

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ริชาร์ด วิลลิปส์ ไลพ์ซส์ (ค.ศ. 1918-1988) บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี	4
2.2 ขนาดของนาโนเทคโนโลยี.....	5
2.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโน.....	12
2.4 การเกิดเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์	13
2.5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของกลูต้าไธโอน	15
2.6 กระบวนการสร้างแผ่นฟิล์มบางด้วยเทคนิคการขึ้นรูปขั้นต่อขั้น	18
2.7 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	22
2.8 ส่วนประกอบของเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	23
3.1 การศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์.....	37
3.2 การสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนโดยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method)	37
3.3 การปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุรองรับกระจกสไลด์	39
3.4 การศึกษาผลกระทบการดูดซับของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนบน แผ่นฟิล์ม	40
3.5 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนใน การวิเคราะห์กลูต้าไธโอน.....	41
3.6 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ความเข้มข้น 0.24 mM ต่อกลูต้าไธโอน	42
3.7 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ความเข้มข้น 0.24 mM ในการวิเคราะห์กลูต้าไธโอน	43
3.8 การศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีการหาปริมาณกลูต้าไธโอนด้วยสารละลายอนุภาคเงิน รูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่โซเดียมโบโรไฮไดรด์ความเข้มข้น 0.24 mM	45
3.9 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์	46
3.10 การศึกษาหาร้อยละของการคืนกลับ	47
3.11 การศึกษาอิทธิของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์.....	49
3.12 การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์.....	50
3.13 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนใน การวิเคราะห์กลูต้าไธโอน	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ (b) สีของสารละลายที่สังเคราะห์โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ความเข้มข้นต่างๆ.....	53
4.2 กลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน (AgTNPs).....	55
4.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (a) 0.18 mM, (b) 0.19 mM, (c) 0.21 mM และ (d) 0.24 mM.....	57
4.4 กราฟแท่งแสดง size distribution ของอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (a) 0.18 mM, (b) 0.19 mM, (c) 0.21 mM และ (d) 0.24 mM.....	58
4.5 FT-IR สเปกตราของ (a) ไตรโซเดียมซิเตรต, อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (b) 0.18 mM, (c) 0.19 mM, (d) 0.21 mM และ (e) 0.24 mM.....	59
4.6 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของแผ่นฟิล์มบางที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM.....	61
4.7 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของแผ่นฟิล์มบางที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM.....	62
4.8 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของแผ่นฟิล์มบางที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.21 mM.....	63
4.9 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของแผ่นฟิล์มบางที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM.....	64
4.10 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนในอัตราส่วนปริมาตรต่างๆ.....	67
4.11 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน.....	69
4.13 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนกับสารละลายกลูต้าไธโอน.....	70
4.14 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น (a) blank, (b) 5.0 ppm, (c) 300 ppm และ (d) 700 ppm	71
4.15 กราฟแท่งแสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดของตัวรบกวน (λ_{max}) กับชนิดของตัวรบกวนที่ความเข้มข้นต่างๆ	74
4.16 ภาพสีของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมที่มีตัวรบกวน Glutathione, CaSO ₄ , KNO ₃ , NaNO ₃ , Uric acid, Glucose, Sucrose, Ascorbic acid, MgSO ₄ และ FeSO ₄ ความเข้มข้น 0.3 ppm.....	74
4.17 ภาพสีของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมที่มีตัวรบกวน Glutathione, CaSO ₄ , KNO ₃ , NaNO ₃ , Uric acid, Glucose, Sucrose, Ascorbic acid, MgSO ₄ และ FeSO ₄ ความเข้มข้น 0.7 ppm	74
4.18 ภาพสีของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมที่มีตัวรบกวน Glutathione, CaSO ₄ , KNO ₃ , NaNO ₃ , Uric acid, Glucose, Sucrose, Ascorbic acid, MgSO ₄ และ FeSO ₄ ความเข้มข้น 1.0 ppm	75
4.19 สเปกตรัมแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนช่วงค่า pH ต่างๆ ที่สารละลายบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.001 M.....	76
4.20 สเปกตรัมแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน และ(b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนช่วงค่า pH ต่างๆ ที่สารละลายบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M	77
4.21 สเปกตรัมแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน และ(b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนช่วงค่า pH ต่างๆ ที่สารละลายบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 M	78
4.22 ค่าคงที่การแตกตัวที่หมู่ฟังก์ชันต่างของกลูต้าไธโอน	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 สูตรโครงสร้างทางเคมีของกลูต้าไธโอนเมื่อเกิดเป็น Glutathione protonate-deprotonate ที่ pH ต่างๆ	79
4.24 ค่าการดูดกลืนแสงและสีของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM เวลาการสร้างแผ่นฟิล์ม 20 นาที ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน	81
4.25 ค่าการดูดกลืนแสงและสีของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM เวลาการสร้างแผ่นฟิล์ม 20 นาที ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน	81
4.26 ค่าการดูดกลืนแสงและสีของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.21 mM เวลาการสร้างแผ่นฟิล์ม 20 นาที ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน	82
4.27 ค่าการดูดกลืนแสงและสีของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM เวลาการสร้างแผ่นฟิล์ม 20 นาที ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน	82
4.28 ค่าการดูดกลืนแสงและสีของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM เวลาการสร้างแผ่นฟิล์ม 60 นาที ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน	83
4.29 ค่าการดูดกลืนแสงและสีของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM เวลาการสร้างแผ่นฟิล์ม 60 นาที ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน	84
4.30 ค่าการดูดกลืนแสงและสีของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.21 mM เวลาการสร้างแผ่นฟิล์ม 60 นาที ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน	84
4.31 ค่าการดูดกลืนแสงและสีของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM เวลาการสร้างแผ่นฟิล์ม 60 นาที ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน	85
ข.1 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm	103
ข.2 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm	104

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.3 สเปกตร้าแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไรโอนที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm	105
ข.4 สเปกตร้าแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.19 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไรโอนที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm	106
ข.5 สเปกตร้าแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.21 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไรโอนที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm	107
ข.6 สเปกตร้าแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.18 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไรโอนที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm.....	108
ข.7 สเปกตร้าแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไรโอนที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.9 ppm	109
ข.8 สเปกตร้าแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไรโอนที่ความเข้มข้น 1 – 500 ppm	110
ข.9 สเปกตร้าแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.24 mM และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไรโอนที่ความเข้มข้น 10 – 800 ppm	111
ข.10 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน	112