การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่มีพอลิอิเล็กโทรไลต์โดยโฟโตรีดักชัน

นางสาวเมษิณี จินดาธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN : 974-17-5699-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES FROM SILVER NITRATE SOLUTION IN THE PRESENCE OF POLYELECTROLYTE BY PHOTO-REDUCTION

Miss Maysinee Jindatham

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment for the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Metallurgical Engineering

Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2005

ISBN : 974-17-5699-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่มีพอลิอิเล็กโทรไลต์โดยโฟโตรีดักชัน
โดย	นางสาวเมษิณี จินดาธรรม
สาขาวิชา	วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	Mr. Stephan T. Dubas

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาคร จารุพิสิฐธร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(Mr. Stephan T. Dubas)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ)

.....กรรมการ

(ดร. รัฐพล รังกุพันธุ์)

เมษิณี จินดาธรรม : การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่มีพอลิอิเล็กโทรไลต์โดยโฟโตรีดักชัน. (THE SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES FROM SILVER NITRATE SOLUTION IN THE PRESENCE OF POLYELECTROLYTE BY PHOTO-REDUCTION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : Mr. Stephan T. Dubas, 88 หน้า. ISBN 974 -17-5699-2.

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน จากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่มีสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์โดยโฟโตรีดักชัน โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ คือ ค่าความเป็นกรดด่าง ชนิดของแสง สัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างพอลิอิเล็กโทรไลต์และซิลเวอร์ไนเตรต และเวลาในการสังเคราะห์ แล้วมีการวัดขนาดอนุภาค และศึกษาความสามารถในการตกตะกอนของอนุภาคเงินนาโนจากสารละลายผสมที่ผ่านการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนแล้ว ด้วยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ผลการทดลองพบว่า พอลิอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต แล้วเกิดการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนขึ้นได้ ในกรณีนี้มี 3 ชนิด คือ พอลิ-4-สไตรีนซันโฟนิกโคมาเลอิกแอซิด(copolymer) พอลิเมทิลอคริเลท(PMA) และแอลจิเนต(alginate) โดยมีความเร็วในการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะแสงต่างๆ เรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้ คือ แสงอาทิตย์ 1000 วัตต์ แสงจากเครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ 250 วัตต์ แสงจากหลอดนีออน 8 วัตต์ แสงจากหลอดยูวี 4 วัตต์ แสงจากหลอดฮาโลเจน 50 วัตต์ และแสงจากหลอดไฟชนิดมีไส้ 60 วัตต์ ตามลำดับ การมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์มากกว่าสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตจะทำให้เกิดอนุภาคเงินนาโนได้เร็ว และมากกว่า การเตรียมสารละลายผสมที่ค่าความเป็นกรดด่างสูง คือ pH 10 จะเกิดการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้เร็ว และมากกว่าสารละลายผสมที่ค่าความเป็นกรดด่างต่ำ คือ pH 4 การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนจะเกิดเพิ่มขึ้นตามเวลา ทั้ง alginate, copolymer และ PMA สามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนที่มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ยประมาณ 81 นาโนเมตร การใช้เอทานอล อะซิโตน และไอโซ-โพรพานอล ทำให้สามารถแยกอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมชนิดที่มี alginate และ PMA ได้ แต่ไม่สามารถแยกอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมชนิดที่มี copolymer ได้

ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4570489321 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD : SILVER NANOPARTICLES / POLYELECTROLYTE / LIGHT / SYNTHESIS

MAYSINEE JINDATHAM : THE SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES FROM SILVER NITRATE SOLUTION IN THE PRESENCE OF POLYELECTROLYTE BY PHOTO-REDUCTION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. EKASIT NISARATANAPORN, Ph.D. THESIS COADVISOR : Mr. STEPHAN T. DUBAS. 88 pp. ISBN 974-17-5699-2.

The synthesis of silver nanoparticles from silver nitrate solution in the presence of polyelectrolyte by photo-reduction was done. The effects of light, pH, concentration and time including the separation of silver nanoparticles outed off the mixed-solution by using the organic solvent were investigated.

The experimental results indicated that it was possible to synthesis the silver nanoparticles from silver nitrate solution in the presence of polyelectrolytes ie. Poly(4-styrenesulfonic-co-maleic acid (sodium salt) or copolymer, alginic acid (sodium salt) or alginate and poly(methacrylic acid (sodium salt) or PMA. These polyelectrolytes could synthesis the silver nanoparticles with having 81 nanometers in diameter. The ability of light sources in order to synthesis nanoparticles can be ranked from higher levels to lower levels as follows: sun light, overhead lamp (250 watt), neon lamp (8 watt), UV lamp (4 watt), halogen lamp (50 watt) and tungsten-bulb (60 watt), respectively. Higher portion of polyelectrolyte in mixed solution or higher value of pH (pH 10), higher volume and productivity of nano-silver particles can be achieved. The productivity also depends upon the period of time used in process. Acetone, ethanol and Iso-propanol could separate the silver nanoparticles from the mixed solutions in which PMA and alginate are present. However these separation could not work in case of the copolymer mixed solution.

