

การศึกษาอิทธิพลของการผสมแบบสัญญาณอลวนที่มีต่อการกระจาย
ตัวของอนุภาคนาโนในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi
**INFLUENCE OF CHAOTIC MIXING ON DISPERSION OF
NANO-PARTICLES IN Sn-58Bi LEAD-FREE SOLDER**



T119350

นายชานนท์ กฤตผลชัย

MR. CHANON KRITTAPHOLCHAI

นางสาวสุธินี แก้วกอก

MS. SUTINEE KAEWKOK

นางสาวสุวาณี แซ่มช้อย

MS. SUWANEE CHAMCHOY

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....119350
วัน,เดือน,ปี...=7.S.A.2554

| |
|--------|
| b..... |
| i..... |

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INFLUENCE OF CHAOTIC MIXING ON DISPERSION OF
NANO-PARTICLES IN Sn-58Bi LEAD-FREE SOLDER**



MR. CHANON KRITTAPHOLCHAI

MS. SUTINEE KAEWKOK

MS. SUWANEE CHAMCHOY

**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

การศึกษาอิทธิพลของการผสมแบบสัญญาณอลวนที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาค
นาโนในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi
Influence of Chaotic Mixing on Dispersion of Nano-Particles
in Sn-58Bi Lead-Free Solder

นักศึกษา

| | | |
|-----------------------|--------------|----------|
| นายชานนท์ กฤตผลชัย | รหัสประจำตัว | 50010371 |
| นางสาวสุธินี แก้วกก | รหัสประจำตัว | 50011720 |
| นางสาวสุวामी แซ่มซ้อย | รหัสประจำตัว | 50011782 |

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท


(รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|------------------------------|--|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | การศึกษาอิทธิพลของการผสมแบบสัญญาณอลวนที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาคนาโนในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi |
| นักศึกษา | นายชานนท์ กฤตผลชัย นางสาวสุธินี แก้วก นางสาวสุวภาณี แซ่มซ้อย |
| หลักสูตร | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ปีการศึกษา | 2553 |
| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ | รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ |

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้สัญญาณอลวนสำหรับการผลิตโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่มีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นอนุภาคเสริมแรงด้วยกระบวนการผสมทางกล เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ได้จากการปั่นผสมด้วยความเร็วคงที่ และการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ได้จากการปั่นผสมที่ได้รับอิทธิพลจากสัญญาณอลวน สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ได้ทำการออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ที่ใช้ในการปั่นผสม โดยทำการปั่นผสมที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน การปั่นผสมใช้มอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วด้วยสัญญาณอลวนจากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ความถี่ต่างๆและสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นทำการตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ภายในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จากการทดลองพบว่า การปั่นผสมด้วยความเร็วคงที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ ออกไซด์ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ได้ดีกว่าการปั่นผสมที่ได้รับอิทธิพลจากสัญญาณอลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Influence of Chaotic Mixing on Dispersion of Nano-Particles in Sn-58Bi Lead-Free Solder

Student Mr. Chanon Krittapholchai
Ms. Sutinee Kaewkok
Ms. Suwanee Chamchoy

Degree Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2010

Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr. Kannachai Kanlayasiri

ABSTRACT

In this study, influence of mechanical mixing methods on dispersion of zinc oxide (ZnO) nano-particles in Sn-58Bi Solder lead-free solder was investigated. Chaotic mixing technique was studied and compared its mixing capability to the traditional constant speed mixing. In this research, the mixing of ZnO nano-particles and the solder was performed at 350°C under argon gas atmosphere. Chua's circuit was selected to represent the chaotic mixing method. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF) were used to study the dispersion of ZnO nano-particles in the solders mixed by these mixing techniques. Results showed that mixing with a constant rotational speed provides more homogeneous dispersion of the nano-particles in the solder.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ
ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ และอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชา
วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำแนะนำ
คำปรึกษา แนวคิด รวมถึงคอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ขอขอบพระคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
(NANOTEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือทดสอบ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ที่ให้ความเอื้อเฟื้อด้านอุปกรณ์ เครื่องมือไฟฟ้าต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ปิติเขต สุริรักษา และทีศักดิ์ สาครदानันท์ ที่ให้คำแนะนำ และความรู้เกี่ยวกับสัญญา
อถวน

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้ความสนับสนุนและกำลังใจตลอดมา จนทำให้คณะผู้จัดทำสามารถ
ประสบความสำเร็จได้จนถึงทุกวันนี้

นายชานนท์ กฤตผลชัย

นางสาวสุธินี แก้วก

นางสาวสุวาณี แซ่มซ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูป..... | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของปริิณญานิพนธ์..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของปริิณญานิพนธ์..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 ระเบียบ WEEE และ RoHS ของสหภาพยุโรป..... | 3 |
| 2.1.1 วัตถุประสงค์ของระเบียบ WEEE และ RoHS..... | 3 |
| 2.1.2 สารสำคัญของระเบียบ Waste Electrical and Electronic Equipment..... | 4 |
| 2.1.3 สารสำคัญของระเบียบ The Restriction of the use of certain Hazardous Substance in electrical and electronic equipment..... | 4 |
| 2.2 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว..... | 5 |
| 2.2.1 ธาตุที่ใช้เชื่อมผสมกับดีบุกเพื่อผลิตเป็นโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว..... | 6 |
| 2.3 ทฤษฎีโวลวน (Chaos Theory)..... | 8 |
| 2.3.1 การค้นพบทฤษฎีโวลวน..... | 8 |
| 2.3.2 เงื่อนไขของความอลวน..... | 9 |
| 2.3.3 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua..... | 9 |
| 2.4 วงจรควบคุมแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์..... | 12 |
| 2.5 ประเภทของการกวน..... | 13 |
| 2.5.1 กลุ่ม Axial flow..... | 13 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.5.2 กลุ่ม Radial flow..... | 14 |
| 2.5.3 กลุ่ม Tangential flow และ Mixed flow..... | 14 |
| 2.6 อัตราส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบการผสมของเหลว..... | 15 |
| 2.7 การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค..... | 15 |
| 2.7.1. Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 16 |
| 2.7.1.1 หลักการทำงานของ Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 16 |
| 2.7.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 16 |
| 2.7.2.1 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 16 |
| 2.8 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... | 17 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน | |
| 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 22 |
| 3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... | 23 |
| 3.2.1 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi..... | 23 |
| 3.2.2 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์..... | 23 |
| 3.2.3 เบ้าหลอม..... | 24 |
| 3.2.4 เครื่องชั่ง..... | 25 |
| 3.2.5 ไบกวน..... | 26 |
| 3.2.6 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง..... | 26 |
| 3.2.7 วงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง..... | 26 |
| 3.2.8 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua..... | 27 |
| 3.2.9 Hotplate..... | 27 |
| 3.2.10 อาร์กอน..... | 28 |
| 3.2.11 กล้องยี่ดอุปกรณ์..... | 28 |
| 3.2.12 กระดาษทรายน้ำ..... | 29 |
| 3.2.13 ผงอะลูมินา..... | 29 |
| 3.2.14 เครื่องขัดสัทหลาดแบบจานหมุน..... | 29 |
| 3.2.15 เครื่องล้างความถี่สูง..... | 30 |
| 3.2.16 เครื่อง Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.2.17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 31 |
| 3.3 ขั้นตอนการทดลอง..... | 31 |
| 3.3.1 ขั้นตอนก่อนการทดลอง..... | 31 |
| 3.3.1.1 ขั้นตอนออกแบบและจัดทำใบกวน..... | 31 |
| 3.3.1.2 ขั้นตอนออกแบบและจัดทำวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua..... | 32 |
| 3.3.1.3 ขั้นตอนออกแบบกล่องยี่ตูปกรณ์..... | 37 |
| 3.3.2 ขั้นตอนระหว่างการทดลอง..... | 39 |
| 3.3.2.1 ขั้นตอนเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง..... | 39 |
| 3.5.2.2 ขั้นตอนเตรียมชิ้นงาน..... | 40 |
| 3.5.3 ขั้นตอนหลังการทดลอง..... | 43 |
| 3.5.3.1 ขั้นตอนเตรียมชิ้นงานทดสอบ..... | 43 |
| 3.5.3.2 ขั้นตอนวิเคราะห์อัตราส่วนของธาตุ..... | 45 |
| 3.5.3.3 ขั้นตอนตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซึ่งค้อออกไซด์..... | 45 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | |
| 4.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 46 |
| 4.1.1 ชิ้นงานที่ 1..... | 45 |
| 4.1.1.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 46 |
| 4.1.1.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 47 |
| 4.1.2 ชิ้นงานที่ 2..... | 48 |
| 4.1.2.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 48 |
| 4.1.2.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 49 |
| 4.1.3 ชิ้นงานที่ 3..... | 50 |
| 4.1.3.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 50 |
| 4.1.3.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 51 |
| 4.1.4 ชิ้นงานที่ 4..... | 52 |
| 4.1.4.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 52 |
| 4.1.4.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 53 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

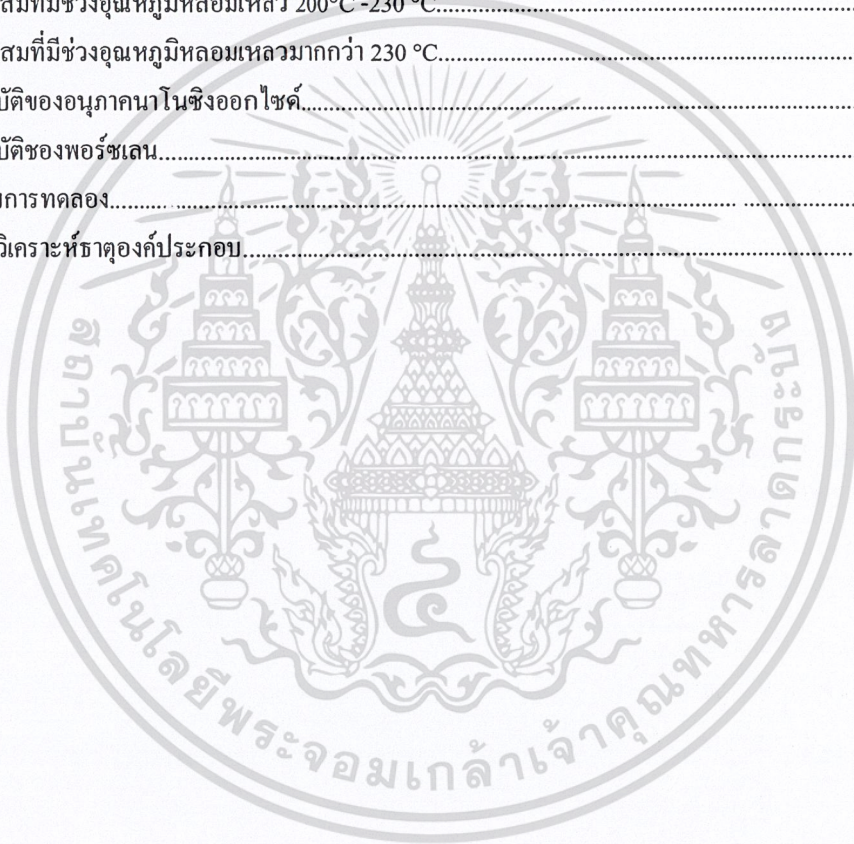
สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.1.5 ชิ้นงานที่ 5..... | 54 |
| 4.1.5.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 54 |
| 4.1.5.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 55 |
| 4.1.6 ชิ้นงานที่ 6..... | 56 |
| 4.1.6.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 56 |
| 4.1.6.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 57 |
| 4.1.7 ชิ้นงานที่ 7..... | 58 |
| 4.1.7.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 58 |
| 4.1.7.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 59 |
| 4.1.8 ชิ้นงานที่ 8..... | 60 |
| 4.1.8.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 60 |
| 4.1.8.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 61 |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบจาก Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 62 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... | |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 63 |
| 5.2 ปัญหาในการดำเนินงาน..... | 63 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 64 |
| หนังสืออ้างอิง..... | 65 |
| ภาคผนวก..... | ผก 1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำกว่า 180 °C..... | 7 |
| ตารางที่ 2.2 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว 180°C -200 °C..... | 7 |
| ตารางที่ 2.3 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว 200°C -230 °C..... | 7 |
| ตารางที่ 2.4 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวมากกว่า 230 °C..... | 8 |
| ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิงออกไซด์..... | 24 |
| ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของพอร์ซเลน..... | 24 |
| ตารางที่ 3.3 รูปแบบการทดลอง..... | 37 |
| ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ..... | 62 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 Edward Lorenz..... | 8 |
| รูปที่ 2.2 Lorenz Attractor หรือ Butterfly Effect..... | 9 |
| รูปที่ 2.3 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua..... | 10 |
| รูปที่ 2.4 วงจร V_R เมื่อแทนด้วย Op-Amp..... | 10 |
| รูปที่ 2.5 ช่วงความชันของความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น..... | 10 |
| รูปที่ 2.6 วงจรตัวเหนี่ยวนำเสมือน..... | 11 |
| รูปที่ 2.7 สัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua แบบ Single Scroll..... | 12 |
| รูปที่ 2.8 สัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua แบบ Double Scroll..... | 12 |
| รูปที่ 2.9 แสดงการควบคุมมอเตอร์แบบ PWM..... | 12 |
| รูปที่ 2.10 ลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรควบคุมแบบ PWM..... | 13 |
| รูปที่ 2.11 Axial flow..... | 13 |
| รูปที่ 2.12 Radial flow..... | 14 |
| รูปที่ 2.13 Tangential flow และ Mixed flow..... | 14 |
| รูปที่ 2.14 อัตราส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบการผสมของเหลว..... | 15 |
| รูปที่ 2.15 หลักการทั่วไปของเทคนิค ED-XRF..... | 16 |
| รูปที่ 2.16 แสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 17 |
| รูปที่ 3.1 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi..... | 23 |
| รูปที่ 3.2 Phase diagram ของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-Bi..... | 23 |
| รูปที่ 3.3 เบ้าหลอมที่ใช้ในการทดลอง..... | 25 |
| รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งรุ่น PB3002..... | 25 |
| รูปที่ 3.5 ไบกวอนที่ใช้ในการทดลอง..... | 26 |
| รูปที่ 3.6 ลักษณะการไหลในแนวขนานกับเพลลา..... | 26 |
| รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมมอเตอร์แบบ PWM ที่ใช้ในการทดลอง..... | 27 |
| รูปที่ 3.8 วงจร Chua ที่ใช้ในการทดลอง..... | 27 |
| รูปที่ 3.9 Hotplate ที่ใช้ในการทดลอง..... | 27 |
| รูปที่ 3.10 ถังอาร์กอนที่ใช้ในการทดลอง..... | 28 |
| รูปที่ 3.11 กล้องซีคอปกรณณ์..... | 28 |
| รูปที่ 3.12 ผงซัลเฟอร์ไดออกไซด์..... | 29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 3.13 เครื่องวัดสัทธิมาตรแบบจานหมุน..... | 29 |
| รูปที่ 3.14 เครื่องวัดความถี่สูงยี่ห้อ ELMA รุ่น S30/H..... | 30 |
| รูปที่ 3.15 เครื่อง Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 30 |
| รูปที่ 3.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 31 |
| รูปที่ 3.17 ขนาดของใบกวนและเบ้าหลอมที่ใช้ในการทดลอง..... | 32 |
| รูปที่ 3.18 ขนาดใบกวนแบบใบพัดที่ใช้ในการทดลอง..... | 32 |
| รูปที่ 3.19 วงจรควบคุมมอเตอร์ที่ใช้สัญญาณอลวนเป็นแรงดันอ้างอิง..... | 32 |
| รูปที่ 3.20 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua..... | 32 |
| รูปที่ 3.21 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ใช้ตัวต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้นเสมือน..... | 33 |
| รูปที่ 3.22 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำเสมือน..... | 34 |
| รูปที่ 3.23 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ใช้วงจรขยายแรงดันสัญญาณ Single Scroll..... | 34 |
| รูปที่ 3.24 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 14.5 Hz..... | 35 |
| รูปที่ 3.25 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 6.5 Hz..... | 35 |
| รูปที่ 3.26 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 3 Hz..... | 36 |
| รูปที่ 3.27 แบบกล่องฮาร์ดแวร์..... | 37 |
| รูปที่ 3.28 แบบกล่องฮาร์ดแวร์..... | 38 |
| รูปที่ 3.29 กล่องฮาร์ดแวร์..... | 38 |
| รูปที่ 3.30 การชั่งโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi..... | 39 |
| รูปที่ 3.31 การเก็บอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในกล่องสุญญากาศที่บรรจุสารดูดความชื้น..... | 39 |
| รูปที่ 3.32 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... | 40 |
| รูปที่ 3.33 การเติมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเบ้าหลอม..... | 40 |
| รูปที่ 3.34 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้รับความร้อนจาก hotplate..... | 41 |
| รูปที่ 3.35 ปรับระดับความสูงของใบกวน..... | 41 |
| รูปที่ 3.36 การปั่นผสม..... | 42 |
| รูปที่ 3.37 การลดอุณหภูมิของชิ้นงาน..... | 42 |
| รูปที่ 3.38 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง..... | 43 |
| รูปที่ 3.39 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ..... | 43 |
| รูปที่ 3.40 ลักษณะการขาดกระดาษทรายน้ำเบอร์ต่างๆ..... | 43 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 3.41 การขัดชิ้นงานด้วยผงอะลูมินาบนเครื่องขัดสีกหลากหลายแบบจานหมุน..... | 44 |
| รูปที่ 3.42 การนำชิ้นงานออกจากเครื่องล้างความถี่สูง..... | 44 |
| รูปที่ 3.43 การนำชิ้นงานเข้าเครื่อง Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence..... | 45 |
| รูปที่ 3.44 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 45 |
| รูปที่ 4.1 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 1..... | 46 |
| รูปที่ 4.2 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 1..... | 47 |
| รูปที่ 4.3 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 2..... | 48 |
| รูปที่ 4.4 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 2..... | 49 |
| รูปที่ 4.5 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 3..... | 50 |
| รูปที่ 4.6 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 3..... | 51 |
| รูปที่ 4.7 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 4..... | 52 |
| รูปที่ 4.8 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 4..... | 53 |
| รูปที่ 4.9 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 5..... | 54 |
| รูปที่ 4.10 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 5..... | 55 |
| รูปที่ 4.11 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 6..... | 56 |
| รูปที่ 4.12 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 6..... | 57 |
| รูปที่ 4.13 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 7..... | 58 |
| รูปที่ 4.14 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 7..... | 59 |
| รูปที่ 4.15 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 8..... | 60 |
| รูปที่ 4.16 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 8..... | 61 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โลหะบัดกรีได้รับการใช้งานอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากโลหะบัดกรีไม่ทำให้ประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลดลง ในอดีตโลหะบัดกรีที่มีสารตะกั่วเป็นส่วนผสมได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม จึงทำให้มีการออกข้อกำหนดให้ลดปริมาณการใช้สารตะกั่วลง ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วขึ้น แต่เนื่องจากโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วมีคุณสมบัติที่ด้อยกว่าโลหะบัดกรีที่มีสารตะกั่วเป็นส่วนผสม เช่น ความแข็งแรง จุดหลอมเหลว อายุการใช้งาน ฯลฯ จึงทำให้มีการพัฒนาคุณสมบัติของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วให้มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือดีกว่าโลหะบัดกรีที่มีสารตะกั่วเป็นส่วนผสม

ได้มีการนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว เช่น ความแข็งแรง จุดหลอมเหลว อายุการใช้งาน ฯลฯ โดยใช้อนุภาคนาโน (Nano-Particles) เป็นองค์ประกอบ ในปัจจุบันการผลิตโลหะบัดกรีที่เป็นวัสดุเชิงประกอบระดับนาโน (Nano-Composite Materials) แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการผสมทางกล (Mechanical Mixing Method) และ กระบวนการ In-Situ อย่างไรก็ตามทั้ง 2 กระบวนการยังคงมีข้อเสีย คือ มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของอนุภาคนาโนในโลหะบัดกรี

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้ทฤษฎีโกลวม (Chaos Theory) ในการปั่นผสมเพื่อแก้ปัญหาการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของอนุภาคนาโนซึ่งคือออกไซด์ (ZnO) ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสัญญาณโกลวมที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซึ่งคือออกไซด์ (ZnO) ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi
2. เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค และคุณสมบัติทางกลของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi-ZnO ที่ได้รับอิทธิพลจากสัญญาณโกลวม เปรียบเทียบกับกระบวนการผสมทางกลแบบความเร็วคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ใช้กระบวนการผสมทางกล (Mechanical Mixing Method) ด้วยความเร็วคงที่ 400 rpm และทฤษฎีโวลวน (Chaos Theory) โดยใช้สัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ทั้งลักษณะ Single Scroll และ Double Scroll ในการผลิตโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่มีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ขนาด 20 – 40 nm เป็นอนุภาคเสริมแรง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำงานวิจัยนี้มาใช้ในการพัฒนาคุณสมบัติของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว
2. สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการผสมสารละลายหรือสารประกอบอื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปรัชญานิพนธ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ระเบียบ WEEE และ RoHS ของสหภาพยุโรป
2. โลหะหนักที่อันตราย
3. ทฤษฎีตลาด
4. วงจรควบคุมแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์
5. ประเภทของการกวน
6. อัตราส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบการผสมของเหลว

2.1 ระเบียบ WEEE และ RoHS ของสหภาพยุโรป

ปัจจุบันผู้ผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ นอกจากต้องคำนึงถึงมาตรฐานคุณภาพสินค้า และมาตรฐานด้านความปลอดภัยแล้ว ยังต้องหันมาให้ความสนใจและจริงจังต่อปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และความเข้มงวดในด้านการใช้วัตถุดิบเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศคู่ค้าสำคัญที่ก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ประกอบกับแนวโน้มในการบริโภคสินค้าที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ผู้ผลิตต้องหันมาปรับปรุงเพื่อเปลี่ยนภาพลักษณ์ของสินค้าให้เป็นผลิตภัณฑ์สะอาดเพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดเสรีได้

สหภาพยุโรปได้มีการวางมาตรการในการป้องกันการเพิ่มปริมาณของซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งการป้องกันอันตรายแก่มนุษย์และสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสารเคมีอันตรายบางประเภท ทำให้สหภาพยุโรปได้ประกาศระเบียบในเรื่องดังกล่าวออกมา 2 ฉบับ ได้แก่ ระเบียบว่าด้วยเศษซากของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment : WEEE) และระเบียบว่าด้วยการจำกัดการใช้สารที่เป็นอันตรายบางประเภท (The Restriction of the use of certain Hazardous Substance in electrical and electronic equipment : RoHS) โดยระเบียบ WEEE มีผลบังคับใช้ตั้งแต่ 13 สิงหาคม 2548 ส่วนระเบียบ RoHS มีผลบังคับใช้ตั้งแต่ 1 กรกฎาคม 2549 [2]

2.1.1 วัตถุประสงค์ของระเบียบ WEEE และ RoHS

ระเบียบ WEEE เป็นระเบียบที่มุ่งให้ลดปริมาณการทิ้งเศษซากผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยส่งเสริมให้มีการนำกลับมาใช้อีกครั้ง (Reuse) ผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการฟื้นฟูแบบอื่นๆ (Recovery) โดยการปรับปรุงการออกแบบของผู้ผลิตให้คำนึงถึงการนำผลิตภัณฑ์และส่วนประกอบกลับมาใช้ใหม่ ให้ผลิตภัณฑ์และส่วนประกอบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และทำให้หน่วยต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้ผลิต ผู้จัดการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำหน่าย ผู้บริโภค รวมทั้งผู้ที่ทำหน้าที่จัดการเศษซากผลิตภัณฑ์ที่มีความรับผิดชอบร่วมกันเกี่ยวกับการทิ้งเศษซากผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ RoHS เป็นระเบียบที่มุ่งให้ประเทศสมาชิกสหภาพยุโรป ออกกฎหมายภายในเพื่อจำกัดการใช้สารเคมีอันตรายในสินค้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นการคุ้มครองสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

2.1.2 สาระสำคัญของระเบียบ Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

ระเบียบ WEEE มีวัตถุประสงค์เพื่อวางมาตรการในการป้องกันการเพิ่มปริมาณของซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยส่งเสริมการนำชิ้นส่วนกลับคืน การใช้ซ้ำ และการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยผ่านระบบการรับคืนและการจัดเก็บรวบรวมของผู้ผลิต และเพื่อลดความเสี่ยงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการกำจัดซาก ระเบียบนี้พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักความรับผิดชอบต่อผู้ผลิต (The Principle of Producer Responsibility) โดยสหภาพยุโรปใช้วิธีกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำในการจัดการเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์และกำหนดเป้าหมายขั้นต่ำในการ Recovery/Reuse/Recycle และใช้กลไกตลาดเป็นเครื่องมือในการบังคับให้ผู้ผลิตหากลยุทธ์ในการจัดการกับซากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอายุ โดยการกำหนดให้ผู้ผลิตต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการจัดการทั้งหมด ระเบียบ WEEE นี้ครอบคลุมถึงผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 10 กลุ่ม ได้แก่

1. เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในครัวเรือน
2. เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือน
3. อุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศและโทรคมนาคม
4. อุปกรณ์สำหรับผู้บริโภค เช่น โทรทัศน์ กล้องถ่ายวิดีโอ ลำโพง เป็นต้น
5. อุปกรณ์ให้ความสว่าง
6. เครื่องมือไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
7. ของเล่นเด็กและอุปกรณ์กีฬา
8. อุปกรณ์การแพทย์
9. เครื่องมือตรวจสอบและควบคุม
10. เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ [3]

2.1.3 สาระสำคัญของระเบียบ The Restriction of the use of certain Hazardous Substance in electrical and electronic equipment (RoHS)

ระเบียบ RoHS เป็นระเบียบที่มุ่งเน้นการจำกัดการใช้สารที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่อันตราย โดยจำกัดการใช้สารอันตรายบางประเภทในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังทำให้การนำทรัพยากรกลับคืนและการทิ้งซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ระเบียบนี้ครอบคลุมผลิตภัณฑ์เดียวกับ WEEE ยกเว้นเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่มเครื่องมือแพทย์ และเครื่องมือวัดและควบคุม โดยระเบียบ RoHS เสนอให้ใช้สารอื่นทดแทน สารตะกั่ว, สารปรอท, สารแคดเมียม, สารโครเมียม-เฮกซะวาเลนซ์ (Cr-VI), สารโพลีโบรมิเนท-ไบฟีนิล(PBB), และสารโพลีโบรมิเนท-ไดฟีนิล-อีเทอร์ (PBDE) ในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ภายในวันที่ 1 กรกฎาคม 2549 แต่มีข้อยกเว้นในผลิตภัณฑ์บางชนิดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารปรอท ใน Compact Fluorescent Lamps ในปริมาณไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อหลอด
2. สารปรอท ในหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบตรงสำหรับใช้งานทั่วไป
3. หลอดที่ใช้ Halophosphate ให้มีปรอทได้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อหลอด
4. Triphosphate ที่มีช่วงชีวิตปกติ ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อหลอด
5. Triphosphate ที่มีช่วงชีวิตยาว ไม่เกิน 8 มิลลิกรัมต่อหลอด
6. สารปรอท ในหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบตรงสำหรับใช้งานพิเศษ
7. สารปรอท ในหลอดไฟที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้
8. สารตะกั่ว ที่ผสมในแก้วของ หลอดภาพ ชั้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และ หลอดฟลูออเรสเซนต์
9. สารตะกั่ว ที่ใช้ในโลหะอัลลอยด์ (Alloying Element)
10. ในเหล็ก ให้ที่มีปริมาณตะกั่วได้ไม่เกิน 0.35 wt%
11. ในอลูมิเนียม ให้มีปริมาณตะกั่วได้ไม่เกิน 0.4 wt%
12. ในทองแดง ให้มีที่มีปริมาณตะกั่วได้ไม่เกิน 4 wt%

สารตะกั่วในสารบัดกรีชนิดจุดหลอมเหลวสูง ตะกั่วบัดกรีในเครื่องคอมพิวเตอร์เม้าส์ หน่วยเก็บข้อมูล และชุดเก็บข้อมูล (ได้รับการยกเว้นถึงปี ค.ศ. 2010) ตะกั่วบัดกรีในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับสวิทซ์ซึ่งให้สัญญาณและส่งผ่านข้อมูล รวมถึงการบริหารเครือข่ายในการสื่อสาร และสารตะกั่วในชั้นส่วนเซรามิกอิเล็กทรอนิกส์ สารแคดเมียมในการเคลือบผิวหน้าเพื่อป้องกันการกัดกร่อนในการใช้งานบางประเภทและสารโครเมียม-เฮกซะวาเลนซ์ ในการป้องกันการกัดกร่อนเหล็กคาร์บอนในระบบหล่อเย็นใน Absorption Refrigerators โดยชนิดของสารอันตรายที่ห้ามใช้ รวมถึงรายการข้อยกเว้นที่ได้มีการระบุในระเบียบนี้ อาจมีการเพิ่มหรือลดได้อีกในอนาคตทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในสาขาที่เกี่ยวข้อง

