช่วง 3.38 – 3.26 eV จากนั้นทำการเตรียมฟิล์ม Cd-ZnO โดยมีการใช้สีย้อมที่แตกต่างกัน อาทิเช่น Eosin B (EB), Fast Sulphon Black F (FSF) และ Solochrome Black T (SBT)

ในปี ค.ศ. 2014 S. Majumder และคณะ ได้มีการสังเคราะห์ Au-TiO₂ โดยวิธีการ sol-gel โดยทำการศึกษา Photoluminescence (PL) และ Photoconductivity (PC) ของ TiO₂ และ Au-TiO₂ จากการทดลอง พบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพของการปลดปล่อย Photoluminescence ของ Au-TiO₂ เมื่อเทียบกับ TiO₂ นั้นมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากผลของ Fluorescence resonance energy transfer และ Surface Plasmon resonance

ในปี ค.ศ. 2010 B. Karthikeyan ได้มีการสังเคราะห์ Au-polyvinyl alcohol nanocomposite และ rhodamine-6G doped Au-polyvinyl alcohol nanocomposite polymer films ซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิห้อง จากการศึกษา Steady state fluorescence พบว่า อนุภาคนาโนระงับเรืองแสงของ rhodamine-6G โดย Fluorescence quenching ถูกวิเคราะห์จาก Förster resonant energy transfer นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการสลายตัวเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอนุภาคนาโนทองคำ และยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคนาโน

2.4 เอกสารอ้างอิง

- [1] Fluorescence. [Online]. Available: <http://www.umich.edu/~protein>
- [2] Stokes shift. [Online]. Available: <http://www.piercenet.com/method/fluorescent-probes>
- [3] Spectroscopy. [Online]. Available: <http://th.wikipedia.org/wiki/สเปกโทรมิเตอร์>
- [4] องค์ประกอบสำคัญของ Spectrometer. [Online]. Available: <http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/component/k2/item/140-uv-visible-spectrophotometer.html>
- [5] Jim Clark. 2006. Spectrometer. [Online]. Available: <http://www.chemguide.co.uk/analysis/uvvisible/spectrometer.html>

[6] Gold Nanoparticle. [Online]. Available:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<http://www.cytodiagnosics.com/store/pc/Gold-Nanoparticle-Properties-d2.htm>

[7] อนุภาคนาโนทองคำ. [Online]. Available:

http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat_id=9&p_id=258

[8] C. C. Vidyasagar, Y. Arthoba Naik, R. Viswanatha, T. G. Venkatesh. 2012. Optical Properties of Dye-Sensitized Films Based on Cd-ZnO Nanoparticles. [Online]. Available:

http://urpjournals.com/tocjnls/51_12v2i4_2.pdf

[9] S. Majumder, S.K. Jana, K. Bagani, B. Satpati, S. Kumar, S. Banerjee. 2012.

Fluorescence resonance energy transfer and surface Plasmon resonance induced enhanced photoluminescence and photoconductivity property of Au-TiO₂ metal-semiconductor nanocomposite. [Online]. Available:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092534671400593X>

[10] ชไมพร แน่นนันทน์, ณภัทร คติมนิธร และ ณัฐพร คำสน. 2557. “สมบัติทางแสงของสารเรืองแสงที่ผสมกับอนุภาคโลหะที่มีขนาดเล็กระดับนาโน” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะอธิบายถึงเครื่องมือและระบบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมถึงกระบวนการในการจัดเตรียมสารเรืองแสงร่วมกับทองคำนาโนและการทดสอบสมบัติทางแสงของสารเรืองแสงที่จัดเตรียมขึ้น โดยมีเนื้อหาแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อหลักดังนี้

1. เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. การเตรียมแม่พิมพ์
3. การจัดเตรียม R6G และ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม
4. การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

3.1 เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1.1 แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทั้งสแตน

แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทั้งสแตน (MEGALIGHT 100) ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งสเปกตรัมแสงได้จากการวัดเป็นแสงในความยาวคลื่น 200-1100 นาโนเมตร

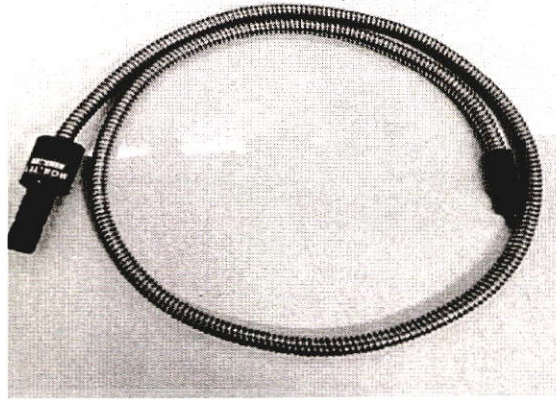


รูปที่ 3.1 เครื่องฉายแสงจากหลอดทั้งสแตน

3.1.2 เส้นใยแก้วนำแสง

- สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ

- สายใยแก้วนำแสง (Avantae FC-UV200-2) ลักษณะดังรูปที่ 3.3 สายใยแก้วนำแสงทำหน้าที่ในการนำส่งแสงที่ผ่านสารตัวอย่างเข้าสู่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ สายใยแก้วนำแสงมีขนาดความยาว 2 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร และ 600 ไมโครเมตร โดยใช้ในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการวัดสมบัติเชิงแสงสายใยแก้วนำแสง



รูปที่ 3.3 สายใยแก้วนำแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร (ซ้าย)
และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตร (ขวา)

3.1.3 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (UV/VIS Spectrometer Avantesavaspec-EDU) เป็นเครื่องที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นที่วัดได้ประมาณ 200-1100 นาโนเมตร โดยในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการวัดสมบัติเชิงแสงควรใช้สเปกโตรมิเตอร์เดิมทุกครั้ง ลักษณะดังรูป 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์

3.1.4 อุปกรณ์จับยึดใยแก้วนำแสง

อุปกรณ์จับยึด ทำหน้าที่ในการจับยึดสายใยแก้วนำแสงทั้งเส้น

- อุปกรณ์จับยึดสายใยแก้วนำแสง มีลักษณะดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง

- อุปกรณ์จับยึดแผ่นฟิล์ม Au/PMMA และคิวเวท มีลักษณะดังรูปที่ 3.6

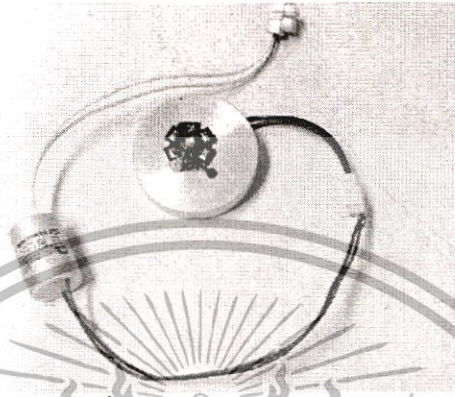


รูปที่ 3.6 อุปกรณ์จับยึดแผ่นฟิล์ม Au/PMMA และคิวเวท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงจะถูกยึดติดกับอุปกรณ์ระบายความร้อน โดยที่ความเข้มแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 527 นาโนเมตร (แสงสีเขียว) ซึ่งจะใช้ไดโอดเปล่งแสงสำหรับการกระตุ้นสารเรืองแสง



รูปที่ 3.7 ไดโอดเปล่งแสง

การเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสง เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงในรูปของสารละลายและฟิล์ม

- การศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสง สายใยแก้วนำแสงที่เชื่อมต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ จะถูกวางให้ตรงกับแหล่งกำเนิดแสง
- การศึกษาสเปกตรัมการปลดปล่อยแสง สายใยแก้วนำแสงที่เชื่อมต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ จะถูกวางทำมุม 90 องศากับแหล่งกำเนิดแสง(กรณีสารละลาย) และ จะถูกวางทำมุมองศาที่เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดแสง(กรณีฟิล์ม)

3.2 การเตรียมแม่พิมพ์

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

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

3.2.2 ขั้นตอนในการทำแม่พิมพ์

1. นำเทปกาวมาแปะลงบนกระจกสไลด์ 5 ครั้ง จนได้ความหนาเทปกาวประมาณ 1

มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการวัดช่องขนาด ยาว 1 เซนติเมตร และกว้าง 1 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง/สไลด์
3. นำคัตเตอร์มากรีดเทพกาวออกตามขนาดที่วัดไว้
4. จะได้แม่พิมพ์ที่จะนำมาใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจัดเตรียม R6G และ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. สารวัสดุทองคำเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 nm ความยาว 83 nm
2. สารทำละลาย Dichloromethane (DCM)
3. สาร Polymethyl Methacrylate (PMMA)
4. สาร Rhodamine 6G
5. อะซิโตน
6. เอทานอล
7. บล็อกซีเนงาน
8. คิวเวท
9. เครื่องเขย่าสาร
10. ขวดแก้วและฝาปิด

3.3.2 ขั้นตอนในการเตรียมสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆ

1. เตรียมสารละลาย R6G ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 10ml (Stock Solution)
2. เตรียมสารละลาย R6G โดยการเจือจางที่ความเข้มข้นต่างๆกัน คือ 1 uM, 2 uM, 4 uM, 6 uM และ 8 uM ปริมาตร 10ml จากข้อ 1
3. นำสารละลาย R6G ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 1 ml มาวัดค่าการดูดกลืน และการเปล่งแสง

3.3.3 ขั้นตอนในการเตรียม R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

1. เตรียมสารละลาย R6G ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 10ml (Stock Solution)
2. เตรียมสารละลาย R6G ความเข้มข้น 6 uM ปริมาตร 10ml จากข้อ 1
3. นำสารละลาย R6G ความเข้มข้น 6 uM ปริมาตร 1 ml มาวัดค่าการดูดกลืน และการเปล่งแสง
4. นำสารละลาย Au ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 1 ml มาวัดค่าการดูดกลืน และการเปล่งแสง
5. นำสารละลาย Au ผสมกับสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ ดังตารางที่ 3.1A
6. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 5 ใส่ลงในคิวเวท และนำมาวัดค่าการดูดกลืน และการเปล่งแสง

