

การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอท PbS  
OPTICAL PROPERTIES OF PbS QUANTUM DOTS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอท PbS  
OPTICAL PROPERTIES OF PbS QUANTUM DOTS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

คณะวิทยาศาสตร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปจัดแสดงในที่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

# OPTICAL PROPERTIES OF PbS QUANTUM DOTS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ **IN APPLIED PHYSICS DEPARTMENT OF PHYSICS** ไม่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก **FACULTY OF SCIENCE** เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ACADEMIC YEAR 2014

ชื่อโครงการพิเศษ

การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอท PbS  
OPTICAL PROPERTIES OF PbS QUANTUM DOTS

ชื่อนักศึกษา

นายชนวีร์ ศรีธธา รหัสนักศึกษา 54050501

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2557

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. วิฑูรย์ ยินดีสุข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์  
ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทริยา คำรงค์ศักดิ์	ภัทริยา คำรงค์ศักดิ์
ดร.อาภาภรณ์ สุกุลการเวก	อาภาภรณ์ สุกุลการเวก
ดร.กฤษกร โล่เจริญรัตน์	กฤษกร โล่เจริญรัตน์
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข	วิฑูรย์ ยินดีสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเป็นเอกสารฉบับอื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาสมบัติทางแสงของควอนตัมดอท PbS
ชื่อนักศึกษา	นายชนวีร์ ศรีธธา รหัสนักศึกษา 54050501
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข

### บทคัดย่อ

ควอนตัมดอทมีความน่าสนใจเกี่ยวกับคุณสมบัติทางแสง ดังนั้นเราจึงได้ทำการศึกษาและสังเคราะห์ควอนตัมดอท PbS ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิ 4 ค่า คือ 75, 92, 140 และ 150 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาศึกษาคุณสมบัติทางแสง โดยการเจือจางควอนตัมดอทจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง UV/VIS Spectroscopy เพื่อวัดค่าการดูดกลืนและค่าการส่งผ่าน จากนั้นนำค่าการดูดกลืนสูงสุดของควอนตัมดอทแต่ละตัวมาคำนวณเพื่อหาขนาดของควอนตัมดอท และพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการดูดกลืนแสง และกราฟเปรียบเทียบระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการส่งผ่าน

คำสำคัญ : ควอนตัมดอท พีบีเอส , ค่าการดูดกลืนของแสง , ค่าการส่งผ่านของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	OPTICAL PROPERTIES OF PbS QUANTUM DOTS
Students	Mr. CHANAWEE SATTHA      Student ID 54050501
Degree	Bachelor of Science in Applied Physics
Department	Physics
Academic Year	2014
Advisor	Dr.Witoon Yindeesuk

### Abstract

The quantum dots have interesting of the optical properties. So, we study and synthesize the PbS quantum dots. Under 4 temperature conditions is 75, 92 , 140 and 150 degrees Celsius. In order to study the optical properties, by diluting the quantum dots as a concentration of  $1.875 \times 10^{-9}$  mol/L and  $3.75 \times 10^{-11}$  mol/L. Next, UV/VIS Spectroscopy is using to measure the absorbance and the transmission. Then, the maximum absorbance of each quantum dots' conditions is calculated to determine the size of quantum dots. The absorbance spectra are compared among controlled conditions, and the transmission spectra are also compared among controlled conditions.

**Keywords :** PbS quantum dots , Absorbance , Light transmission

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาสมบัติทางแสงของควอนตัมดอท ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณบุคคล ต่างๆ ที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือตลอดมา อันได้แก่

1. ดร.วิฑูรย์ ยนต์สีสุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่คอยแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหา ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ
2. ดร.พิชชานันท์ อีเศรษฐ์ไศภน อาจารย์ที่คอยช่วยเหลืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษ
3. ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก ดร.กฤษกร ไส้เจริญรัตน์และ ผศ.ดร.ภัทธรียา ดำรงค์ศักดิ์ กรรมการที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่กรุณาเป็นกรรมการคุมสอบ และให้คำปรึกษาข้อมูลข่าวสาร รวมทั้งคอยตรวจสอบผลการทำงานและผลงาน
4. อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้มาตลอดระยะเวลา 4 ปี
5. บิดามารดา ตลอดจนญาติพี่น้องซึ่งคอยให้สนับสนุนดูแลอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจให้ทุกเรื่องเสมอมา
6. เพื่อนๆทุกคนที่คอยให้คำแนะนำและกำลังใจมาโดยตลอด

นอกจากนี้อาจยังมีบุคคลท่านอื่นที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความกรุณา มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ตลอดจนกำลังใจในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้

นายชนวีร์ ศรีธธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
<b>บทที่ 1</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	1
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2</b>	3
2.1 สารกึ่งตัวนำ	3
2.2 บ่อศักย์	4
2.3 ควอนตัมดอท	6
2.4 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต	8
2.5 โฟโตลูมิเนสเซนซ์	10
2.6 UV/VIS Spectroscopy	11
- ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	11
- ชนิดของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์	12
- การประยุกต์ใช้งาน	12
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
<b>บทที่ 3</b>	14
3.1 อุปกรณ์	14
3.2 สารเคมี	14
3.3 การสังเคราะห์สารควอนตัม ดอท PbS	14
3.4 การวัดขนาดของควอนตัม ดอท PbS	15
<b>บทที่ 4</b>	16
4.1 ควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ 75°C	16
4.2 ควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ 92°C	18
4.3 ควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ 140°C	19
4.4 ควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ 150°C	21
4.5 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้กับค่าการดูดกลืนสูงสุดของควอนตัมดอทไปใช้ประ	23

เอกสารนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.6 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้กับขนาดของควอนตัมดอท บทที่ 5	24 25
5.1 สรุปผลการวิจัย	25
5.2 ข้อเสนอแนะ	25
เอกสารอ้างอิง	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีเกี่ยวกับการสร้างสารกึ่งตัวนำมีความก้าวหน้าไปมาก ทำให้นำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ต่างๆ ได้มาก โดยสารกึ่งตัวนำส่วนใหญ่จะสร้างมาจากซิลิกอน ซึ่งมีราคาแพง แดกหักได้ง่าย แต่ในปัจจุบันมีการค้นพบว่าอุปกรณ์ที่สร้างจากควอนตัมดอท จะมีประสิทธิภาพดีกว่าสารกึ่งตัวนำที่สร้างจากซิลิกอน และมีราคาถูกกว่า แต่ยังไม่สามารถกำหนดขนาดของสารกึ่งตัวนำได้ตามที่ต้องการ จึงยังอยู่ในช่วงของการศึกษาค้นคว้า โดยจะเป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในอุตสาหกรรมการสร้างสารกึ่งตัวนำ ถ้าสามารถระบุปัจจัยที่กำหนดขนาดของควอนตัมดอทที่สร้างขึ้นมาได้ ผู้ศึกษาจึงเกิดความสนใจในการสร้างควอนตัมดอท เพื่อที่จะศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสร้างควอนตัมดอท

โดยโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาวิธีการสร้าง ศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของควอนตัมดอท และหาปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดขนาดของควอนตัมดอท

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสร้างควอนตัมดอท
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ และวิธีการสร้างควอนตัมดอท
3. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสร้างควอนตัมดอท