2.2 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว (Lead-Free Solder)

โลหะบัดกรีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมมาเป็นเวลานาน คือ โลหะบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb (Eutectic Tin-Lead Solder) หรือ 60Sn-40Pb (Near Eutectic Tin-Lead Solder) โลหะชนิดนี้มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ราคาถูก หาง่าย มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ คุณสมบัติทางไฟฟ้า และคุณสมบัติทางความร้อนดีเยี่ยม ดังนั้น ในการนำโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว (Lead-Free Solder) มาใช้ทดแทนโลหะบัดกรีชนิดที่มีตะกั่วผสม คุณลักษณะเบื้องต้นของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่นำมาใช้เป็นเกณฑ์พิจารณา ได้แก่

1. ต้องไม่เป็นพิษ
2. ราคาถูก
3. มีความหลอมเหลวใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีชนิด Sn-Pb
4. มีช่วงสมบัติแบบพลาสติกแคบ (Narrow Plastic Range)
5. มีสมบัติการเปียก (Wettability) และการเชื่อมบัดกรี (Solderability) ที่ดี
6. มีสมบัติทางฟิสิกส์อื่นๆ เช่น การนำไฟฟ้า การนำความร้อนที่ดี และไม่ด้อยกว่าโลหะบัดกรีชนิด Sn-Pb

เอกสาร 7. มีสมบัติต้านทานการล้าที่ดี (Good Fatigue Resistance) ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. สามารถใช้ได้กับระบบฟลักซ์เหลวที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

9. เมื่อทำเป็นโลหะบัดกรีชนิดครีม (Solder Paste) จะต้องมีอายุการเก็บยาวนานไม่เสื่อมคุณภาพ

10. สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปได้หลายรูปแบบ เช่น โลหะแท่ง ลวดบัดกรี ผงโลหะ ครีมโลหะ เป็นต้น

2.2.1 วัสดุที่ใช้เชื่อมผสมกับดีบุกเพื่อผลิตเป็นโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว

โลหะบัดกรีทั่วไปจะมีส่วนผสมของโลหะดีบุกเป็นหลัก เนื่องจากดีบุกมีสมบัติการเปียก การแผ่กระจาย เวลาเชื่อมบัดกรีได้ดี สามารถใช้ได้กับ Substrate หลายชนิด ดีบุกมีจุดหลอมเหลวที่ 231°C ส่วนธาตุเจือที่นำมาผสมกับดีบุกแล้วทำเป็นโลหะบัดกรี ได้แก่ เงิน อินเดียม บิสมัท พลวง ทองแดง และสังกะสี

เงิน (Ag) เป็นโลหะที่ใช้เป็นส่วนผสมในโลหะบัดกรี มีราคาสูง โลหะเงินจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะบัดกรี ทำให้มีสมบัติการแผ่กระจายดีขึ้น และมีจุดหลอมเหลวต่ำลง

อินเดียม (In) เป็นโลหะที่มีราคาแพงขึ้นสูงเมื่อเทียบกับโลหะบัดกรีชนิดอื่น แต่มีข้อดี คือ อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ จึงเป็นข้อดีสำหรับการใช้งานกับอุปกรณ์ที่ทนความร้อนได้ต่ำ นอกจากนี้อินเดียมยังมีความสามารถในการลดการเกิดออกซิเดชันและเพิ่มคุณสมบัติการเหนียวให้ดีขึ้น

บิสมัท (Bi) โลหะบัดกรีที่อัตราส่วน $42\text{Sn}-58\text{Bi}$ มีโครงสร้างแบบยูเทคติก โลหะบัดกรีกลุ่มนี้มีจุดเด่น คือ มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ต่ำมากที่สุดที่อุณหภูมิ 139°C จึงสามารถใช้กับอุปกรณ์ที่ไม่สามารถทนความร้อนสูงในการบัดกรีได้ ลักษณะโครงสร้างโลหะบัดกรีชนิดนี้ มีลักษณะเป็นแผ่นแบบ Lamellar มีความสามารถในการเชื่อมประสานได้ดีมาก แต่มีข้อเสียคือ บิสมัทมีราคาสูง

พลวง (Sb) การเติมพลวงในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยเพิ่มสมบัติการต้านทานการคืบและการต้านทานความล้าของโลหะบัดกรีให้ดีขึ้น แต่พลวงมีข้อเสียคือ ทำให้สมบัติการเปียกและการแผ่กระจายของโลหะบัดกรีลดลง

ทองแดง (Cu) โลหะบัดกรีที่อัตราส่วน $99.3\text{Sn}-0.7\text{Cu}$ มีโครงสร้างแบบยูเทคติก มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำมากที่สุดที่อุณหภูมิ 227°C โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟส Cu_3Sn_5 ลักษณะเป็นแท่งฝังประอยู่ในเนื้อดีบุก โดยทองแดงจะทำให้โลหะบัดกรีมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ข้อเสียของโลหะบัดกรีในกลุ่ม Sn-Cu คือ การมีธาตุเจือผสมอยู่น้อยอาจเกิดเส้นใยดีบุก (Tin-Whisker) ขึ้นได้ ซึ่งอาจเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร โลหะบัดกรีในกลุ่ม Sn-Cu จึงเหมาะสำหรับงานบัดกรีแบบ Reflow Soldering แต่ไม่เหมาะสำหรับงานบัดกรีแบบ Wave Soldering

สังกะสี (Zn) เป็นโลหะที่มีจุดเด่น คือ อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำและราคาถูก โดยมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 199°C ซึ่งใกล้เคียงกับโลหะบัดกรีชนิด Sn-Pb โดยโลหะบัดกรีในกลุ่ม Sn-Zn มีข้อด้อย เช่น Zn สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย เกิดเป็นสังกะสีออกไซด์มาก เมื่อใช้ในการบัดกรีแบบ Wave Soldering นอกจากนี้ Zn ยังไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีที่ผสมอยู่ในฟลักซ์ที่ใช้กับโลหะกลุ่ม Sn-Pb ทำให้เกิดการกัดกร่อน [4]

โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วสามารถจัดแบ่งกลุ่มตามช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวออกเป็น 4 กลุ่ม [4] ดังนี้
 กลุ่มที่ 1 โลหะผสมช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ (<180 °C) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำกว่า 180 °C

| ระบบโลหะผสม | องค์ประกอบ (wt%) | ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว(°C) |
|-------------|------------------|--------------------------|
| Sn-Bi | Sn-58Bi | 139 |
| Sn-In | Sn-52In | 118 |
| | Sn-50In | 118-125 |
| Bi-In | Bi-33In | 109 |

กลุ่มที่ 2 โลหะผสมช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวปานกลาง (180 °C -200 °C) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว 180 °C -200 °C

| ระบบโลหะผสม | องค์ประกอบ (wt%) | ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว(°C) |
|-------------|------------------|--------------------------|
| Sn-Zn | Sn-9Zn | 198.5 |
| Sn-Zn-Bi | Sn-8Zn-3Bi | 188-189 |
| Sn-Bi-In | Sn-20Bi-10In | 143-193 |

กลุ่มที่ 3 โลหะผสมช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวสูง (200 °C -230 °C) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว 200 °C -230 °C

| ระบบโลหะผสม | องค์ประกอบ (wt%) | ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว(°C) |
|-------------|--------------------|--------------------------|
| Sn-Ag | Sn-3.5Ag | 221 |
| | Sn-2Ag | 221-226 |
| Sn-Cu | Sn-0.7Cu | 227 |
| Sn-Ag-Bi | Sn-3.5Ag-3Bi | 206-213 |
| | Sn-2Ag-7.5Bi | 207-212 |
| Sn-Ag-Cu | Sn-3.8Ag-0.7Cu | 217 |
| Sn-Ag-Cu-Sb | Sn-2Ag-0.8Cu-0.5Sb | 216-222 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 4 โลหะผสมช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวสูงมาก (>230 °C) ดังตารางที่ 2.4

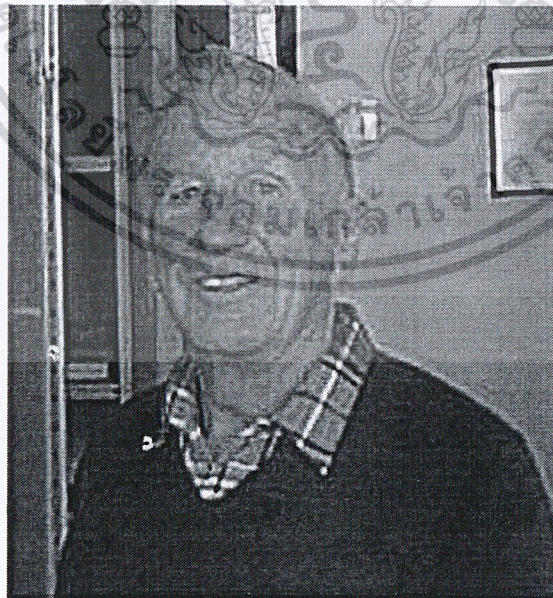
ตารางที่ 2.4 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวมากกว่า 230 °C

| ระบบ โลหะผสม | องค์ประกอบ (wt%) | ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว(°C) |
|--------------|------------------|--------------------------|
| Sn-Sb | Sn-5Sb | 232-240 |
| Sn-Au | Sn-80Au | 280 |
| Sn-Ag-Sb | Sn-25Ag-10Sb | 233 |

2.3 ทฤษฎีโวลวน (Chaos Theory)

2.3.1 การค้นพบทฤษฎีโวลวน

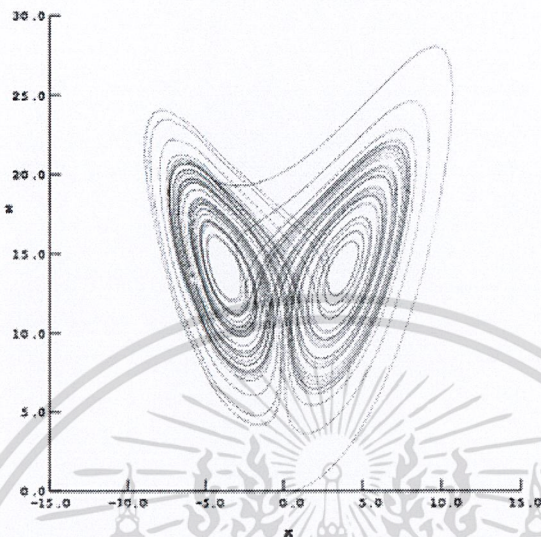
คำว่าโวลวน (Chaos) มีรากศัพท์มาจากคำว่า CHASKEN โดยทฤษฎีโวลวนถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1961 โดยนักอุตุนิยมวิทยาชื่อ Edward Lorenz โดย Edward Lorenz ได้ใช้ค่าเริ่มต้นค่าหนึ่งในการคำนวณสภาพอากาศ ต่อมา Edward Lorenz ได้ใช้ค่าเริ่มต้นค่าเดิมโดยทำการตัดตำแหน่งทศนิยมเพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณพบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าต่างกันอย่างสิ้นเชิง ซึ่งผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงค่าเริ่มต้นมีลักษณะคล้ายปีกผีเสื้อที่มีขอบเขตแต่ไม่มีการซ้ำแบบของเส้นทางโคจรซึ่งใช้ชื่อว่า Lorenz Attractor [5, 6] ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 Edward Lorenz [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lorenz attractor



รูปที่ 2.2 Lorenz Attractor หรือ Butterfly Effect

2.3.2 เงื่อนไขของความอลวน

1. มีคุณสมบัติแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinearly) เป็นคุณสมบัติที่ตรงข้ามกับคุณสมบัติแบบเป็นเชิงเส้น โดยฟังก์ชัน F จะมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นเมื่อ $F(x + y) = F(x) + F(y)$ อย่างไรก็ตามระบบที่อลวนต้องเป็นระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น แต่ระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นอาจไม่ใช่ระบบที่อลวนก็ได้

2. ไม่เกิดขึ้นแบบสุ่ม พฤติกรรมของระบบที่อลวนเกิดขึ้นภายใต้กฎเกณฑ์ที่แน่นอน และสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นบางครั้งอาจเรียก Chaos ว่า Deterministic Chaos ก็ได้

3. ไวต่อสภาวะเริ่มต้น การใช้ค่าเริ่มต้นที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดผลลัพธ์ที่แตกต่างกันเป็นอย่างมาก เนื่องจากระบบที่อลวนจะขยายความแตกต่างให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

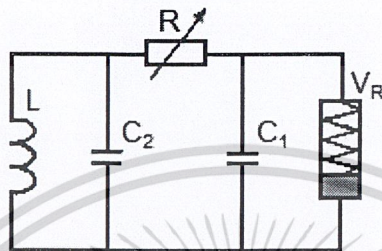
4. ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าในระยะยาวได้ เนื่องจากความสามารถในการไวต่อสภาวะเริ่มต้นจึงทำให้ไม่สามารถทำนายผลลัพธ์ในระยะยาวได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำนายระยะสั้นยังสามารถทำได้

นอกจากนี้แล้วความอลวนยังมีคุณสมบัติการแสดงลักษณะคล้ายตัวเอง (Self Similarity) หรือแฟร็กทัลซึ่งหมายความว่าเส้นทางการโคจรจะมีลักษณะเดียวกันหมดไม่ว่าจะสังเกตจากจุดใดก็ตาม อย่างไรก็ตามคุณสมบัติการแสดงลักษณะคล้ายตัวเองนั้นไม่ใช่เงื่อนไขที่จำเป็นต่อการเกิดความอลวนเพียงแต่เป็นคุณสมบัติที่พบร่วมกันเท่านั้น [5]

2.3.3 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua

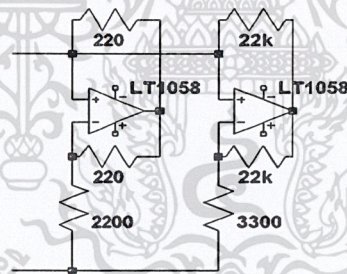
การสร้างสัญญาณอลวน สามารถออกแบบวงจรได้หลายรูปแบบ ซึ่งวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua เป็นการสร้างสัญญาณอลวนรูปแบบหนึ่งที่พัฒนาขึ้นโดย Leon Chua ซึ่งเป็นวงจรสร้างสัญญาณอลวนที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวงจรที่ไม่ซับซ้อน สามารถสร้างและประยุกต์ใช้ได้ง่าย มีเสถียรภาพ และลักษณะการเคลื่อนที่ของสัญญาณการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแบบม้วนที่ซับซ้อน โดยวงจร Chua ประกอบด้วย ความต้านทานปรับค่าได้ 1 ตัว (R), ตัวเก็บประจุ 2 ตัว (C_1, C_2) และ ตัวเหนี่ยวนำ 1 ตัว (L) คู่ร่วมกับความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้น V_R (Nonlinear Resistor) หรือเรียกว่า Chua Diode ดังรูปที่ 2.3

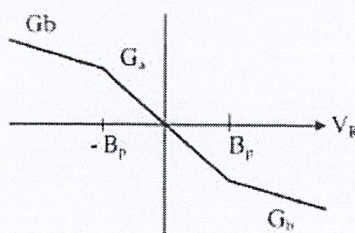


รูปที่ 2.3 วงจรสร้างสัญญาณออสซิลเลชันแบบ Chua

ความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้น V_R สามารถแทนด้วยวงจร Op-Amp และกราฟแสดงคุณลักษณะช่วงความชันของความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น ดังรูปที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 วงจร V_R เมื่อแทนด้วย Op-Amp



รูปที่ 2.5 ช่วงความชันของความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาก่อนหน้านี้และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวงจรสร้างสัญญาณออสซิลเลชันแบบ Chua สามารถแสดงด้วยสมการแสดงคุณลักษณะ ดังนี้

$$C_1 \frac{dV_{c1}}{dt} = \frac{1}{R} (V_{c2} - V_{c1}) - f(V_{c1}) \quad (2.1)$$

$$C_2 \frac{dV_{c2}}{dt} = \frac{1}{R} (V_{c1} - V_{c2}) + i_L \quad (2.2)$$

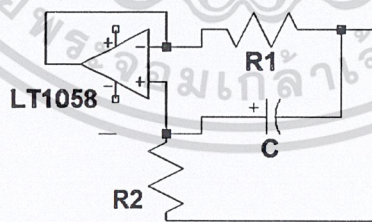
$$L \frac{di_L}{dt} = -V_{c2} \quad (2.3)$$

เมื่อ V_{c1}, V_{c2} คือ แรงดันตกคร่อม C_1 และ C_2
 i_L คือ กระแสไฟที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ
 $f()$ คือ สมการคุณลักษณะความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้น

$$f(V_R) = G_b V_R + \frac{1}{2} (G_a - G_b) (|V_R + B_p| - |V_R - B_p|) \quad (2.4)$$

เมื่อ G_a, G_b คือ ช่วงความชันภายในและภายนอกตามลำดับ
 B_p คือ จุดสิ้นสุดช่วงที่เป็นเชิงเส้น

สำหรับตัวเหนี่ยวนำจะใช้วิธีการสังเคราะห์ตัวเหนี่ยวนำ (Synthetic Inductor) ซึ่งเป็นการสร้างตัวเหนี่ยวนำจากวงจร Op-Amp ดังรูปที่ 2.6 และค่าความเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5 [8]

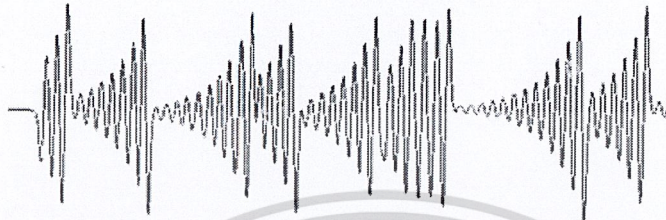


รูปที่ 2.6 วงจรตัวเหนี่ยวนำเสมือน

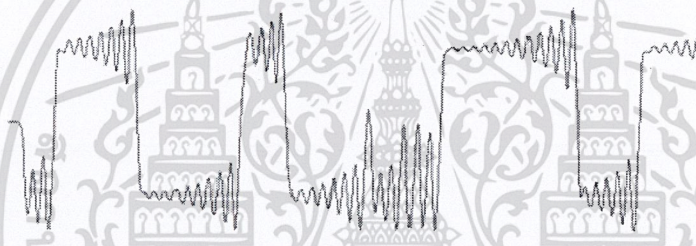
$$L = R_1 R_2 C \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาระบบและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua มี 2 ลักษณะ คือ แบบ Single Scroll และแบบ Double Scroll ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ โดยรูปแบบของสัญญาณที่ได้ขึ้นอยู่กับค่า R ในวงจร



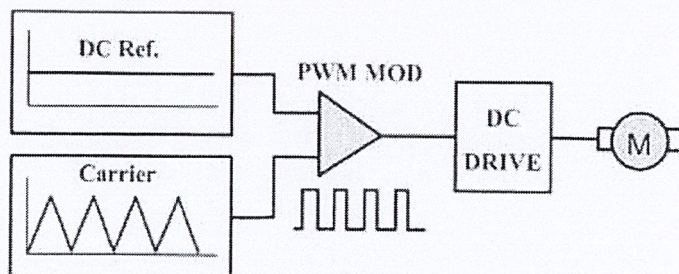
รูปที่ 2.7 สัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua แบบ Single Scroll



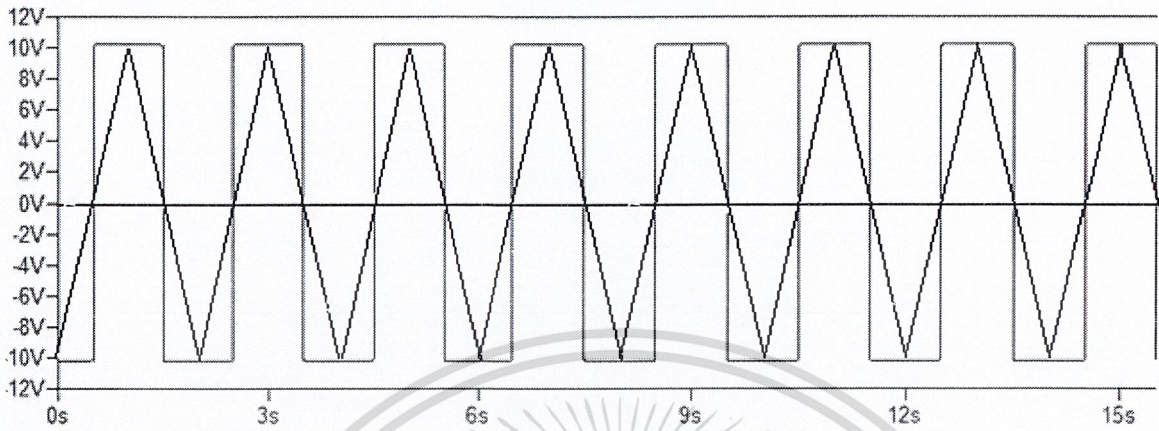
รูปที่ 2.8 สัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua แบบ Double Scroll

2.4 วงจรควบคุมแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM)

วงจรควบคุมแบบ PWM คือ การปรับความกว้างของพัลส์โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน โดยสัญญาณที่ใช้ประกอบด้วยสัญญาณพาหะ (Carrier) แบบรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular Signal) กับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิง (DC Reference) ซึ่งใช้สำหรับการป้อนสัญญาณควบคุมแบบต่างๆ และส่งสัญญาณควบคุมการทำงานแบบ PWM ผ่านวงจร DC Drive เพื่อควบคุมมอเตอร์ [5] ดังรูปที่ 2.9 โดยสัญญาณที่ได้จากวงจรควบคุมแบบ PWM มีลักษณะดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 แสดงการควบคุมมอเตอร์แบบ PWM เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



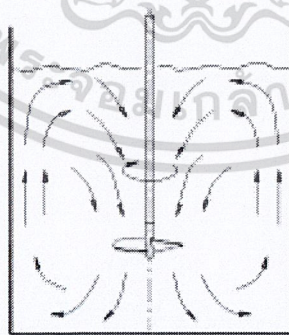
รูปที่ 2.10 ลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรควบคุมแบบ PWM

2.5 ประเภทของการกวน

สำหรับประเภทของการกวนสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการกวนผสมของเหลว [9] ดังนี้

2.5.1 กลุ่ม Axial Flow

การกวนประเภทนี้ทำให้เกิดการไหลในแนวขนานกับเพลลา ดังรูปที่ 2.11 เหมาะสำหรับการผสมของเหลวให้เข้ากันหรือการทำให้ของแข็งแขวนลอยอยู่ในของเหลว ใบกวนที่ใช้ ได้แก่ Propeller, Hydrofoil, High Efficiency, Pitched Blade Turbine และ Hydrofoil with High Solidity

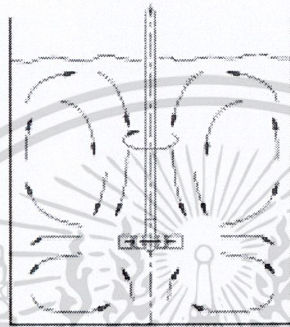


รูปที่ 2.11 Axial Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาระบบและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 กลุ่ม Radial Flow

การกวนประเภทนี้ทำให้เกิดการไหลโดยผลึกของเหลวออกในแนวรัศมี หรือในแนวตั้งฉากกับแกนเพลลา ดังรูปที่ 2.12 เหมาะสำหรับการเลื่อนของเหลวที่ไม่ผสมกันเป็นเนื้อเดียวให้มีขนาดเล็กกลงหรือการลดขนาดของของแข็ง ใบกวนที่ใช้ ได้แก่ Turbine Disc, Concave Blade Disc, Bar Disc, Saw Disc และ Rotor Stator



รูปที่ 2.12 Radial Flow

2.5.3 กลุ่ม Tangential Flow และ Mixed Flow

การกวนประเภทนี้ทำให้เกิดการไหลของของเหลวที่หมุนรอบขอบถัง ดังรูปที่ 2.13 แต่ Tangential Flow ไม่ช่วยในการผสมของเหลวให้เข้ากัน ดังนั้นจึงใช้แผ่นกั้น (Baffles) ในการเปลี่ยนทิศของเหลวให้ขึ้นลงในแนวตั้ง ใบกวนที่ใช้ ได้แก่ Paddle, Traper Paddle, Seba Paddles, CS Paddles, Anchor และ Helical Ribbon

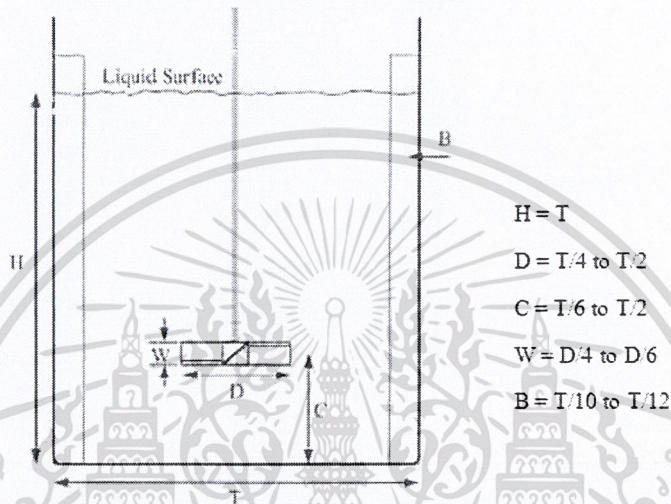


รูปที่ 2.13 Tangential Flow และ Mixed Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาก่อนและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อัตราส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบการผสมของเหลว

การกำหนดขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ใช้อัตราส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบการผสมของเหลว [5] ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 อัตราส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบการผสมของเหลว

- โดย
- H คือ ความสูงของของเหลว (Liquid Height)
 - T คือ ขนาดถังผสม (Tank Diameter)
 - D คือ ขนาดใบพัด (Impeller Diameter)
 - C คือ ความสูงในการติดตั้งใบพัด (Impeller Clearance)
 - W คือ ความกว้างใบพัด (Impeller Blade Width)
 - B คือ ผนังบาฟเฟิล (Wall Baffles)

2.7 การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของสารประกอบ ด้วยเทคนิค Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF) และวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างธาตุแต่ละธาตุในสารประกอบ

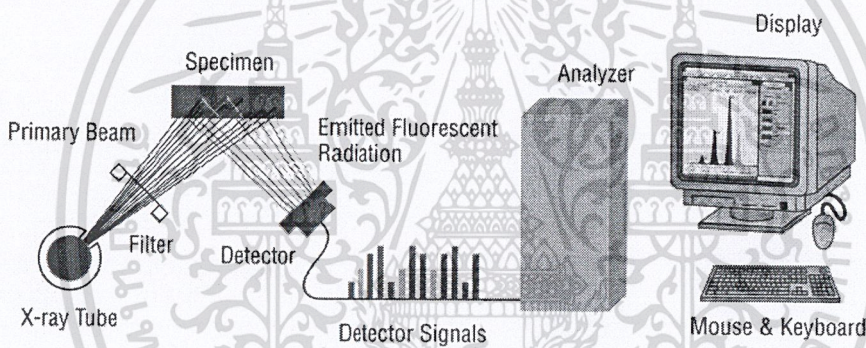
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ 15 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1. Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น เพื่อช่วยให้ทราบถึงปริมาณของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ รวมถึงวัสดุที่มีการปนเปื้อนอยู่ สำหรับนำไปวิเคราะห์เชิงลึกต่อไป ซึ่งเป็นเทคนิคที่ให้ผลรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายชนิดพร้อมกัน และวิเคราะห์ธาตุได้ตั้งแต่ Na ถึง U

2.7.1.1 หลักการทำงานของ Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF)

เมื่อรังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดรังสีพุ่งเข้าชนอะตอมของธาตุ ทำให้อิเล็กตรอนอยู่ในสภาวะกระตุ้น และอิเล็กตรอนจะกลับสู่สภาวะปกติ ซึ่งในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด (Characteristic X-Ray) โดยขนาดของพลังงานที่ปล่อยออกมาทำให้รูชนิดของธาตุและความเข้มของพลังงานเฉพาะตัวที่ปล่อยออกมาทำให้รู้ปริมาณของธาตุนั้นๆ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 หลักการทั่วไปของเทคนิค ED-XRF

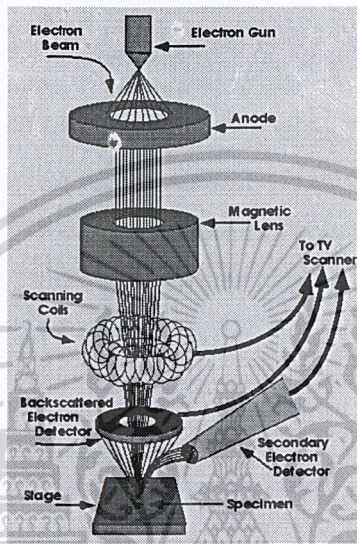
2.7.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดหนึ่งที่สามารถแสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวของวัสดุ ขนาด รูปร่างของอนุภาคผง และแสดงให้เห็นลักษณะการกระจายของเฟสในโครงสร้างจุลภาค โดยอาศัยหลักการกราดไปบนพื้นผิวชิ้นงานด้วยลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง ซึ่งภาพโครงสร้างที่ได้เป็นภาพลักษณะ 3 มิติที่มีความคมชัดสูง