7. นำสารละลายจากข้อ 6 เทลงในขวด ซึ่งมี PMMA 0.4g ทุกขวดดังตารางที่ 3.1B

8. นำสารที่เตรียมไว้ในข้อ 7 มาเขย่าแล้วเทลงในบล็อกซีเนงานจะได้ฟิล์มออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1A การเตรียมสารละลาย R6G+Au ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ขวดที่	R6G 6uM (ml)	Au 0.09 M (ml)	DCM (ml)
1	0.5	0.5	1
2	0.75	0.25	1
3	0.875	0.125	1
4	0.9375	0.0625	1
5	0.96875	0.03125	1

ตารางที่ 3.1B การเตรียมฟิล์ม R6G+Au ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ขวดที่	R6G 6uM (ml)	Au 0.09 M (ml)	DCM (ml)	PMMA (g)
1	0.5	0.5	1	0.4
2	0.75	0.25	1	0.4
3	0.875	0.125	1	0.4
4	0.9375	0.0625	1	0.4
5	0.96875	0.03125	1	0.4

3.3.4 ขั้นตอนในการเตรียม R6G ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

1. เตรียมสารละลาย R6G ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 10ml (Stock Solution)
2. เตรียมสารละลาย R6G ความเข้มข้น 6 uM ปริมาตร 10 ml จากข้อ 1
3. นำสารละลาย R6G ความเข้มข้น 6 uM ปริมาตร 1 ml มาวัดค่าการดูดกลืนและการเปล่งแสง
4. ผสมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ ดังตารางที่ 3.2A
5. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 4 ใส่ลงในκιวท และนำมาวัดค่าการดูดกลืนและการเปล่งแสง
6. นำสารละลายจากข้อ 5 เทลงในขวด ซึ่งมี PMMA 0.4g ทุกขวด ดังตารางที่ 3.2B
7. นำสารที่เตรียมไว้ในข้อ 6 มาเขย่าแล้วเทลงในบล็อกรีดชั้นงานจะได้ฟิล์มออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2A การเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ขวดที่	R6G 6uM (ml)	DCM (ml)	DCM (ml)
1	0.5	0.5	1
2	0.75	0.25	1
3	0.875	0.125	1
4	0.9375	0.0625	1
5	0.96875	0.03125	1

ตารางที่ 3.2B การเตรียมฟิล์ม R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ขวดที่	R6G 6uM (ml)	DCM (ml)	DCM (ml)	PMMA (g)
1	0.5	0.5	1	0.4
2	0.75	0.25	1	0.4
3	0.875	0.125	1	0.4
4	0.9375	0.0625	1	0.4
5	0.96875	0.03125	1	0.4

3.4 การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

3.4.1 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

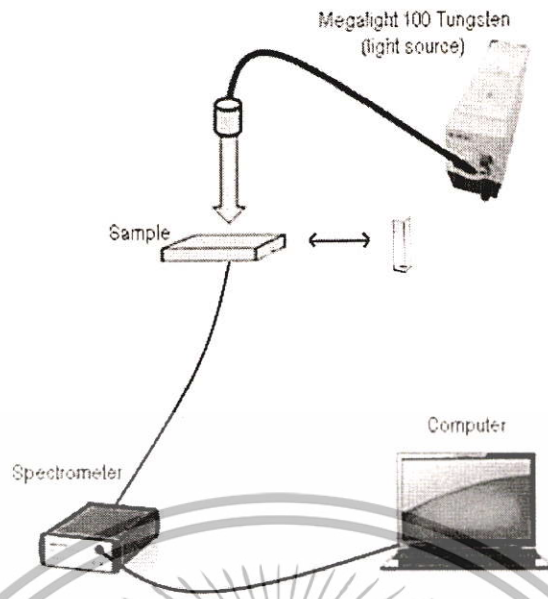
3.4.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์
2. สายใยแก้วนำแสง (ใช้ทั้ง 600 ไมโครเมตร และ 200 ไมโครเมตร)
3. เครื่องฉายแสงจากหลอดทั้งสแตน
4. อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง
5. อุปกรณ์จับยึดแผ่นฟิล์ม Au/PMMA และคิวเวท

3.4.1.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูป 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่าการดูดกลืนของสารตัวอย่าง

2. เปิดโปรแกรม Avasoft รุ่น 7.4
 3. ทำการวัด background ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์
 4. ทำการวัดค่าการดูดกลืนของตัวอย่าง ตามตารางที่ 3.1 และ 3.2
- ใช้ DCM เป็นตัวเทียบอ้างอิง เมื่อวัดในรูปของสารละลาย
ใช้ फिल्म PMMA เป็นตัวเทียบอ้างอิง เมื่อวัดในรูปของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

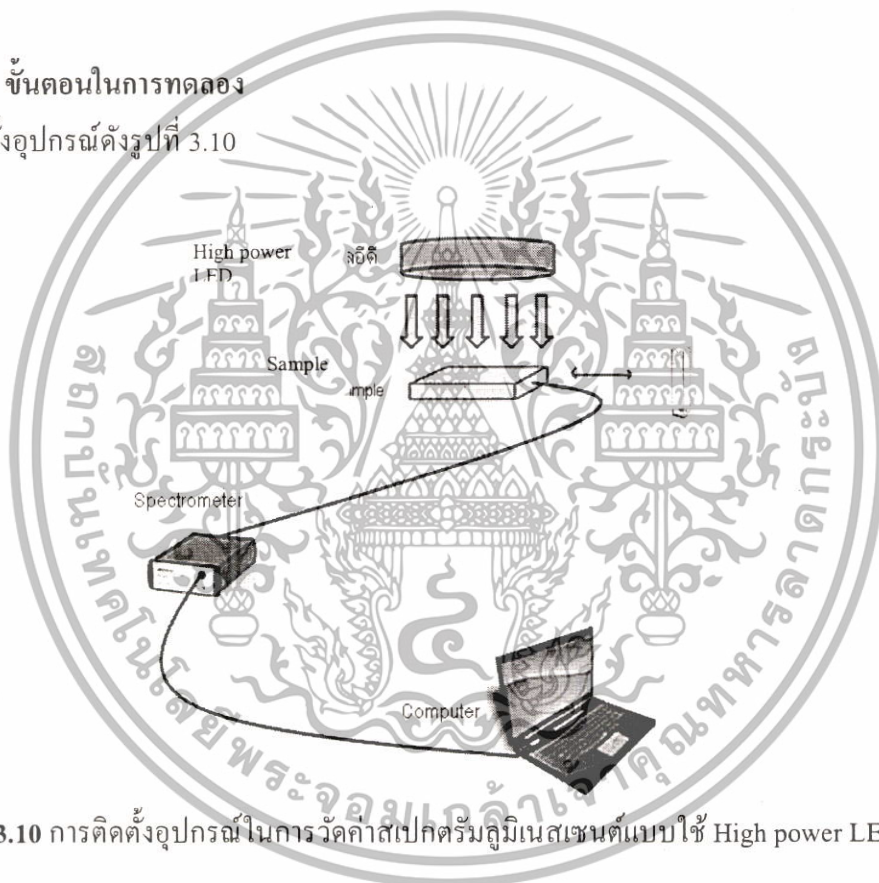
3.4.2 การวัดสเปกตรัมลูมิเนสเซนซ์

3.4.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์
2. สายใยแก้วนำแสง (ใช้ทั้ง 600 ไมโครเมตรและ 200 ไมโครเมตร)
3. High power LED
4. อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง
5. อุปกรณ์จับยึดแผ่นฟิล์ม Au/PMMA และคิวเวท

3.4.2.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่าสเปกตรัมลูมิเนสเซนซ์แบบใช้ High power LED

2. เปิดโปรแกรม Avasoft รุ่น 7.4
3. ทำการวัด background ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์
4. ทำการวัดค่าสเปกตรัมลูมิเนสเซนซ์ของตัวอย่าง ตามตารางที่ 3.1 และ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

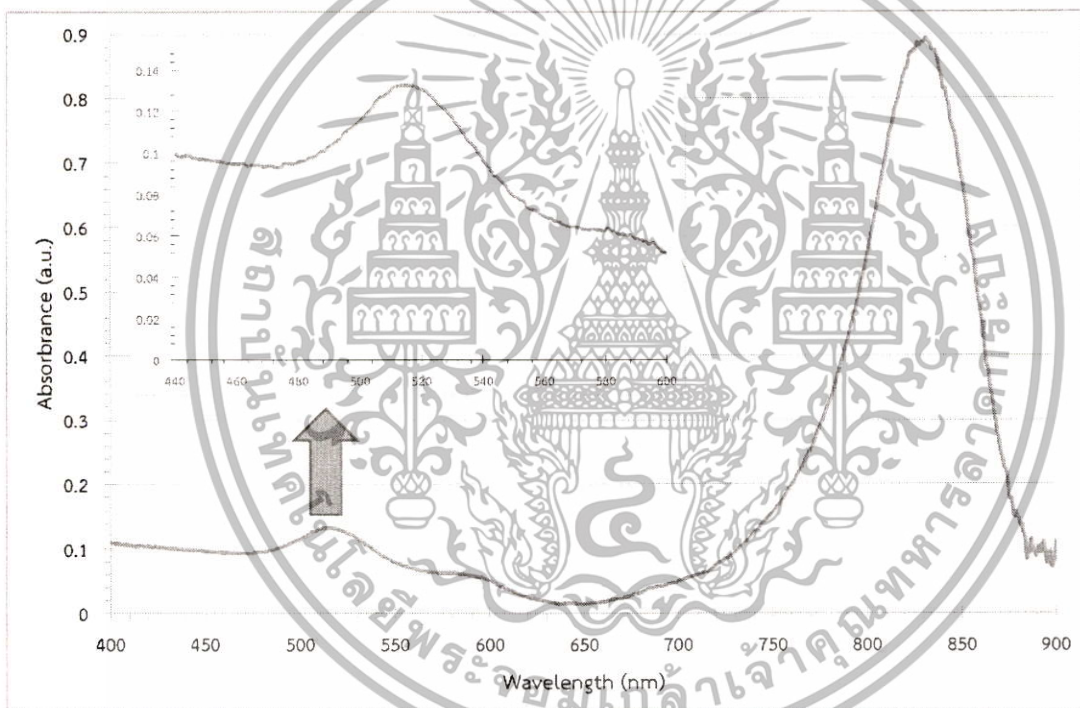
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลาย Au, R6G และการเลือก LED

4.1.1 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au

จากการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au ที่มีความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 1ml ก่อนการเจือจาง ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrometer ได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ดังรูปที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารละลาย Au มีพีคการดูดกลืนแสงอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 nm ซึ่งอยู่ในย่านแสงวิสิเบิล