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการสร้างควอนตัมดอท
2. ศึกษาวิธีการสร้าง จัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้สร้างควอนตัมดอท
3. ทำการสร้างควอนตัมดอท และนำควอนตัมดอทที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติต่างๆ
4. วิเคราะห์ผลการทดสอบ และปรับเปลี่ยนวิธีการสร้างเพื่อหาวิธีที่ดีที่สุดในการสร้างควอนตัมดอท

5.สรุปผลการทดลอง

### 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

เป็นตารางแสดงช่วงเวลา que เริ่มทำการศึกษาและเริ่มสร้างควอนตัมดอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนวิจัยและการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
ตุลาคม พ.ศ. 2557 – มกราคม พ.ศ.2558	- ค้นคว้า รวบรวมข้อมูล และศึกษาวิธีการสร้างควอนตัมดอท
มกราคม พ.ศ. 2558	- จัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้สร้างควอนตัมดอท
กุมภาพันธ์-พฤษภาคม พ.ศ. 2558	- ทำการสร้างและศึกษาคุณสมบัติของควอนตัมดอท - วิเคราะห์ผลการศึกษาควอนตัมดอทที่สร้างขึ้น
เมษายน – พฤษภาคม พ.ศ. 2558	- นำข้อมูลที่ได้มาสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองของโครงการ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงวิธีการสร้างและคุณสมบัติต่างของควอนตัมดอท
2. สามารถทำการสร้างควอนตัมดอทขึ้นมาด้วยตัวเอง
3. สามารถอธิบาย วิเคราะห์ผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้ว่าเกิดจากปัจจัยใดบ้าง เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
4. นำความรู้ที่ได้จากการทำโครงการพิเศษนี้ไปต่อยอดในอนาคต

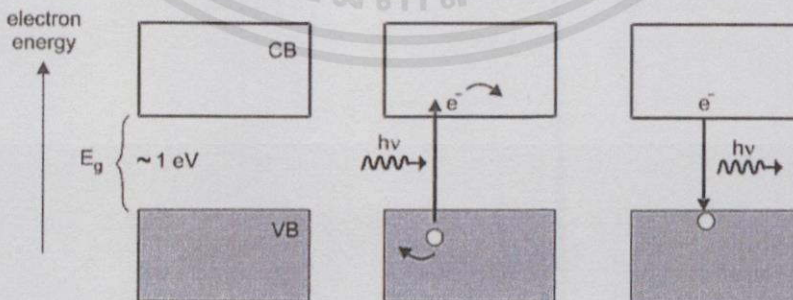
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยอธิบายถึงคุณสมบัติของควอนตัมดอท PbS และหลักการของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของควอนตัมดอท ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.1 สารกึ่งตัวนำ

วัสดุทุกชนิดที่มีแถบพลังงานไม่ต่อเนื่องซึ่งอิเล็กตรอนสามารถอยู่ได้ เมื่ออิเล็กตรอนไม่ถูกกระตุ้น มันจะอยู่ในแถบพลังงานที่ต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม จากหลักการกีดกันของเพาลี แถบพลังงานแต่ละแถบสามารถรองรับอิเล็กตรอนได้จำนวนจำกัด สำหรับเหตุผลนี้แถบพลังงานวงนอกสุด 2 แถบคือแถบวาเลนซ์และแถบคอนดักชัน ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุมากที่สุด โลหะมีแถบวาเลนซ์ที่สมบูรณ์ และจำนวนอิเล็กตรอนในแถบคอนดักชันมีอิสระที่จะเคลื่อนที่ ช่วยให้สามารถจัดการกับประจุได้ พลังงานที่แตกต่างกันระหว่างทั้ง 2 สถานะจะเรียกว่า ช่องว่างแถบพลังงาน สำหรับอิเล็กตรอนที่จะเปลี่ยนสถานะพลังงาน จะต้องได้รับพลังงานอย่างน้อยเท่ากับพลังงานของช่องว่างแถบพลังงาน วัสดุที่เป็นฉนวนจะมีแถบคอนดักชันที่ว่างเปล่าขณะที่อยู่ในสถานะพื้นและมีช่องว่างแถบพลังงานขนาดใหญ่ ทำให้การกระตุ้นอิเล็กตรอนให้ออกจากแถบวาเลนซ์ทำได้ยาก เมื่ออยู่ในสถานะต่ำที่สุดหรือสถานะพื้น สารกึ่งตัวนำมีแถบวาเลนซ์เต็ม และแถบคอนดักชันที่ว่างเปล่า และมีพฤติกรรมทางไฟฟ้าเป็นฉนวน ความแตกต่างคือวัสดุสารกึ่งตัวนำจะมีช่องว่างแถบพลังงานที่เล็กมากประมาณ 1 eV ช่องว่างแถบพลังงานต่ำพอที่โฟตอนจะกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบคอนดักชัน สำหรับโฟตอนที่กระตุ้นอิเล็กตรอน ต้องมีพลังงานอย่างน้อย,  $h\nu$ , เท่ากับช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำในกรณีที่โฟตอนถูกดูดกลืน โฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงานจะไม่สามารถถูกดูดกลืนโดยสารกึ่งตัวนำได้ Photodiode detector มีพื้นฐานมาจากหลักการนี้ เมื่อโฟตอนชนกับสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นให้เข้าไปในแถบคอนดักชันที่อิเล็กตรอนมีอิสระที่จะเคลื่อนที่ ศักย์เหนี่ยวนำจะถูกใช้ทำให้อิเล็กตรอนไหลใน Photocurrent ซึ่งมีการตรวจพบแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.1 ช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้นเข้าไปในแถบคอนดักชัน , โดยจะทิ้งโฮลไว้ข้างหลัง ซึ่งสามารถถูกจัดเป็นอนุภาคบวก และเป็นไปได้ว่าโฟตอนจะมีพลังงานมากกว่าช่องว่างแถบพลังงานและยังคงถูกดูดกลืน ในกรณีนี้ที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากระดับต่ำของแถบวาเลนซ์ไปยังระดับสูงกว่าในแถบคอนดักชัน พลังงานส่วนเกินนี้จะหายไป , อย่างไรก็ตาม, เนื่องจากการชนแบบไม่ยืดหยุ่น เช่น อิเล็กตรอนไปเกาะอยู่ที่ด้านล่างของแถบคอนดักชันและโฮลที่ขึ้นไปด้านบนของแถบวาเลนซ์ เนื่องจากวัสดุจะกลับไปสู่สถานะพื้นเสมอถ้าเป็นไปได้ โฮลและอิเล็กตรอนจะรวมตัวกันแปลงโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับช่องว่างแถบพลังงาน แผนผังของช่องว่างแถบพลังงาน สารกึ่งตัวนำกำลังดูดกลืนโฟตอน,และสารกึ่งตัวนำกำลังแปลงโฟตอนดังแสดงในรูปที่ 2.1

เนื่องจากพลังงานขั้นต่ำที่จำเป็นในการที่จะกระตุ้นอิเล็กตรอนที่ความยาวคลื่นมากๆ ซึ่งสอดคล้องกับโฟตอนพลังงานต่ำ สารกึ่งตัวนำจะไม่ดูดกลืนทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เมื่อความยาวคลื่นลดลงจะมีจุดที่จุดๆสุดเริ่มต้นดูดกลืนอย่างกะทันหัน