2.7.2.1 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

เมื่อแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนทำการผลิตอิเล็กตรอน จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนและระยะโฟกัสไปที่ผิวของชิ้นงาน จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อเอกสารและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแปลงเป็นสัญญาณเพื่อนำไปสร้างเป็นภาพบนจอแสดงภาพต่อไป นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถใช้ร่วมกับเทคนิค EDS หรือ EDX เพื่อการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่มีความละเอียดและได้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้น โดยแสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [10] ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.8 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการวิจัยของสุรศักดิ์ [11] ได้ใช้ยูนิตเซลล์ชนิด Simple Cubic Packing ในการจำลองสารประกอบที่มีอนุภาคเสริมแรงและกระจายตัวแบบสุ่ม ภายในโครงสร้างที่อยู่ภายใต้สมมติฐานว่า อนุภาคเสริมแรงเป็นของแข็งและมีทรงกลม ยูนิตเซลล์ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นแบบจำลองของการเสียรูปของอะลูมิเนียมที่โครงสร้างผลึกแบบ Simple Cubic Packing ใน 2 อัตราส่วนด้วยกัน คือ 15% และ 20% ภายใต้การรับแรงดึง เป็นที่คาดการณ์ว่า การใส่ชิ้นที่มีการเสริมแรงจะช่วยพัฒนาความแข็งแรงของ PRMMCs เมื่อเทียบกับโครงสร้างของวัสดุที่ไม่มีการเสริม และเป็นไปตามที่คาดการณ์ว่า ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับปริมาตรของอนุภาคเสริมแรงที่ใส่ลงไปโดยตรง

Yan และคณะ [12] ได้ทำการเตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาค โดยการผสม อนุภาคของโลหะบัดกรีชนิด 99.3Sn-0.7Cu ที่มีขนาด $43 \mu\text{m}$ เข้ากับอนุภาค Ag ขนาด $1 \mu\text{m}$ และมีความบริสุทธิ์ 99.9% ซึ่งมีอัตราส่วน 5% ของปริมาณโลหะบัดกรีทั้งหมด โดยจะใช้ No-Clean Flux ช่วยในการผสมทางกลเป็นเวลาอย่างต่ำ 15 นาที จากนั้นตัวอย่างที่ได้จะนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -10°C ซึ่งพบว่าตัวอย่างที่ได้จะมีค่า Creep Rupture Life และความต้านทานการ creep ที่มากกว่าโลหะบัดกรีชนิด 99.3Sn-0.7Cu ธรรมดา อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดี ค่า Creep Rupture Life จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยค่า creep rupture life ของตัวอย่างจะมีอัตราการลดลงที่รวดเร็วกว่า โลหะบัดกรีชนิด 99.3Sn-0.7Cu ธรรมดา

Yan และคณะ [13] ได้ทำการเตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาค โดยการผสม อนุภาคของโลหะบัดกรีชนิด 99.3Sn-0.7Cu ที่มีขนาด $43 \mu\text{m}$ เข้ากับอนุภาค Ag ขนาด $1 \mu\text{m}$ และมีความบริสุทธิ์ 99.9% ซึ่งมีการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อที่ 17 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วน 5% ของปริมาณโลหะบัดกรีทั้งหมด โดยจะใช้ RMA No-Clean Flux ช่วยในการผสมทางกลเป็นเวลาอย่างต่ำ 15 นาที จากนั้นตัวอย่างที่ได้จะนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -10°C จากการศึกษาพบว่าค่า Creep Rupture Life ของรอยบัดกรี 99.03Sn-0.7Cu ที่เสริมแรงด้วยอนุภาค Ag จะมีค่ามากกว่ารอยบัดกรีธรรมดา ในขณะที่ค่า Creep Rupture Life จะลดลงเมื่อความเค้นเพิ่มขึ้น และภายใต้เงื่อนไขเดียวกันค่า Creep Rupture Life ของรอยบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาค Ag จะลดลงด้วยอัตราที่เร็วกว่ารอยบัดกรีธรรมดา

Nai และคณะ [14] ได้ทำการเตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาคโดยการผสมผงโลหะบัดกรีชนิด 95.8Sn-3.5Ag-0.7Cu ที่มีขนาด $25 - 45 \mu\text{m}$ เข้ากับอนุภาค TiB_2 ที่มีขนาด $3 - 5 \mu\text{m}$ ด้วย V-Blender โดยการผสมจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแท่งโลหะที่ได้จะถูกนำไปอบภายใต้บรรยากาศที่ปกคลุมด้วยก๊าซอาร์กอน จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ที่อุณหภูมิห้อง จากการศึกษาพบว่าโลหะบัดกรีที่อัตราส่วน 1.5% โดยปริมาตรของอนุภาค TiB_2 มีคุณสมบัติการเปื่อยที่ดีที่สุดโดยมุมการเปื่อยมีการพัฒนาขึ้น 22.2% อย่างไรก็ตาม หากอัตราส่วนของอนุภาค TiB_2 มีค่าตั้งแต่ 5% โดยปริมาตรขึ้นไปจะทำให้มุมการเปื่อยที่ได้มีคุณภาพลดลง นอกจากนี้การเติมอนุภาค TiB_2 ยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโลหะบัดกรีที่ได้ โดยโลหะบัดกรีที่ได้จะมีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนของอนุภาค TiB_2 3% โดยปริมาตร ส่งผลให้ค่าความเค้นคราก และค่าความเค้นสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น 26 และ 23% ตามลำดับเมื่อเทียบกับโลหะบัดกรีธรรมดา แต่ค่าความเหนียวที่ได้จะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอนุภาคเสริมแรง

Shi และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาค้นสมบัติการต้านทานการ Creep และแรงเหนือน ของโลหะบัดกรีที่มีการเสริมแรงด้วยอนุภาคระดับนาโนและไมโคร โดยโลหะบัดกรีที่ใช้เป็นชนิด 63Sn-37Pb และ 99.3Sn-0.7Cu ที่มีขนาด $43 \mu\text{m}$ ขณะที่ อนุภาคนาโนที่ใช้มีดังนี้ คือ Cu ขนาด 50 nm . และ Ag ขนาด 60 nm ส่วนอนุภาคไมโครที่ใช้ คือ Cu ขนาด $80 \mu\text{m}$ และ Ag ขนาด $1 \mu\text{m}$ ด้วยการกวนทางกล เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำโลหะบัดกรีตัวอย่างที่ได้ไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -10°C จากการศึกษาพบว่า โลหะบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคไมโครมีความต้านทานการ Creep ที่ดีกว่าโลหะบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนที่ความเค้นและอุณหภูมิต่ำ แต่ในขณะที่โลหะบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนมีความต้านทานแรงเหนือนที่ดีกว่าโลหะบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคไมโคร อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบคุณสมบัติต่างๆแล้วพบว่าโลหะบัดกรี 99.3Sn-0.7Cu ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคไมโคร Ag เป็นโลหะบัดกรีที่มีราคาต่ำและหาง่ายที่สุด

Masazumi และคณะ [16] ได้ทำการเติมอนุภาคนาโน Co, Ni, Pt, Al, P, Cu, Zn, Ge, Ag, In, Sb และ Au ลงในโลหะบัดกรีชนิด 97Sn-3Ag และ 99Sn-1Ag เพื่อศึกษาผลที่มีต่อความหนาของชั้น Intermetallic Compound, ขนาดของเกรน, ความสามารถในการตก และการเกิดรอยแตกร้าว จากการศึกษาพบว่า การเติมอนุภาคนาโน Co, Ni, Pt ลงในโลหะบัดกรีชนิด 97Sn-3Ag ไม่มีผลทำให้ความหนาของชั้น Intermetallic Compound และขนาดของเกรนเพิ่มขึ้นการเติมอนุภาคนาโน Co, Ni, Pt ลงในโลหะบัดกรีชนิด 97Sn-3Ag จะเกิดรอยแตกร้าวบนชั้น Intermetallic Compound น้อยลงมากเมื่อกับการเติมอนุภาคนาโน Cu, Sb, In, Bi, Ge, Al, Zn ลงในโลหะบัดกรีชนิดเดียวกัน, การเติมอนุภาคนาโน Cu, In, Co, Ni, Pt ลงในโลหะบัดกรีชนิด 97Sn-3Ag ไม่มีผลทำให้ความสามารถในการตกเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมอนุภาคนาโน Co, Ni, Pt ลงในโลหะบัดกรีชนิด 99Sn-1Ag จะทำให้มีความสามารถในการตกที่ดีขึ้นอย่างมาก

Lin และคณะ [17] ได้ทำการเตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนโดยการผสมผงโลหะบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb เข้ากับผง Cu บริสุทธิ์ขนาด $20 - 40 \text{ nm}$ หรือผง TiO_2 ขนาด $20 - 30 \text{ nm}$ ซึ่งทำการเตรียมวัสดุบัดกรีทำโดยการเติม RMA Flux ประมาณ 10-12% โดยมวล มาทำการกวนในบีก้าหลอมเซรามิกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อความและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำตัวอย่างที่ได้มาให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอจนมีอุณหภูมิ 250 °C ในบรรยากาศของอะลูมิเนียมจึงปล่อยให้ตัวอย่างเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง โดยกระบวนการทั้งหมดอยู่ภายใต้บรรยากาศที่ปกคลุมด้วยก๊าซอาร์กอน จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาทำความสะอาดโดยการแช่ในกรดไฮโดรคลอริกและการทำความสะอาดด้วย Ultrasonic ที่อุณหภูมิห้อง จากการศึกษาพบว่าโลหะบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน Cu จะมีจุดหลอมเหลวลดลง ในขณะที่โลหะบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน TiO₂ จะมีจุดหลอมเหลวที่สูงขึ้น พบว่าโลหะบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน Cu และ TiO₂ มีโครงสร้างจุลภาคที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น

Liu และคณะ [18] ได้ทำการเตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนโดยการผสมผงโลหะบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb ที่มีขนาด 43 μm เข้ากับอนุภาคนาโน Ag ที่มีความบริสุทธิ์ 99.9% ที่มีขนาด 10 – 80 nm ซึ่งมีอัตราส่วน 3% โดยปริมาตร และใช้อัตราส่วนระหว่าง No-Clean Flux และสารประกอบที่ต้องการผสม 1 : 7 ทำการผสมด้วยกระบวนการทางกลเป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที จากการศึกษาพบว่าโลหะบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน Ag มีคุณสมบัติทางกล, ความสามารถในการบัดกรี, การนำไฟฟ้า, การนำความร้อน และค่า Creep Rupture Life ที่ดีกว่าโลหะบัดกรีธรรมดา

Mavoori และคณะ [19] ได้ทำการเตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนโดยการผสมผงโลหะบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb ที่มีขนาด 35 μm เข้ากับอนุภาคนาโน Ti₂O ขนาด 5 nm และ Al₂O₃ ขนาด 10 nm คิดเป็นอัตราส่วน 3% โดยปริมาตร ผงโลหะทั้งหมดจะนำมาผสมกับเอทานอลด้วยการเขย่าอย่างรุนแรงและการกวนด้วยอัตราคงที่จนได้โลหะบัดกรีแบบ Slurry โดย Slurry ที่แห้งแล้วจะถูกนำไปอัดที่อุณหภูมิห้องภายใต้แรงกด 196 MPa ให้มีรูปร่าง 50 mm × 10 mm × 5 mm จากนั้นนำแท่งโลหะ ไปอัดขึ้นรูปที่ความเค้น 915 MPa, อัตราความเร็ว 0.2 s⁻¹ ที่อุณหภูมิ 120 °C เพื่อลดความหนาของแท่งโลหะด้วยอัตราส่วน 1 : 6 จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาตัดเป็น 6 ชิ้นตามแนวยาว โดยพื้นผิวจะถูกทำความสะอาดด้วยกระดาษ SiC จากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดมาบรรจุกล่องที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีอุณหภูมิ 120 °C เพื่ออัดขึ้นรูปให้มีความหนาเหลือเพียง 1 ใน 6 ของความหนาเดิมทั้งหมด 6 ครั้ง จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยกระบวนการทั้งหมดอยู่ภายใต้บรรยากาศที่ปกคลุมด้วยก๊าซอาร์กอน จากการศึกษาพบว่าโลหะบัดกรีที่ได้มีขนาดเกรน 200 – 500 nm และมีความต้านทานการ Creep ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้โลหะบัดกรีที่ได้จะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นที่อัตราความเร็วต่ำ อย่างไรก็ตามความแข็งแรงนี้จะหายไปที่อัตราความเร็วสูง แต่จะมีความเหนียวที่เพิ่มขึ้นแทน

Lin และคณะ [20] ได้ทำการเตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนโดยการผสมผงโลหะบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 74 μm เข้ากับอนุภาคนาโน Cu ขนาด 100 nm ด้วยอัตราส่วนของอนุภาคนาโน Cu 1, 2, 5% โดยมวล และใช้ RMA Flux ทำการผสมโดยการกวนในบรรยากาศของอะลูมิเนียมเป็นเวลา 30 นาที โดยสารประกอบโลหะบัดกรีชนิดครีมที่ได้จะถูกให้ความร้อนในบรรยากาศของอะลูมิเนียม โดยแผ่นอะลูมิเนียมจะวางบนแผ่นเหล็กร้อนที่มีอุณหภูมิ 250 °C ภายใต้บรรยากาศที่ปกคลุมด้วยก๊าซอาร์กอน โดยจะหยุดให้ความร้อนเมื่อโลหะบัดกรีเริ่มเกิดการหลอมละลาย จากนั้นโลหะบัดกรีที่ได้จะถูกปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง และโลหะบัดกรีที่ได้จะถูกนำไปทำความสะอาดด้วยกรดไฮโดรคลอริก จากการศึกษาพบว่าการเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนสามารถเพิ่มความแข็งแรงของโลหะบัดกรีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tai และคณะ [21] ได้ทำการเตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนโดยการผสมโลหะบัดกรีชนิด 99.3Sn-0.7Cu ชนิดคริมเข้ากับอนุภาคนาโน Ag ที่มีความบริสุทธิ์ 99.9% ขนาด 10 – 100 nm ซึ่งผ่านกระบวนการทำให้ปราศจากออกไซด์ ทำการผสมด้วยกระบวนการทางกลเป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที จากการศึกษาพบว่าสมบัติการเปื่อยของโลหะบัดกรี 99.3Sn-0.7Cu ที่เสริมแรงด้วยอนุภาค Ag บนพื้นผิวของทองแดงจะลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนของอนุภาคนาโน Ag โดยอัตราส่วนที่ทำให้มีสมบัติการเปื่อยที่ดีที่สุดคือ 0.5 และ 1 % นอกจากนี้ ความต้านทานแรงเฉือนของรอยบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน Ag จะมีค่ามากกว่ารอยบัดกรีธรรมดา และรอยบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน Ag 1% จะมีค่า Creep Rupture Life มากที่สุดที่ 75 °C และ 16 MPa [14]

Chen และคณะ [22] ได้เตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนโดยการผสมโลหะบัดกรีชนิด 42Sn-58Bi ชนิดคริม เข้ากับอนุภาคนาโน 96.5Sn-3Ag-0.5Cu ที่ได้จากกระบวนการ Consumable-Electrode Direct Current Arc ที่มีลักษณะใกล้เคียงทรงกลมขนาด 20 – 80 nm ที่ปริมาตร 1, 2, 3, 4% โดยมวล เป็นเวลา 30 นาที จากการศึกษาพบว่าสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนจะมีคุณภาพของเกรนและความเค้นเค้นสูงที่สุดที่ต่ำกว่าโลหะบัดกรีธรรมดา นอกจากนี้การเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนยังช่วยจำกัดการเคลื่อนที่ของ Dislocation อีกด้วย แต่ถ้ามีการเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนมากเกินไป จะทำให้ความต้านทาน Thermo-Mechanical Fatigue ลดลง

Nai และคณะ [23] ได้ทำการเตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีที่ทำการเสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน 2 ชนิด โดยชนิดแรก ทำการเตรียมโดยการผสมผงโลหะบัดกรีชนิด 96.5Sn-3.5Ag เข้ากับอนุภาคนาโน SnO₂ ด้วยเครื่อง SETSH PM-400 ด้วยความเร็วรอบคงที่ 200 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้น นำตัวอย่างที่ได้มาทำการอบด้วยเทคนิค Microwave-Assisted Sintering จนมีอุณหภูมิ 221 °C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาทำการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 221 °C ให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 mm ส่วนชนิดที่สองทำการเตรียมโดยการผสมผงโลหะบัดกรีชนิด 99.3Sn-0.7Cu เข้ากับอนุภาคนาโน Al₂O₃ ด้วย V-Blender จากนั้น นำตัวอย่างที่ได้มาทำการอบด้วยเทคนิค Microwave-Assisted Sintering จนมีอุณหภูมิ 210 °C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาทำการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 210 °C ให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 mm จากการศึกษาพบว่าอนุภาคเสริมแรงขนาดนาโนมีการกระจายตัวอยู่ทั่วโครงสร้างของตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด โดยส่วนผสมที่ดีที่สุดสำหรับคุณสมบัติทางกลของโลหะบัดกรีชนิด 96.5Sn-3.5Ag คือ 0.7% โดยปริมาตรของอนุภาคนาโน SnO₂ และโลหะบัดกรีชนิด 99.3Sn-0.7Cu คือ 1.5 % โดยปริมาตรของอนุภาค Al₂O₃ นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างของรูพรุนเป็นปัจจัยที่ส่งผลสำคัญต่อความแข็งแรงของวัสดุ

Shen และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาสมบัติการเปื่อยของโลหะบัดกรีชนิด 96Sn-3.5Ag-0.5Cu เมื่อใช้ Flux ที่ผสมอนุภาคนาโน โดยอนุภาคนาโนที่ใช้ในการศึกษาคือ อนุภาคนาโน ZrO₂ ซึ่งถูกเตรียมด้วยการตกตะกอนทางเคมีของ ZrOCl₂ · 8H₂O โดยอนุภาคนาโน ZrO₂ ที่ได้มีขนาด 30 – 50 nm และอนุภาคนาโน Ag ซึ่งถูกเตรียมด้วยกระบวนการ Laser Synthesis โดยอนุภาคนาโน Ag ที่ได้มีขนาด 35 nm อนุภาคนาโนที่ได้จะนำมาผสมกับ Water-Soluble Cleaning-Free Flux ในอัตราส่วน 5% โดยปริมาตร ด้วยการเขย่าอย่างรุนแรงและการกวนด้วยอัตราคงที่เพื่อให้ Flux ที่ได้มีลักษณะเป็น Slurry จากนั้น นำ Flux ที่ได้มาทำการบัดกรีบนแผ่นทองแดงที่มีขนาด 1 x 1 cm² และผ่านการขัดผิว จากการศึกษาพบว่ามุมที่ได้จากการบัดกรีใช้ Flux ที่ผสมอนุภาคนาโน Ag มีขนาดลดลงจากเดิม 38° เป็น 32° เมื่อเทียบกับ Flux ที่ไม่ผสมอนุภาคนาโน ในขณะที่การบัดกรีโดยใช้ Flux ที่ผสมอนุภาคนาโน ZrO₂ พบว่าโลหะที่หลอมเหลวไม่สามารถกระจายตัวบนแผ่นทองแดงได้ เนื่องจากเกิดการจับตัวของอนุภาคนาโน ZrO₂ บนพื้นผิวของทองแดง

Liu และคณะ [25] ได้ทำการเตรียมโลหะบัดกรีชนิด 95.5Sn-3.8Ag-0.7Cu ชนิดคริมมีขนาด 20-50 μm ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน SiC ที่มีขนาด 20 nm ในปริมาณต่างๆ (0.01wt.%, 0.05wt.%, 0.2wt.%) ด้วยการใช้ RMA Flux ในปริมาณ 10 - 12 % โดยมวล โดยเริ่มจากเชื่อมจาก SiC ในเอทานอลเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำโลหะบัดกรีและอนุภาคเสริมแรงมาผสมในเบ้าหลอมเซรามิกเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้กระบวนการผสมทางกล จากนั้นนำโลหะบัดกรีตัวอย่างที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}\text{C}$ จากการศึกษาพบว่าจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน SiC มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่า (ประมาณ 1 $^{\circ}\text{C}$) และมีคุณภาพของชั้น Intermetallic Compound ที่ดีกว่าโลหะบัดกรีที่ไม่มีการเสริมแรง นอกจากนี้ค่า Micro Hardness ของโลหะบัดกรีตัวอย่างที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน SiC ในปริมาณ 0.05wt.% จะมียุคค่ามากที่สุด คือ 23.36 kg/mm^2 ซึ่งคิดเป็น 30-40 % เมื่อเทียบกับโลหะบัดกรีที่ไม่มีการเสริมแรง

Fu [26] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการใช้อุณหภูมิในโลหะบัดกรี พบว่าการใช้อุณหภูมิช่วยลดอัตราการเสื่อมสภาพ, เพิ่มความต้านทานการ Creep และ Thermo-Mechanical Fatigue ของโลหะบัดกรี โดยการสร้างโลหะบัดกรีสามารถทำได้ 2 วิธี คือ กระบวนการผสมทางกล และกระบวนการ In-situ อย่างไรก็ตามการที่กระบวนการผลิตโลหะบัดกรีที่มีอนุภาคแขวนลอยไม่สามารถใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้เท่าไรนัก และโลหะบัดกรีที่มีอนุภาคแขวนลอยก็ยังไม่เป็นที่สนใจเท่าที่ควร ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติและกระบวนการผลิตโลหะบัดกรีที่มีอนุภาคแขวนลอยต่อไป

Shen และคณะ [27] ได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการพัฒนาสมบัติของโลหะบัดกรีเพื่อเพิ่มความต้านทานการ Creep และ Thermo-Mechanical Fatigue ของโลหะบัดกรี โดยใช้การกระจายตัวของอนุภาคเสริมแรงเพื่อจำกัดการเคลื่อนที่ของขอบเกรนและการเคลื่อนที่ของ Dislocation ระหว่างการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอนุภาคเสริมแรงที่ใช้ได้แก่ อนุภาคของโลหะ, เซรามิก และ Intermetallic Compound โดยการเลือกใช้อุณหภูมิเสริมแรงนั้นควรเลือกให้อนุภาคที่สามารถเข้ากับวัสดุบัดกรีได้ดี โดยการเติมอนุภาคเสริมแรงลงในวัสดุบัดกรีทำได้ 2 วิธีคือ กระบวนการผสมทางกล และกระบวนการ In-situ โดยพบว่าสารประกอบโลหะบัดกรีที่ได้จากกระบวนการผสมทางกลจะมีการกระจายตัวของอนุภาคเสริมแรงที่ไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร ในขณะที่สารประกอบโลหะบัดกรีที่ได้จากกระบวนการ In-situ จะมีความหยาบและความเสียดทานของอนุภาคเสริมแรงขณะทำการบัดกรี

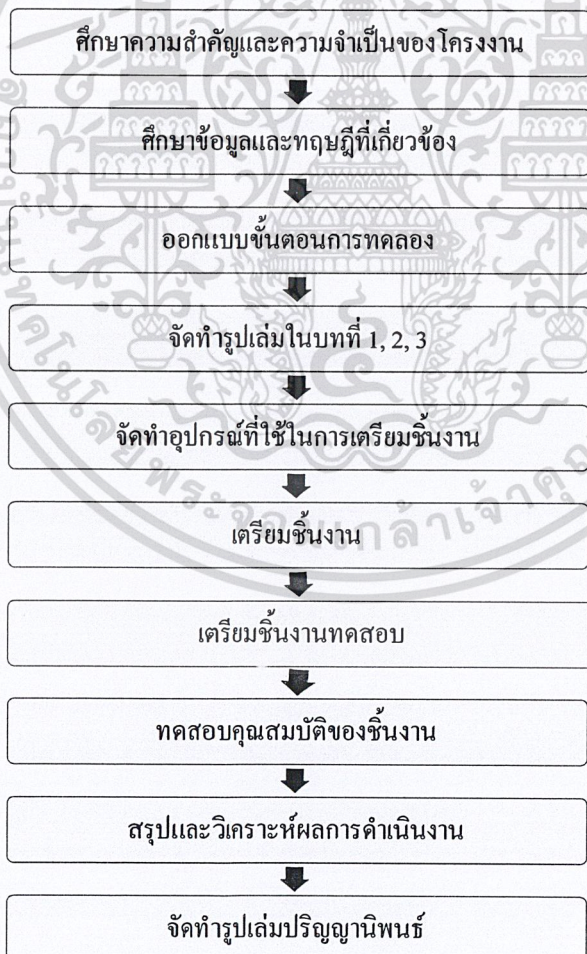
จากการวิจัยของศักดิ์ดา [5] ได้ทำการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้สัญญาณอลวนแบบ Chua และแบบ Logistic ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้ในการปั่นผสมสารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำมันไบโอดีเซล และลดปริมาณพลังงานที่ใช้ ซึ่งพบว่าการใช้สัญญาณอลวนแบบ Chua สามารถลดพลังงานที่ใช้ได้เป็นอย่างมาก และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำมันไบโอดีเซลเล็กน้อย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานในการศึกษาอิทธิพลของสัญญาณอลวนที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในโลหะบัดกรี Sn-58Bi ประกอบด้วย ขั้นตอนการดำเนินงาน วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และขั้นตอนการทดลอง

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

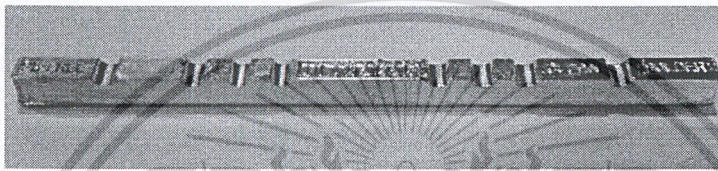


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

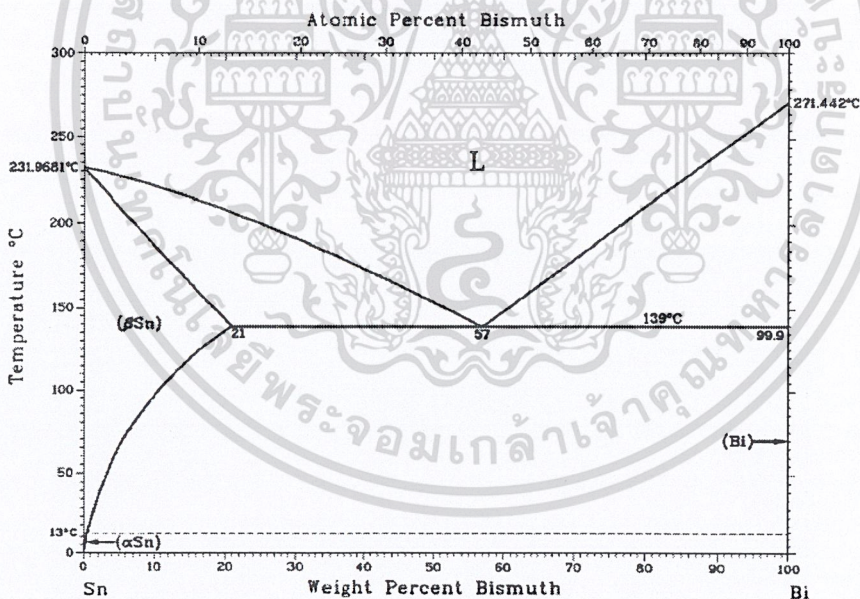
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi

เป็นโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-Bi ที่มี Sn เป็นส่วนประกอบ 42 wt% และ Bi เป็นส่วนประกอบ 58 wt% เป็นโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่เหมาะสมสำหรับการบัดกรีที่อุณหภูมิต่ำ มีจุดหลอมเหลวที่ 139 °C ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ มีค่าความหนาแน่น 8.75 g/cm³ และมีค่าความหนืด 2.1 mPa.s ที่อุณหภูมิ 250 °C ของบริษัท อัลตราคอร์ จำกัด



รูปที่ 3.1 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi



รูปที่ 3.2 Phase Diagram ของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-Bi

3.2.2 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร (10⁹ เมตร) โดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในการเตรียมสารประกอบโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วเป็นอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้มาจากวิธี Flame Spray Pyrolysis อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีลักษณะเป็นผงละเอียดที่มีขนาดของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ 23 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคอยู่ในระดับนาโนเมตร มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวที่ไม่สามารถเปลี่ยนสีได้ สามารถใช้ในการฆ่าแบคทีเรีย ยับยั้งการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย ป้องกันรังสี UV-A และ UV-B และใช้ในการระงับกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ของบริษัท นาโน แมททีเรียลส์ เทคโนโลยี จำกัด โดยคุณสมบัติทั่วไปของอนุภาคนาโนซิงออกไซด์ ดังตารางที่ 3.1 [28]