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au

4.1.2 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย R6G

จากการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย R6G โดยการเจือจางที่ความเข้มข้นต่างๆกัน คือ 1 μM , 2 μM , 4 μM , 6 μM และ 8 μM ได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ดังรูปที่ 4.2 จากกราฟจะเห็นได้ว่า สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น 6 μM มีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 0.4 ที่ความยาวคลื่น 520 nm ซึ่งมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกับค่าการดูดกลืนแสงของ Au เนื่องจากไม่ต้องการที่จะให้ผลของตัวสีย้อมไปบดบังอิทธิพลของ Au ต่อการเปล่งแสงของตัวสีย้อมเอง

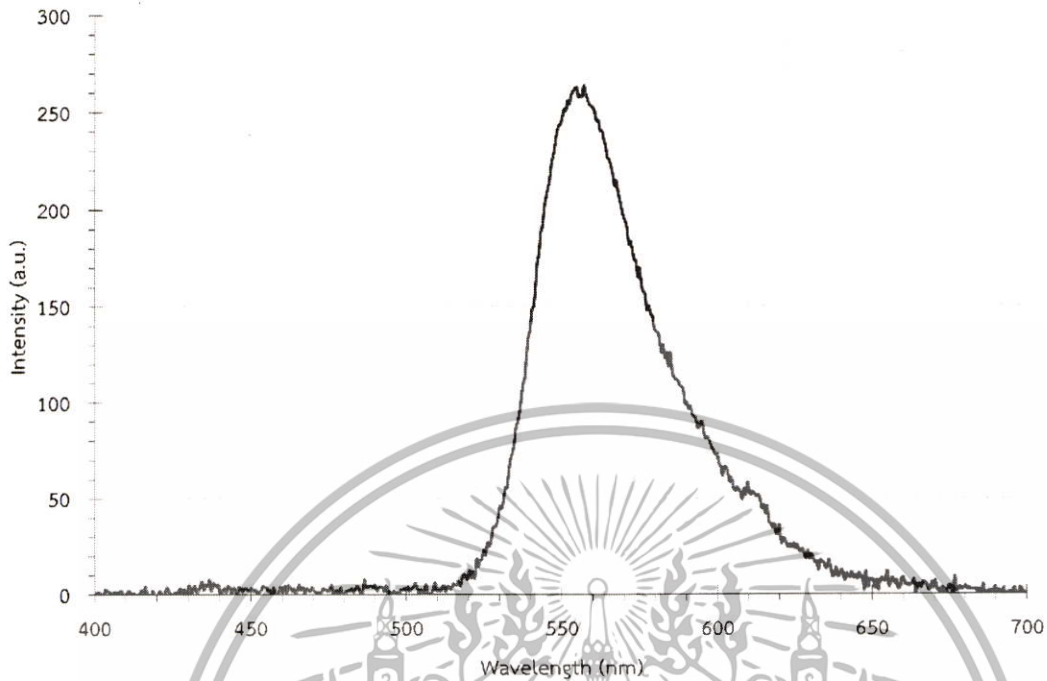


รูปที่ 4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 1, 2, 4, 6 และ 8 μM

4.1.3 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ของสารละลาย R6G

จากการศึกษาการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ของสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น 6 μM ดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น 6 μM มีค่าการปลดปล่อยแสงที่ความยาวคลื่น 557 nm ซึ่งอยู่ในย่านแสงวิสิเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

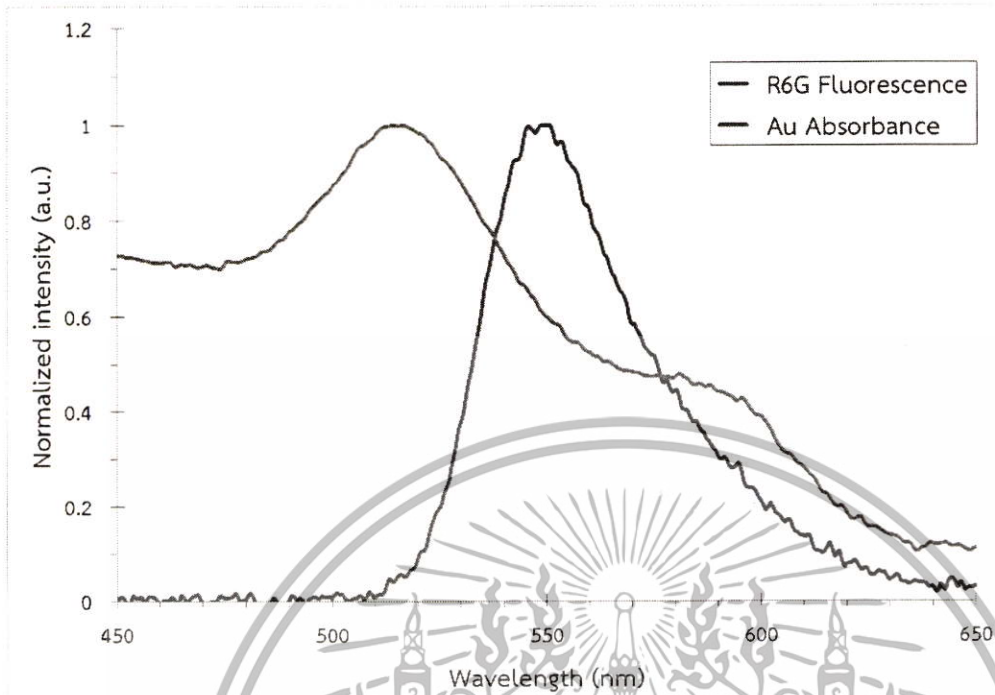


รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงของสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น 6 μM

4.1.4 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au และการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ของสารละลาย R6G

จากความสัมพันธ์ของสมบัติการดูดกลืนแสงของ Au จากรูปที่ 4.1 และการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ของ R6G จากรูปที่ 4.3 จะได้ผลดังรูปที่ 4.4 จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลการดูดกลืนแสงของ Au อยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 nm ให้พื้นที่ทับซ้อนกับการปลดปล่อยแสงของ R6G ที่ความยาวคลื่น 557 nm ซึ่งมีการเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

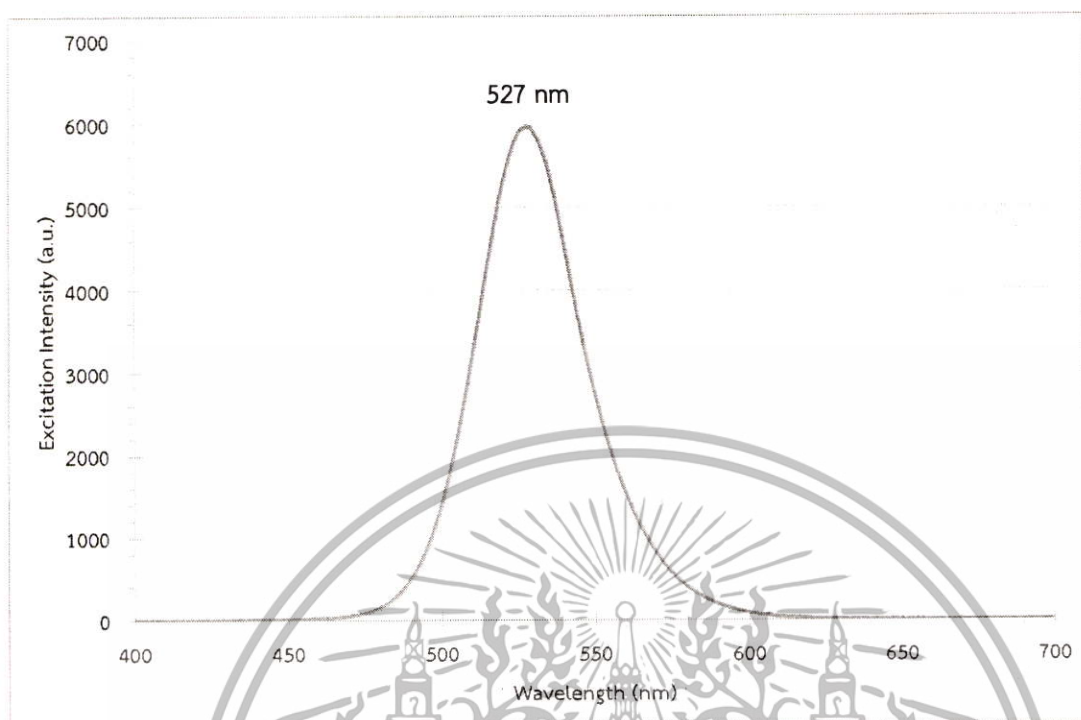


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของสารละลายAu และการปลดปล่อยแสงของสารละลาย R6G

4.1.5 การเลือกการกระตุ้นแสงด้วย LED

จากการเลือกการกระตุ้นสารตัวอย่างด้วย LED ได้ผลดังรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า LED สีเขียว ให้ค่าความยาวคลื่นที่ 527 nm ซึ่งเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงให้กับ Au

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของ LED สีเขียว

4.2 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ของ R6G+Au

จากการทดลองได้เตรียมสารละลาย R6G และ สารละลาย R6G+Au ที่มีความเข้มข้นค่าต่างๆกันดังแสดงในตารางที่ 4.1 กระตุ้นสารตัวอย่างด้วย LED สีเขียว และทำการวัดสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงของสารละลาย จะได้ผลการทดลอง R6G+Au แสดงดังรูปที่ 4.6 และ R6G แสดงดังรูปที่ 4.7 ตามลำดับ