## 2.2 บ่อศักย์

บ่อศักย์เป็นโครงสร้างลักษณะโดยพื้นที่ที่มีศักย์ต่ำความกว้าง  $d$  ถูกล้อมรอบด้วยศักย์อนันต์ และกักขังอนุภาคทุกตัวที่อยู่ภายในบ่อศักย์ โดยมีอนุสัญญาว่าศักย์ภายในบ่อศักย์ถูกทำให้เป็นศูนย์เพื่อที่จะทำให้การแก้สมการชเรอดิงเงอได้ง่ายขึ้น และเนื่องจากด้านข้างเป็นอนันต์ จึงไม่มีผลกระทบต่อการศึกษาปัญหาอ้างอิงจากทฤษฎีควอนตัม ค่าพลังงานที่ไม่ต่อเนื่องเท่านั้นที่ได้รับอนุญาตให้อยู่ในบ่อศักย์ อนุภาคทุกตัวมีความยาวคลื่นเดอบรอยที่ขึ้นอยู่กับมวลและพลังงาน และสถานะพลังงานที่ได้รับอนุญาตให้เข้ามาในบ่อศักย์สอดคล้องกับระดับพลังงานที่ก่อให้เกิดความยาวคลื่นเดอบรอยในรูปแบบคลื่นนิ่ง ความยาวคลื่นเดอบรอยและเงื่อนไขสำหรับคลื่นนิ่งได้จากข้างล่าง

$$\lambda_{dB} = \sqrt{\frac{h^2}{2mE}} \quad (1)$$

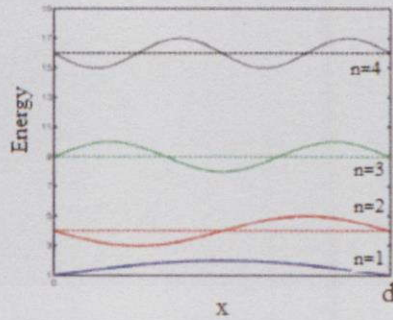
$$n\lambda_{dB} = 2d \quad (2)$$

ใช้ความยาวคลื่นและการแก้สมการแทนการแทนที่พลังงานที่แสดงว่าพลังงานเป็นฟังก์ชันของ  $n$

$$E_n = \frac{h^2 n^2}{8md^2} \quad (3)$$

ค่า  $n$  แต่ละค่าจะสอดคล้องกับหนึ่งในสถานะพลังงานที่ได้รับอนุญาต ที่มี  $n = 1$  เป็นระดับต่ำสุด คลื่นนิ่งในบ่อศักย์จะมี  $n$  ครั้งความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สถานะพลังงานของบ่อศักย์ 1 มิติ

นิพจน์นี้สามารถพบได้โดยการแก้สมการชเรอดิงเงอภายในบ่อศักย์และใช้เงื่อนไขขอบเขต เวลาที่ขึ้นอยู่กับการชเรอดิงเงอจะเป็นดังนี้

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = (E - V)\psi \quad (4)$$

เมื่อศักย์,  $V$ , เป็นศูนย์ การแก้สมการเชิงอนุพันธ์อย่างง่ายนี้แทนการแสดงเป็นคาบสำหรับฟังก์ชันคลื่นที่แสดงอยู่ด้านล่าง

$$\psi = A \sin\left(\sqrt{\frac{8\pi^2 m E}{\hbar^2}} x\right) + B \cos\left(\sqrt{\frac{8\pi^2 m E}{\hbar^2}} x\right) \quad (5)$$

เงื่อนไขขอบเขตคือฟังก์ชันคลื่นเท่ากับ 0 เมื่อ  $x=0$  และ  $x=d$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่า  $B=0$  นอกจากอนุภาคจะไม่มี  $A$  มันจะไม่เท่ากับ 0 เพราะฉะนั้นการแสดงออกภายในฟังก์ชัน  $\sin$  มันจะเท่ากับค่าจำนวนเต็มของ  $\pi$  เมื่อพบเงื่อนไขว่าจะสามารถแก้สมการได้เมื่อ  $E$  เป็นฟังก์ชันของ  $n$

$$0 = A \sin\left(\sqrt{\frac{8\pi^2 m E}{\hbar^2}} d\right) \quad (6)$$

$$n\pi = \sqrt{\frac{8\pi^2 m E}{\hbar^2}} d \quad (7)$$

$$E_n = \frac{n^2 \hbar^2}{8md^2} \quad (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีความยาวมาก วิธีชเรอดิงเงอ มีประโยชน์ในการหาสถานะพลังงานเมื่อด้านข้างของบ่อศักย์ไม่ได้

เพิ่มขึ้นไปเป็นอนันต์ทันทีที่ขอบเขตหรือศักย์ไม่สม่ำเสมอในบ่อศักย์

ย้อนกลับไปทีรูปร่างของคลื่นนิ่ง ในบ่อศักย์ 3 มิติ ,คลื่นนิ่งหรือวิธีการ สามารถอยู่ในทั้ง 3 มิติที่เป็นอิสระซึ่งกันและกัน ดังนั้นนิพจน์สำหรับพลังงานที่ได้รับอนุญาตถูกแก้ไขและตอนนี้ประกอบด้วยค่า  $n$  3 ค่า หนึ่งในนั้นสอดคล้องกับ

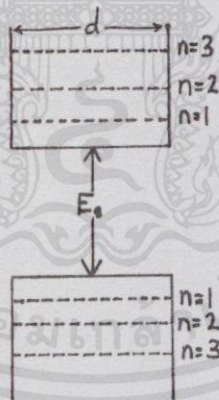
$$E_n = \frac{h^2(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2)}{8md^2} \quad (9)$$

ถ้าความกว้างไม่เท่ากันในแต่ละทิศทาง พลังงานจะเป็นผลรวมของสมการพลังงาน 3 สมการสำหรับทิศทางเดียว ; เป็นหนึ่งเดียวกับระดับพลังงานและความกว้าง

### 2.3 ควอนตัมดอท

ควอนตัมดอทเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีผลึกขนาดนาโนที่แสดงให้เห็นคุณสมบัติทางแสงที่เป็นเอกลักษณ์เนื่องจากการรวมตัวของช่องว่างแถบพลังงานของวัสดุและปรากฏการณ์บ่อศักย์

เนื่องจากขนาดเล็กมาก คือไม่กี่นาโนเมตร ควอนตัมดอทมีพฤติกรรมคล้ายกับบ่อศักย์ใน 3 มิติ เมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้นโดยที่โฟตอนชนกับควอนตัมดอท จะมีพฤติกรรมคล้ายกับอนุภาคในบ่อศักย์อนันต์ เนื่องจากอิเล็กตรอนไม่สามารถหนีออกจากควอนตัมดอทได้ โสไลถูกสร้างโดยการกระตุ้นอิเล็กตรอน มีพฤติกรรมในแบบเดียวกัน



รูปที่ 2.3 แผนภาพระดับพลังงานของควอนตัมดอท

อิเล็กตรอนเมื่อถูกกระตุ้นไปอยู่ในแถบคอนดักชันในสถานะพลังงาน  $n$  และโฮลอยู่ในแถบวาเลนซ์ในสถานะพลังงาน  $n$  เช่นเดียวกัน ดังนั้น ความแตกต่างของพลังงานที่น้อยที่สุดระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮลไม่ใช่เพียงช่องว่างแถบพลังงาน แต่เป็นพลังงานที่ต่างกันระหว่างสถานะพลังงาน  $n=1$  ของโฮลในแถบวาเลนซ์และสถานะพลังงาน  $n=1$  ของอิเล็กตรอนในแถบคอนดักชัน ความแตกต่างนี้จะเท่ากับสมการพลังงานบ่อศักย์ของอิเล็กตรอนบวกกับสมการพลังงานบ่อศักย์ของโฮลบวกกับค่าช่องว่างแถบพลังงานของวัสดุ