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิงออกไซด์

| | | |
|------------------------|---------------------|-------------------|
| Molecular Weight | 81.39 | g/mole |
| Appearance | White Powder | |
| Crystal Phase | Zincite (Hexagonal) | |
| Purity | 99.5+ | % |
| Average Particles Size | 20-40 | nm |
| Specific Surface Area | 26.22 | m ² /g |
| Bulk Density | 0.14 | g/cc |
| True Density | 5.6 | g/cc |
| ค่า P.H. | 7-8 | |
| Melting Point | 1975 | °C |

3.2.3 เบบ้าหลอม (Crucible)

ใช้เบ้าหลอมที่ทำมาจากพอร์ซเลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 58 mm และความสูง 70 mm ของบริษัท รอยัล พอร์ซเลน จำกัด (มหาชน) [29] ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.2 และลักษณะเบ้าหลอมที่ใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 3.3

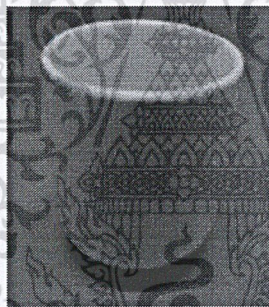
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของพอร์ซเลน

| Properties | Units | Test | Porcelain |
|-------------------------------|-----------------|-----------|-----------|
| Mechanical | | | |
| Density | gm/cc | ASTM-C20 | 2.4 |
| Water Absorption | % | ASTM-373 | 0 |
| Color | - | - | White |
| Flexural Strength (MOR) 20° C | MPa (psi x 103) | ASTM-F417 | 130 (19) |
| Elastic Modulus 20° C | GPa (psi x 106) | ASTM-C848 | 104 (15) |
| Compressive Strength 20 °C | Mpa(psi x 103) | ASTM-C773 | 590 (86) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของพอร์ซเลน (ต่อ)

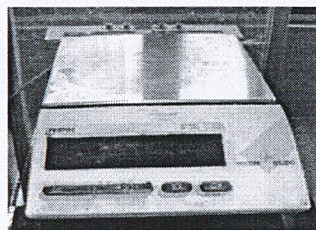
| Properties | Units | Test | Porcelain |
|---|---------------------------|---------------|-----------|
| Hardness | GPa (kg/mm ²) | KNOOP 1000 gm | 5.9 (600) |
| | R45N | ROCKWELL 45 N | 60 |
| Fracture Toughness K(I c) | Mpa m ^{1/2} | NOTCHED BEAM | 2 |
| Thermal Conductivity 20 °C | W/m K | ASTM-C408 | 5 |
| Coefficient of Thermal Expansion 25-1000 °C | 1X 10 ⁻⁶ /°C | ASTM-C372 | 4.9 |
| Maximum Use Temperature | °C | NO-LOAD COND. | 1400 |
| Dielectric Constant 1 MHz | 25 °C | ASTM-D150 | 5.9 |
| Dielectric Loss (tan delta) 1 MHz | 25 °C | ASTM-D150 | 0.0024 |



รูปที่ 3.3 เมาหลอมที่ใช้ในการทดลอง

3.2.4 เครื่องชั่ง

ใช้เครื่องชั่งดิจิทัล 1-4 ทศนิยม ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น PB3002 ที่สามารถรับน้ำหนักสูงสุด 3 กิโลกรัม และมีความละเอียด 10 mm ในการชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.4

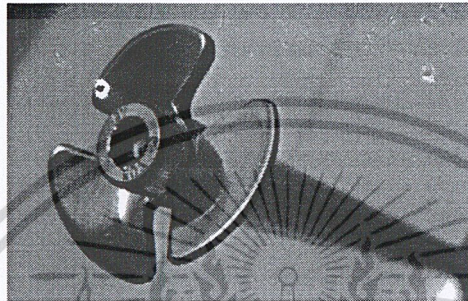


รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งรุ่น PB3002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินเพื่อใช้เท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

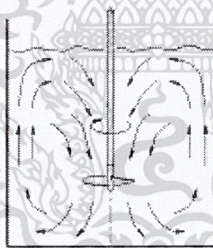
3.2.5 โบกวน (Stirrer)

ใช้โบกวนแบบใบพัด (Propeller Stirrer) ทำจาก Stainless Steel 304 AISI ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 25 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา 9.52 mm เพลยาว 350 mm สั่งทำจากบริษัท แพลทตินั่ม เอ็นจิเนียริง แอนด์ เซอร์วิส จำกัด ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โบกวนที่ใช้ในการทดลอง

การใช้โบกวนแบบใบพัดในลักษณะนี้ทำให้เกิดการผสมในแนวขนานกับเพลลา ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะการไหลในแนวขนานกับเพลลา

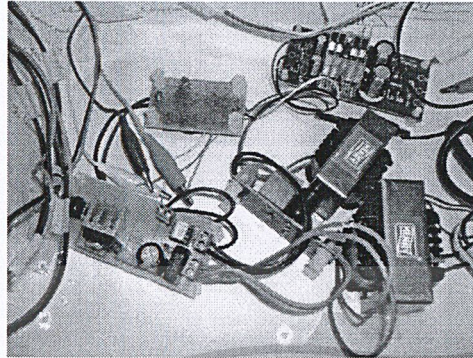
3.2.6 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 3 A และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 V สามารถรับภาระสูงสุดที่ 10 kg ความเร็วรอบ 400 rpm

3.2.7 วงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ใช้วงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ PWM ที่ใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือสัญญาณอลวนเป็นแรงดันอ้างอิง ดังรูปที่ 3.7

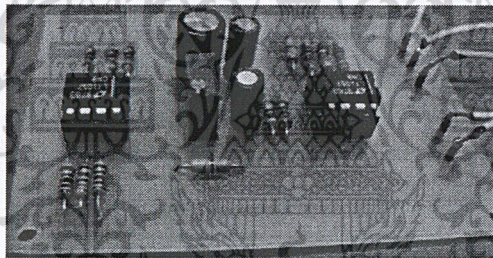
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาก่อนหน้านี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมมอเตอร์แบบ PWM ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.8 วงจรสร้างสัญญาณคลื่นแบบ Chua

ใช้วงจรสร้างสัญญาณคลื่นแบบ Chua สำหรับสร้างแรงดันอ้างอิง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจร Chua ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.9 Hotplate

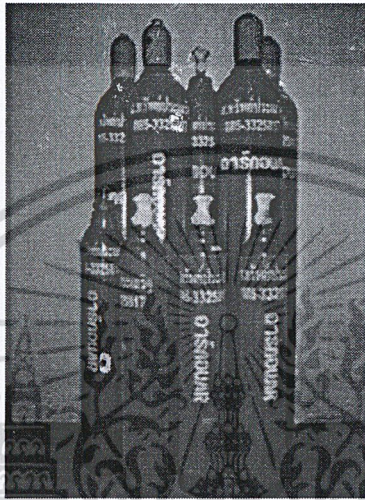
ใช้ Hotplate ยี่ห้อ LMS รุ่น HTP-1002 ที่สามารถปรับอุณหภูมิตั้งแต่ 60 – 350 °C ในการหลอมและให้ความร้อน ขณะกวนสารประกอบ ดังรูปที่ 3.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.9 Hotplate ที่ใช้ในการทดลองนั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ 27 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10 อาร์กอน

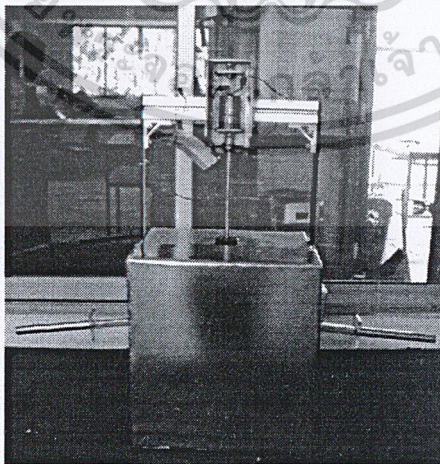
ใช้อาร์กอนเป็นบรรยากาศปกคลุม เพื่อป้องกันการออกซิไดซ์และการทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนของโลหะ
บัดกรี ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ถังอาร์กอนที่ใช้ในการทดลอง

3.2.11 กล่องยึดอุปกรณ์

ใช้กล่องยึดอุปกรณ์ในการจับยึดมอเตอร์ เบ้าหลอม และ Hotplate โดยสั่งทำจาก บริษัท จันทราชา เอ็นจิเนียริง
จำกัด ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กล่องยึดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.12 กระดาษทรายน้ำ

ใช้กระดาษทรายน้ำเบอร์ 100 400 800 1200 2000 และ 4000 ในการขัดชิ้นงานแบบหยาบ

3.2.13 ผงอะลูมินา

ใช้ผงอะลูมินาขนาด 1 และ 0.3 μm ในการขัดชิ้นงานแบบละเอียด ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ผงขัดอะลูมินา

3.2.14 เครื่องขัดสั๊กหลอดแบบจานหมุน

ใช้เครื่องขัดสั๊กหลอดแบบจานหมุน ยี่ห้อ Struers รุ่น LaboPol-1 ในการขัดชิ้นงานแบบละเอียดร่วมกับผงอะลูมินา ดังรูปที่ 3.13

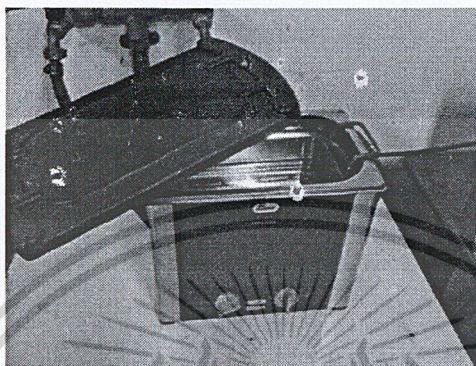


รูปที่ 3.13 เครื่องขัดสั๊กหลอดแบบจานหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาระดับนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.15 เครื่องล้างความถี่สูง

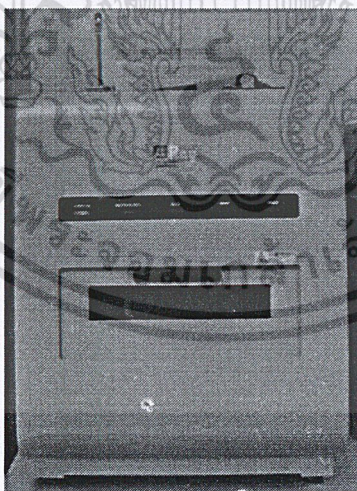
ใช้เครื่องล้างความถี่สูงยี่ห้อ ELMA รุ่น S30/H ในการทำความสะอาดชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องล้างความถี่สูงยี่ห้อ ELMA รุ่น S30/H

3.2.16 เครื่อง Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

ใช้เครื่อง Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น μ EDS-1200 สำหรับการวิเคราะห์อัตราส่วนทางเคมีเบื้องต้น ดังรูปที่ 3.15

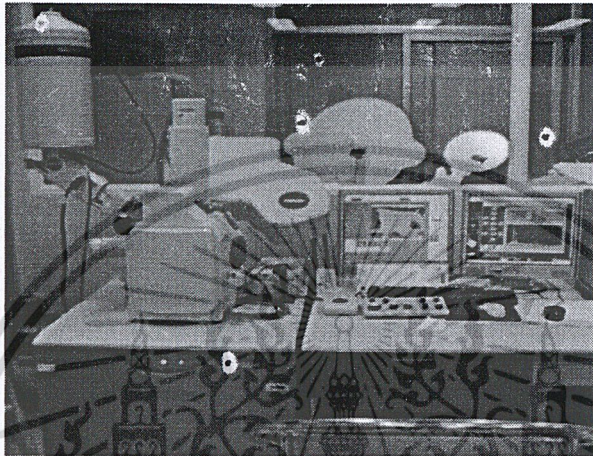


รูปที่ 3.15 เครื่อง Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อเรื่องและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Hitachi รุ่น S-3400N สำหรับวิเคราะห์ลักษณะและโครงสร้างธาตุแต่ละธาตุในชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

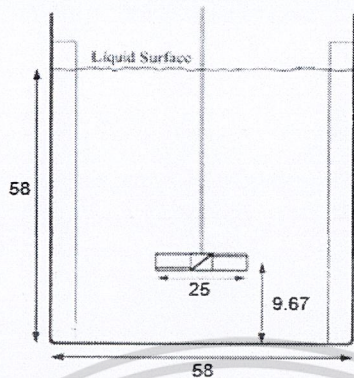
ขั้นตอนการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนก่อนการทดลอง ขั้นตอนระหว่างการทดลอง และขั้นตอนหลังการทดลอง

3.3.1 ขั้นตอนก่อนการทดลอง

3.3.1.1 ขั้นตอนออกแบบและจัดทำใบกวน

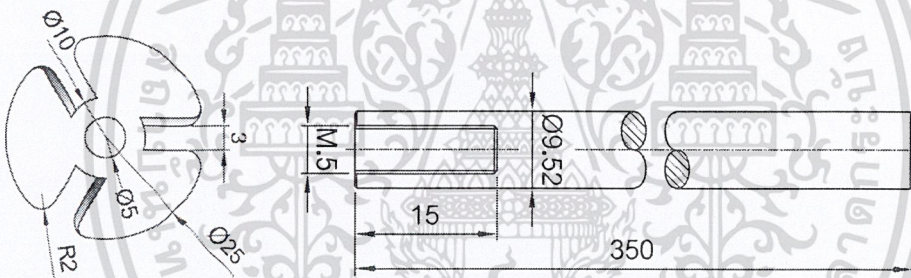
1. เลือกประเภทของการกวนที่ทำให้อนุภาคแขวนลอยภายในของเหลวสามารถกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยประเภทของการกวนที่ใช้ คือ แบบ Axial Flow
2. จัดซื้อและวัดขนาดเบ้าหลอมเพื่อใช้ในการกำหนดขนาดของใบกวน ตามอัตราส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบการผสมของเหลว ดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ขนาดของใบกวนและเบ้าหลอมที่ใช้ในการทดลอง

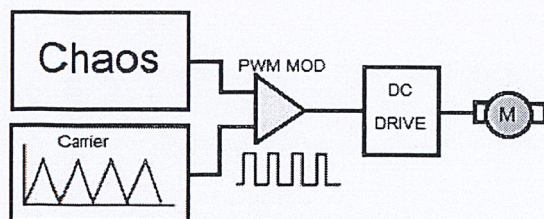
3. สั้ทำใบกวนแบบใบพัด ตามอัตราส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบการผสมของเหลว ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ขนาด ใบกวนแบบใบพัดที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1.2 ขั้นตอนออกแบบและจัดทำวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua

การควบคุมมอเตอร์โดยใช้สัญญาณอลวน ทำได้โดยการป้อนสัญญาณอลวนเป็นแรงดันอ้างอิงแทนที่สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 3.19

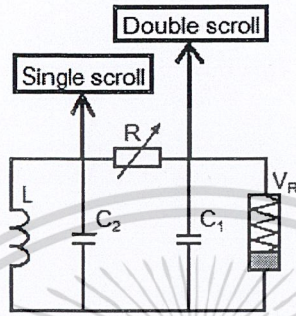


รูปที่ 3.19 วงจรควบคุมมอเตอร์ที่ใช้สัญญาณอลวนเป็นแรงดันอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อเอกสารและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

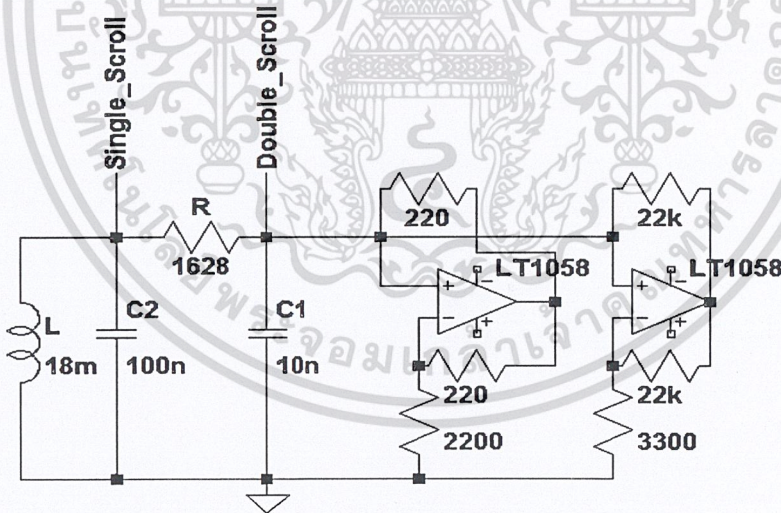
สัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua มี 2 ลักษณะ คือ Single Scroll และ Double Scroll ดังรูปที่

3.20



รูปที่ 3.20 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua

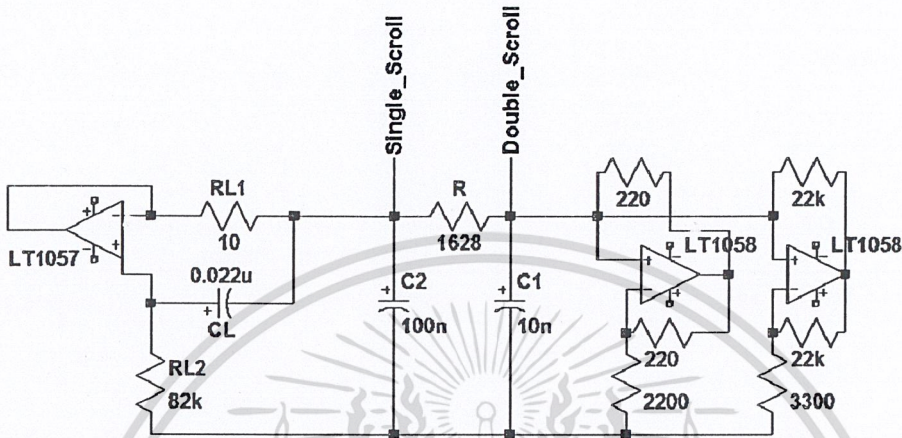
อย่างไรก็ตาม ตัวต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้น V_R สามารถแทนที่ได้ด้วยวงจร ดังรูปที่ 3.21 ซึ่งเป็นรูปแบบพื้นฐานของวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua [8]



รูปที่ 3.21 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ใช้ตัวต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้นเสมือน

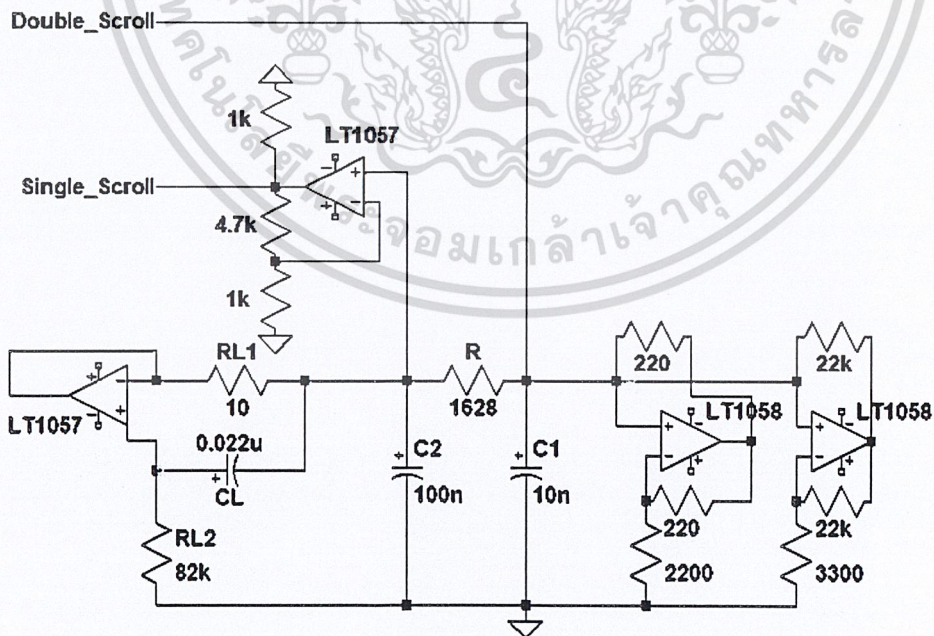
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาระบบและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำสำเร็จรูปไม่สามารถนำไปใช้ในวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ได้ จึงต้องแทนที่ตัวเหนี่ยวนำด้วยวงจร ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำเสมือน

แต่เนื่องจากสัญญาณ Single Scroll ที่ได้มีค่าที่ต่ำกว่าสัญญาณ Double Scroll มาก จึงต้องใช้วงจรขยายแรงเพื่อให้สัญญาณทั้งสองมีขนาดแรงดันที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ใช้วงจรขยายแรงดันสัญญาณ Single Scroll

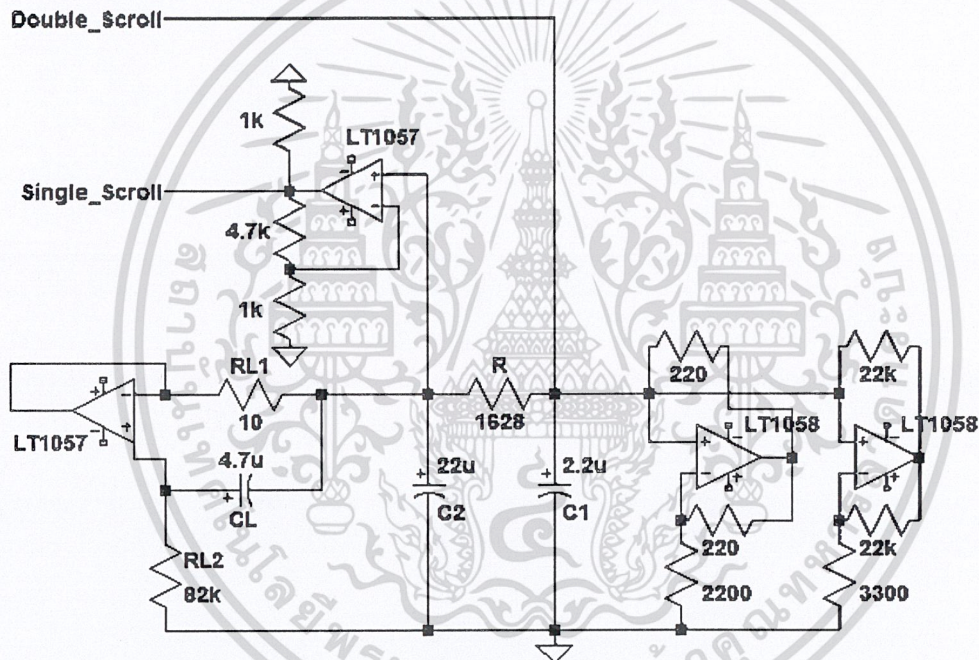
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาก่อนและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua สามารถปรับความถี่ได้ ดังสมการที่ 3.1

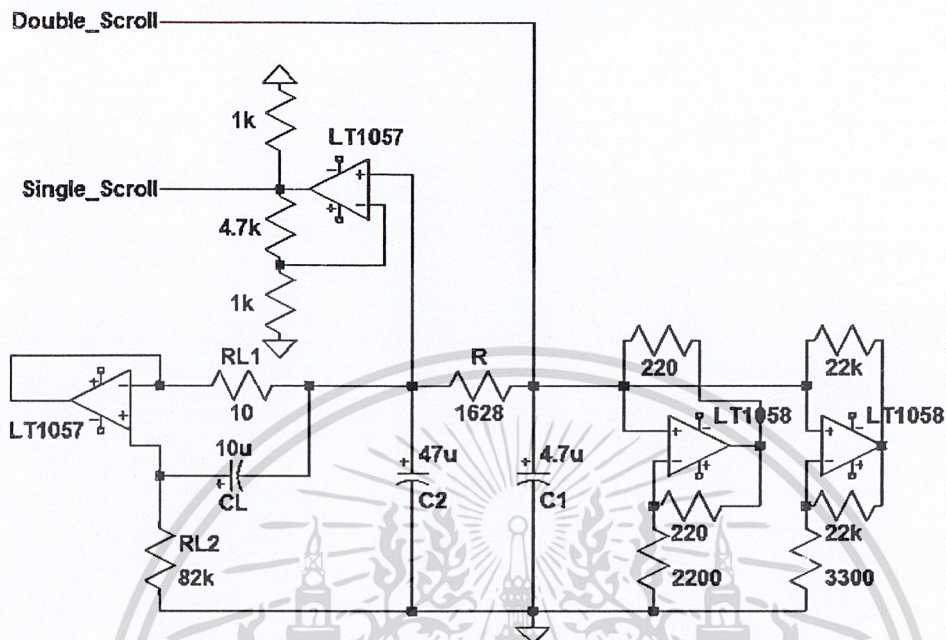
$$\frac{C1_1}{C1_2} = \frac{C2_1}{C2_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{CL_1}{CL_2} = \frac{f_2}{f_1} \quad (3.1)$$

เมื่อ f_x คือ ความถี่ของสัญญาณอลวนแบบ Single Scroll ของวงจรที่ x

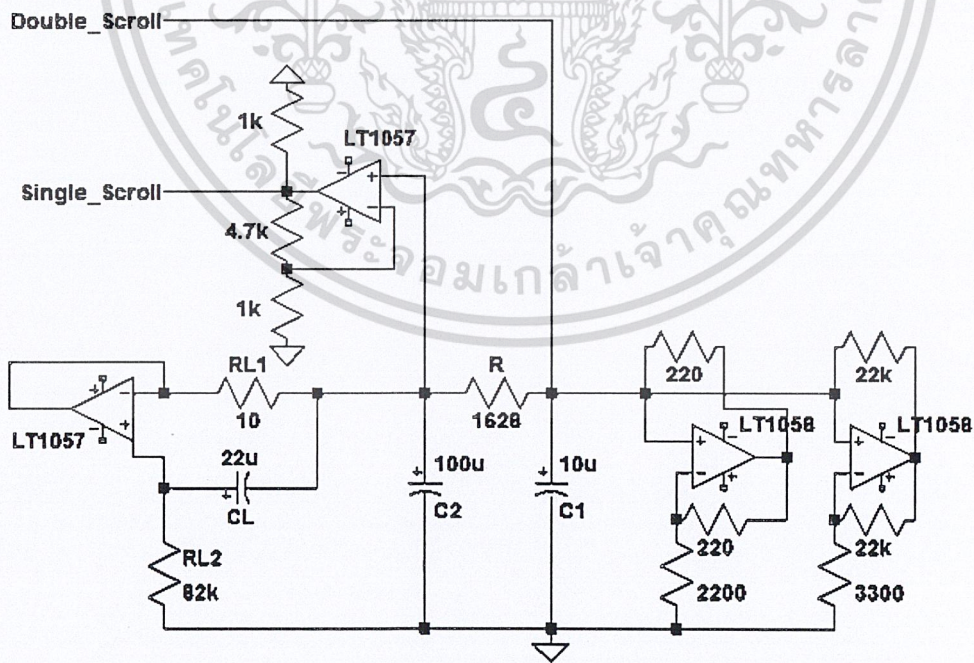
โดยความถี่ของสัญญาณอลวนแบบ Single Scroll ที่ใช้ในการทดลอง คือ 14.5 6.5 และ 3 Hz ดังรูปที่ 3.24 3.25 และ 3.26 ตามลำดับ



รูปที่ 3.24 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 14.5 Hz



รูปที่ 3.25 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 6.5 Hz



รูปที่ 3.26 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 3 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาระบบและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

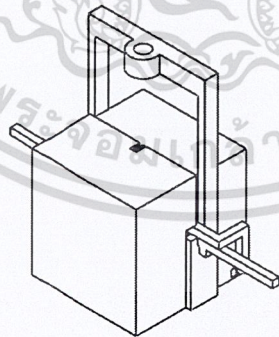
สำหรับการทดลองสามารถแบ่งตามรูปแบบที่ใช้ในการปั่นผสม ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รูปแบบการทดลอง

| ชั้นงานที่ | ปริมาณ โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi (wt%) | ปริมาณอนุภาคนาโน ซิงค์ออกไซด์ (wt%) | ค่า C2 (μF) | ลักษณะของสัญญาณควบคุม |
|------------|---|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | 100 | 0 | - | ความเร็วคงที่ 400 rpm |
| 2 | 99.9 | 0.1 | 100 | Double Scroll |
| 3 | 99.9 | 0.1 | 100 | Single Scroll |
| 4 | 99.9 | 0.1 | 47 | Double Scroll |
| 5 | 99.9 | 0.1 | 47 | Single Scroll |
| 6 | 99.9 | 0.1 | 22 | Double Scroll |
| 7 | 99.9 | 0.1 | 22 | Single Scroll |
| 8 | 99.9 | 0.1 | - | ความเร็วคงที่ 400 rpm |