Department....Metallurgical Engineering... Student's signature.....

Field of study..Metallurgical Engineering... Advisor's signature.....

Academic year .....2005..... Co-advisor'signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ Mr. Stephan T. Dubas อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ดร. รัฐพล รังกุพันธุ์ และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีตามเป้าหมาย

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ ห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี และเจ้าหน้าที่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัย เครื่องมือ และคำแนะนำ ด้านการวิเคราะห์ การทดลอง และทดสอบตัวอย่างในการทำวิจัย

ขอบคุณ เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่าน ที่กรุณาให้ความสะดวกในการปฏิบัติงานวิจัย และการประสานงาน รวมทั้งเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู เป็นกำลังใจ และส่งเสริมด้านการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญรูป..... ฎ
บทที่
1 บทนำ..... 1
1.1 วัตถุประสงค์งานวิจัย..... 2
1.2 ขอบเขตการวิจัย..... 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
2 วารสารปริทัศน์..... 4
2.1 เงินคอลลอยด์..... 4
2.1.1 รูปแบบของเงิน (silver forms)..... 4
2.1.2 สมบัติของเงิน..... 6
2.1.3 วิธีการสังเคราะห์และการนำคอลลอยด์ไปใช้ประโยชน์..... 6
2.2 พอลิอิเล็กโทรไลต์..... 19
2.2.1 ตัวอย่างและสมบัติของพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่สำคัญ..... 23
2.2.1.1 โพลิสไตรีนโฟว์ซัลโฟนิกโคมาเลอิกแอซิด-โซเดียมซอลต์ (Copolymer)..... 23
2.2.1.2 โพลิเมทาคลิลิก แอซิด-โซเดียมซอลต์(PMA)..... 24
2.2.1.3 แอลจินิก แอซิด-โซเดียมซอลต์(Alginate)..... 25
2.3 การตรวจวัดสมบัติของอนุภาค..... 25
2.3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด..... 25
2.3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน..... 26
2.3.3 อัลตร้าไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี..... 28
2.3.4 การวิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะเชิงความร้อน..... 29

หน้า

2.4 ทฤษฎีการมองเห็นสีเบื้องต้น..... 32
2.4.1 แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ..... 32
2.4.2 แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์..... 33
3 ระเบียบวิธีการทดลอง..... 35
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 35
3.1.1 อุปกรณ์..... 35
3.1.2 สารเคมี..... 35
3.2 ขั้นตอนการทดลอง..... 37
3.2.1 ขั้นตอนการเลือกพอลิอิเล็กโทรไลต์..... 37
3.2.2 ขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน..... 37
3.2.3 ขั้นตอนการหาขนาดอนุภาคเงินนาโน..... 39
3.2.4 ขั้นตอนการแยกอนุภาคเงินนาโนโดยตัวทำละลายอินทรีย์..... 40
4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง..... 42
4.1 ผลการหาพอลิอิเล็กโทรไลต์..... 42
4.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน..... 44
4.2.1 ผลการทดลองศึกษาปัจจัยจากแสงชนิดต่างๆ..... 44
4.2.1.1 ปัจจัยของแสงอาทิตย์..... 45
4.2.1.2 ปัจจัยของแสงจากหลอดไฟชนิดมีไส้ 60 วัตต์..... 45
4.2.1.3 ปัจจัยของแสงจากหลอดยูวี 4 วัตต์..... 46
4.2.1.4 ปัจจัยของแสงจากหลอดนีออน(Neon) 8 วัตต์..... 46
4.2.1.5 ปัจจัยของแสงจากหลอดฮาโลเจน(Halogen) 50 วัตต์..... 47
4.2.1.6 ปัจจัยของแสงจากเครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ(Overhead)250 วัตต์.. 47
4.2.2 ผลการศึกษาปัจจัยการปรับเปลี่ยนสัดส่วนความเข้มข้น..... 49
4.2.3 ผลการศึกษาปัจจัยการปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรดด่าง
และผลของเวลาต่อขนาดอนุภาคเงินนาโน..... 53
4.3 ผลการหาขนาดอนุภาคเงินนาโน..... 57
4.3.1 ผลการทดลองหาสารละลายผสมที่เหมาะสม..... 57
4.3.2 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคเงินนาโน..... 61
4.4 ผลการหาความสามารถในการแยกอนุภาคเงินนาโน
โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์..... 62