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = E_{BG} + \frac{h^2(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2)}{8m_e^*d^2} + \frac{h^2(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2)}{8m_h^*d^2} \quad (10)$$

โฟตอนจะมีพลังงานเพียงพอที่จะกระตุ้นอิเล็กตรอนและถูกดูดกลืน ในวัสดุสารกึ่งตัวนำ โอลและอิเล็กตรอนมีมวลยังผลที่ใช้ในสมการข้างบนต่างกัน และค่านี้สามารถดูได้จากคู่มือวัสดุสารกึ่งตัวนำ นี่คือนิ่งในปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นอิเล็กตรอน เรียกว่าปรากฏการณ์เอ็กซิตอน พาหะประจุ 2 ตัว โอลและอิเล็กตรอนไม่ได้้อย่างโดดเดี่ยว แต่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน สร้างพลังงานศักย์ที่เป็นลบดังสมการด้านล่าง

$$V = \frac{-e^2}{4\pi r \epsilon} \quad (11)$$

ประจุพาหะทั้ง 2 ตัวโคจรรอบกันและกัน คล้ายกับการมีปฏิกิริยาต่อกันระหว่างโปรตอนและอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจน และนำไปสู่การเพิ่มเทอมพลังงานจลน์ เนื่องจากโปรตอนในอะตอมมีขนาดใหญ่มาก จึงพิจารณาว่าอยู่กับที่โดยมีอิเล็กตรอนโคจรรอบๆ สมมติฐานที่คล้ายกันจะดำเนินการเกี่ยวกับโอล แม้ว่าโอลจะไม่มีขนาดใหญ่เหมือนโปรตอน แต่ก็ยังหนักกว่าอิเล็กตรอน แรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ตั้งจุดอิเล็กตรอนให้อยู่ในวงโคจรเรียกว่าแรงคูลอมบ์ (แรงประจุไฟฟ้า) และทราบความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและความเร็วของการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะสามารถแก้ปัญหาสำหรับพลังงานจลน์

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (12)$$

$$\frac{e^2}{4\pi \epsilon r^2} = m_e^* \frac{v^2}{r} \quad (13)$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{e^2}{8\pi \epsilon r} = KE \quad (14)$$

พลังงานทั้งหมดของการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโอลจะเท่ากับพลังงานจลน์บวกกับพลังงานศักย์

$$E_x = KE + V = \frac{e^2}{8\pi \epsilon r} - \frac{e^2}{4\pi \epsilon r} = -\frac{e^2}{8\pi \epsilon r} \quad (15)$$

รวมทั้งปัจจัยนี้, สมการสุดท้ายสำหรับพลังงานของการดูดกลืนหรือการเปล่งโฟตอนคือ

$$\frac{hc}{\lambda} = E_{BG} + \frac{h^2(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2)}{8m_e^*d^2} + \frac{h^2(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2)}{8m_h^*d^2} - \frac{e^2}{8\pi \epsilon r} \quad (16)$$

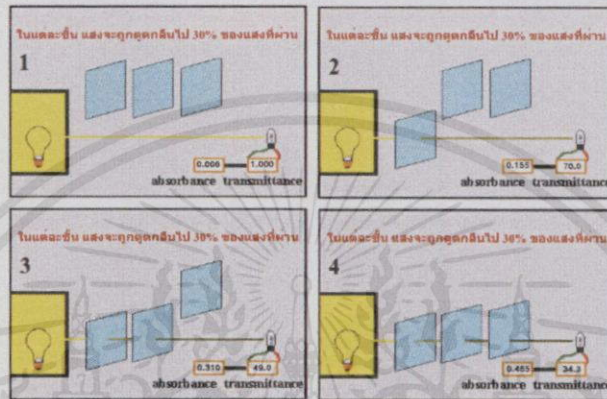
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

### 2.4.1 กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) มีใจความว่า

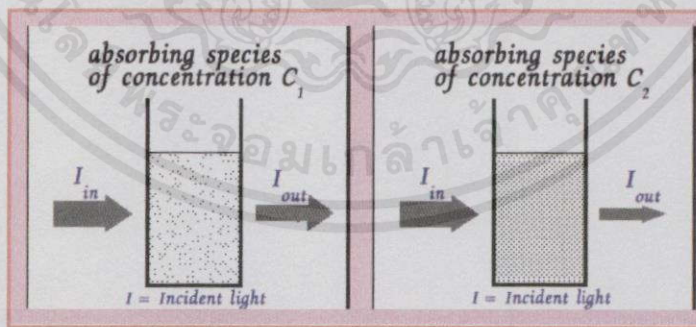
“เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (monochromatic light) ผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”



รูปที่ 2.4 จะเห็นว่าทุกๆ ภาคตัดขวางที่แสงเดินทางผ่าน จะถูกโมเลกุลในแต่ละชั้นจะดูดกลืนแสงไป 30% เสมอ

### 2.4.2 กฎของเบียร์ (Beer's law) มีใจความว่า

“เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”



รูปที่ 2.5 ถ้าความเข้มข้น  $C_2 > C_1$  ดังนั้นแสงที่ผ่านสารละลาย  $C_2$  ออกมาจะเหลือน้อยกว่าแสงที่ผ่านออกมาจากสารละลาย  $C_1$  เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงกว่า จะมีโมเลกุลที่สามารถดูดกลืนแสงขวางทางเดินแสงอยู่มากกว่า

เมื่อเราวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน จึงจำเป็นต้องรวมกฎของ

เบียร์และกฎของแลมเบิร์ต เรียกเป็น กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) ครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างเราสามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในตัวอย่าง (Incident light:  $I_0$ ) แล้ววัดปริมาณแสงที่เหลื้อผ่านออกมา ( $I$ ) โดยเทียบกับแสงที่ผ่านออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง

Transmittance (T) เป็นสัดส่วนปริมาณแสงที่ผ่านออกมา ( $I$ ) ต่อปริมาณแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่าง ( $I_0$ ) เขียนสมการได้ว่า

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (17)$$

Absorbance (A) นิยามสมการได้เป็น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = -\log T \quad (18)$$

โดยทั่วไปจะรายงานค่า transmittance เป็นเปอร์เซ็นต์ (%T) ดังนั้น

$$\%T = 100 \frac{I}{I_0} \quad (19)$$

$$\log \%T = \log 100 \frac{I}{I_0} \quad (20)$$

$$\log \%T = 2 + \log \frac{I}{I_0} \quad (21)$$

$$\log \%T = 2 - A \quad (22)$$

หรือ 
$$A = 2 - \log \%T \quad (23)$$

ดังนั้น ค่า T มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 และ %T มีค่าตั้งแต่ 0-100

ส่วน  $A=0$  เมื่อแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างไม่ถูกดูดกลืนไว้ และผ่านออกมา 100%,

$A=1$  เมื่อแสงผ่านออกมาเพียง 10% และ  $A=2$  ถ้าแสงผ่านออกมาน้อยมากเพียง 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Absorbance ที่ Transmittance ต่างๆ

Transmittance $\left[ \frac{I}{I_0} \right]$	%T $\left[ \log \frac{I}{I_0} \right]$	log %T	Absorbance [-log T]
1	100	2	0
0.1	10	1	1
0.01	1	0	2
0.001	0.1	-1	3