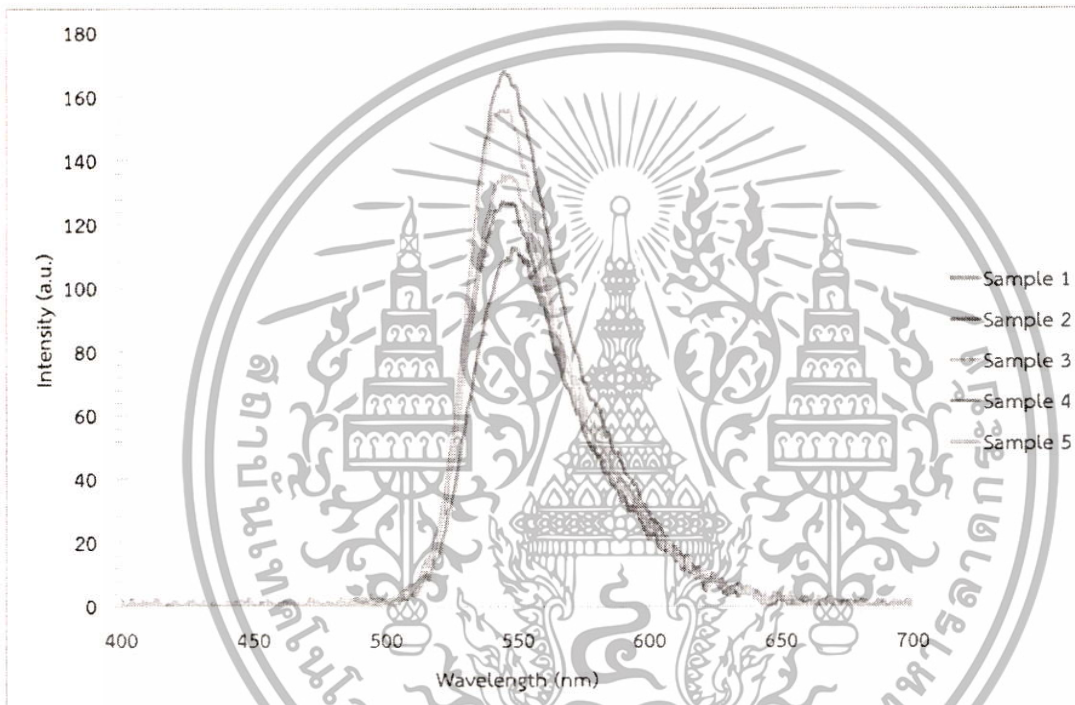
ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลาย R6G และสารละลาย R6G+Au ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ

Sample	สารละลาย R6G (μM)	สารละลาย R6G+Au	
		R6G (μM)	Au (mM)
1	1.50	1.50	22.50
2	2.25	2.25	11.25
3	2.62	2.62	5.62
4	2.81	2.81	2.81
5	2.90	2.90	1.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย

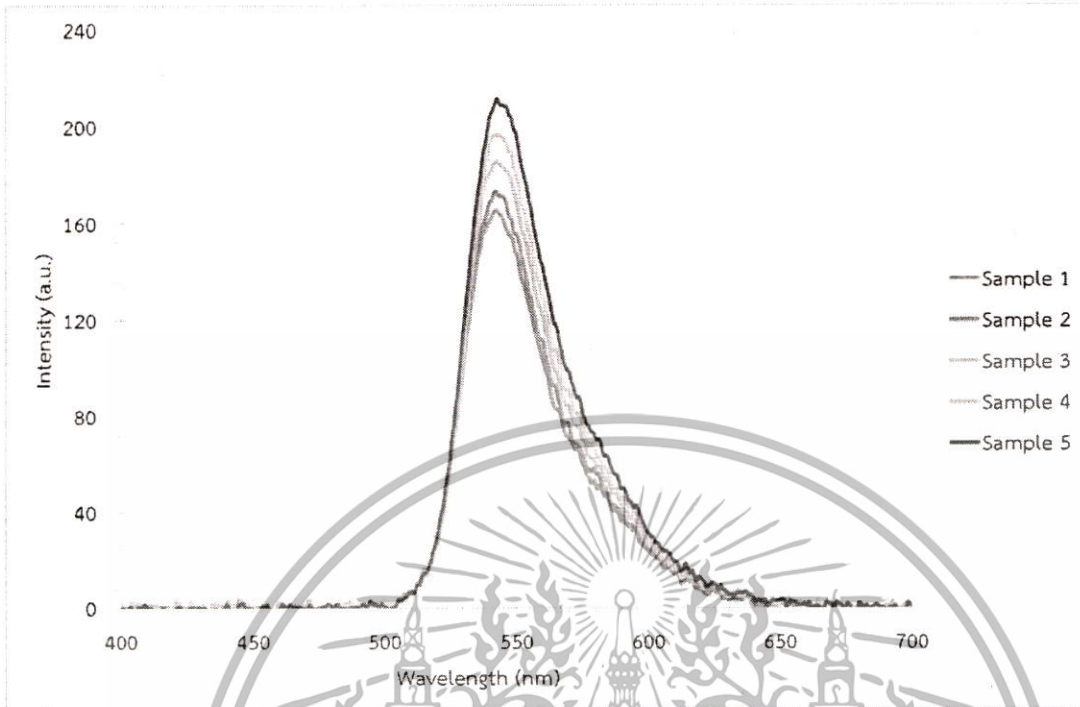
จากการทดลองในหัวข้อ 3.3.3 ตารางที่ 3.1A การศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ในรูปของสารละลาย ที่ถูกจัดเตรียมขึ้นจาก R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างกัน ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrometer ได้สเปกตรัมการปลดปล่อยแสง R6G+Au ดังรูปที่ 4.6 จากกราฟจะเห็นได้ว่า สารละลาย R6G+Au ที่จัดเตรียมจะเปล่งแสงได้มากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ Au มีค่าสูงขึ้น สารละลาย R6G+Au เปล่งแสงในย่านความยาวคลื่น 450-650 nm และมีพีคการเปล่งแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 545 nm



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างกัน

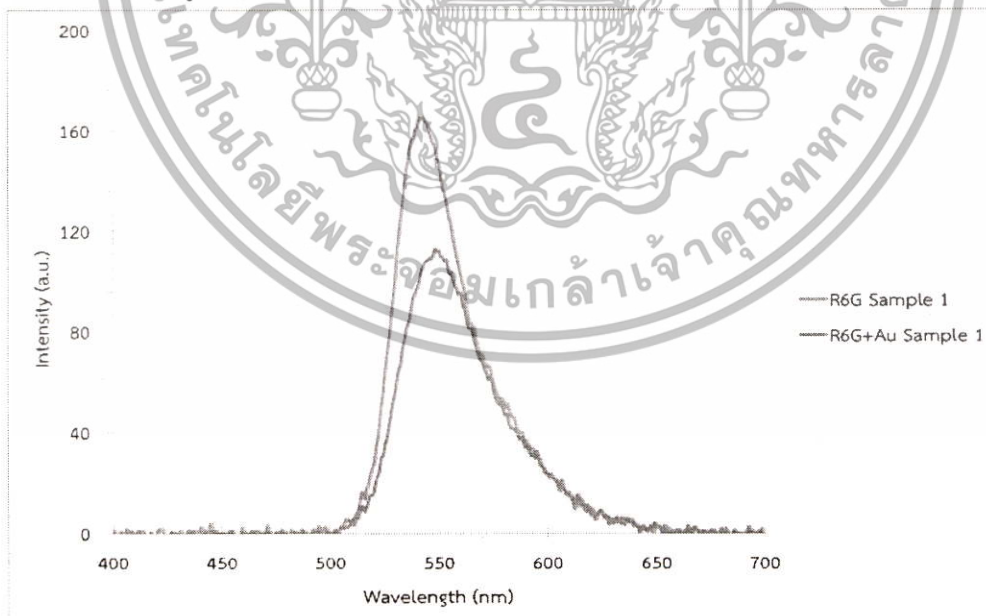
จากการทดลองในหัวข้อ 3.3.4 ตารางที่ 3.2A การศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ในรูปของสารละลาย ที่ถูกจัดเตรียมขึ้นจาก R6G ที่มีความเข้มข้นต่างกัน ได้สเปกตรัมการปลดปล่อยแสง ดังรูปที่ 4.7 จากกราฟจะเห็นได้ว่า สารละลาย R6G ที่จัดเตรียมจะเปล่งแสงได้มากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารมีค่าสูงขึ้น สารละลาย R6G เปล่งแสงในย่านความยาวคลื่น 450-650 nm และมีพีคการปลดปล่อยแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 545 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



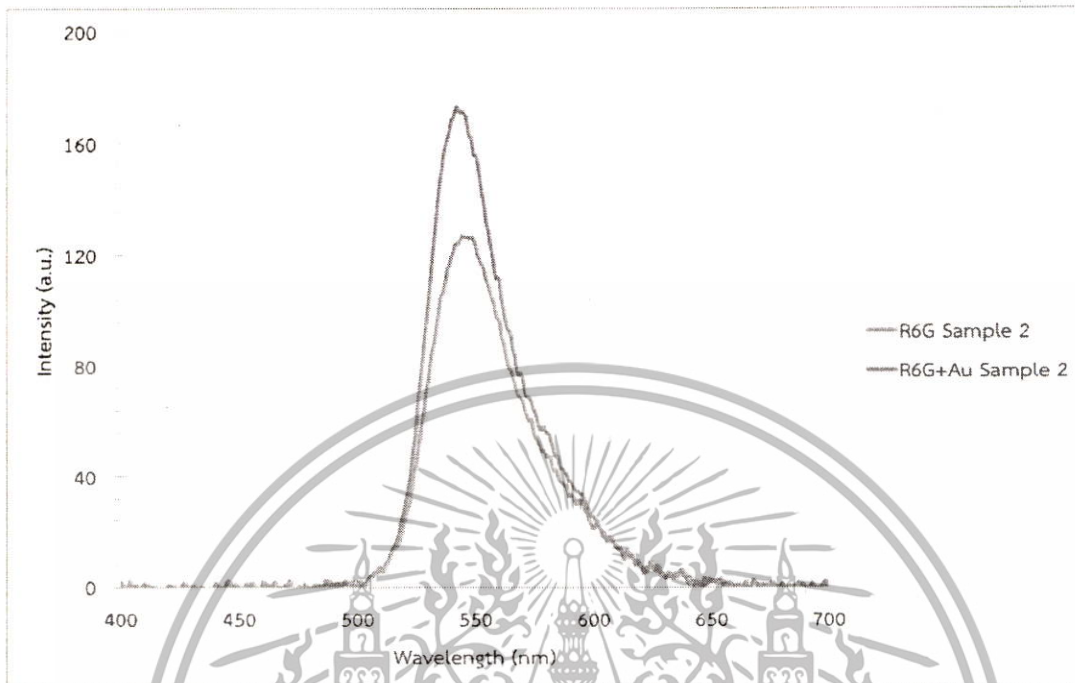
รูปที่ 4.7 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้นต่างกัน