3.3.1.3 ขั้นตอนออกแบบกล่องยึดอุปกรณ์

1. ออกแบบวิธีการเตรียมชิ้นงาน
2. ออกแบบกล่องยึดอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.27

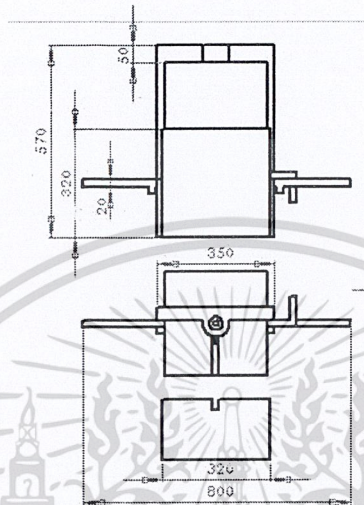


รูปที่ 3.27 แบบกล่องยึดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ 37 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

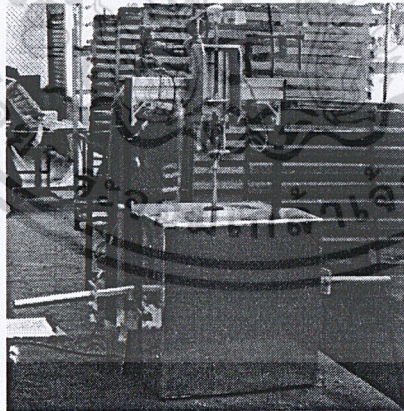
3. กำหนดขนาดและชนิดของวัสดุให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานและอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในการทดลอง ดังรูปที่

3.28



รูปที่ 3.28 แบบกล่องซึดอุปกรณ์

4. สั้่งทำกล่องซึดอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 กล่องซึดอุปกรณ์

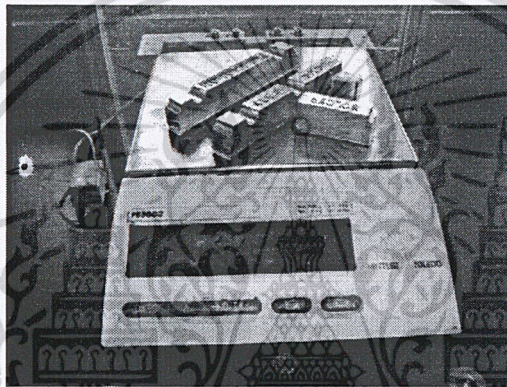
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาระบุและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ขั้นตอนระหว่างการทดลอง

3.3.2.1 ขั้นตอนเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

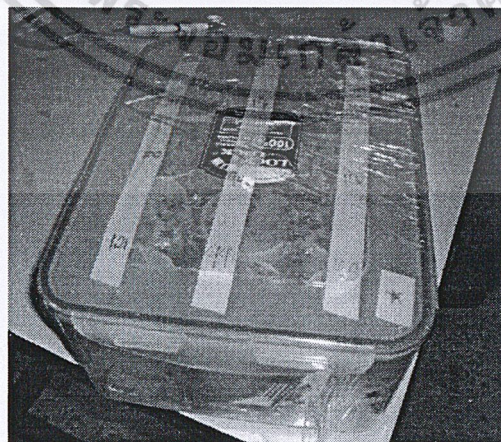
1. กำหนดมวลของโลหะบัดกรีสารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ใช้ในการทดลองจากขนาดของอุปกรณ์เพื่อให้ถูกต้องตามอัตราส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบการผสมของเหลว โดยโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ใช้ในการทดลองเท่ากับ 99.9 wt% และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เท่ากับ 0.1 wt%

2. ชั่งโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 การชั่งโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi

3. จัดเก็บที่อุณหภูมิห้องโดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต้องจัดเก็บในภาชนะที่ปราศจากความชื้นเพื่อป้องกันการจับตัวกันของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังรูปที่ 3.31

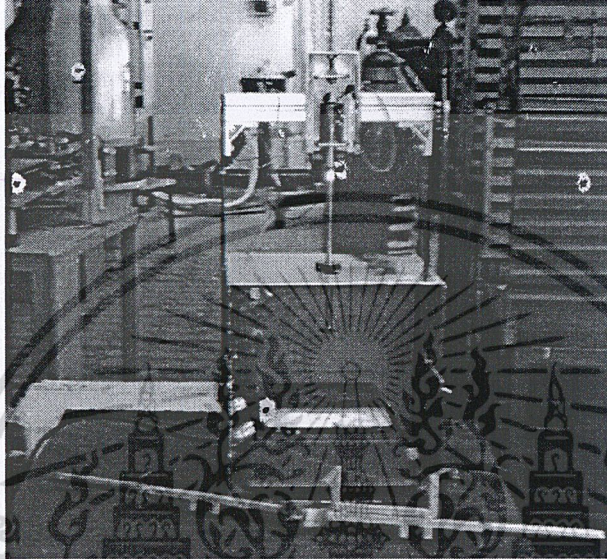


รูปที่ 3.31 การเก็บอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในกล่องสุญญากาศที่บรรจุสารดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อเรื่องและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 ขั้นตอนเตรียมชิ้นงาน

1. ติดตั้งสายอาร์กอน Hotplate และวงจรควบคุมมอเตอร์เข้ากับกล่องยึดอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

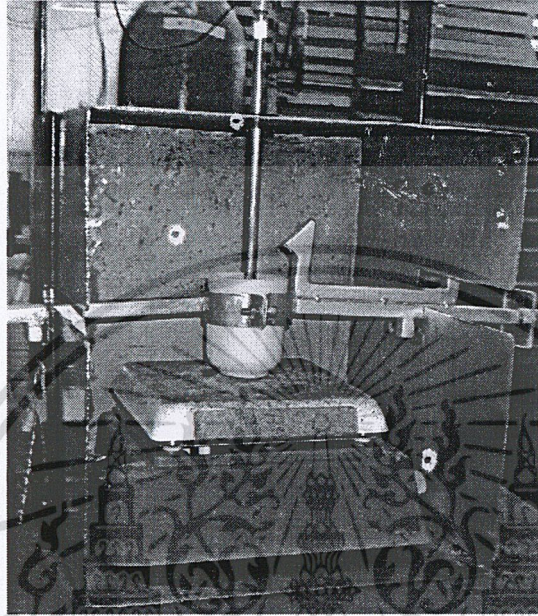
2. เติมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ลงในเบ้าหลอมซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์จับยึดภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 การเติมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเบ้าหลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อเอกสารและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้ Hotplate ให้ความร้อนสำหรับการหลอมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้รับความร้อนจาก Hotplate

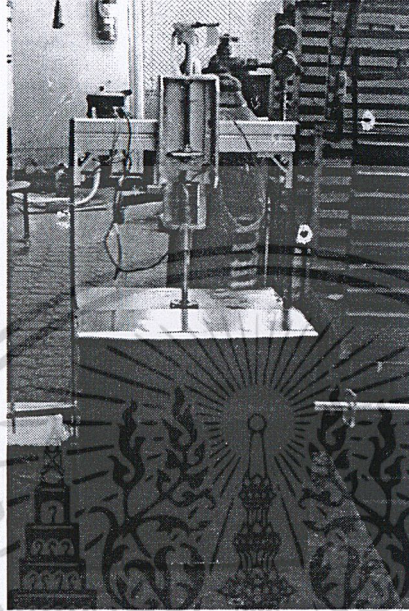
4. ตั้งระดับความสูงของใบกวนตามอัตราส่วนมาตรฐานสำหรับการออกแบบการผสมของเหลว ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 ปรับระดับความสูงของใบกวน

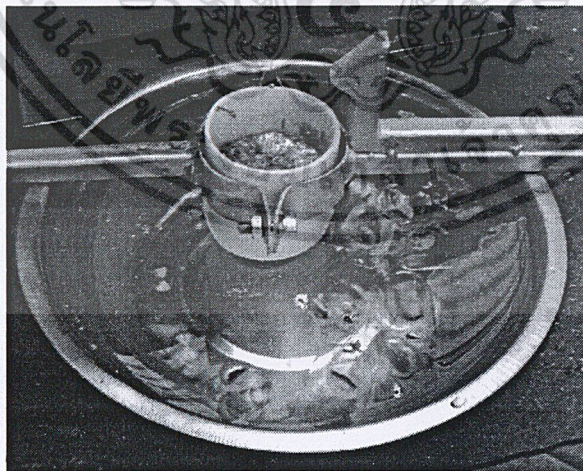
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปั่นผสมเป็นเวลา 25 นาที ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 การปั่นผสม

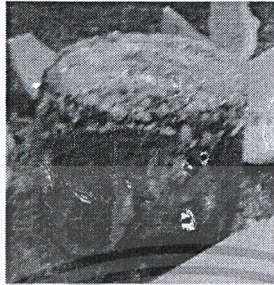
6. ลดอุณหภูมิของชิ้นงานอย่างรวดเร็วจนชิ้นงานแข็งตัว ดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 การลดอุณหภูมิของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำชิ้นงานออกจากเบ้าหลอม ดังรูปที่ 3.38

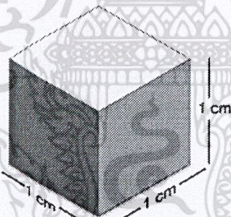


รูปที่ 3.38 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

3.5.3 ขั้นตอนหลังการทดลอง

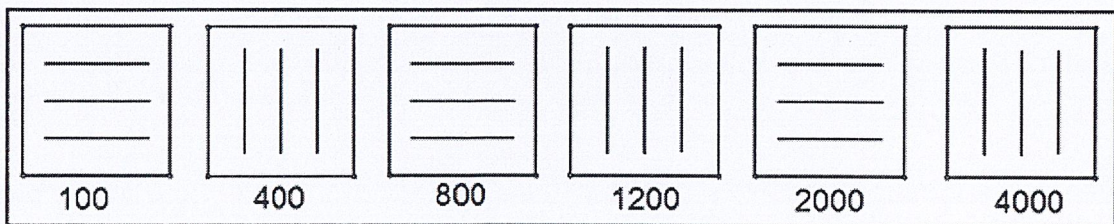
3.5.3.1 ขั้นตอนเตรียมชิ้นงานทดสอบ

1. นำชิ้นงานมาทำตัดเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$ ดังรูปที่ 3.39



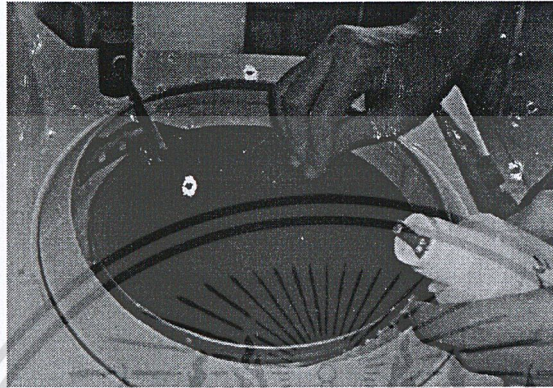
รูปที่ 3.39 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

2. ชัดชิ้นงานแบบหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100, 400, 800, 1200, 2000 และ 4000 โดยต้องทำการขัดชิ้นงานให้ตั้งฉากกับรอยเดิมทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนเบอร์กระดาษทราย ดังรูปที่ 3.40



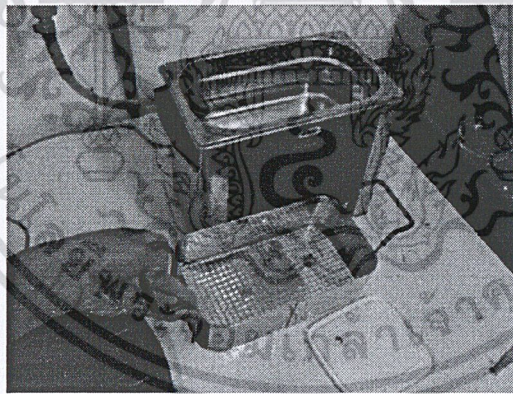
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.40 ลักษณะการขัดกระดาษทรายเบอร์ต่างๆ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ 43 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชัดชิ้นงานแบบละเอียดด้วยผงอะลูมินาขนาด 1 และ 0.3 μm ตามลำดับบนเครื่องขัดสักหลาดแบบจานหมุนที่มีน้ำหล่อเย็น ดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 การขัดชิ้นงานด้วยผงอะลูมินาบนเครื่องขัดสักหลาดแบบจานหมุน

4. ล้างชิ้นงานด้วยเครื่องล้างความถี่สูงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 การนำชิ้นงานออกจากเครื่องล้างความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาก่อนและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3.2 ขั้นตอนวิเคราะห์อัตราส่วนของธาตุ

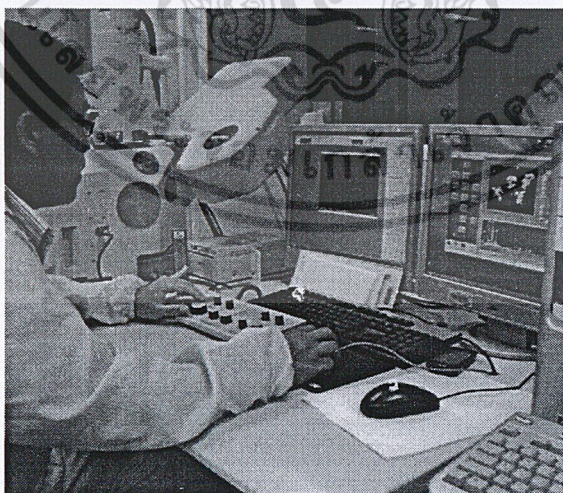
ส่งชิ้นงานตรวจสอบด้วยเครื่อง Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นบนระนาบของชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 การนำชิ้นงานเข้าเครื่อง Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

3.5.3.3 ขั้นตอนตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

ส่งชิ้นงานตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาระบุและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

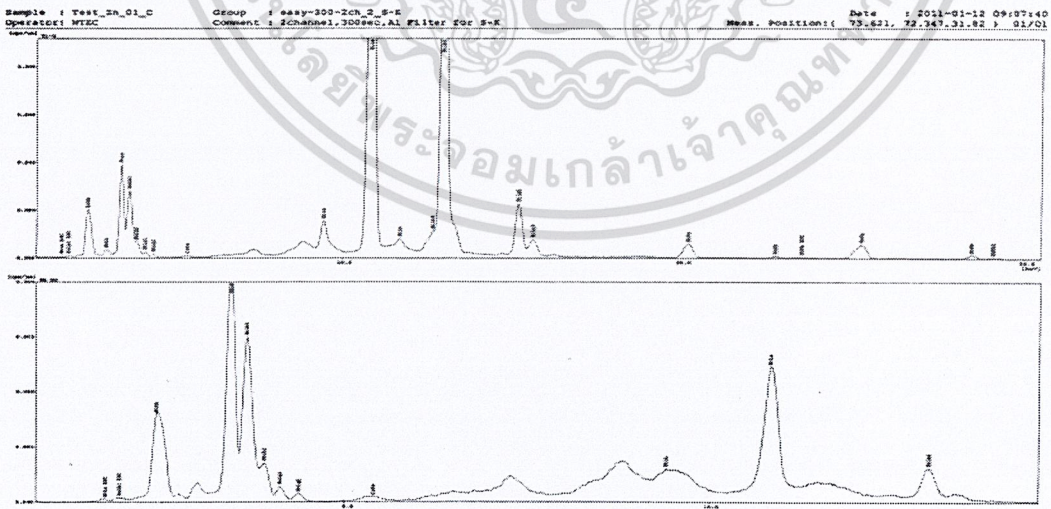
ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังนี้

4.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4.1.1 ชิ้นงานที่ 1 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi

4.1.1.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

จากการวิเคราะห์โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence ได้ผลดังรูปที่ 4.1 และมีปริมาณธาตุองค์ประกอบดังตารางที่ 4.1

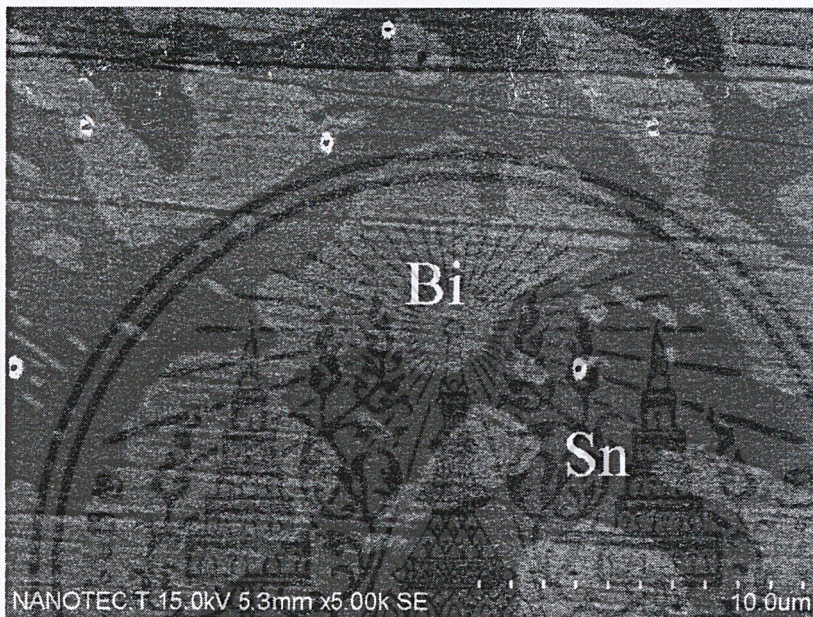


รูปที่ 4.1 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ดังรูปที่ 4.2

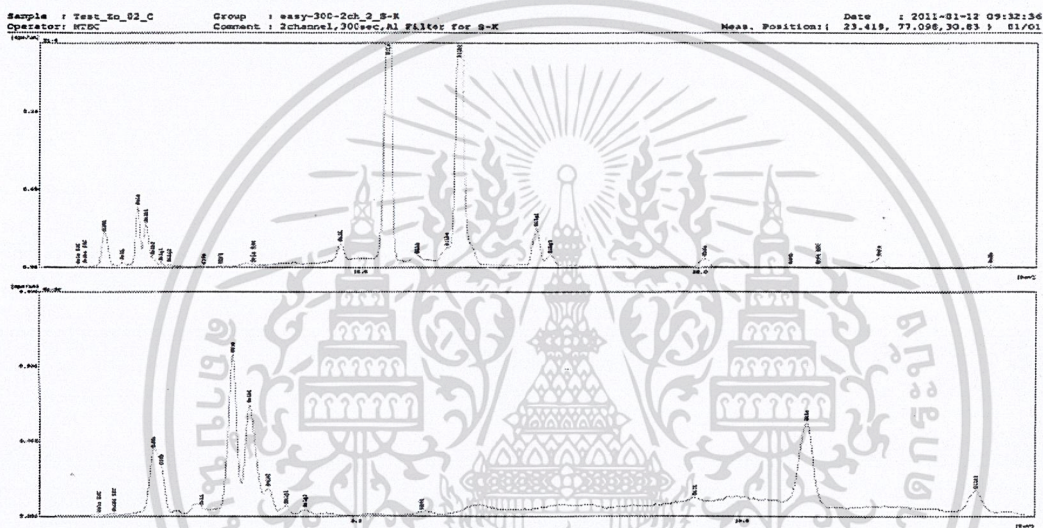


รูปที่ 4.2 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 1

4.1.2 ชิ้นงานที่ 2 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน ZnO (เป็นผสมด้วยสัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณออสซิลโลแกรม Chua แบบ Double Scroll, ค่า $C2 = 100 \mu\text{F}$)

4.1.2.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

จากการวิเคราะห์โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ปนผสมกับอนุภาคนาโนสังเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence ได้ผลดังรูปที่ 4.3 และมีปริมาณธาตุองค์ประกอบดังตารางที่ 4.1

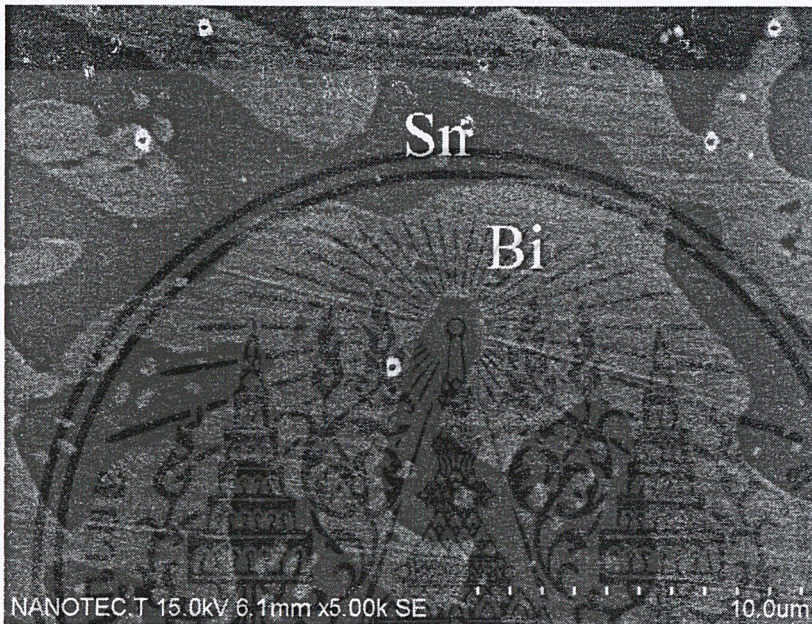


รูปที่ 4.3 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาก่อนและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังรูปที่ 4.4



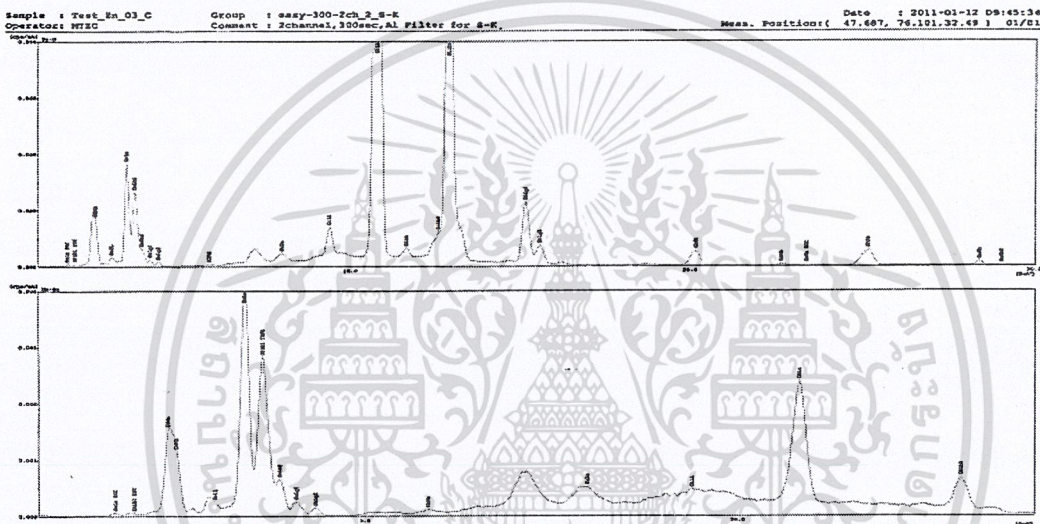
รูปที่ 4.4 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ชิ้นงานที่ 3 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน ZnO (เป็นผสมด้วยสัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณออสซิลโลสโคป Chua แบบ Single Scroll, ค่า $C2 = 100 \mu\text{F}$)

4.1.3.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

จากการวิเคราะห์โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ปั่นผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence ได้ผลดังรูปที่ 4.5 และมีปริมาณธาตุองค์ประกอบดังตารางที่ 4.1

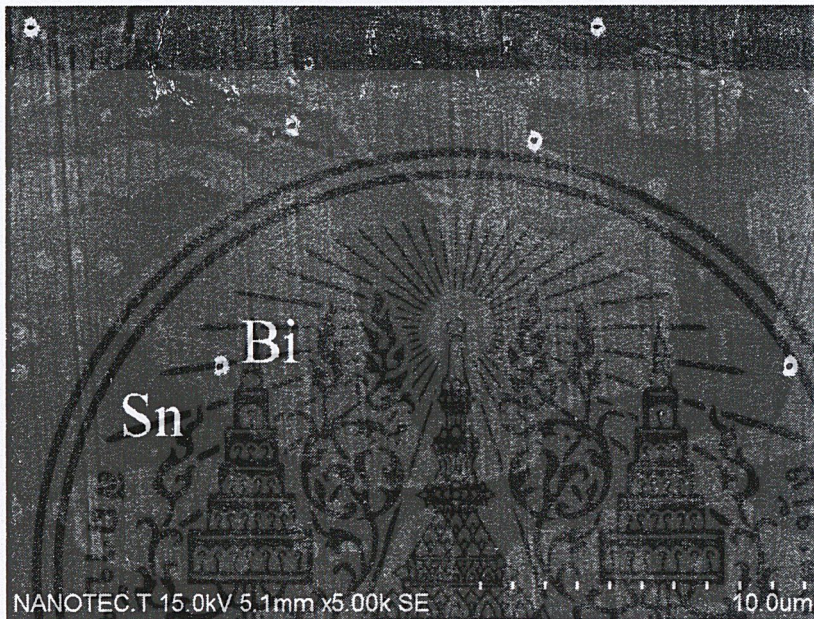


รูปที่ 4.5 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังรูปที่ 4.6



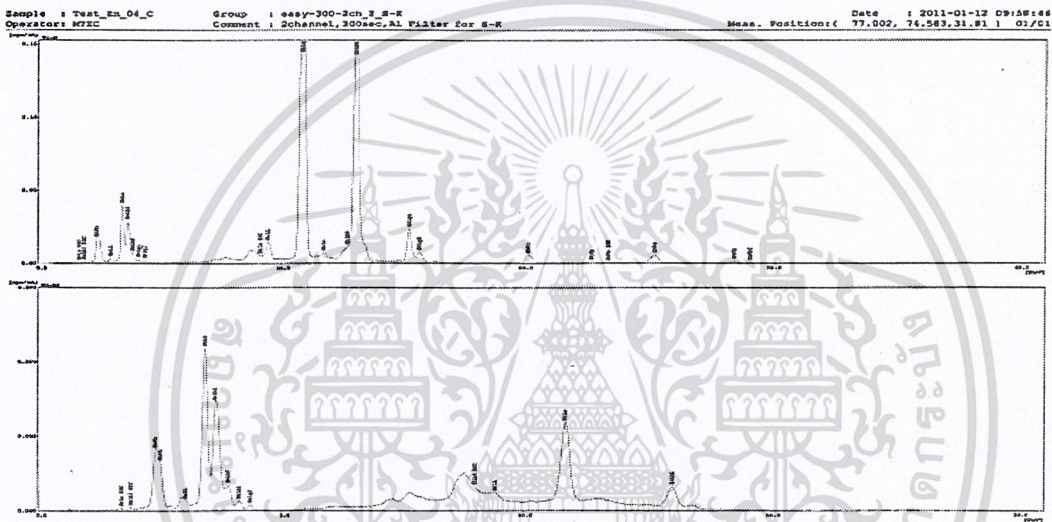
รูปที่ 4.6 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาก่อนและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ชิ้นงานที่ 4 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน ZnO (เป็นผสมด้วยสัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua แบบ Double Scroll, ค่า C2 = 47 μ F)

4.1.4.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

จากการวิเคราะห์โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ปั่นผสมกับอนุภาคนาโนในเชิงคอกไวต์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence ได้ผลดังรูปที่ 4.7 และมีปริมาณธาตุองค์ประกอบดังตารางที่ 4.1