### 2.5 โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence)

การเปล่งแสงในลักษณะโฟโตลูมิเนสเซนซ์เป็นปรากฏการณ์การเปล่งแสงอันเนื่องมาจากการกระตุ้นพาหะอิเล็กตรอนด้วยวิธีการส่องแสง (Excitation by light) จนวนพาหะอิเล็กตรอนมีพลังงานมากเพียงพอที่จะกระโดดข้ามช่องว่างพลังงานขึ้นไปอยู่ในแถบความนำได้ แต่เนื่องจากพาหะอิเล็กตรอนเหล่านี้มีความไม่เสถียรในสถานะใหม่นี้ ดังนั้นจึงต้องตกกลับมาอยู่ในสถานะเดิมโดยจะมีการคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนหรือแสง ซึ่งค่าพลังงานที่ปล่อยออกมาจะมีค่าขึ้นอยู่กับช่วงกว้างของระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนต้องกระโดดมารวมตัวกับโฮล โดยความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน (E) กับความยาวคลื่นของแสง ( $\lambda$ ) เป็นดังนี้คือ

$$E = \frac{hc}{\lambda} \tag{24}$$

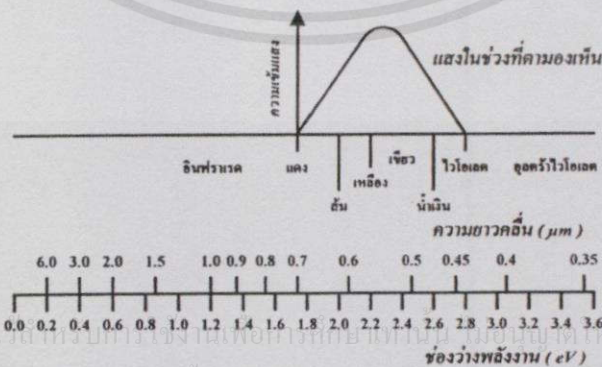
โดยที่ h เป็นค่าคงตัวของพลังค์  
c เป็นความเร็วแสง

$$= 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$$

$$= 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda(\text{nm}) = \frac{1240}{E} (\text{eV}) \tag{25}$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า การที่แสงที่เปล่งออกมาจะมีความยาวคลื่นหรือสีต่างๆได้นั้น ขึ้นอยู่กับค่าพลังงานของอิเล็กตรอนที่คายออกมานั่นเอง โดยสีของแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆจะถูกแสดงเอาไว้ในรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.6 แผนภาพสีของแสงที่ความยาวคลื่น และค่าพลังงานต่างๆ จึงที่มีการนำไปใช้

## 2.6 UV-VIS Spectroscopy

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง(absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

### 2.6.1 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

#### 2.6.1.1 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วย แหล่งกำเนิดแสง มีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสง ช่วง UV ใช้หลอด  $H_2$  and  $D_2$  lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm ชนิดของสเปกโทรสโกปี UV molecular absorption และช่วง visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm ชนิดของสเปกโทรสโกปีเป็นแบบ UV/visible/near-IR molecular absorption

#### 2.6.1.2 Monochromator

ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์(กระจกกาลิ) ปริซึม (prism) หรือ เกรตติง (grating)

#### 2.6.1.3 เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (cell sample) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวท (cuvettes) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

#### 2.6.1.4 Detector

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

(photomultiplier tube, PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector) มีด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 ชนิดของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์

2.6.2.1 single beam เป็นเครื่องที่ใช้ลำแสงเดี่ยวจากต้นกำเนิดแสงผ่านโมโนโครมาเตอร์ แล้วผ่านสารละลาย แล้วจึงไปยังมาตรวัดแสง ทำให้การวัดต้องปรับ 0 และ 100% T ด้วยสารละลายแบลนด์

2.6.2.2 แบบ double beam แสงที่ผ่าน monochromator ถูกแยกออกเป็น 2 ลำแสงด้วย beam splitter แสงแรกผ่าน sample cell และอีกแสงหนึ่งผ่าน blank แล้วผ่านไปยังเครื่องวัดแสง

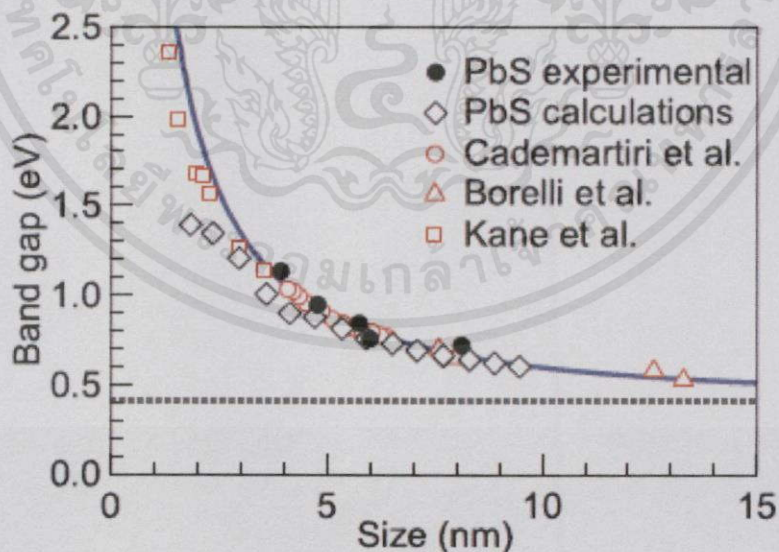
## 2.6.3 การประยุกต์ใช้งาน

2.6.3.1 การวัดการดูดกลืนและการทะลุผ่านของคลื่นแสง เช่น ชิ้นตัวอย่างกระจก แก้ว แว่นตา กั้นแดด คอนแทคเลนส์ กระจกเคลือบด้วยฟิล์มบาง หมึกพิมพ์ เครื่องสำอาง ตัวอย่างทางด้านชีวภาพ เป็นต้น

2.6.3.2 การหาค่าการสะท้อนของแสงในชั้นตัวอย่างฟิล์มและการเคลือบบนพื้นผิว ผ้า ผงโลหะ ผงออกไซด์ของโลหะ ผงสี พลาสติก และเซรามิก เป็นต้น

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ.2009 Moreels และคณะได้ทำการศึกษาเรื่อง คุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอท PbS ที่ขึ้นอยู่กับขนาด เพื่อที่จะหาว่าขนาดมีผลต่อคุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอท PbS หรือไม่ โดยการสร้างควอนตัมดอทขึ้นมาแล้วนำค่า Band gap และขนาดมาเปรียบเทียบกันโดยนำควอนตัมดอทที่คนอื่นสร้างและควอนตัมดอทที่คำนวณขึ้นมาเปรียบเทียบกับ จะได้กราฟ



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างระดับของควอนตัมดอท PbS และขนาดของอนุภาคควอนตัมดอท เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของช่องว่างระดับพลังงานและขนาดของควอนตัมดอทคือ

$$E_0 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d} \quad (26)$$

โดยเราสามารถหาขนาดของควอนตัมดอทจากสมการที่ 26 ได้โดยใช้

$$E_0 = \frac{hc}{\lambda} \quad (27)$$

เมื่อแทนค่า  $\frac{hc}{\lambda}$  จะได้  $E_0$  และนำไปแทนในสมการที่ 26

จะได้ค่า  $d$  ออกมา โดยค่า  $d$  นี้คือขนาดของควอนตัมดอทที่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์