ผลของความเข้มข้นต่าง ๆ กันของสารละลาย Au ที่มีต่อการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลาย R6G แสดงดังรูปที่ 4.8-4.12 ตามลำดับ

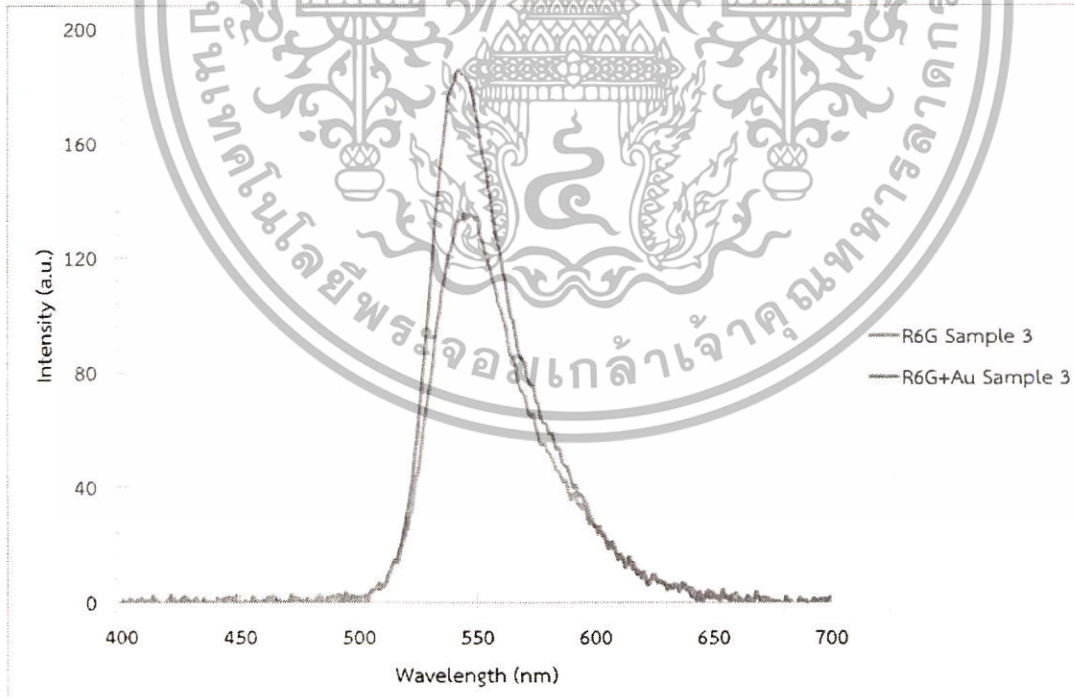


รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลายระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

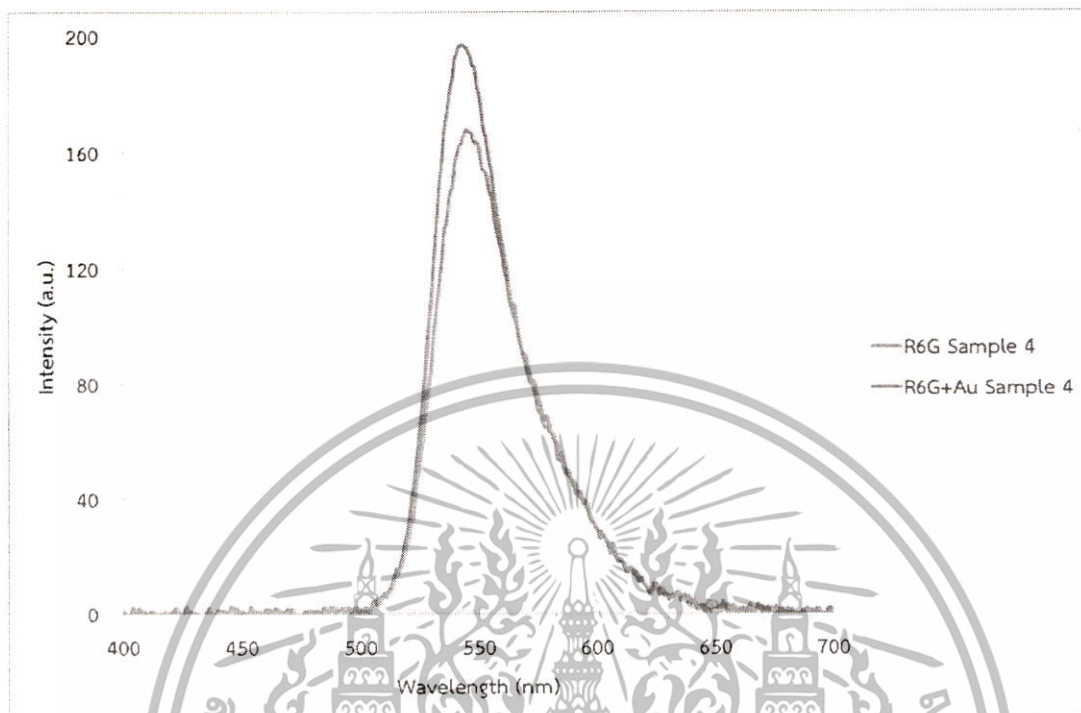


รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลายระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 2



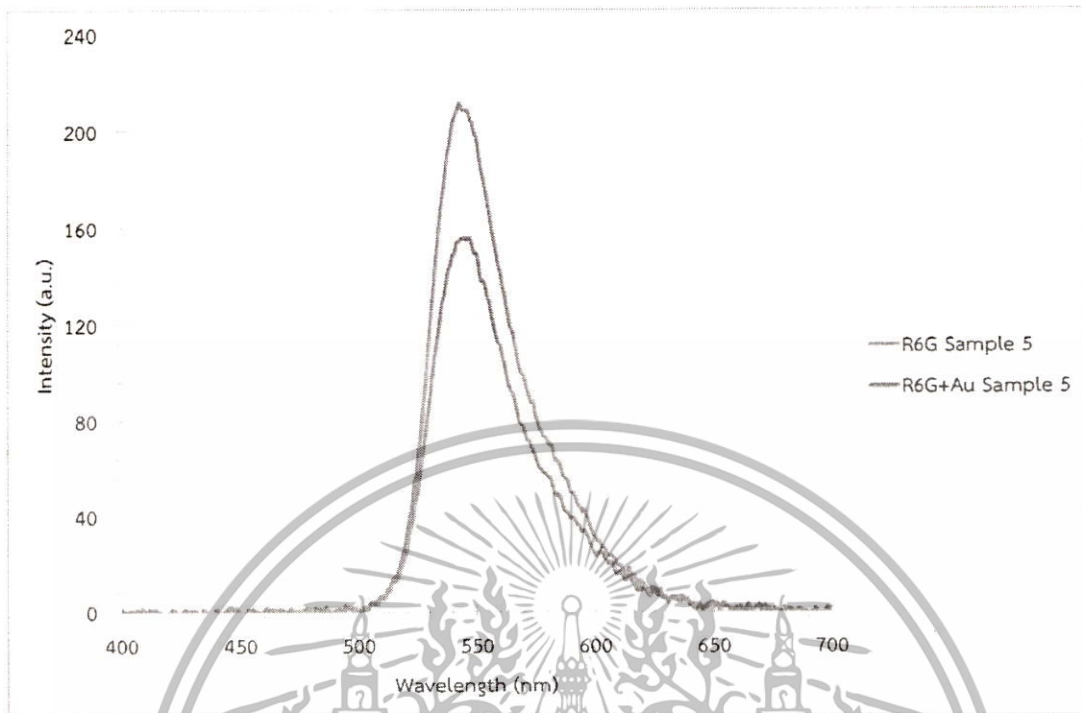
รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลายระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในรูปของสารละลายระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 4

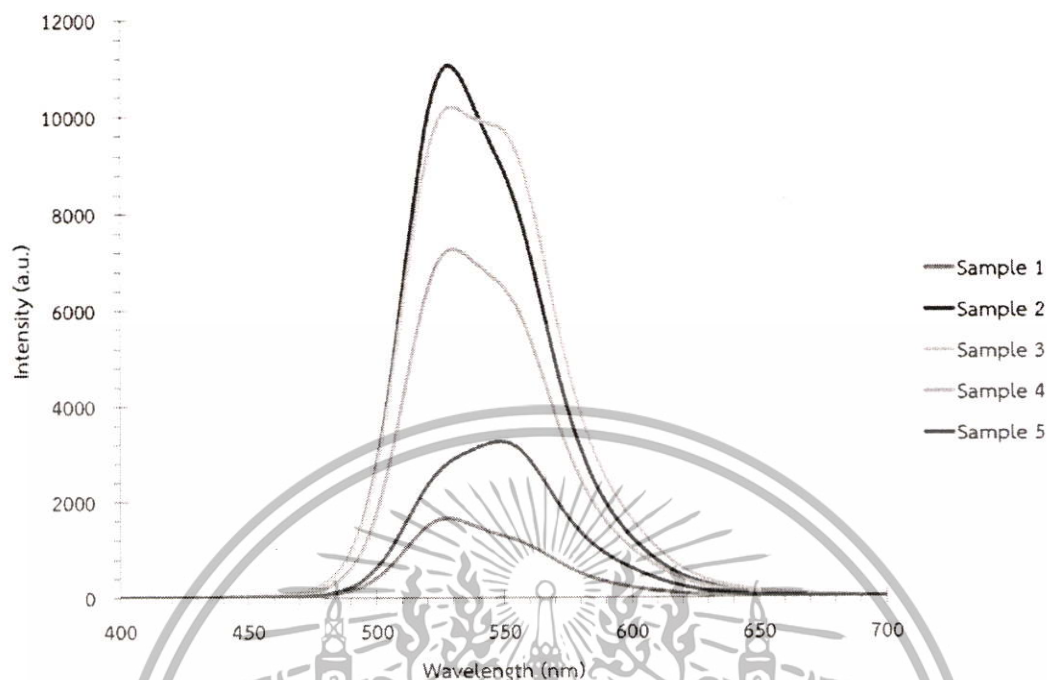
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลายระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 5