หน้า

4.4.1 ผลการทดลองหาสภาวะที่สามารถเกิดการตกตะกอน..... 62
4.4.2 ผลการทดลองหาสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ในตะกอน..... 66
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 68
รายการอ้างอิง..... 70
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก ผลการวัดขนาดอนุภาคเงินนาโน..... 72
ภาคผนวก ข ผลของเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคเงินนาโน..... 77
ภาคผนวก ค การเตรียมสารละลาย..... 84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 88

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณสมบัติของเงินในรูปอนุภาค อะตอม และอิออน..... 7
2.2 ตัวอย่างของรายงานการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน..... 17
2.3 การจัดกลุ่มของพอลิอิเล็กโทรไลต์..... 21
2.4 โครงสร้างของตำแหน่งไอออนิกในพอลิอิเล็กโทรไลต์..... 21
3.1 แบบแผนการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลอง..... 38
3.2 สภาวะการทดลองเพื่อหาสารละลายที่สามารถคงความใน..... 39
4.1 ผลการทดลองหาพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต แล้วเกิดอนุภาคเงินนาโน ชุดที่ 1 สัดส่วนความเข้มข้น 1:100 (mM)..... 42
4.2 ผลการทดลองหาพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต แล้วเกิดอนุภาคเงินนาโน ชุดที่ 2 สัดส่วนความเข้มข้น 1:10 (mM)..... 42
4.3 ผลของเวลาในการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนต่อขนาดอนุภาคเงินนาโน (ในสารละลายผสมระหว่าง Alginate และพอลิอิเล็กโทรไลต์ สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ค่า pH 7)..... 55
4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 4 ตามเวลา..... 57
4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 7 ตามเวลา..... 58
4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 9 ตามเวลา..... 59
4.7 ผลของการวัดขนาดอนุภาคเงินนาโนในสารละลายใสที่คัดเลือกจากข้อ 4.3.1 โดยเปรียบเทียบกับสารละลายที่มีลักษณะขุ่นแต่ไม่ตกตะกอน(Alginate)..... 61

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ลักษณะของอนุภาคเงินที่ได้จากการควบคุมความเข้มข้นของเงิน และสภาวะการทดลอง a) ฟิล์มที่มีซิลเวอร์ไนเตรต 10 wt% b) ฟิล์มที่มีซิลเวอร์ไนเตรต 20 wt%..... 12
2.2 สเปกตรัมการดูดกลืนของสารละลายที่มีสัดส่วนของพอลิเมอร์ต่อซิลเวอร์ไนเตรต คือ 2:1, 3:1, 1:2 และ 1:1..... 14
2.3 ลักษณะของอนุภาคเงินจาก TEM ที่มีสัดส่วน PVP/$AgNO_3$ ดังนี้คือ (รูป a) 1, (รูป b) 2, (รูป c) 0.5, (รูป d) 0 และ(รูป f) 3..... 15
2.4 การเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเทียบกับเวลา..... 16
2.5 ผลของเงินต่อลักษณะของอนุภาคเงิน a) 20 นาที ได้อนุภาคทรงกลม b) 35 นาที ได้อนุภาค ทรงกลม c) 60 นาที ได้อนุภาคที่มีลักษณะเป็นเดนไดรต์ และ d) 3 ชั่วโมง ได้อนุภาคที่ไม่ปรากฏลักษณะชัดเจน..... 16
2.6 โครงสร้างของ a) โซเดียมโพลิสไตรีนซัลโฟเนต b)โพลิไดแอลลิวไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์..... 19
2.7 การแตกตัวของพอลิอิเล็กโทรไลต์อ่อน..... 20
2.8 โครงสร้างของโคพอลิเมอร์หรือโพลิแอมโฟไลต์(polyampholyte)..... 20
2.9 พอลิอิเล็กโทรไลต์ 2 ชนิด คือ a) แบบอินทิกรอล(integral) b) แบบเพนแดนท์(pendant)..... 22
2.10 โครงสร้างโมเลกุลของโคพอลิเมอร์ที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลิกเป็นกลาง..... 23
2.11 โครงสร้างโมเลกุลของโคพอลิเมอร์ชนิดที่มีเกลือโซเดียม..... 24
2.12 โครงสร้างโมเลกุลของ PMA ที่มีเกลือโซเดียม..... 24
2.13 โครงสร้างโมเลกุลของ Alginate..... 25
2.14 รายละเอียดของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด(SEM)..... 26
2.15 รายละเอียดของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน..... 27
2.16 องค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรสโกปี..... 28
2.17 ยูวี-วิสิเบิลสเปกตรัมของสารตัวอย่าง..... 29
2.18 ภาพเส้นโค้ง TG แบบขั้นเดี่ยว(single-stage)..... 30
2.19 เส้นโค้ง TG แบบหลายขั้น(multi-stage)..... 31
2.20 เส้นทึบเป็นเส้นโค้ง TG ส่วนเส้นแบบจุดเป็นเส้นโค้ง DTG..... 32