1. เตาให้ความร้อน(Hot plate)
2. Three-neck flask
3. เข็มฉีดยา
4. บีกเกอร์
5. เครื่องชั่งดิจิตอล
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. กระจกบอดวง
8. Magnetic bar

#### 3.2 สารเคมี

1. Sulfur
2. Methanol
3. Butanol
4. OLA
5.  $PbCl_2$
6. Toluene

#### 3.3 การสังเคราะห์ควอนตัมดอท PbS

1. นำสารละลายซัลเฟอร์หนัก 0.16 กรัม มาละลายใน OLA ขนาด 15 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 120°เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำให้เย็นลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง
  2. ใน Three-neck flask นำ  $PbCl_2$  ขนาด 0.56 กรัมมาผสมกับ OLA ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และนำไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 75-150°เซลเซียส (ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคที่ต้องการ)
  3. เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที นำสารละลายซัลเฟอร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมกับ OLA ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วฉีดเข้าไปใน Three-neck
  4. เมื่อครบเวลา Growth time (โดยประมาณ 1-20 นาที) ปฏิกิริยาจะถูกหยุด โดยการเติมบูธานอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และเมธานอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
  5. จากนั้นนำสารที่อยู่ใน Three-neck flask ไปปั่นและรินของเหลวออก แล้วนำควอนตัมดอทไปใส่ในโหลอื่น
  6. ทำให้ตกตะกอนด้วยการเติมเมธานอล จากนั้นนำไปปั่นและรินเอาของเหลวออก
  7. นำควอนตัมดอทที่รินของเหลวออกแล้วไปใส่ในโหลอื่น และตกตะกอนอีกครั้งด้วยเมธานอล
- ไม่ว่าการนี้เพื่อการจัดสิ่งสกปรก ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำไปปั่นและรินของเหลวออก จากนั้นนำไปใส่ในโหลอื่น และเก็บในที่มืดภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

#### 3.4 การวัดขนาดของควอนตัมดอท PbS

เราจะวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของควอนตัมดอท PbS ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนและค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางด้วยเครื่อง uv-vis spectrophotometer จากนั้นนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟ แล้วนำค่าความยาวคลื่นที่สูงที่สุดมาคำนวณหาขนาดของควอนตัมดอท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอท PbS ที่มีอนุกรมในการสร้างและปริมาณการเจือจางที่แตกต่างกัน โดยอนุกรมที่แตกต่างกันคือ  $75^{\circ}\text{C}$  ,  $92^{\circ}\text{C}$  ,  $140^{\circ}\text{C}$  และ  $150^{\circ}\text{C}$  และถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตรมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ $75^{\circ}\text{C}$ และถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น $1.875 \times 10^{-9}$ โมล/ลิตร และ $3.75 \times 10^{-11}$ โมล/ลิตร

##### 4.1.1. ค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอท

เมื่อนำควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  ที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืน แล้วนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร จะได้ว่า ค่าการดูดกลืนมีค่าสูงที่สุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 290 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรจะมากกว่าควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร และค่อยๆ ลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ทำให้เราสามารถคำนวณหาขนาดของควอนตัมดอทได้จากสูตร

$$E_0 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

โดย  $E_0$  หาได้จาก

$$E_0 = \frac{hc}{\lambda}$$

แทนค่า

$$h = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}, c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}, \lambda = 290 \text{ nm} = 2.9 \times 10^{-7} \text{ m}$$

จะได้

$$E_0 = \frac{(4.14 \times 10^{-15})(3 \times 10^8)}{2.9 \times 10^{-7}} = 4.28 \text{ eV}\cdot\text{s}^2$$

นำค่า  $E_0$  มาแทนใน

$$E_0 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

จะได้

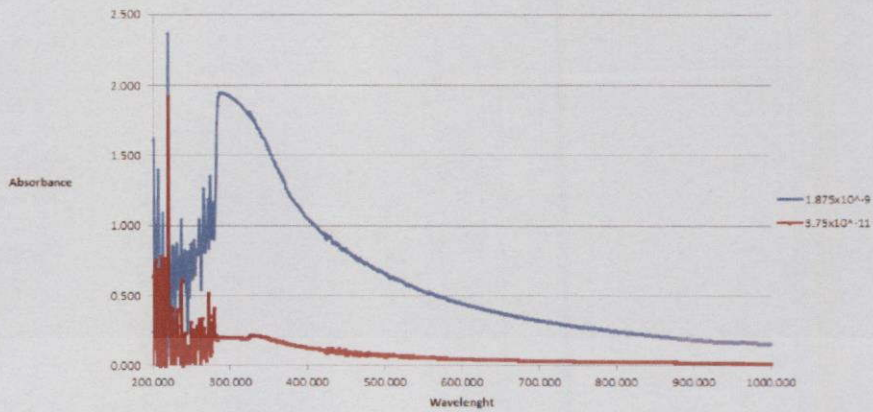
$$4.28 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

ดังนั้น

$$d = 0.848 \text{ nm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

หลังจากการคำนวณขนาดของควอนตัมดอททำให้รู้ว่าควอนตัมดอทที่สร้างขึ้นมีขนาดแค่ 0.848 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดที่เล็กมาก



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร

#### 4.1.2. ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอท

เมื่อนำควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  ที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร แล้วนำไปวัดค่าการส่งผ่านพบว่าค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรมีค่าน้อยกว่าค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร แต่ค่าการส่งผ่านจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรจะไม่สามารถส่งผ่านได้ แต่ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตรจะส่งผ่านได้



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ  $92^{\circ}\text{C}$  และถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร

#### 4.2.1. ค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอท

เมื่อนำควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ  $92^{\circ}\text{C}$  ที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืน แล้วนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร จะได้ว่า ค่าการดูดกลืนมีค่าสูงที่สุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 290 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรจะมากกว่าควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตรและค่อยๆ ลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ทำให้เราสามารถคำนวณหาขนาดของควอนตัมดอทได้จากสูตร

$$E_0 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

โดย  $E_0$  หาได้จาก

$$E_0 = \frac{hc}{\lambda}$$

แทนค่า

$$h = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}, c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}, \lambda = 290 \text{ nm} = 2.9 \times 10^{-7} \text{ m}$$

จะได้

$$E_0 = \frac{(4.14 \times 10^{-15})(3 \times 10^8)}{2.9 \times 10^{-7}} = 4.28 \text{ eV}\cdot\text{s}^2$$

นำค่า  $E_0$  มาแทนใน

$$E_0 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

จะได้

$$4.28 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

ดังนั้น

$$d = 0.848 \text{ nm}$$

หลังจากการคำนวณขนาดของควอนตัมดอททำให้รู้ว่าควอนตัมดอทที่สร้างขึ้นมีขนาดแค่ 0.848 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร

#### 4.2.2. ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอท

เมื่อนำควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ  $92^{\circ}\text{C}$  ที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร แล้วนำไปวัดค่าการส่งผ่านพบว่าค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรมีค่าน้อยกว่าค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตรแต่ค่าการส่งผ่านจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรจะไม่สามารถส่งผ่านได้ แต่ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตรจะส่งผ่านได้



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร

#### 4.3 ควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ $140^{\circ}\text{C}$ และถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น $1.875 \times 10^{-9}$ โมล/ลิตร และ $3.75 \times 10^{-11}$ โมล/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

##### 4.3.1. ค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอท

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เมื่อนำควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ  $140^{\circ}\text{C}$  ที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น นำไปใช้