4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ R6G+Au ในรูปของฟิล์ม

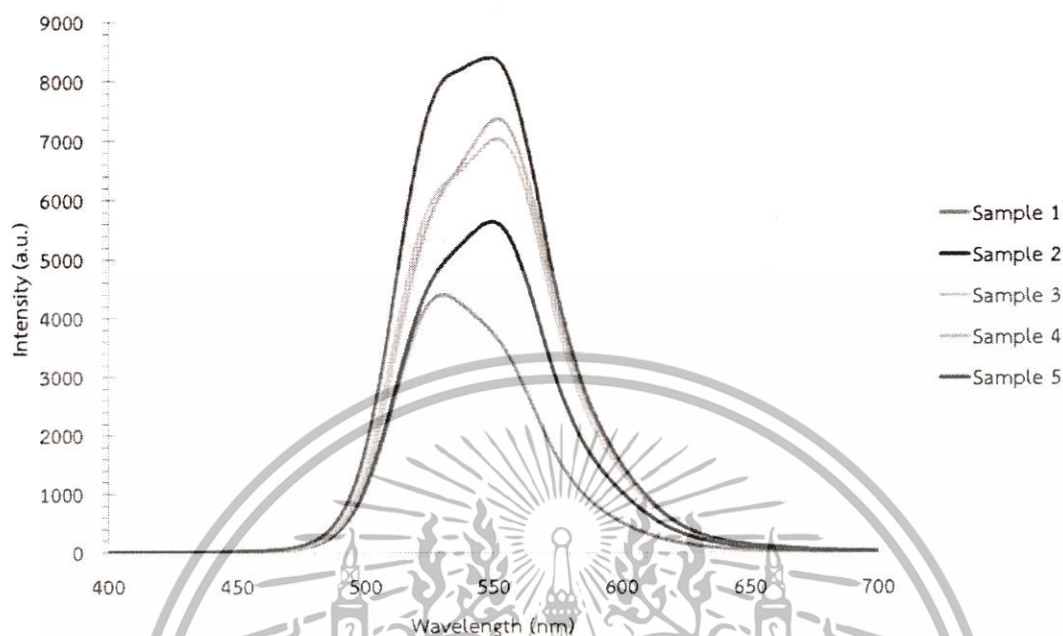
จากการทดลองในหัวข้อ 3.3.3 ตารางที่ 3.1B การศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนซ์ในรูปของฟิล์ม ที่ถูกจัดเตรียมขึ้นจาก R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างกัน ได้สเปกตรัมการปลดปล่อยแสง R6G+Au ดังรูปที่ 4.13 จากกราฟจะเห็นได้ว่า แผ่นฟิล์ม R6G+Au เปล่งแสงในย่านความยาวคลื่น 450-650 nm และมีพีคการเปล่งแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 545 nm



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์ม R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน

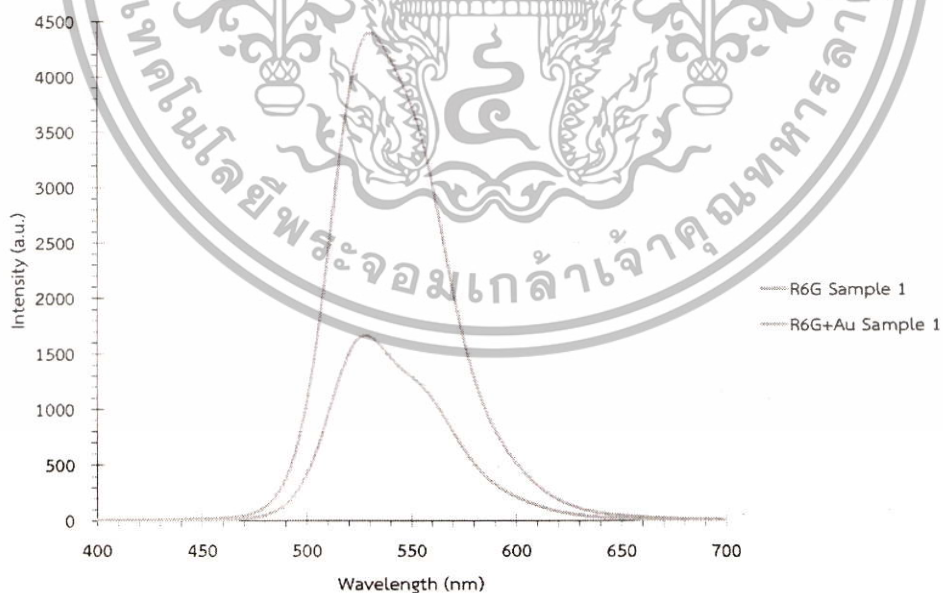
จากการทดลองในหัวข้อ 3.3.4 ตารางที่ 3.2B การศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนส์ในรูปของฟิล์ม ที่ถูกจัดเตรียมขึ้นจาก R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน ได้สเปกตรัมการปลดปล่อยแสง ดังรูปที่ 4.14 จากกราฟจะเห็นได้ว่า ฟิล์ม R6G ที่จัดเตรียมจะเปล่งแสงได้มากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารมีค่าสูงขึ้นในย่านความยาวคลื่น 450-650 nm และมีพีคการปลดปล่อยแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 550 nm นอกจากนี้เรายังสังเกตเห็นพีคเล็กๆที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 nm เป็นผลเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแสงจาก LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



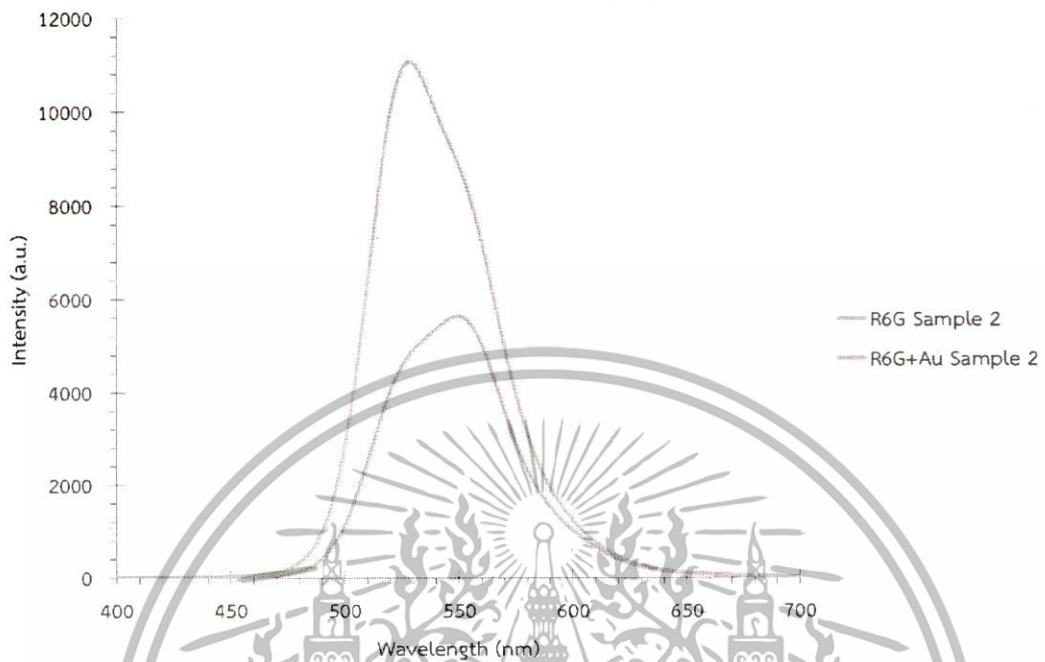
รูปที่ 4.14 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์ม R6G ที่มีความเข้มข้นต่างกัน

ผลของความเข้มข้นต่าง ๆ กันของสารละลาย Au ที่มีต่อการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลาย R6G แสดงดังรูปที่ 4.15-4.19 ตามลำดับ