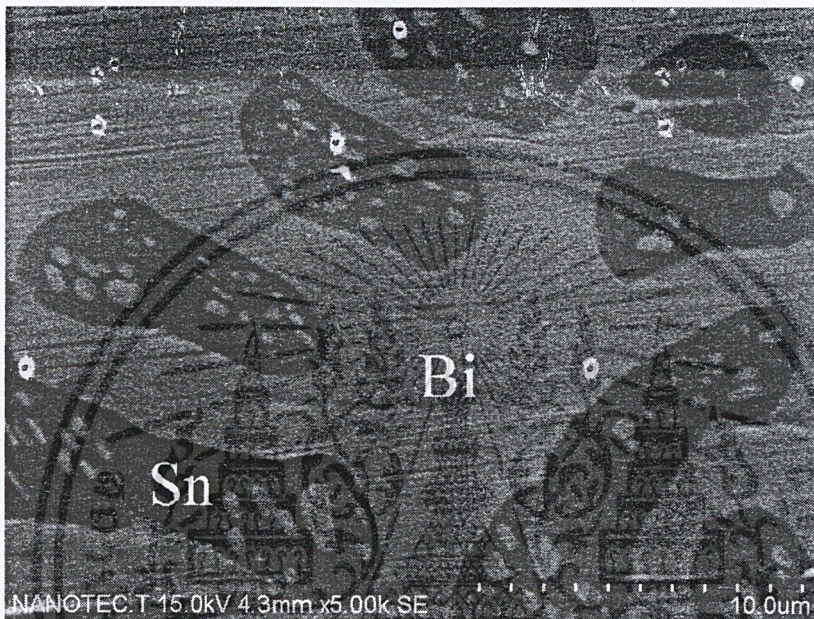


รูปที่ 4.7 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังรูปที่ 4.8

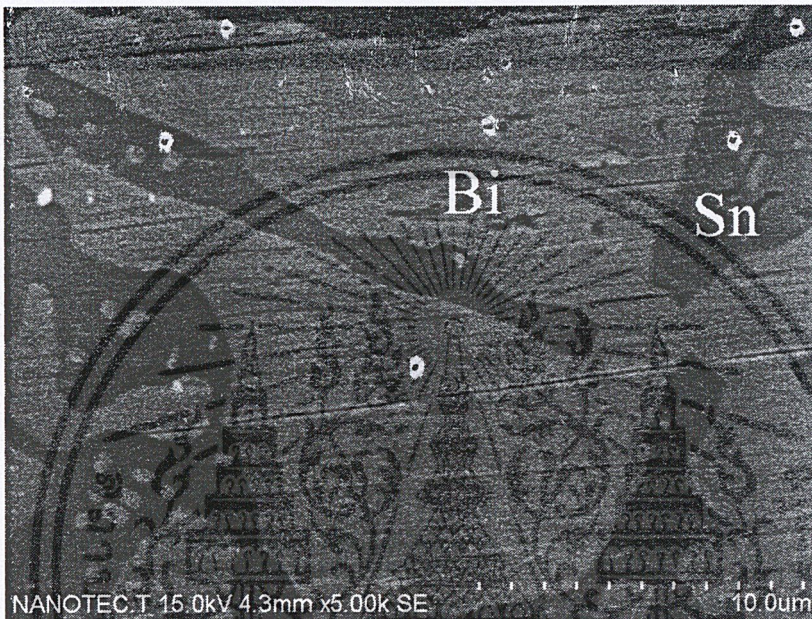


รูปที่ 4.8 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างจุลภาคของโลหะบักรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังรูปที่ 4.10



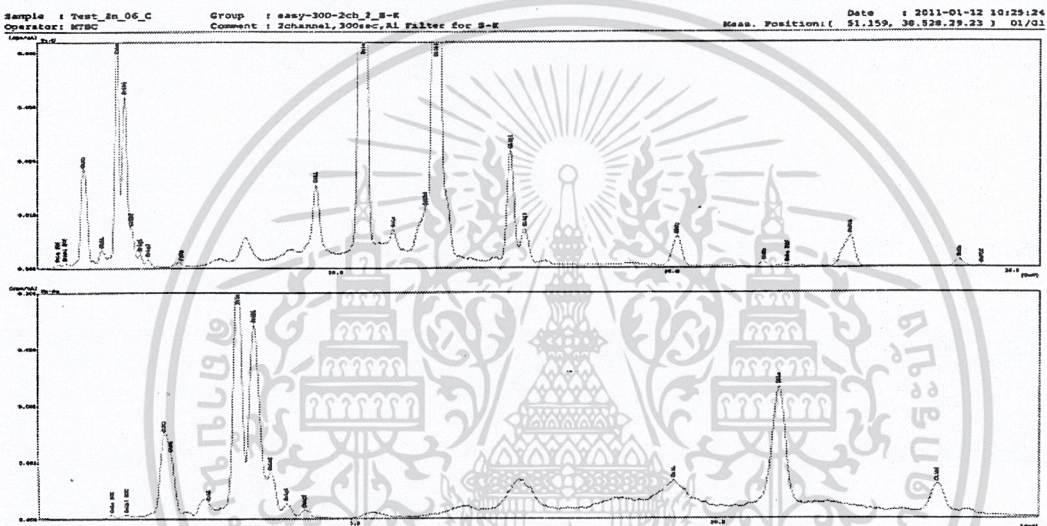
รูปที่ 4.10 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 ชิ้นงานที่ 6 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน ZnO (เป็นผลผสมด้วยสัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณคลื่นแบบ Chua แบบ Double Scroll, ค่า $C2 = 22 \mu\text{F}$)

4.1.6.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

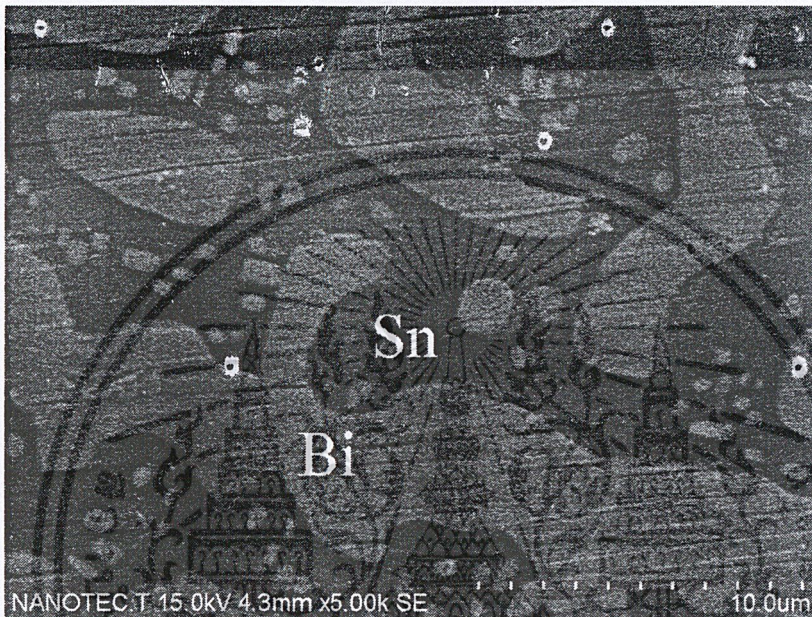
จากการวิเคราะห์โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่บ่มผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence ได้ผลดังรูปที่ 4.11 และมีปริมาณธาตุองค์ประกอบดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.11 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 6

4.1.6.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังรูปที่ 4.12

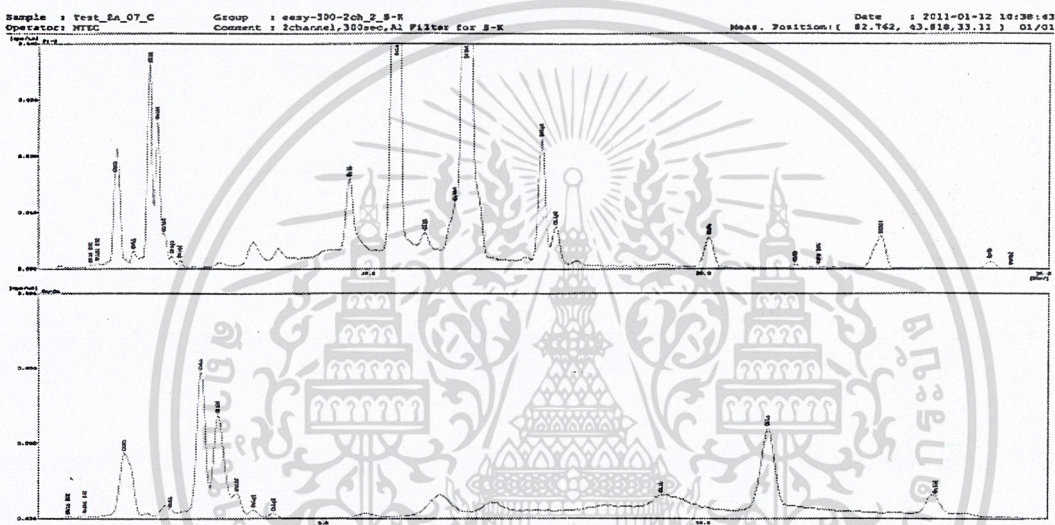


รูปที่ 4.12 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 6

4.1.7 ชิ้นงานที่ 7 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน ZnO (เป็นผสมด้วยสัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณออสซิลโลแกรม Chua แบบ Single Scroll, ค่า $C2 = 22 \mu F$)

4.1.7.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

จากการวิเคราะห์โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ปนผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence ได้ผลดังรูปที่ 4.13 และมีปริมาณธาตุองค์ประกอบดังตารางที่ 4.1

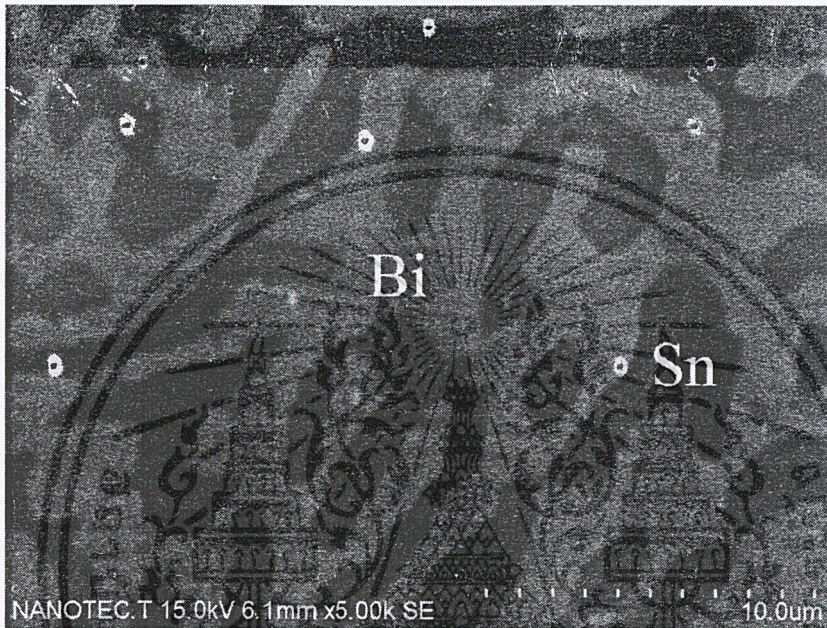


รูปที่ 4.13 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังรูปที่ 4.14



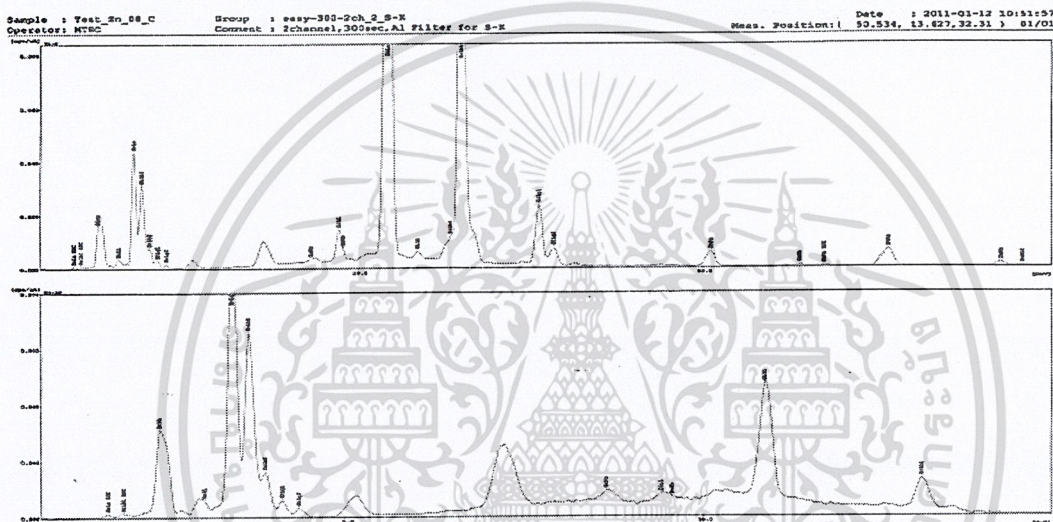
รูปที่ 4.14 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 ชิ้นงานที่ 8 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโน ZnO (เป็นผสมด้วยความเร็วคงที่ 400 rpm)

4.1.8.1 วิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

จากการวิเคราะห์โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ปั่นผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence ได้ผลดังรูปที่ 4.15 และมีปริมาณธาตุองค์ประกอบดังตารางที่ 4.1

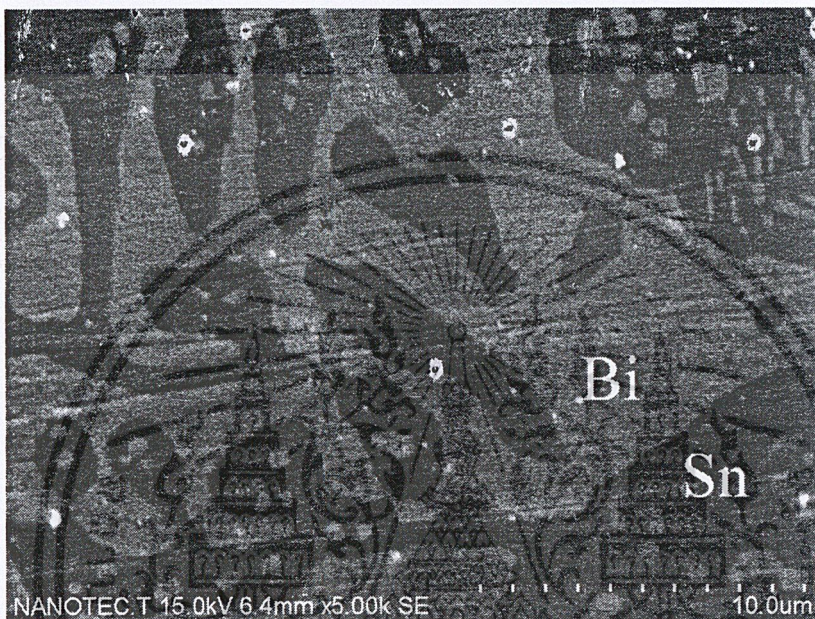


รูปที่ 4.15 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ED-XRF สำหรับชิ้นงานที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8.2 วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับชิ้นงานที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบจาก Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบจาก Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence พบว่าไม่สามารถตรวจพบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ภายในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ได้ในชิ้นงานที่ 2 - 7 ในขณะที่สามารถตรวจพบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ภายในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi เป็นอัตราส่วน 0.0459 wt% ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ

| ชิ้นงาน | ธาตุองค์ประกอบ (wt%) | | | |
|--------------|----------------------|---------|--------|--------|
| | Sn | Bi | Zn | อื่นๆ |
| ชิ้นงานที่ 1 | 32.8961 | 67.0364 | 0.0000 | 0.0675 |
| ชิ้นงานที่ 2 | 33.1293 | 66.8110 | 0.0000 | 0.0597 |
| ชิ้นงานที่ 3 | 35.6055 | 63.4945 | 0.0000 | 0.9000 |
| ชิ้นงานที่ 4 | 34.1743 | 65.8257 | 0.0000 | 0.0000 |
| ชิ้นงานที่ 5 | 38.3330 | 61.4739 | 0.0000 | 0.1931 |
| ชิ้นงานที่ 6 | 49.4084 | 50.5232 | 0.0000 | 0.0684 |
| ชิ้นงานที่ 7 | 38.3907 | 61.6093 | 0.0000 | 0.0000 |
| ชิ้นงานที่ 8 | 37.2625 | 62.6916 | 0.0459 | 0.0000 |

ซึ่งจากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบจาก Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence ที่ได้ พบว่าการปั่นผสมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi เข้ากับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยความเร็วคงที่ 400 rpm เป็นเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ได้ดีที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของสัญญาณอลวนที่ส่งผลต่อการปั่นผสมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi เข้ากับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ภายในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ได้จากการปั่นผสมด้วยความเร็วที่ไม่คงที่ เปรียบเทียบกับลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ภายในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ได้จากการปั่นผสมด้วยความเร็วคงที่ เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองไปใช้ในกระบวนการพัฒนาคุณสมบัติของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว รวมถึงสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการปั่นผสมสารละลายหรือสารประกอบอื่นๆต่อไป

ในทดลองนี้ ได้ทำการออกแบบวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ที่ใช้ในการปั่นผสม ทำการปั่นผสมที่อุณหภูมิ 350 °C ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน และทำการทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงานที่ได้ด้วย ED-XRF และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าเครื่อง ED-XRF สามารถตรวจพบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ภายในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ได้ในชิ้นงานชิ้นที่ 8 ซึ่งปั่นผสมด้วยความเร็วคงที่ 400 rpm คิดเป็น 0.0459 wt% ในขณะที่ชิ้นงานชิ้นที่ 2 ถึงชิ้นงานชิ้นที่ 7 ไม่สามารถตรวจพบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ภายในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ได้ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าการปั่นผสมแบบอลวนไม่สามารถทำให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมเข้ากับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ได้หรือความสามารถของเครื่อง ED-XRF ที่ใช้ตรวจสอบมีความสามารถในการตรวจจับไม่เพียงพอ

สำหรับผลที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถตรวจพบอนุภาคสีขาวภายในโครงสร้างของชิ้นงานที่ 2 ถึงชิ้นงานที่ 8 และชิ้นงานที่ 8 เป็นชิ้นงานที่สามารถตรวจพบอนุภาคสีขาวซึ่งได้มากที่สุด ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับผลที่ได้จาก ED-XRF จึงสามารถสรุปได้ว่าการปั่นผสมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi เข้ากับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยความเร็วคงที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ภายในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ดีกว่าการปั่นผสมที่ได้รับอิทธิพลจากสัญญาณอลวน

5.2 ปัญหาในการดำเนินงาน

สำหรับการนัดหมายเพื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีความล่าช้ากว่าที่กำหนด เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดไม่สามารถใช้งานได้ตามที่นัดหมายไว้ ส่งผลให้มีการเลื่อนการตรวจสอบจากวันที่ 11 มกราคม 2554 เป็น วันที่ 18 มกราคม 2554 ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองพบว่าชิ้นงานที่ได้จากการปั่นผสมด้วยความเร็วคงที่เป็นชิ้นงานเพียงชิ้นเดียวที่มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ในขณะที่ชิ้นงานที่ได้จากการปั่นผสมแบบอลวนไม่สามารถตรวจพบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ภายในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ปั่นผสมไม่เพียงพอ หรือการปั่นผสมแบบอลวนด้วยสัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ไม่เหมาะสมกับชนิดของสารประกอบที่ใช้ในการปั่นผสม อย่างไรก็ตามเนื่องจากสัญญาณอลวนมีหลายรูปแบบ การใช้สัญญาณอลวนรูปแบบอื่นๆในการปั่นผสมอาจส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi ที่ดีขึ้น และควรการเพิ่มจำนวนการสุ่มตรวจชิ้นงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. วรรณชัย กัลยาศิริ. *กรรมวิธีการผลิต*. กรุงเทพฯ: แผนกผลิตตำราและสื่อการสอนคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
2. ThaiRoSH.org. (2006, March 2). Retrieved September 2, 2010, from ThaiRoSH.org - สารสำคัญของระเบียบ WEEE & RoHS :
http://www.thairohs.org/index.php?option=com_content&task=view&id=55&Itemid=138&PHPSESSID=10c5ee7aad74b703c517b0965b9f4c7e
3. ThaiEurope.net *กรองยุโรปเพื่อไทย - กฎระเบียบ RoHS และ WEEE ของสหภาพยุโรป*. (2006, June 28). Retrieved September 2, 2010, from ThaiEurope.net *กรองยุโรปเพื่อไทย*: <http://news.thaieurope.net/content/view/1413/224/>
4. คม ศรีราช. *การพัฒนาโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-9Zn-XCu*. *ปริญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*, 2550.
5. สักดา สาครตานันท์. *การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยการผสมแบบสัญญาณอลวน*. *ปริญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2550.
6. อนุรักษ์ จันทร์ศรี. *การสร้างเส้นทางโครงสำหรับหุ่นยนต์ 2 ล้อโดยสมการอลวนของ CHUA*. *ปริญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2550.
7. ARTgazine Articles :: *View Topic - บิดา 'ทฤษฎีเคออส' เสียชีวิตแล้ว*. (2008, April 17). Retrieved September 18, 2010, from ARTgazine Articles: <http://www.artgazine.com/shoutouts/viewtopic.php?t=2922>
8. Bharathwaj Muthuswamy, T. B. (2009, January 30). A Synthetic Inductor Implementation of Chua's Circuit. *Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley*
9. wellman. (2006). Retrieved July 20, 2010, from <http://www.wellman.co.th/dt02.html>
10. National Metal and Materials Technology Center (MTEC). *ความสามารถ*. 2008. 15 January 2011
<<http://www.mtec.or.th/laboratory/sem/index.php/capability>>.
11. สุรศักดิ์ สุรนันทชัย. "การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เชิงกลระดับจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบที่มีโลหะเป็นเนื้อหลักซึ่งถูกเสริมความแข็งแรงด้วยอนุภาค." *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. ปีที่ 25 4 (2545): 293-302.
12. Yan Yanfu, Feng Lifang, Zhang Keke, Wen Jiuba. "Influence of Temperature on Creep Behavior of Ag Particle Enhancement SnCu Based Composite Solder." *Tsinghua Science and Technology* 12 (2007): 296-301.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาก่อนและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. Yan Yan-fu, Zhu Jin-hong, Chen Fu-xiaO, He Jun-guang, Yang Di-xm. "Creep behavior gn Ag particle reinforced SnCu based composite solder joints." Transactions of Nonferrous Metals Society of China 16 (2006): 1116-1200.
14. S.M.L. Nai, J. Wei, M. Gupta. "Influence of ceramic reinforcements on the wettability and mechanical properties of novel lead-free solder composites." Thin Solid Films 504 (2006): 401-404.
15. Yaowu Shi, Jianping Liu, Yanfu Yan, Zhidong Xia, Yongping Lei, Fu Guo, Xiaoyan Li. "Creep Properties of Composite Solders Reinforced with Nano- and Microsized Particles." Journal of Electronic Materials 37 (2007): 507-514.
16. Masazumi Amagai. "A study of nanoparticles in Sn-Ag based lead free solders." Microelectronics Reliability 48 (2008): 1-16
17. D.C. Lin, S. Liu, T.M. Guo, G.-X. Wang, T.S. Srivatsan, M. Petraroli. "An investigation of nanoparticles addition on solidification kinetics and microstructure development of tin-/lead solder." Materials Science and Engineering 360 (2003): 285-292.
18. J.P. Liu, F. Guo, Y.F. Yan, W.B. Wang, Y.W. Shi. "Development of Creep-Resistant, Nanosized Ag Particle-Reinforced Sn-Pb Composite Solders." Journal of Electronic Materials 33 (2004): 958-963.
19. H. Mavoori and S. Jin. "New, Creep-Resistant, Low Melting Point Solders with Ultrafine Oxide Dispersions." Journal of Electronic Materials 27 (1998): 1216-1222.
20. D. Lin, G.X. Wang, T.S. Srivatsan, Meslet Al-Hajri, M. Petraroli. "The influence of copper nanopowders on microstructure and hardness of lead-tin solder." Materials Letters 53 (2002): 333-338.
21. F. Tai, F. Guo, Z.D. Xia, Y.P. Lei, Y.F. Yan, J.P. Liu, Y.W. Shi. "Processing and Creep Properties of Sn-Cu Composite Solders with Small Amounts of Nanosized Ag Reinforcement Additions." Journal of Electronic Materials 34 (2005): 1357-1362.
22. Si Chen, Zhaonian Cheng, Johan Liu, Yulai Gao, Qijie Zhai. "The Effect of Thermal Cycling on Nanoparticle Reinforced Composite Lead-free Solder." International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging (ICEPT-HDP) (2009): 1240-1245.
23. S.M.L. Nai, J.V.M. Kuma, M.E. Alam, X.L. Zhong, P. Babaghorbani, M. Gupta. "Using Microwave-Assisted Powder Metallurgy Route and Nano-size Reinforcements to Develop High-Strength Solder Composites." Journal of Materials Engineering and Performance (n.d.).
24. J. Shen, Y.C. Chan. "Effect of metal/ceramic nanoparticle-doped fluxes on the wettability between Sn-Ag-Cu solder and a Cu layer." Journal of Alloys and Compounds 477 (2009): 909-914.
25. Ping Liu, Pei Yao, Jim Liu. "Effect of SiC Nanoparticle Additions on Microstructure and Microhardness of Sn-Ag-Cu Solder Alloy." Journal of Electronic Materials 37 (2008): 874-879.
26. Fu Guo. "Composite lead-free electronic solders." Lead-Free Electronic Solders (n.d.): 129-145.
27. J. Shen, Y.C. Chan. "Research advances in nano-composite solders." Microelectronics Reliability 49 (2009): 223-234.

28. *Nano Materials Technology*. (2008). Retrieved September 13, 2010, from

<http://www.nanomaterials.co.th/index2.asp?CType=3>

29. *Coorstek Amazing Solutions*. (n.d.). Retrieved from <http://www.coorstek.com/resources/8510->

1042_Ceramic_Material_Properties.pdf

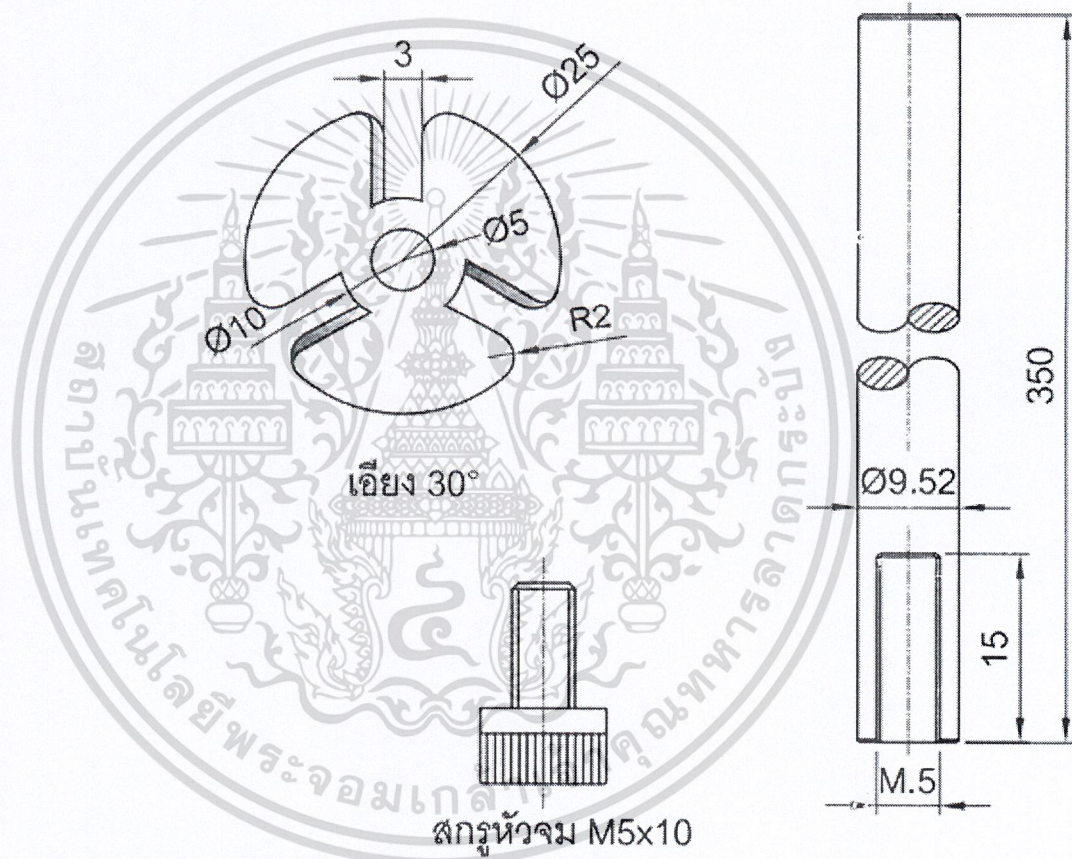


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Platinum Engineering and Service Co., Ltd.