$1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืน แล้วนำค่าที่ได้มาเขียน

กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร จะได้ว่า ค่าการดูดกลืนมีค่าสูงที่สุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 290 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรจะมากกว่าควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตรและค่อยๆ ลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ทำให้เราสามารถคำนวณหาขนาดของควอนตัมดอทได้จากสูตร

$$E_0 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

โดย  $E_0$  หาได้จาก

$$E_0 = \frac{hc}{\lambda}$$

แทนค่า

$$h = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}, c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}, \lambda = 290 \text{ nm} = 2.9 \times 10^{-7} \text{ m}$$

จะได้

$$E_0 = \frac{(4.14 \times 10^{-15})(3 \times 10^8)}{2.9 \times 10^{-7}} = 4.28 \text{ eV} \cdot \text{s}^2$$

นำค่า  $E_0$  มาแทนใน

$$E_0 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

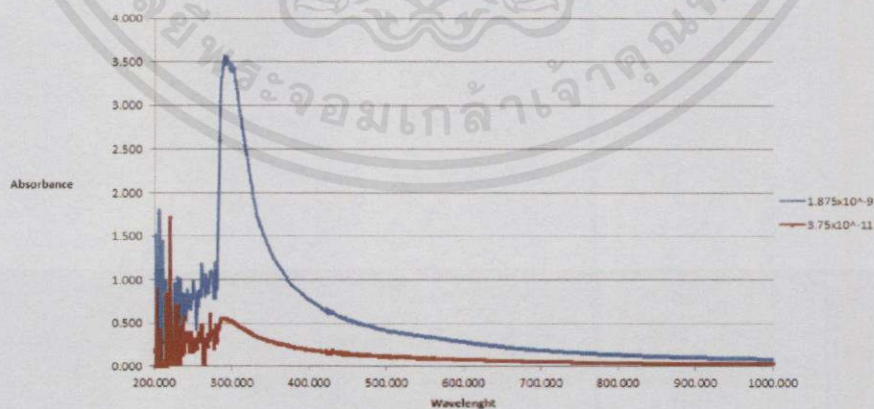
จะได้

$$4.28 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

ดังนั้น

$$d = 0.848 \text{ nm}$$

หลังจากการคำนวณขนาดของควอนตัมดอททำให้รู้ว่าควอนตัมดอทที่สร้างขึ้นนั้นมีขนาดแค่ 0.848 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กมาก



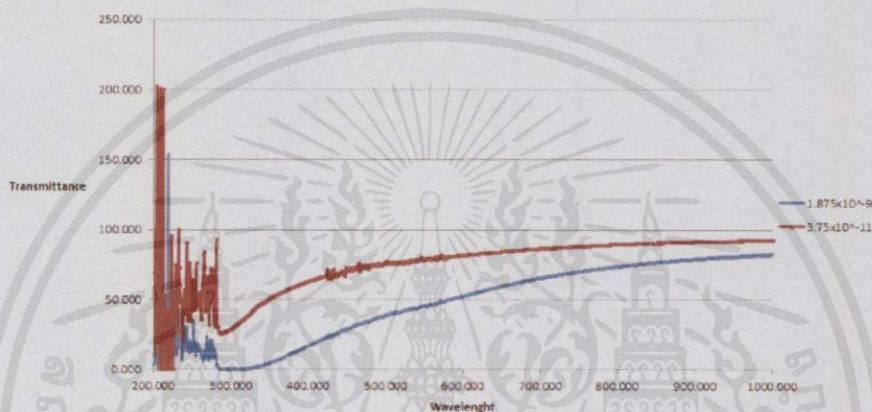
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็น 1.875  $\times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ 3.75  $\times 10^{-11}$  โมล/ลิตร ยกย่องคุณความดีของคุณที่นำพาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2. ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอท

เมื่อนำควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ  $140^{\circ}\text{C}$  ที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร แล้วนำไปวัดค่าการส่งผ่านพบว่าค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรมีค่าน้อยกว่าค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตรแต่ค่าการส่งผ่านจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรจะไม่สามารถส่งผ่านได้ แต่ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตรจะส่งผ่านได้



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร

#### 4.4 ควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ $150^{\circ}\text{C}$ และถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น $1.875 \times 10^{-9}$ โมล/ลิตร และ $3.75 \times 10^{-11}$ โมล/ลิตร

##### 4.4.1. ค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอท

เมื่อนำควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  ที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืน แล้วนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร จะได้ว่า ค่าการดูดกลืนมีค่าสูงที่สุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 290 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรจะมากกว่าควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตรและค่อยๆ ลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ทำให้เราสามารถคำนวณหาขนาดของควอนตัมดอทได้จากสูตร

$$E_0 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

โดย  $E_0$  หาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ  $E_0 = \frac{hc}{\lambda}$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีไหนก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}, c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}, \lambda = 290 \text{ nm} = 2.9 \times 10^{-7} \text{ m}$$

จะได้

$$E_0 = \frac{(4.14 \times 10^{-15})(3 \times 10^8)}{2.9 \times 10^{-7}} = 4.28 eV \cdot s^2$$

นำค่า  $E_0$  มาแทนใน

$$E_0 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

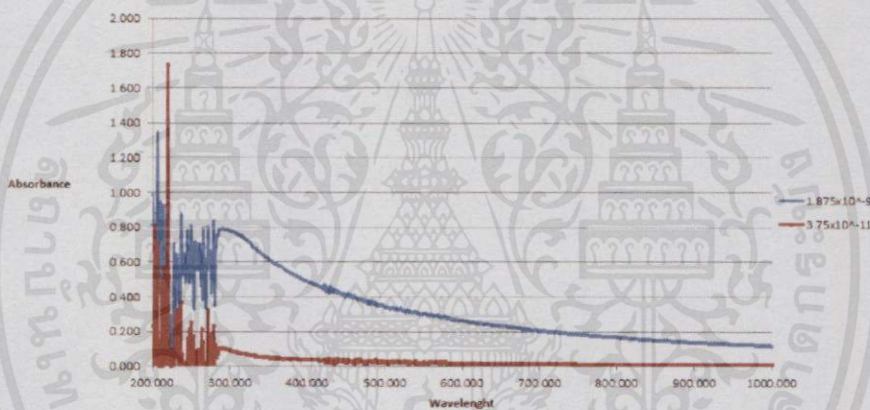
จะได้

$$4.28 = 0.41 + \frac{1}{0.0252d^2 + 0.283d}$$

ดังนั้น

$$d = 0.848 nm$$

หลังจากการคำนวณขนาดของควอนตัมดอททำให้รู้ว่าควอนตัมดอทที่สร้างขึ้นมามีขนาดแค่ 0.848 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กมาก