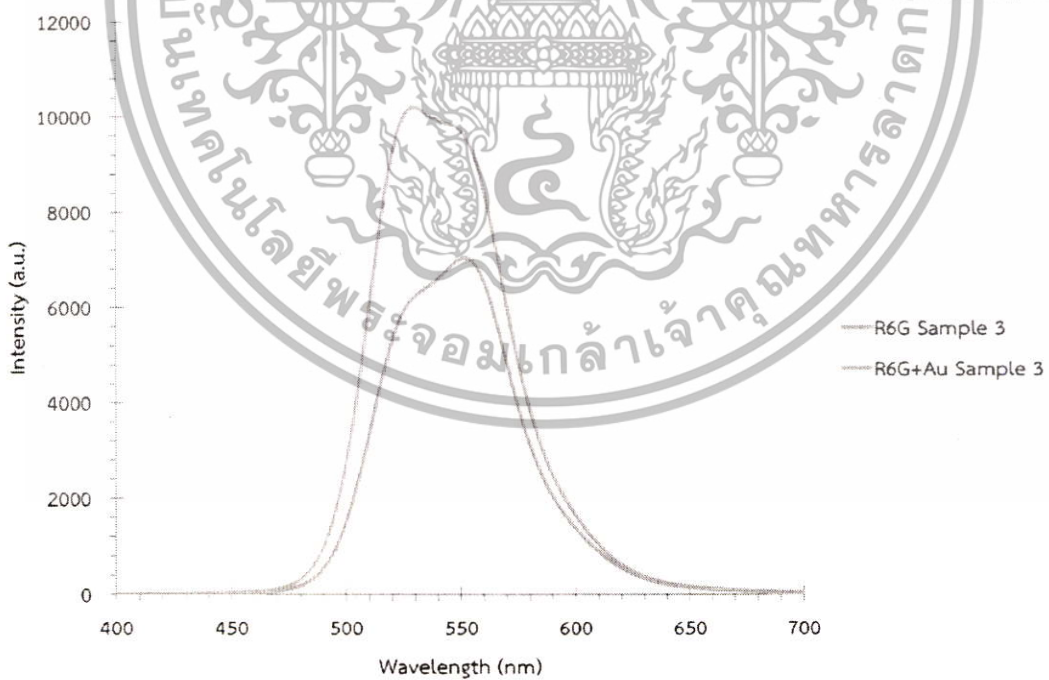


รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

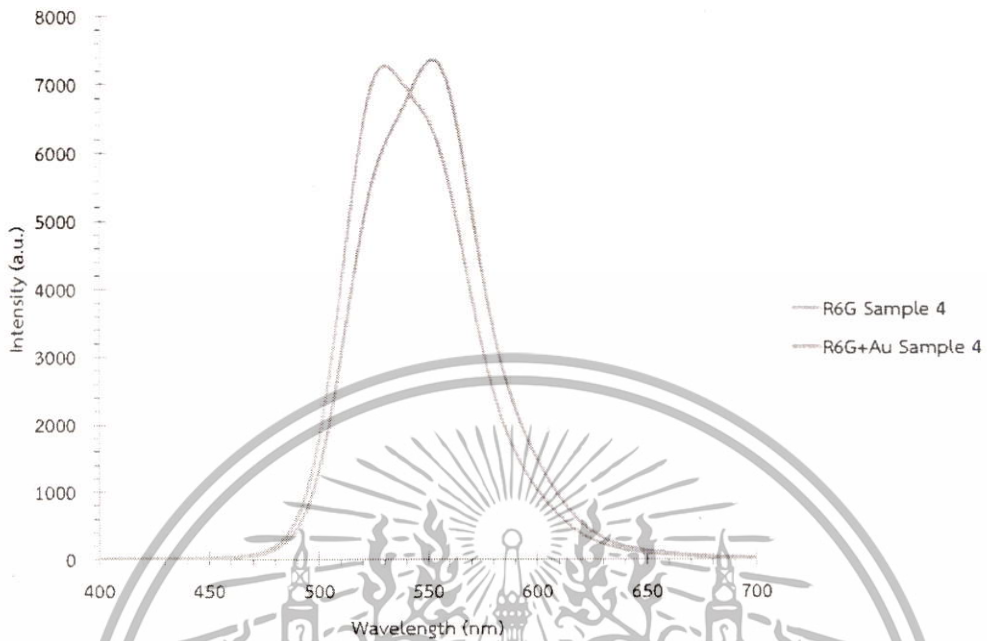


รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 2

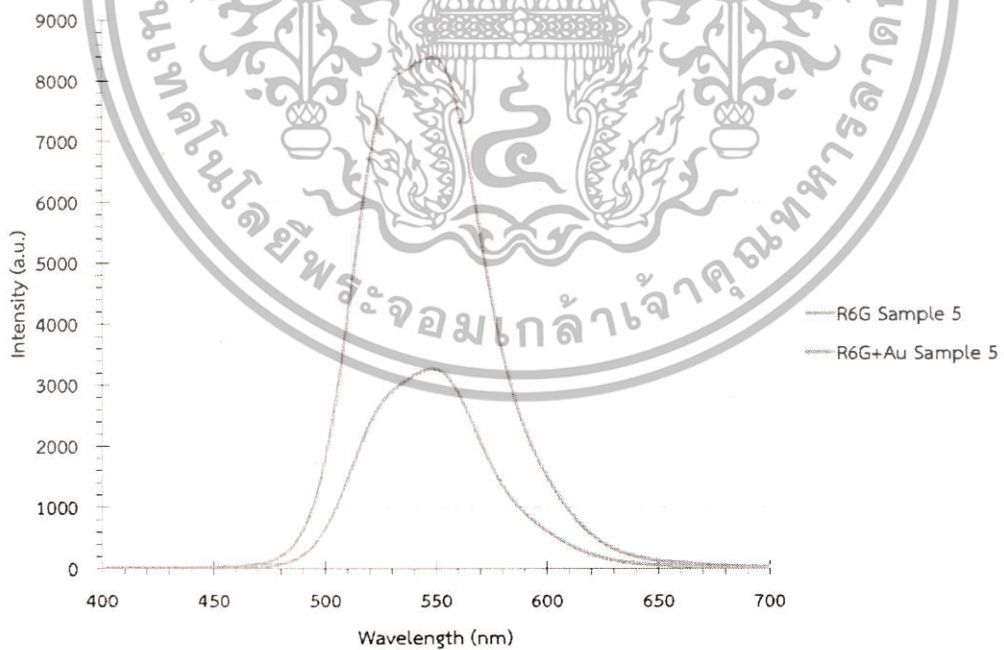


รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 4



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เปรียบเทียบการศึกษา Fluorescence Enhancement ของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

ค่า Fluorescence Enhancement Ratio ระหว่างสารละลาย R6G และสารละลาย R6G+Au ทำการคำนวณโดยอาศัยสมการ

$$\text{Fluorescence Enhancement Ratio} = \frac{\text{Fluorescence Peak R6G+Au}}{\text{Fluorescence Peak R6G}} \quad (4.1)$$

4.3.1 การศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย

จากการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ที่ได้จากการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ โดยการนำค่าการปลดปล่อยแสงสูงสุดของ R6G+Au (Sample) มาเทียบเป็นอัตราส่วนกับ R6G (Reference) จากตารางที่ 4.2 จะได้ประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของการปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนซ์ ดังรูป 4.20 พบว่า Sample 2 และ 3 จะมีค่า Enhancement Ratio ที่สูงสุด



รูปที่ 4.20 Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย

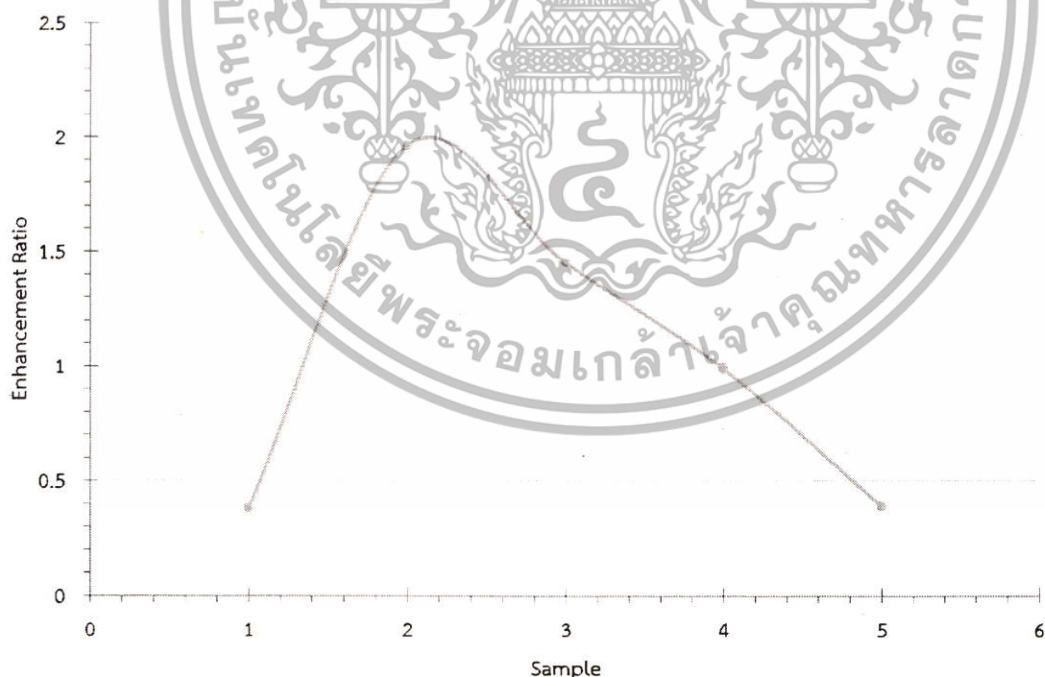
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 Maximum Fluorescence Intensity ของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย

Sample	Molar Ratio (Au : R6G)	Maximum Fluorescence Intensity		
		R6G	R6G+AU	R6G+AU / R6G
1	$15.0 \times 10^3 : 1$	165.41	112.76	0.681700018
2	$5.0 \times 10^3 : 1$	127.11	173.38	1.364015420
3	$2.1 \times 10^3 : 1$	135.40	185.77	1.372008863
4	$1.0 \times 10^3 : 1$	167.87	196.88	1.172812295
5	$0.4 \times 10^3 : 1$	211.40	155.90	0.737464522

4.3.2 การศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ของ R6G+Au ในรูปของฟิล์ม

จากการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ที่ได้จากการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของฟิล์มที่มีความเข้มข้นต่างๆ โดยการนำค่าการปลดปล่อยแสงสูงสุดของ R6G+Au (Sample) มาเทียบเป็นอัตราส่วนกับ R6G (Reference) จากตารางที่ 4.3 จะได้ประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนส์ ดังรูป 4.21 พบว่า Sample 2 จะมีค่า Enhancement Ratio สูงสุด



รูปที่ 4.21 Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์ม

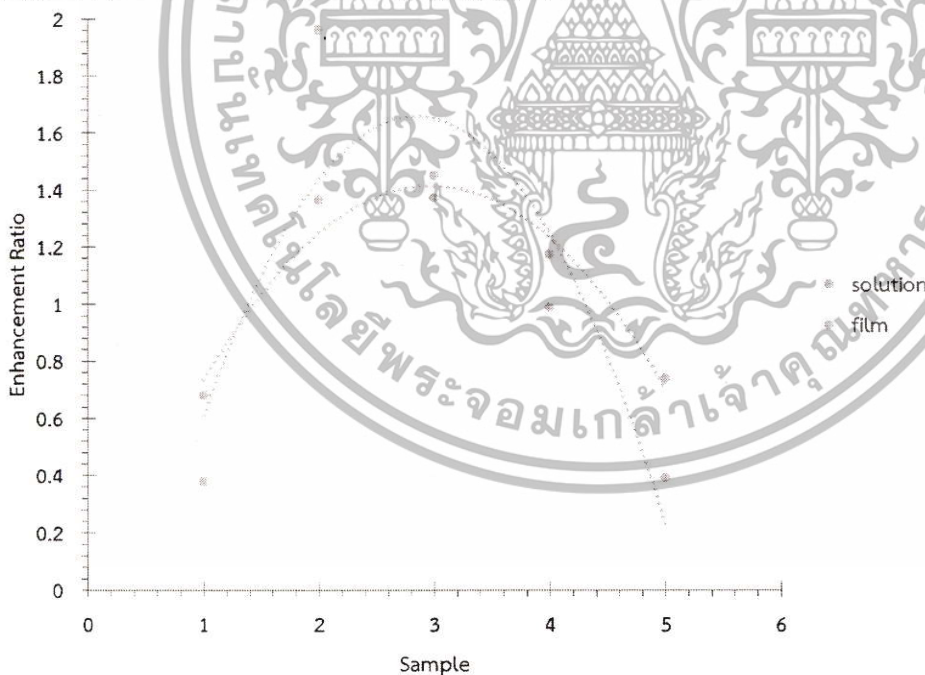
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 Maximum Fluorescence Intensity ของ R6G+Au ในรูปของฟิล์ม