รูปที่ หน้า

4.1 ลักษณะอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วน
ความเข้มข้น 1:10 มิลลิโมลาร์ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน..... 43
4.2 ผลของแสงอาทิตย์ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลายชนิดที่มี
Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลายชนิดที่มี PMA
โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต
10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7..... 45
4.3 ผลของแสงจากหลอดไฟชนิดมีไส้ 60 วัตต์ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน
ในสารละลายชนิดที่มี Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลาย
ชนิดที่มี PMA โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลาย
ซิลเวอร์ไนเตรต 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7..... 45
4.4 ผลของแสงจากหลอดยูวี 4 วัตต์ ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลาย
ชนิดที่มี Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลายชนิดที่มี PMA
โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต
10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7..... 46
4.5 ผลของแสงจากหลอดไฟนีออน 8 วัตต์ ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนใน
สารละลายผสมชนิดที่ Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลาย
ชนิดที่มี PMAโดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลาย
ซิลเวอร์ไนเตรต 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7..... 46
4.6 ผลของแสงจากหลอดไฟฮาโลเจน 50 วัตต์ ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน
ในสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลาย
ชนิดที่มี PMA โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลาย
ซิลเวอร์ไนเตรด 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7..... 47
4.7 ผลของแสงจากเครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ 250 วัตต์ ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน
ในสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลาย
ชนิดที่มี PMA โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลาย
ซิลเวอร์ไนเตรต 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7 47

รูปที่ หน้า

4.8 การเปรียบเทียบผลของแสงจากหลอดฮาโลเจน 50 วัตต์ เครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ 250 วัตต์ หลอดไฟนีออน 8 วัตต์ แสงอาทิตย์ และแสงจากหลอดยูวี 4 วัตต์ ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลายชนิดที่มี Alginate โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของ Alginate ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7..... 48
4.9 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างสารละลาย Alginate และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน ที่ค่า pH 7..... 49
4.10 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate (pH 7) ต่อการเปลี่ยนสี..... 50
4.11 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างสารละลาย Copolymer และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน ที่ค่า pH 7..... 50
4.12 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer(pH 7) ต่อการเปลี่ยนสี..... 51
4.13 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่าง PMA และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน ที่ค่า pH 7..... 51
4.14 แสดงผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมชนิดที่มี PMA (pH 7) ต่อการเปลี่ยนสี..... 52
4.15 ผลของการปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายผสมระหว่าง Alginate และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต สัดส่วนความเข้มข้น ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน..... 53
4.16 ผลการเปลี่ยนสีของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate(10:10 มิลลิโมลาร์) ที่มีค่า pH 4, 7 และ 9 ต่อเวลา..... 54
4.17 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปีของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ มี pH 7 เวลา 30 นาที, 1, 6, 15, 24 และ 48 ชั่วโมง..... 56
4.18 ผลของเวลาต่อขนาดอนุภาคเงินนาโนในสารละลายชนิดที่มี Alginate มี pH 7 ที่ได้รับแสงเป็นเวลา 30 นาที, 1, 6, 15, 24 และ 48 ชั่วโมง..... 56

รูปที่ หน้า

4.19 สีของสารละลายผสมระหว่างพอลิอิเล็กโทรไลต์และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ที่มีสภาวะดังนี้ a) Copolymer, 10:1 มิลลิโมลาร์, pH 7. b) Alginate, 10:10 มิลลิโมลาร์, pH 7. c) PMA, 10:10 มิลลิโมลาร์, pH 4, 10 ชั่วโมง d) PMA, 10:10 มิลลิโมลาร์, pH 4, 2 ชั่วโมง..... 60

4.20 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 4 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์..... 62

4.21 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์..... 63

4.22 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 10 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์..... 63

4.23 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 4 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์..... 63

4.24 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์..... 64

รูปที่ หน้า

4.25 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 10 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์ 64

4.26 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี PMA สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 4 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์ 64

4.27 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี PMA สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์ 65

4.28 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี PMA สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 10 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์ 65

4.29 ผลการตรวจสอบการหายไปของน้ำหนักของผงตะกอนที่แยกจากสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7 ซึ่งผ่านการเติม Acetone 66