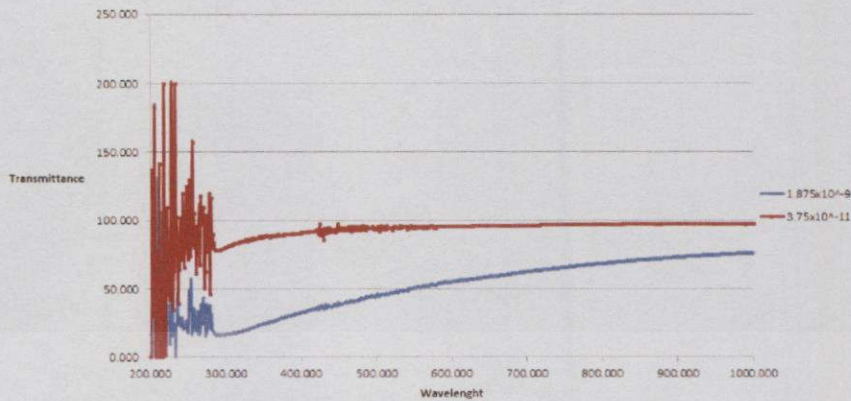


รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร

#### 4.4.2. ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอท

เมื่อนำควอนตัมดอท PbS ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิ  $150^\circ C$  ที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร แล้วนำไปวัดค่าการส่งผ่านพบว่าค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรมีค่าน้อยกว่าค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตรแต่ค่าการส่งผ่านจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตรจะไม่สามารถส่งผ่านได้ แต่ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $3.75 \times 10^{-11}$  โมลจะส่งผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร และ  $3.75 \times 10^{-11}$  โมล/ลิตร

#### 4.5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอนุภาคนาโนที่ใช้สร้างควอนตัมดอทและค่าการดูดกลืนสูงสุดของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น $1.875 \times 10^{-9}$ โมล/ลิตร

เป็นกราฟที่จะแสดงการเปรียบเทียบอนุภาคนาโนที่ใช้สร้างควอนตัมดอทและค่าการดูดกลืนสูงสุดของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร ว่าอนุภาคนาโนมีผลหรือไม่เมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนสูงสุดของควอนตัมดอทที่สร้างด้วยอนุภาคนาโนต่างๆกัน โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์นี้

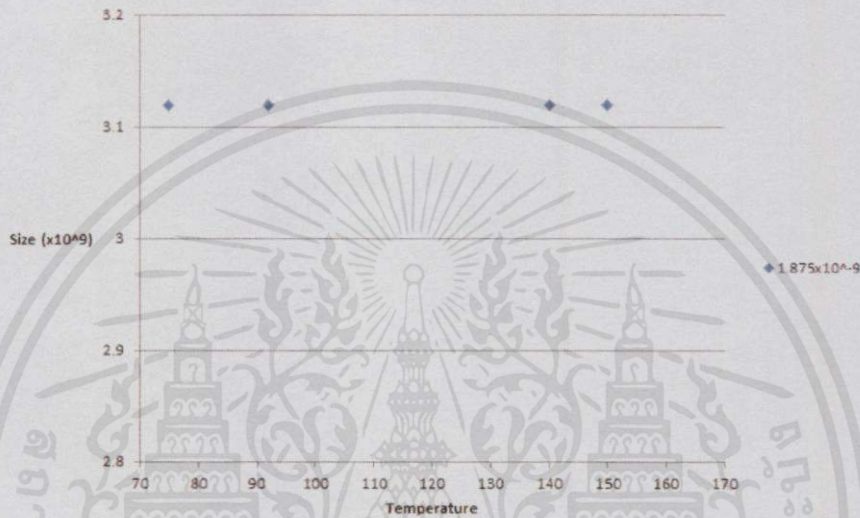


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนสูงสุดของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมลกับอนุภาคนาโนที่ใช้สร้างควอนตัมดอท

จากกราฟพบว่าอนุภาคนาโนที่ใช้สร้างควอนตัมดอทไม่มีผลต่อค่าการดูดกลืนสูงสุดของควอนตัมดอท นั่นคือไม่ว่าจะสร้างควอนตัมดอทที่อนุภาคนาโนเท่าใดค่าการดูดกลืนสูงสุดจะยังเท่าเดิม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้สร้างควอนตัมดอทและขนาดของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น $1.875 \times 10^{-9}$ โมล/ลิตร

เป็นกราฟที่จะแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้สร้างควอนตัมดอทและขนาดของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมล/ลิตร ว่าอุณหภูมิมีผลหรือไม่มีผลเมื่อเทียบกับขนาดของควอนตัมดอทที่สร้างด้วยอุณหภูมิต่างๆกัน โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์นี้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างขนาดของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้น  $1.875 \times 10^{-9}$  โมลกับอุณหภูมิที่ใช้สร้างควอนตัมดอท

จากกราฟพบว่าอุณหภูมิที่ใช้สร้างควอนตัมดอทไม่มีผลต่อขนาดของควอนตัมดอท นั่นคือไม่ว่าจะสร้างควอนตัมดอทที่อุณหภูมิเท่าใดขนาดของควอนตัมดอทจะยังเท่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการนำควอนตัมดอทไปวัดค่าการดูดกลืน ,การส่งผ่าน ด้วยเครื่อง UV/VIS Spectroscopy แล้วนำมาคำนวณพบว่าควอนตัมดอทที่ถูกสร้างขึ้นในเงื่อนไขที่ต่างกัน มีขนาดที่เท่ากัน ทำให้ทราบว่าเงื่อนไขที่ใช้ไม่มีผลต่อขนาดของควอนตัมดอท โดยเงื่อนไขที่ว่านี้คือ อุณหภูมิที่ใช้สร้างควอนตัมดอท โดยค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจาง 50 เท่า จะมากกว่าค่าการดูดกลืนของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจาง 250 เท่า และค่าการส่งผ่านจะกลับกัน คือ ค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจาง 50 เท่าจะน้อยกว่าค่าการส่งผ่านของควอนตัมดอทที่ถูกเจือจาง 250 เท่า

จากการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับค่าการดูดกลืนสูงสุดของควอนตัมดอทพบว่า อุณหภูมิที่ใช้สร้างควอนตัมดอทไม่มีผลต่อค่าการดูดกลืนสูงสุด นั่นคือ ไม่ว่าจะสร้างควอนตัมดอทที่อุณหภูมิใดๆก็ตาม ค่าการดูดกลืนสูงสุดของควอนตัมดอทจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง

จากการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับขนาดของควอนตัมดอทพบว่า อุณหภูมิที่ใช้สร้างควอนตัมดอทไม่มีผลต่อขนาดของควอนตัมดอท นั่นคือ ไม่ว่าจะสร้างควอนตัมดอทที่อุณหภูมิใดๆก็ตาม ขนาดของควอนตัมดอทจะยังไม่เปลี่ยนแปลง

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1.ในการสร้างควอนตัมดอทมีเงื่อนไขมากมาย จึงควรกำหนดขอบเขตของการศึกษาให้ไม่มากเกินไป การวิจัยจึงจะไม่ต้องใช้เวลามากเกินไป

2.จากผลการวิจัยพบว่าควอนตัมดอทที่สร้างที่อุณหภูมิต่างกันมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นจึงควรที่จะกำหนดเงื่อนไขอื่นในการสร้างควอนตัมดอท เช่น เวลา Growth time , ปริมาณของซิลเฟอร์ผสมกับ Oleylamine ที่ฉีดเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

[1] Aaron Jones, Nick Verlinden. (2007) "Optical Properties of Quantum Dots" Worcester Polytechnic Institute : 5-13

[Online]. Available: [http://www.nanotec.or.th/th/?page\\_id=575](http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=575)

[Online]. Available: <http://glasswarechemical.com/scientific-instrument/หลักการ-uv-vis-spectrophotometer/>

[Online]. Available: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>

[Online]. Available: [http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page2\\_2.html](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page2_2.html)

[Online]. Available: <http://nano-me15.blogspot.com/2010/02/quantum-dot.html>

[Online]. Available: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit3-9.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้