Sample	Molar Ratio (Au : R6G)	Maximum Fluorescence Intensity		
		R6G	R6G+AU	R6G+AU / R6G
1	$15.0 \times 10^3 : 1$	4396.60	1667.30	0.379224856
2	$5.0 \times 10^3 : 1$	5642.60	11072.00	1.962216000
3	$2.1 \times 10^3 : 1$	7033.90	10200.00	1.450120133
4	$1.0 \times 10^3 : 1$	7358.80	7273.80	0.988449204
5	$0.4 \times 10^3 : 1$	8388.10	3273.40	0.390243321

4.3.3 เปรียบเทียบการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

Fluorescence Enhancement Ratio ของ R6G+Au ในรูปของสารละลายจากรูปที่ 4.20 และในรูปของฟิล์มจากรูปที่ 4.21 นำมาเปรียบเทียบได้ดังรูป 4.22



รูปที่ 4.22 กราฟเทียบระหว่าง Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า Sample 3 ทั้งสารละลายและฟิล์มน่าจะให้ค่า Fluorescence Enhancement Ratio ที่สูงสุด นั้นหมายความว่า เป็นเงื่อนไขของความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของ Au ที่มีต่อ R6G ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนอิสระได้ดีที่สุดจาก Au ไปยังชั้นระดับพลังงานต่ำสุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ (Lowest Unoccupied Molecular Orbital: LUMO) ของ R6G ส่วนการลดลงของความเข้มข้นของ Au นั้นแทบจะไม่มีผลกระทบต่อการปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนซ์ นั้นหมายความว่าฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นนั้นน่าจะเกิดจากฟลูออเรสเซนซ์จากสีข้อมเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ Au นั้นอาจจะทำให้เกิดการปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนซ์ลดลงทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการที่อะตอมของ Au มีโอกาสที่จะเข้ามาชนกันมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพในการถ่ายเทอิเล็กตรอนจาก Au ไปยัง R6G ให้เป็นไปได้น้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนทองคำเจือด้วยสีย้อมโดยจัดเตรียมสารเรืองแสงจาก Au และ R6G ในรูปของสารละลายและฟิล์มผ่านแม่พิมพ์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการในการจัดเตรียมสารเรืองแสง รวมถึงทำการศึกษาสมบัติทางแสงของสารเรืองแสงที่เตรียมได้ คือ การดูดกลืนแสง การคายพลังงานในรูปของแสงลูมิเนสเซนซ์และการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ซึ่งการศึกษาทั้งหมดในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังนี้ Au ให้ผลการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 nm โดยให้พื้นที่ทับซ้อนกับการปลดปล่อยแสงของ R6G ที่ความยาวคลื่น 557 nm ส่วนการเลือกการกระตุ้นแสงต่อสารตัวอย่าง เราจะใช้ LED สีเขียว ที่ให้ค่าความยาวคลื่นที่ 527 nm ในส่วนของการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ที่ได้จากการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์มที่มีความเข้มข้นต่างๆ พบว่า Sample3 ทั้งสารละลายและฟิล์มให้ค่า Enhancement Ratio ที่สูงสุด นั้นหมายความว่า เป็นเงื่อนไขของความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของ Au ที่มีต่อ R6G อันเป็นผลเนื่องมาจากมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนอิสระได้ดีที่สุดจาก Au ไปยังชั้นระดับพลังงานต่ำสุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ (Lowest Unoccupied Molecular Orbital: LUMO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

N. Boonpipobanun, P. Damrongsak and K. Locharoenrat, Comparison of Fluorescence Behaviors of Rhodamine 6G with Palladium-coated Gold Nanorods in Formations of Solutions and Thin Films, Applied Mechanics and Materials (Submitted).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นาย กฤษกร โส้เจริญรัตน์

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
PhD	Physical Materials Science	JAIST	2007
MSc	Processing Technology	AIT	2000
BSc	Chemical Technology	Chulalongkorn University	1994

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

K. Locharoenrat, A. Sugawara, S. Takase, H. Sano, and G. Mizutani, Shadow Deposition of Copper Nanowires on the Faced NaCl(110) Template, *Surface Science*, 601 (2007) 4449.

K. Locharoenrat, H. Sano, and G. Mizutani, Phenomenological Studies of Optical Properties of Cu Nanowires, *Science & Technology of Advanced Materials*, 8 (2007) 277.

K. Locharoenrat, H. Sano, and G. Mizutani, Self-Organized Copper Nanowires Studied by Second Harmonic Spectroscopy, *Optical Society of America Technical Digest of Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications* (2007) WE5.

K. Locharoenrat, H. Sano, and G. Mizutani, Rotational Anisotropy in Second Harmonic Intensity from Copper Nanowire Arrays on the NaCl(110) Substrates, *J. Luminescence*, 128 (2008) 824.

K. Locharoenrat, H. Sano, and G. Mizutani, Second Harmonic Spectroscopy of Copper Nanowire Arrays of on the (110) Faceted Faces of NaCl Crystals, *J. Physics: Conference Series*, 100 (2008) 052050.

K. Locharoenrat, H. Sano, and G. Mizutani, Field Enhancement in Arrays of Copper Nanowires Investigated by the Finite-Difference Time-Domain Method, *Surface and Interface Analysis*, 40 (2008) 1635.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K. Locharoenrat, H. Sano, and G. Mizutani, Demonstration of Confocal Sum Frequency Microscopy, *Physica Status Solidi (c)*, 6 (2009) 304.

G. Mizutani, K. Lochaorenrat, H. Li, and H. Sano, Construction of an Optical Sum Frequency Microscope with Confocal Optics, *Optical Society of America Technical Digest of Nonlinear Optics: Optics & Photonics Congress (2009) JWA23*.

G. Nishimura, K. Awasthi, K. Locharoenrat, S. Okawa, and Y. Yamada, Quantification of Fluorescence Target in Tissue Phantoms by Time-domain Diffuse Optical Tomography with Phantoms – Total-Light Approach, *Optical Society of America Technical Digest of Biomedical (2010)*, BTuD11.

G. Nishimura, K. Awasthi, K. Locharoenrat, S. Okawa, and Y. Yamada, Time-Domain Fluorescence Diffuse Optical Tomography for Live Animals by Total-Light Algorithm, *Proceedings of SPIE*, 7896 (2011) 78962Q.

C-Y. Kao, C-W. Chang, K. Locharoenrat, C-M. Chang, Max T-K. Hou, and I-J. Hsu, Compact Optical Delay Line for Long-Range Scanning, *Optics Communications*, 284 (2011) 4243.

K. Locharoenrat, and I-J. Hsu, Optical Delay Line for Rapid Scanning Low-Coherence Reflectometer, *International Journal of Information and Electronics Engineering*, 2 (2012) 904.

K. Locharoenrat, and G. Mizutani, Characterization, Optical, and Theoretical Investigation of Arrays of the Metallic Nanowires Fabricated by a Shadow Deposition Method, *Advanced Materials Research*, 622-623 (2013) 652.

K. Locharoenrat, Nonlinear Optical Properties of Controlled Fabrication of Copper Nanowires by a Shadow Deposition, *Advanced Materials Research*, 622-623 (2013) 777.

A. Thedsakhulwong, K. Locharoenrat, and W. Thowladda, Nitrogen Concentrations on Structural and Optical Properties of Aluminium Nitride Films Deposited by Reactive RF-Magnetron Sputtering, *Advanced Materials Research*, 631-632 (2013) 186.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A. Thedsakhulwong, K. Locharoenrat, and W. Thowladda, Structure and Piezoelectric Properties of Aluminium Nitride Thin films on the Quartz Substrates deposited by Reactive RF-Magnetron Sputtering, *Advanced Materials Research* 699 (2013) 308.

K. Locharoenrat, and I-J. Hsu, Construction of the Optical Delay Line for the Optical Coherence Tomography, *International Journal of Applied Physics and Mathematics* 3 (2013) 137.

K. Locharoenrat, Copper Nanowires on NaCl (110) Template, *Applied Mechanics and Materials*, 313 (2013) 198.

K. Locharoenrat, Investigation of Temporal Profiles at the Symmetrical Points of the Target in Tissue Phantoms by Time-Resolved Fluorescence Diffuse Optical Tomography, *Proceedings of SPIE*, 8883 (2013) 88831I.

K. Locharoenrat, Preparations and Field Emission from Tungsten Nanotips, *Ferroelectrics*, 457 (2013) 76.

K. Locharoenrat, Second-Order Nonlinear Optical Response of Metal Nanostructures, *Advanced Materials Research* 858 (2014) 147.

K. Locharoenrat, REVIEW ARTICLE: Mechanism of Resonant Enhancement of Gold- and Copper-nanowires Arrays, *Advanced Materials Research*, 902 (2014) 29.

K. Locharoenrat, REVIEW ARTICLE: Recent Advances in Nanomaterial Fabrication, *Journal of. Physics: Conference Series* 495 (2014) 012018.

K. Locharoenrat, Optical Property of Indocyanine Green in a Tissue Model, *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 604 (2014) 59.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K. Locharoenrat, Second Harmonic Generation Based on Strong Field Enhancement in Metallic Nanostructured Surface, *Materials Science – Medziagotyra*, 20(4) (2014) 387.

K. Locharoenrat and P. Damrongsak, Plasmonic Properties of Gold-Palladium core-shell Nanorods, *Ukrainian Journal of Physical Optics* 16(3) (2015) 120.

K. Locharoenrat and S. Srivatcharakul, Optical Studies of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Biomedical Application, *Chinese Journal of Physics* 53(4) (2015) 080901.

K. Locharoenrat and P. Damrongsak, Enhancement of Fluorescence in Inorganic Dyes by Metallic Nanostructured Surfaces, *Ukrainian Journal of Physical Optics* 17(1) (2016) 21-26.

K. Locharoenrat, Preparation and Metal Removal from Chitosan/PEG Blend, *Applied Mechanics and Materials*, 835 (2016) 348.

S. Lekchaum and K. Locharoenrat, Recent Trend of Solar Tracking System for Electric Power Conversion, *Applied Mechanics and Materials*, 835 (2016) 731.

M. Brankov and K. Locharoenrat, Photostability Testing of Coumarin-153 Doped ZnO Thin Films Prepared with Spin-Coating Technique, *Ukrainian Journal of Physical Optics* 17(2) (2016) 75-80.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้