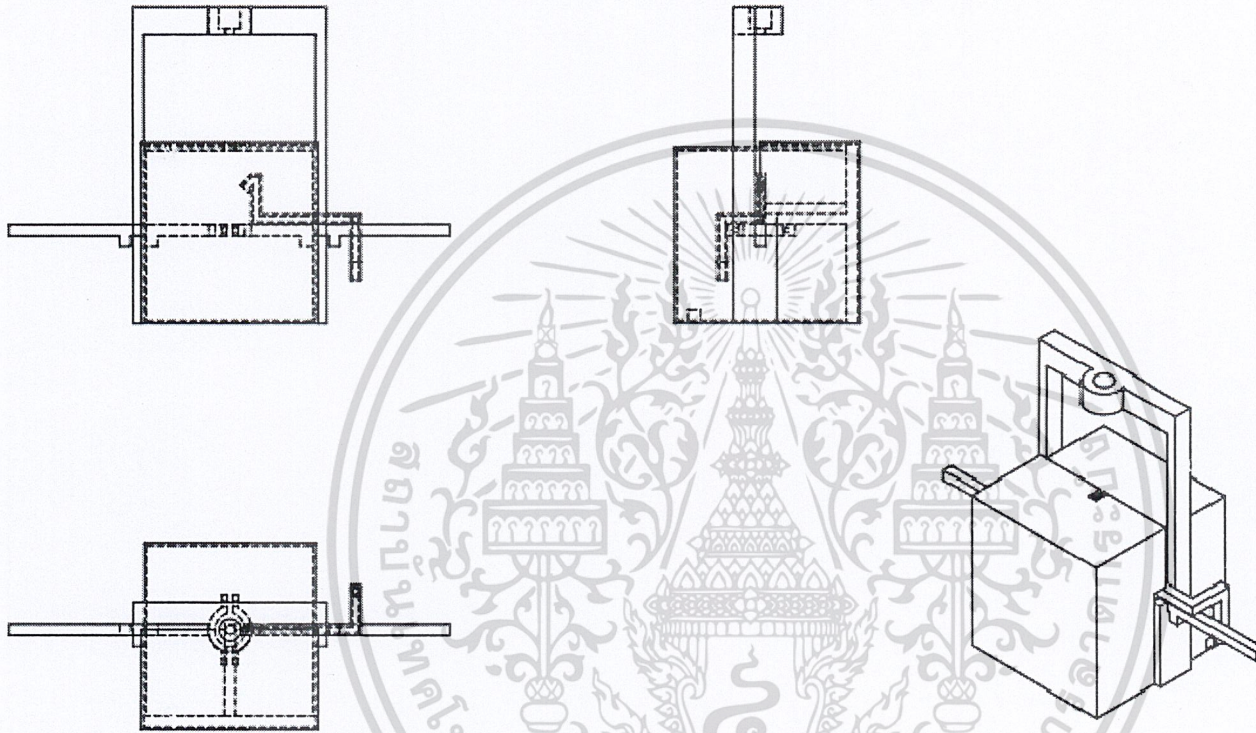




ภาคผนวก ข

ก่องยี่ตูปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THE DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF KENBERT COMPANY NAME HERE. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF KENBERT COMPANY NAME HERE IS PROHIBITED.

| | | | | | | |
|-------------|----------------------|--------------------------------------|-----------|------|------|----------------------------------|
| | | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | | NAME | DATE | |
| | | DIMENSIONS ARE IN INCHES | DRAWN | | | |
| | | DISTANCES | CHECKED | | | TITLE: |
| | | FRAC TIONAL: 2 | ENG APPR. | | | |
| | | ANGULAR: INCHES: 9 AND 8 | MGD APPR. | | | |
| | | TWO PLACE DECIMAL: 2 | | | | |
| | | THREE PLACE DECIMAL: 3 | | | | |
| | | INTERPRET DIMENSIONS TO DRAWING PER: | D.A. | | | |
| | | MATERIAL | COMMENTS: | | | |
| | | And/or: | | | | |
| NEXT ASSY | USED ON | | | | | SIZE DWG. NO. REV |
| | | | | | | A Assembly |
| APPLICATION | DO NOT SCALE DRAWING | | | | | SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1 |

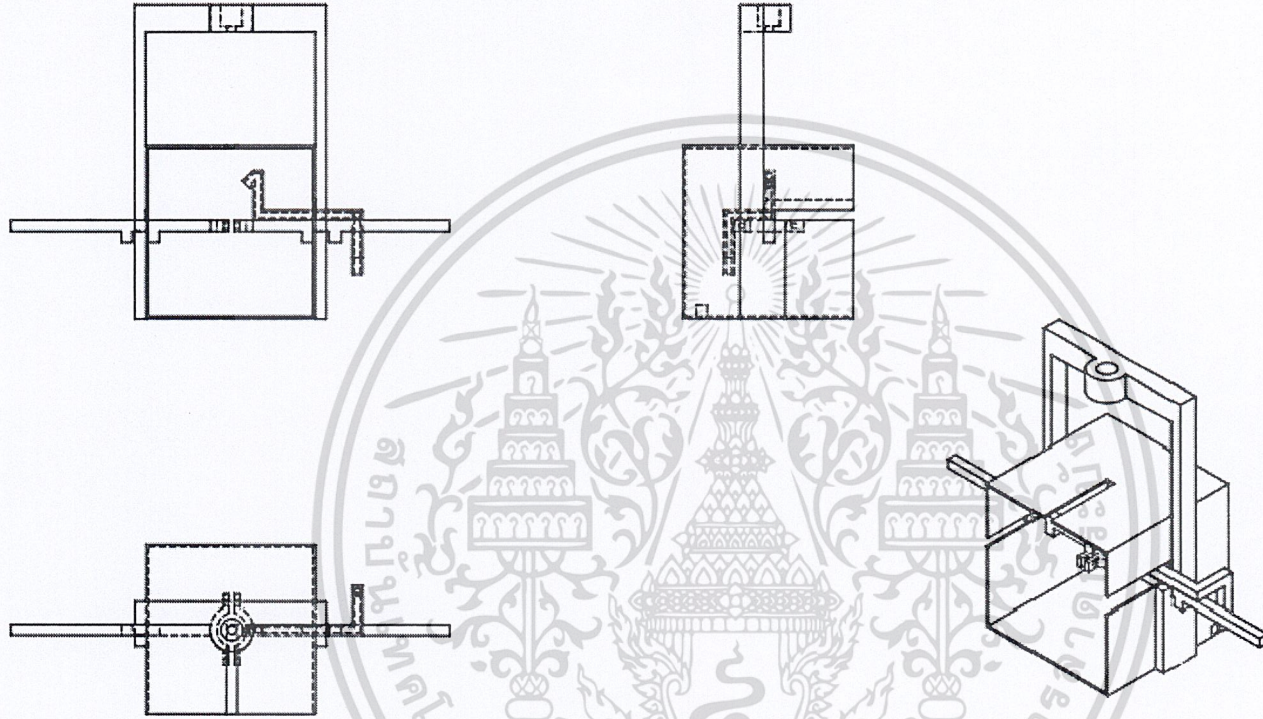
5

4

3

2

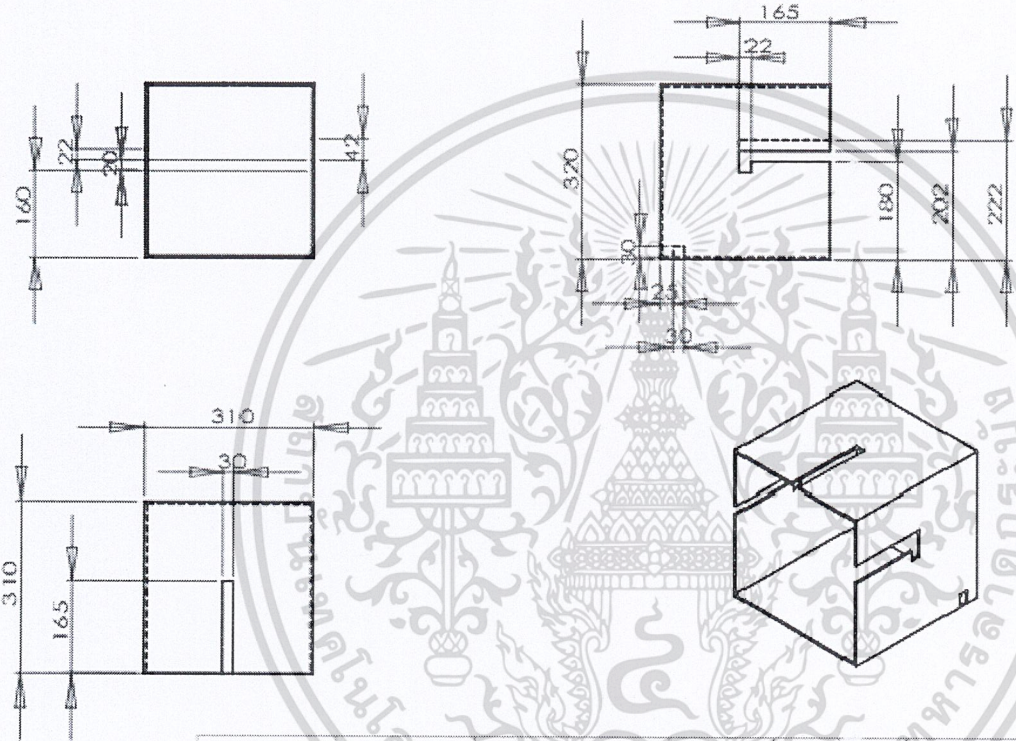
1



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF KERRY COMPANY NAME HEREIN. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF KERRY COMPANY NAME HEREIN IS PROHIBITED.

| | | | | | |
|--|-------------|-----------------------------|-----------|------|----------------------------------|
| | | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | NAME | DATE | |
| | | DIMENSIONS ARE IN INCHES | DRAWN | | |
| | | TOLERANCES | CHECKED | | TITLE: |
| | | FRACTIONALS | ENG APPR. | | |
| | | ANGULARS: MACHS 3RD & | MFG APPR. | | |
| | | TWO PLACE DECIMAL 2 | | | |
| | | THREE PLACE DECIMAL 3 | | | |
| | | INTERPRET DIMENSIONS | | | |
| | | TELEGRAM AND P&T | | | |
| | | MATERIAL | | | |
| | | FRSH | | | |
| | | | | | |
| | NEXT ASSY | USED ON | | | SIZE DWG. NO. REV |
| | | | | | |
| | APPLICATION | DO NOT SCALE DRAWING | | | SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1 |

AssemblyWithoutMask



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF ENERT COMPANY NAME HEREIN. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF ENERT COMPANY NAME HEREIN IS PROHIBITED.

| | | | | | |
|--|-------------|-----------------------------|-----------|------|----------------------------------|
| | | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | NAME | DATE | |
| | | DIMENSIONS ARE IN INCHES | DRAWN | | |
| | | TOLERANCES: | CHECKED | | TITLE: |
| | | FRACTIONAL 2 | ENG APPR. | | |
| | | ANGULAR 1/4 INCH 2 | MFG APPR. | | |
| | | TWO PLACE DECIMAL 2 | | | |
| | | THREE PLACE DECIMAL 2 | | | |
| | | INTERPRET DIMENSIONS | C.A. | | |
| | | TOLERANCES PER: | COMMENTS: | | |
| | | MATERIAL | | | |
| | | Finish: | | | |
| | NEXT ASSY | USED ON | | | SIZE DWG. NO. REV |
| | | | | | ACoverBased |
| | APPLICATION | DO NOT SCALE DRAWING | | | SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1 |

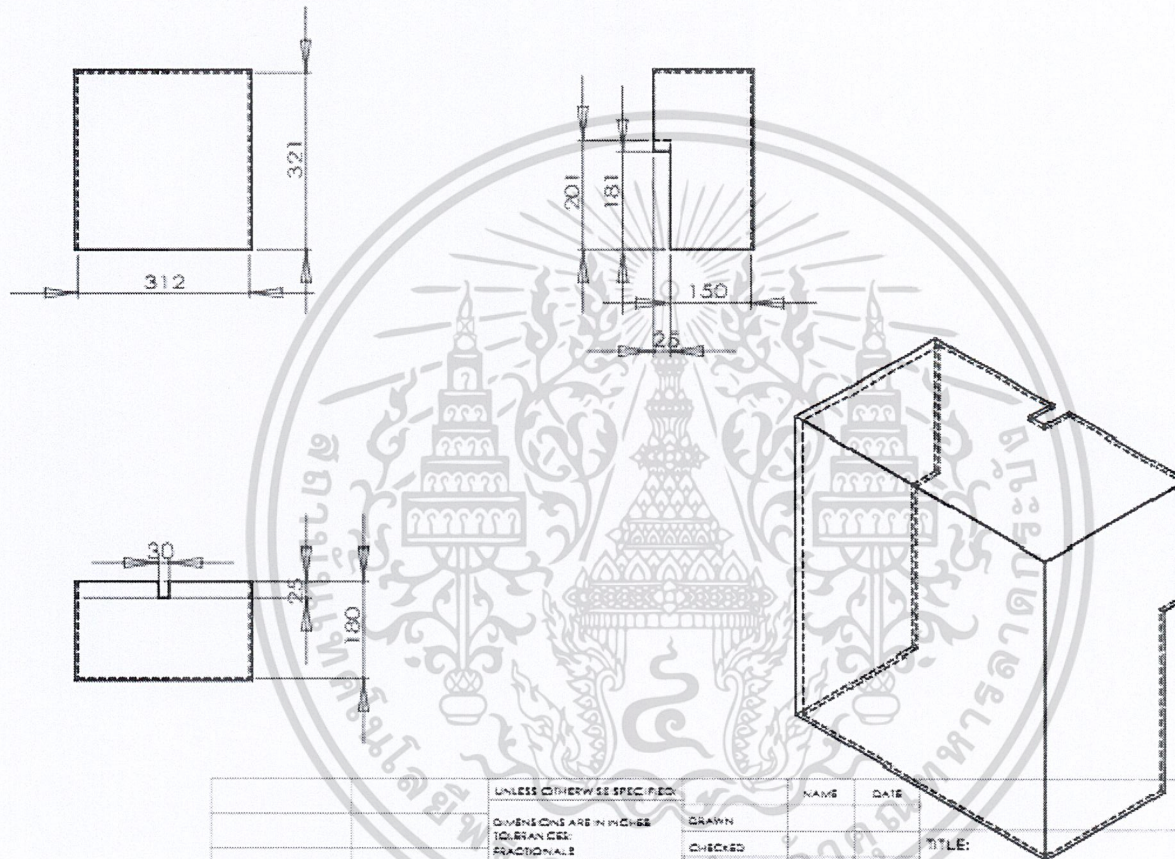
5

4

3

2

1



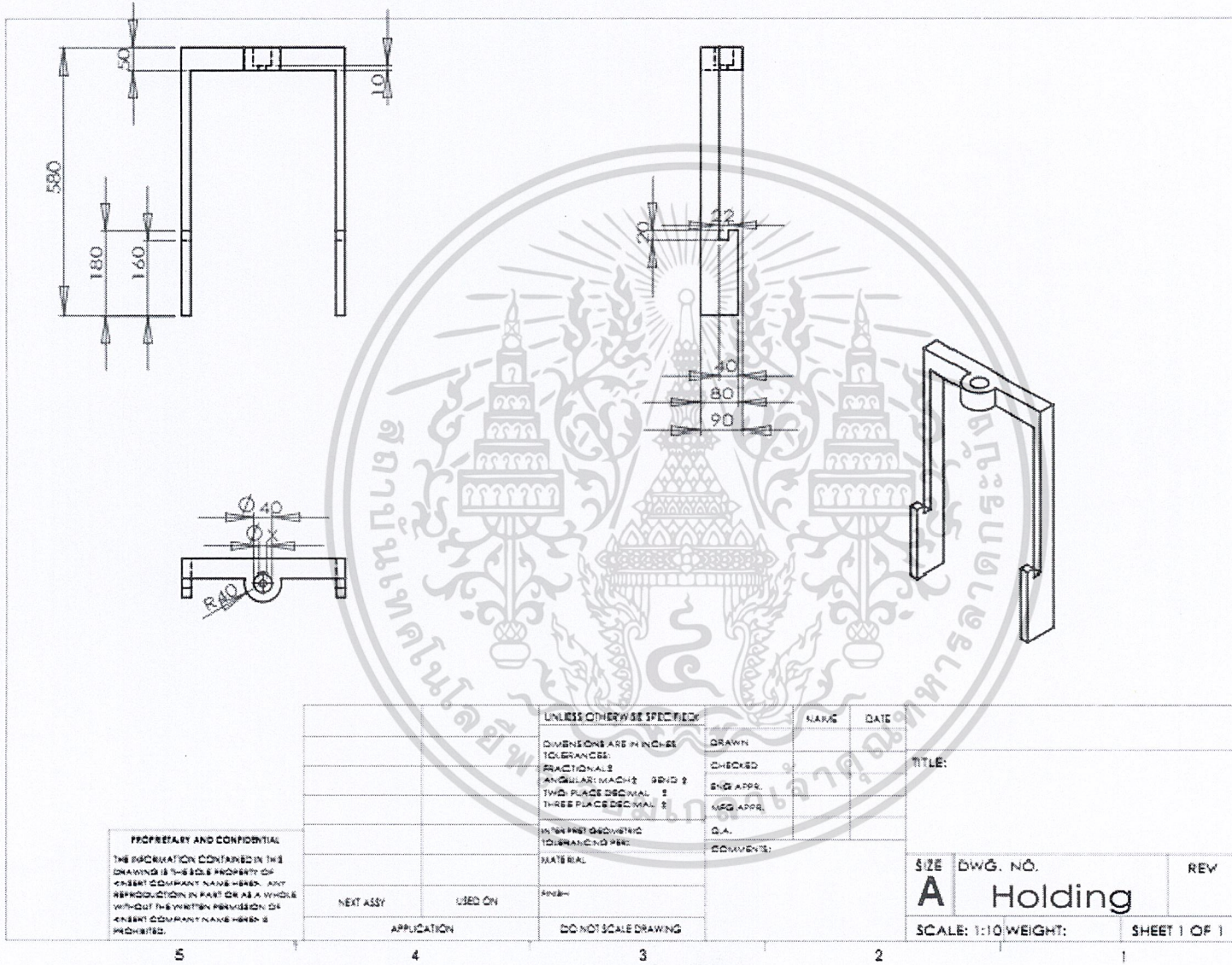
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF CENERT COMPANY NAME HERE. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF CENERT COMPANY NAME HERE IS PROHIBITED.

| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED | NAME | DATE |
|----------------------------|-----------|--------|
| DIMENSIONS ARE IN INCHES | DRAWN | |
| TOLERANCES: | CHECKED | TITLE: |
| FRACTIONAL: 1/16 | ENG APPR. | |
| ANGULAR: MACH: 30ND 1/2 | MFG APPR. | |
| TWO PLACE DECIMAL: 1/16 | D.A. | |
| THREE PLACE DECIMAL: 1/64 | COMMENTS: | |
| FINISH: 320 | | |
| APPLICATION | | |
| DO NOT SCALE DRAWING | | |

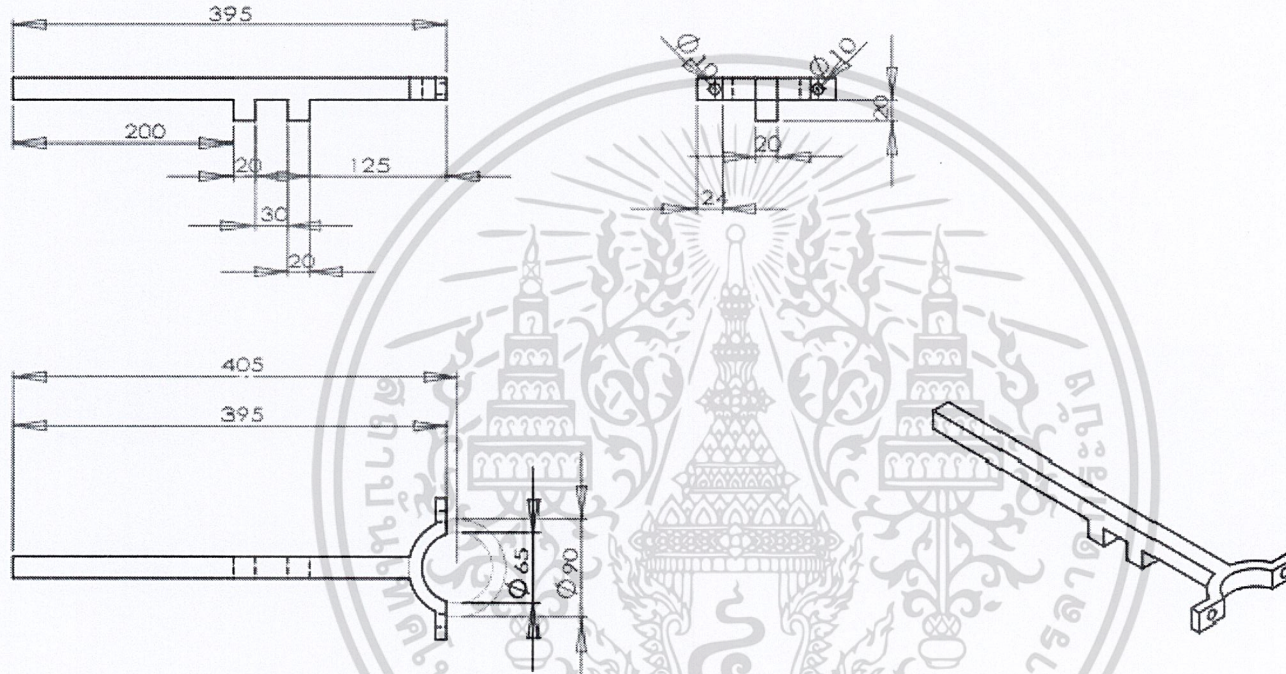
SIZE DWG. NO. REV
A CoverMove
 SCALE: 1:5 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

5 4 3 2 1

9116

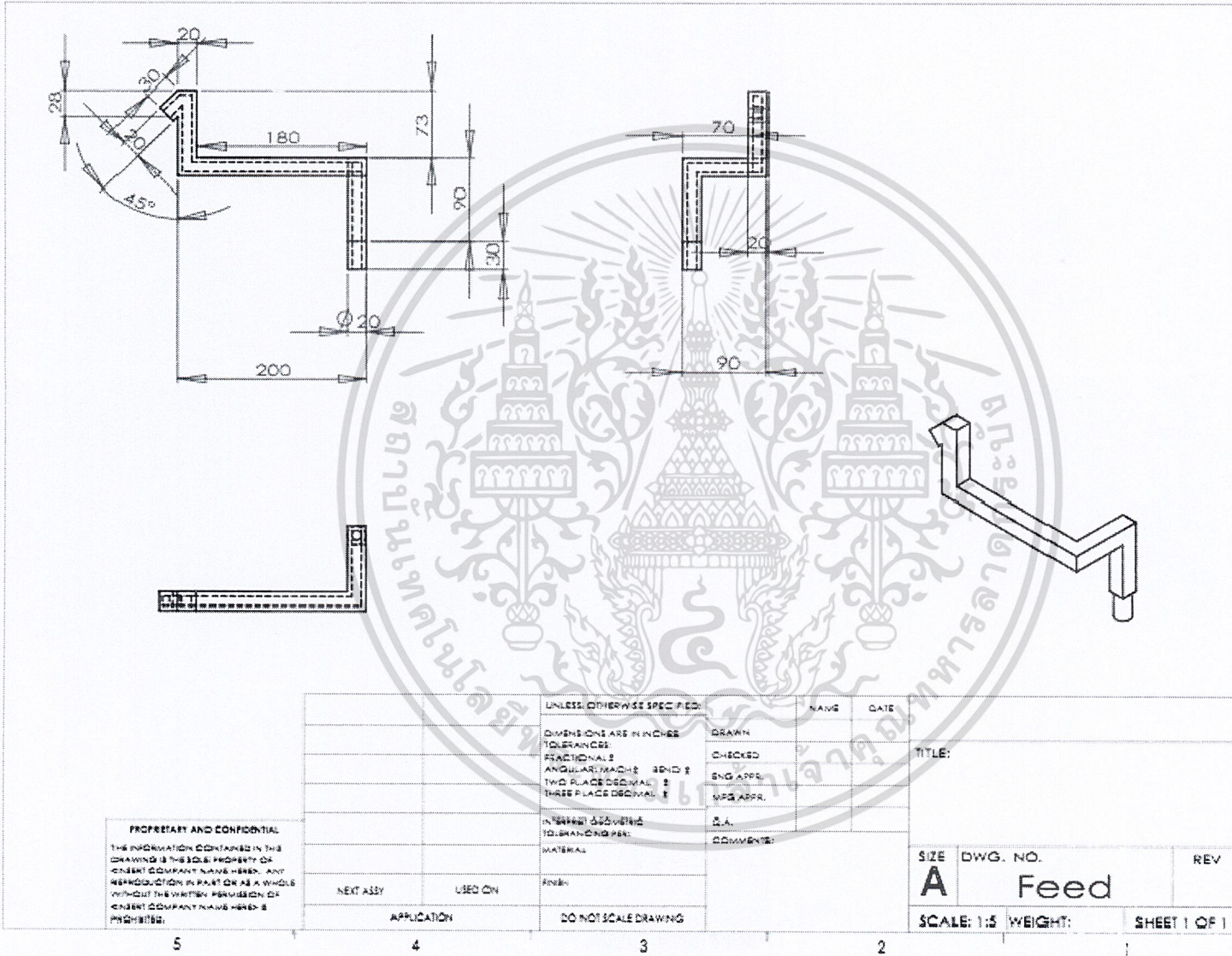


PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF
INVENT COMPANY NAME HEREIN. ANY
REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE
WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF
INVENT COMPANY NAME HEREIN IS
PROHIBITED.



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF CASERT COMPANY NAME HERE. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF CASERT COMPANY NAME HERE IS PROHIBITED.

| | | | | | |
|--|-------------|---------------------------------------|-----------|------|---------------------------------|
| | | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | NAME | DATE | |
| | | DIMENSIONS ARE IN INCHES | DRAWN | | |
| | | TOLERANCES: | CHECKED | | TITLE: |
| | | FRACTIONAL ± | ENG APPR. | | |
| | | ANGULAR ± MACH ± 0.000 ± | MFG APPR. | | |
| | | TWO PLACE DECIMAL ± | D.A. | | |
| | | THREE PLACE DECIMAL ± | COMMENTS: | | |
| | | INTERPRET DIMENSIONS TO BRANDING MFG. | | | |
| | | MATERIAL | | | |
| | | FINISH | | | |
| | | DO NOT SCALE DRAWING | | | |
| | NEXT ASSY | USED ON | | | SIZE DWG. NO. REV |
| | | | | | A CupHolder |
| | APPLICATION | | | | SCALE: 1:5 WEIGHT: SHEET 1 OF 1 |



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THE DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF INVENT COMPANY NAME HERE. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF INVENT COMPANY NAME HERE IS PROHIBITED.

| | | | | | |
|-------------|---------|-----------------------------|-----------|------|--|
| | | UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | NAME | DATE | |
| | | DIMENSIONS ARE IN INCHES | DRAWN | | TITLE: |
| | | TOLERANCES | CHECKED | | |
| | | FRACTIONALS | ENG APPR. | | |
| | | ANGULARS TO 30° & | MFG APPR. | | |
| | | TWO PLACE DECIMALS | | | |
| | | THREE PLACE DECIMALS | | | |
| | | IN THESE CASES UNLESS | S.A. | | |
| | | OTHERWISE SPECIFIED | COMMENTS: | | |
| | | TO SHOWN PER: | | | |
| | | MATERIAL | | | |
| | | FINISH | | | |
| NEXT ASSY | USED ON | | | | SIZE A DWG. NO. Feed REV |
| APPLICATION | | DO NOT SCALE DRAWING | | | SCALE: 1:5 WEIGHT: SHEET 1 OF 1 |

5 4 3 2 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- 14V/ μ s Slew Rate: 10V/ μ s Min
- 5MHz Gain-Bandwidth Product
- Fast Settling Time: 1.3 μ s to 0.02%
- 150 μ V Offset Voltage (LT1057): 450 μ V Max
- 180 μ V Offset Voltage (LT1058): 600 μ V Max
- 2 μ V/ $^{\circ}$ C V_{OS} Drift: 7 μ V/ $^{\circ}$ C Max
- 50pA Bias Current at 70 $^{\circ}$ C
- Low Voltage Noise:
 - 13nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1kHz
 - 26nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 10Hz

APPLICATIONS

- Precision, High Speed Instrumentation
- Fast, Precision Sample-and-Hold
- Logarithmic Amplifiers
- D/A Output Amplifiers
- Photodiode Amplifiers
- Voltage-to-Frequency Converters
- Frequency-to-Voltage Converters

DESCRIPTION

The LT[®]1057 is a matched JFET input dual op amp in the industry standard 8-pin configuration, featuring a combination of outstanding high speed and precision specifications. It replaces all the popular bipolar and JFET input dual op amps. In particular, the LT1057 upgrades the performance of systems using the LF412A and OP-215 JFET input duals.

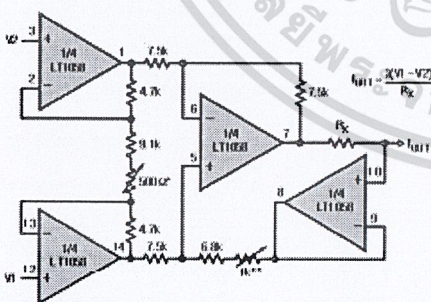
The LT1058 is the lowest offset quad JFET input operational amplifier in the standard 14-pin configuration. It offers significant accuracy improvement over presently available JFET input quad operational amplifiers. The LT1058 can replace four single precision JFET input op amps, while saving board space, power dissipation and cost.

Both the LT1057 and LT1058 are available in the plastic PDIP package and the surface mount SO package.

LT, LTG and LTM are registered trademarks of Linear Technology Corporation.

TYPICAL APPLICATION

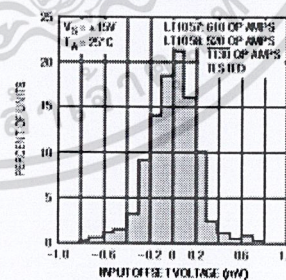
Current Output, High Speed, High Input Impedance Instrumentation Amplifier



*GAIN ADJUST
 **COMMON MODE REJECTION ADJUST
 PART NUMBER: 2740

100-006-100

Distribution of Offset Voltage (All Packages, LT1057 and LT1058)



LT1057/LT1058

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

| | | | |
|--|----------------------------------|---------------------------------|--|
| Supply Voltage | $\pm 20V$ | Operating Temperature Range | |
| Differential Input Voltage | $\pm 40V$ | LT1057AM/LT1057M/ | |
| Input Voltage | $\pm 20V$ | LT1058AM/LT1058M (OBSOLETE) ... | $-55^{\circ}C$ to $125^{\circ}C$ |
| Output Short-Circuit Duration | Indefinite | LT1057AC/LT1057C/LT1057S | |
| Storage Temperature Range | $-65^{\circ}C$ to $150^{\circ}C$ | LT1058AC/LT1058C/LT1058S | $0^{\circ}C$ to $70^{\circ}C$ |
| Lead Temperature (Soldering, 10 sec) | $300^{\circ}C$ | LT1057I | $-40^{\circ}C \leq T_A \leq 85^{\circ}C$ |

PACKAGE/ORDER INFORMATION

| | | | |
|---|--|---|---|
| <p>SW PACKAGE 8-LEAD PLASTIC (WIDE) SO $T_{MAX} = 150^{\circ}C, \theta_{JA} = 90^{\circ}C/W$</p> | <p>SW PACKAGE 16-LEAD PLASTIC (WIDE) SO $T_{MAX} = 150^{\circ}C, \theta_{JA} = 90^{\circ}C/W$</p> | <p>SB PACKAGE 8-LEAD PLASTIC SO $T_{MAX} = 150^{\circ}C, \theta_{JA} = 200^{\circ}C/W$</p> <p><small>Please note that the LT1057 and LT1058 standards neither record nor out dates from that of the LT1057 standard (01/01/1993) onwards.</small></p> <p>H PACKAGE: 8-LEAD METAL CAN OBSOLETE PACKAGE Consider the M, SB or SI Package for Alternate Source</p> | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1057S8 LT1057IS8</p> <p>SB PART MARKING</p> <p>1057 1057I</p> <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1057AMH LT1057MH LT1057ACH LT1057CH</p> |
| <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1057SW LT1057ISW</p> | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1058SW LT1058ISW</p> | <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1058ACN LT1058CN</p> <p>LT1058AMJ LT1058MJ LT1058ACJ LT1058CJ</p> <p>OBSOLETE PACKAGES Consider the M, SB or M-4 Package for Alternate Source</p> <p>ORDER PART NUMBER</p> <p>LT1057ACN8 LT1057CN8</p> <p>LT1057ACJ8 LT1057CJ8 LT1057AMJ8 LT1057MJ8</p> | <p>M PACKAGE 8-LEAD PLASTIC $T_{MAX} = 100^{\circ}C, \theta_{JA} = 130^{\circ}C/W$</p> <p>J14 PACKAGE: 8-LEAD CERDIP $T_{MAX} = 150^{\circ}C, \theta_{JA} = 100^{\circ}C/W$</p> |

Consult ITC Marketing for parts specified with wider operating temperature ranges.

LT1057/LT1058

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$ unless otherwise noted. (Note 2)

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | LT1057AM/LT1058AM LT1057AC/LT1058AC | | | LT1057MA/LT1058M LT1057CA/LT1058C | | | UNITS |
|-----------|------------------------------|---|--|-------------------------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------|----------------------------------|
| | | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| V_{OS} | Input Offset Voltage | LT1057 LT1057 (S8 Package) LT1058 | | 150 180 | 450 600 | | 200 250 | 800 1000 | μV μV |
| I_{OS} | Input Offset Current | Fully Warm-Up | | 3 | 40 | | 4 | 50 | μA |
| I_B | Input Bias Current | Fully Warm-Up | | ± 5 | ± 50 | | ± 7 | ± 75 | μA |
| | Input Resistance | Differential Common Mode $V_{CM} = -11V$ to $8V$ Common Mode $V_{CM} = 8V$ to $11V$ | | 10^{12} 10^{12} 10^{11} | | | 10^{12} 10^{12} 10^{11} | | Ω Ω Ω |
| | Input Capacitance | | | 4 | | | 4 | | μF |
| e_n | Input Noise Voltage | 0.1Hz to 10Hz | LT1057 LT1058 | | 2.0 2.4 | | | 2.1 2.5 | μV_{PP} μV_{PP} |
| e_n | Input Noise Voltage Density | $f_0 = 10Hz$ $f_0 = 1kHz$ (Note 3) | | 26 13 | 22 | | 28 14 | 24 | nV/\sqrt{Hz} nV/\sqrt{Hz} |
| i_n | Input Noise Current Density | $f_0 = 10Hz$, 1kHz (Note 4) | | 1.5 | 4 | | 1.8 | 6 | fA/\sqrt{Hz} |
| A_{vCL} | Large-Signal Voltage Gain | $V_O = \pm 10V$, $R_L = 2k$ $V_O = \pm 10V$, $R_L = 1k$ | | 150 120 | 350 250 | | 100 80 | 300 220 | V/mV V/mV |
| | Input Voltage Range | | | ± 10.5 | 14.3 -11.5 | | ± 10.5 | 14.3 -11.5 | V V |
| CMRR | Common Mode Rejection Ratio | LT1057 LT1058 | | 86 84 | 100 98 | | 82 80 | 98 96 | dB dB |
| PSRR | Power Supply Rejection Ratio | $V_S = \pm 10V$ to $\pm 18V$ | | 88 | 103 | | 86 | 102 | dB |
| V_{out} | Output Voltage Swing | $R_L = 2k$ | | ± 12 | ± 13 | | ± 12 | ± 13 | V |
| SR | Slew Rate | | | 10 | 14 | | 8 | 13 | $V/\mu s$ |
| GBW | Gain-Bandwidth Product | $f = 1MHz$ (Note 6) | | 3.5 | 5 | | 3 | 5 | MHz |
| I_S | Supply Current Per Amplifier | | | 1.6 | 2.5 | | 1.7 | 2.8 | mA |
| | Channel Separation | DC to 5kHz, $V_N = \pm 10V$ | | | 132 | | | 130 | dB |

(LT1057/LT1058 SW Package Only), $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$ unless otherwise noted.

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|----------|--|---|------------------|--------------------|------------|----------------|
| V_{OS} | Input Offset Voltage | LT1057 LT1058 | | 0.3 0.35 | 2 2.5 | mV |
| I_{OS} | Input Offset Current | Fully Warm-Up | | 5 | 50 | μA |
| I_B | Input Bias Current | Fully Warm-Up | | ± 10 | ± 100 | μA |
| | Input Resistance - Differential - Common-Mode | $V_{CM} = -11V$ to $8V$ $V_{CM} = 8V$ to $11V$ | | 0.4 0.4 0.05 | | $T\Omega$ |
| | Input Capacitance | | | 4 | | μF |
| e_n | Input Noise Voltage | 0.1Hz to 10Hz | LT1057 LT1058 | | 2.1 2.5 | μV_{PP} |
| e_n | Input Noise Voltage Density | $f_0 = 10Hz$ $f_0 = 1kHz$ | | 26 13 | | nV/\sqrt{Hz} |



3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อเรื่องและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LT1057/LT1058

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(LT1057; LT1058 SW Package Only), $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$ unless otherwise noted.

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|-----------|------------------------------|---|------------|---------------|-----|-------------------|
| i_n | Input Noise Current Density | $f_0 = 10Hz, 1kHz$ | | 1.8 | | $\mu A/\sqrt{Hz}$ |
| A_{VOL} | Large-Signal Voltage Gain | $V_O = \pm 10V$ $R_L = 2k$ $R_L = 1k$ | 100 50 | 300 220 | | V/mV |
| | Input Voltage Range | | ± 10.5 | 14.3 -11.5 | | V |
| CMRR | Common-Mode Rejection Ratio | $V_{CM} = \pm 15V$ LT1057 LT1058 | 82 80 | 98 98 | | dB |
| PSRR | Power Supply Rejection Ratio | $V_S = \pm 10V$ to $\pm 18V$ | 86 | 102 | | dB |
| V_{OUT} | Output Voltage Swing | $R_L = 2k$ | ± 12 | ± 13 | | V |
| SR | Slew Rate | | 8 | 13 | | $V/\mu s$ |
| GBW | Gain-Bandwidth Product | $f = 1MHz$ (Note 6) | 3 | 5 | | MHz |
| I_S | Supply Current Per Amplifier | | | 1.7 | 2.8 | mA |
| | Channel Separation | DC to 5kHz, $V_{IN} = \pm 10V$ | | 130 | | dB |

The \bullet denotes the specifications which apply over the temperature range of $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ or $-40^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$ (LT1057/IS8), otherwise specifications are $T_A = 25^\circ C$, $V_S = \pm 15V$, $V_{CM} = 0V$, unless noted.

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | LT1057AC LT1058AC | | | LT1057C LT1058C | | | UNITS |
|-----------|---|--|--|----------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|--|-------|
| | | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| V_{OS} | Input Offset Voltage | LT1057 LT1057/IS8 LT1057/S8 LT1058 | \bullet \bullet \bullet \bullet | 250 300 | 800 1200 | 330 400 | 1400 1900 | μV μV μV μV | |
| | Average Temperature Coefficient of Input (Offset Voltage) | LT1057 H/B Package N8 Package LT1057/S8 (Note 5) LT1057/IS8 (Note 5) LT1058 J Package (Note 5) N Package (Note 5) | \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet | 1.8 3 2.5 4 | 7 10 10 15 | 2.3 4 4 3 5 | 12 16 16 15 22 | $\mu V/^\circ C$ $\mu V/^\circ C$ $\mu V/^\circ C$ $\mu V/^\circ C$ $\mu V/^\circ C$ $\mu V/^\circ C$ | |
| I_{OS} | Input Offset Current | Warmup, $T_A = 70^\circ C$ LT1057/IS8 | \bullet | 18 | 150 | 20 35 | 250 600 | μA μA | |
| I_B | Input Bias Current | Warmup, $T_A = 70^\circ C$ LT1057/IS8 | \bullet | ± 50 | ± 250 | ± 60 ± 100 | ± 350 ± 900 | μA μA | |
| A_{VOL} | Large-Signal Voltage Gain | $V_O = \pm 10V$, $R_L = 2k$ | \bullet | 70 | 220 | 50 | 200 | V/mV | |
| CMRR | Common-Mode Rejection Ratio | $V_{CM} = \pm 10.4V$ | \bullet | 85 | 98 | 80 | 96 | dB | |
| PSRR | Power Supply Rejection Ratio | $V_S = \pm 10V$ to $\pm 18V$ | \bullet | 87 | 102 | 84 | 100 | dB | |
| V_{OUT} | Output Voltage Swing | $R_L = 2k$ | \bullet | ± 12 | ± 12.8 | ± 12 | ± 12.8 | V | |
| I_S | Supply Current Per Amplifier | $T_A = 70^\circ C$ | \bullet | 1.4 | 2.8 | 1.5 | 3.2 | mA mA | |

105701a

4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อเรื่องและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LT1057/LT1058

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (LT1057/LT1058 SW Package Only.) The ● denotes specifications which apply over the temperature range of $V_S = \pm 15V$, $V_{CM} = 0V$, $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ (LT1057SW, LT1058SW) or $-40^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$ (LT1057ISW, LT1058ISW), unless otherwise noted.

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS | |
|-----------|---|-------------------------------|--------|------|-------|------------------|----|
| V_{OS} | Input Offset Voltage | LT1057 | ● | 0.5 | 2.5 | mV | |
| | | LT1058S | ● | 0.6 | 3.0 | | |
| | | LT1058IS | ● | 0.7 | 4.0 | | |
| | Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage | | ● | 5 | | $\mu V/^\circ C$ | |
| I_{OS} | Input Offset Current | Warmed Up, $T_A = 70^\circ C$ | | 20 | 250 | pA | |
| | | Warmed Up, $T_A = 85^\circ C$ | | 35 | 400 | | |
| I_B | Input Bias Current | Warmed Up, $T_A = 70^\circ C$ | | +60 | +400 | pA | |
| | | Warmed Up, $T_A = 85^\circ C$ | | +100 | +700 | | |
| A_{VOL} | Large Signal Voltage Gain | $V_O = \pm 10V$, $R_L = 2k$ | LT1057 | ● | 50 | 200 | mV |
| | | | LT1058 | ● | 40 | 200 | |
| CMRR | Common-Mode Rejection Ratio | $V_{CM} = \pm 10.5V$ | LT1057 | ● | 80 | 96 | dB |
| | | | LT1058 | ● | 78 | 96 | |
| PSRR | Power Supply Rejection Ratio | $V_S = \pm 10V$ to $\pm 18V$ | LT1057 | ● | 84 | 100 | dB |
| | | | LT1058 | ● | 82 | 100 | |
| V_{OUT} | Output Voltage Swing | $R_L = 2k$ | ● | +12 | +12.8 | V | |

The ● denotes specifications which apply over the temperature range of $-55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$, $V_S = \pm 15V$, $V_{CM} = 0V$, unless otherwise noted.

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | LT1057AM LT1058AM | | | LT1057M LT1058M | | UNITS |
|-----------|---|--------------------------------|----------------------|------|-------|--------------------|-------|------------------|
| | | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | |
| V_{OS} | Input Offset Voltage | LT1057 | ● | 300 | 1100 | 400 | 2000 | μV |
| | | LT1058 | ● | 390 | 1600 | 550 | 2500 | |
| | Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage | LT1057 | ● | 2.0 | 7 | 2.5 | 12 | $\mu V/^\circ C$ |
| | | LT1058 (Note 5) | ● | 2.5 | 10 | 3 | 15 | $\mu V/^\circ C$ |
| I_{OS} | Input Offset Current | Warmed Up, $T_A = 125^\circ C$ | | 0.15 | 2 | 0.2 | 3 | nA |
| I_B | Input Bias Current | Warmed Up, $T_A = 125^\circ C$ | | +0.6 | +4.5 | +0.7 | +6 | nA |
| A_{VOL} | Large-Signal Voltage Gain | $V_O = \pm 10V$, $R_L = 2k$ | ● | 40 | 120 | 30 | 110 | V/mV |
| CMRR | Common Mode Rejection Ratio | $V_{CM} = \pm 10.4V$ | ● | 84 | 97 | 80 | 95 | dB |
| PSRR | Power Supply Rejection Ratio | $V_S = \pm 10V$ to $\pm 17V$ | ● | 85 | 100 | 83 | 98 | dB |
| V_{OUT} | Output Voltage Swing | $R_L = 2k$ | ● | +12 | +12.7 | +12 | +12.6 | V |
| I_S | Supply Current Per Amplifier | $T_A = 125^\circ C$ | | 1.25 | 1.9 | 1.3 | 2.2 | mA |

Note 1: Absolute Maximum Ratings are those values beyond which the life of a device may be impaired.

Note 2: Typical parameters are defined as the 60% yield of distributions of individual amplifiers; (i.e., out of 100 LT1058s or, 100 LT1057s, typically 240 op amps, or 120 for the LT1057, will be better than the indicated specification).

Note 3: This parameter is tested on a sample basis only.

Note 4: Current noise is calculated from the formula:

$$i_n = (2qI)^{1/2}$$

where $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ coulomb. The noise of source resistors up to 1G swamps the contribution of current noise.

Note 5: This parameter is not 100% tested.

Note 6: Gain-bandwidth product is not tested. It is guaranteed by design and by inference from the slow rate measurement.

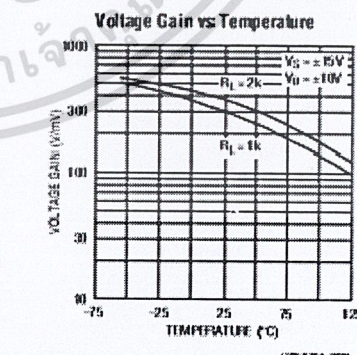
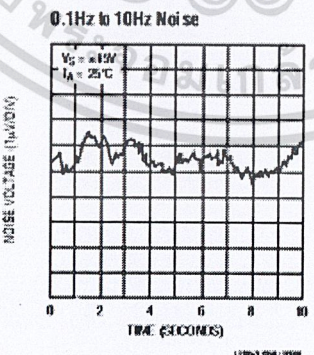
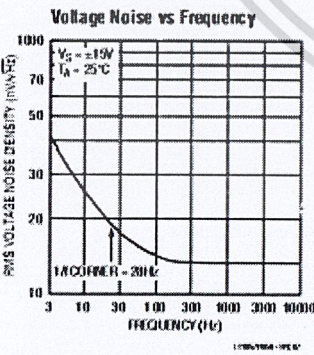
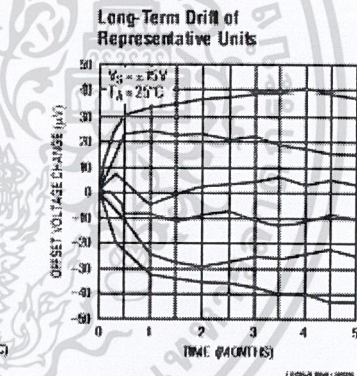
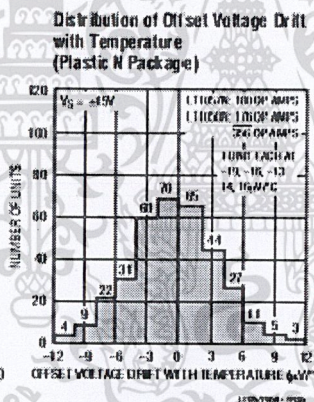
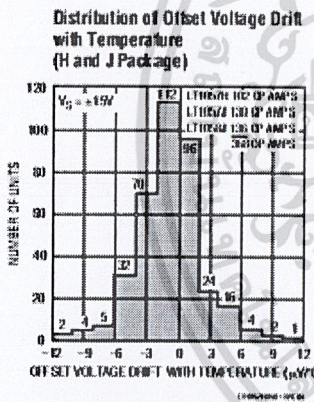
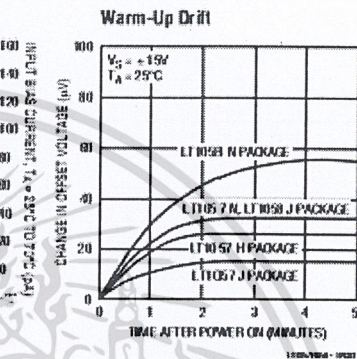
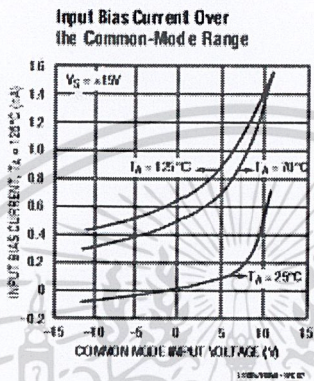
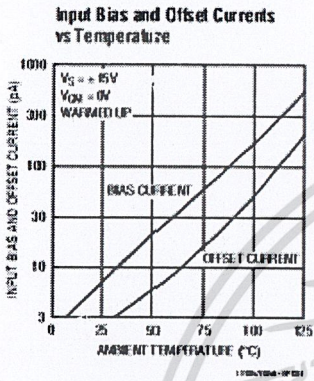


105705a

5

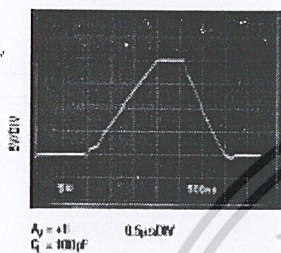
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

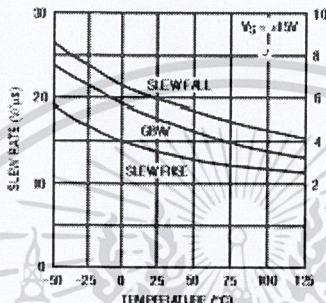


TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

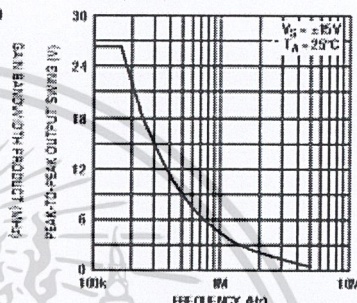
Large-Signal Response



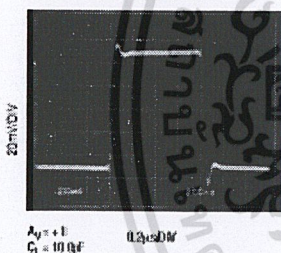
Slew Rate, Gain-Bandwidth Product vs Temperature



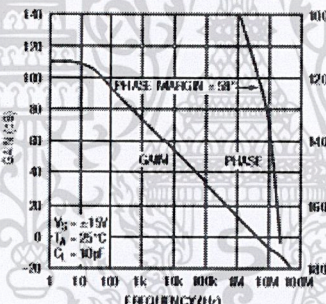
Undistorted Output Swing vs Frequency



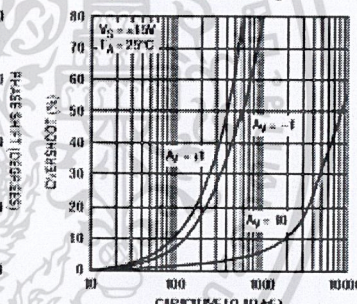
Small-Signal Response



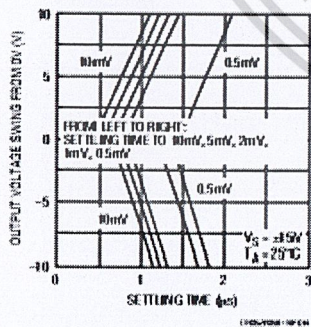
Gain, Phase Shift vs Frequency



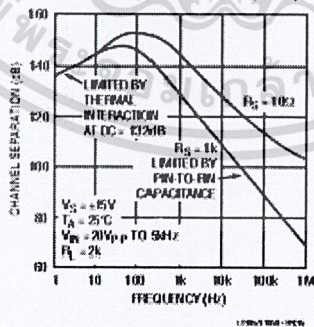
Capacitive Load Handling



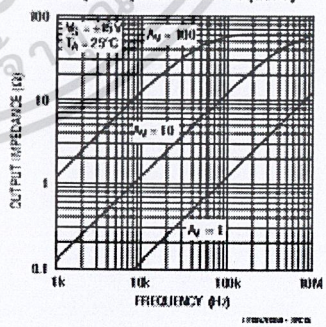
Settling Time



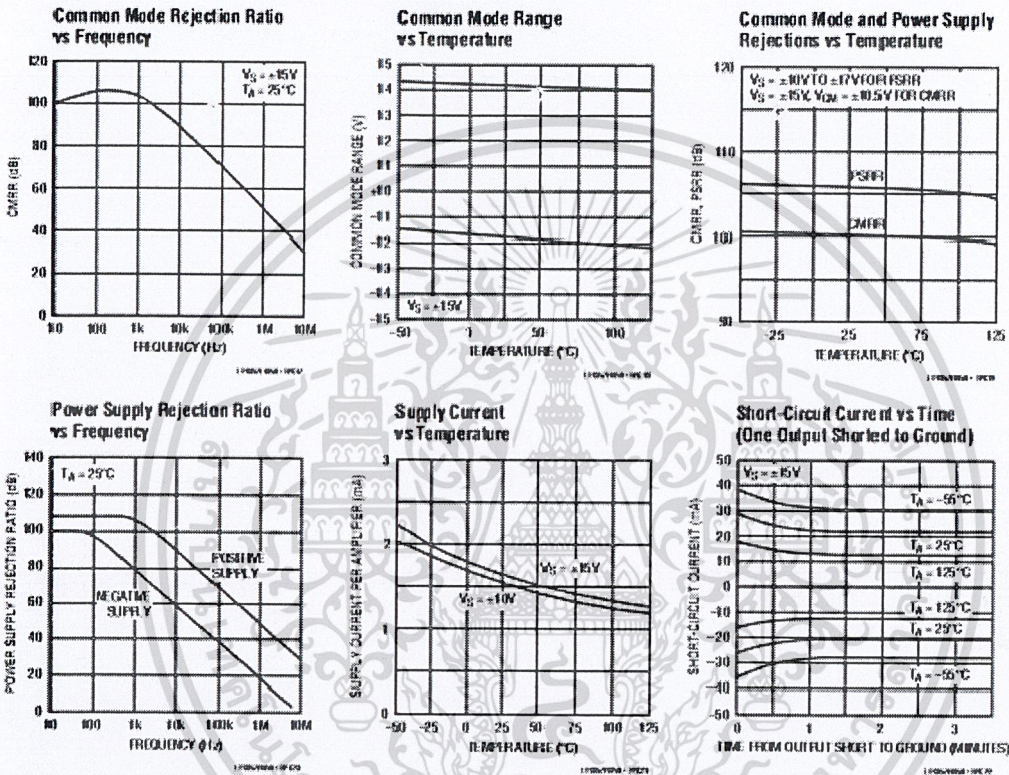
Channel Separation vs Frequency



Output Impedance vs Frequency



TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS



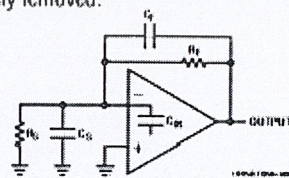
APPLICATIONS INFORMATION

The LT1057 may be inserted directly in LF353, LF412, LF442, TL072, TL082 and OP-215 sockets. The LT1058 plugs into LF347, LF444, TL074 and TL084 sockets. Of course, all standard dual and quad bipolar op amps can also be replaced by these devices.

High Speed Operation

When the feedback around the op amp is resistive (R_f) a pole will be created with R_f , the source resistance and capacitance (R_S, C_S), and the amplifier input capacitance ($C_{IN} \approx 4pF$). In low closed loop gain configurations and

with R_S and R_f in the kilohm range, this pole can create excess phase shift and even oscillation. A small capacitor (C_f) in parallel with R_f eliminates this problem. With $R_S(C_S + C_{IN}) = R_f C_f$, the effect of the feedback pole is completely removed.



APPLICATIONS INFORMATION

Settling time is measured in a test circuit which can be found in the LT1055/LT1056 data sheet and in Application Note 10.

Achieving Picoampere/Microvolt Performance

In order to realize the picoampere/microvolt level accuracy of the LT1057/LT1058, proper care must be exercised. For example, leakage currents in circuitry external to the op amp can significantly degrade performance. High quality insulation should be used (e.g., Teflon™, Kel-F); cleaning of all insulating surfaces to remove fluxes and other residues will probably be required. Surface coating may be necessary to provide a moisture barrier in high humidity environments.

Board leakage can be minimized by encircling the input circuitry with a guard ring operated at a potential close to that of the inputs; in inverting configurations, the guard ring should be tied to ground, in noninverting connections, to the inverting input. Guarding both sides of the printed circuit board is required. Bulk leakage reduction depends on the guard ring width.

The LT1057/LT1058 have the lowest offset voltage of any dual and quad JFET input op amps available today. However, the offset voltage and its drift with time and temperature are still not as good as on the best bipolar amplifiers (because the transconductance of FETs is considerably lower than that of bipolar transistors). Conversely, this lower transconductance is the main cause of the significantly faster speed performance of FET input op amps.

Offset voltage also changes somewhat with temperature cycling. The AM grades show a typical 40µV hysteresis (50µV on the M grades) when cycled over the -55°C to 125°C temperature range. Temperature cycling from 0°C to 70°C has a negligible (less than 20µV) hysteresis effect.

The offset voltage and drift performance are also affected by packaging. In the plastic N package, the molding compound is in direct contact with the chip, exerting pressure on the surface. While NPN input transistors are largely unaffected by this pressure, JFET device drift is degraded. Consequently for best drift performance, as shown in the Typical Performance Characteristics distribution plots, the J (C) H packages are recommended.

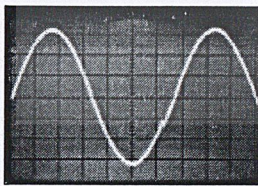
In applications where speed and picoampere bias currents are not necessary, Linear Technology offers the bipolar input, pin compatible LT1013 and LT1014 dual and quad op amps. These devices have significantly better DC specifications than any JFET input device.

Phase Reversal Protection

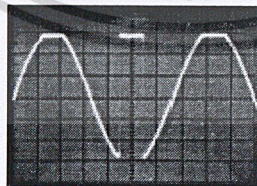
Most industry standard JFET input single, dual and quad op amps (e.g., LF156, LF351, LF353, LF411, LF412, OP-15, OP-16, OP-215, TL084) exhibit phase reversal at the output when the negative common mode limit at the input is exceeded (i.e., below -12V with ±15V supplies). The photos below show a ±16V sine wave input (A), the response of an LF412A in the unity gain follower mode (B), and the response of the LT1057/LT1058 (C).

The phase reversal of photo (B) can cause lock-up in servo systems. The LT1057/LT1058 does not phase-reverse due to a unique phase reversal protection circuit.

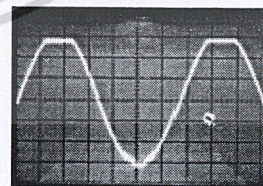
Teflon is a trademark of DuPont.



(A) ±16V Sine Wave Input



(B) LF412A Output



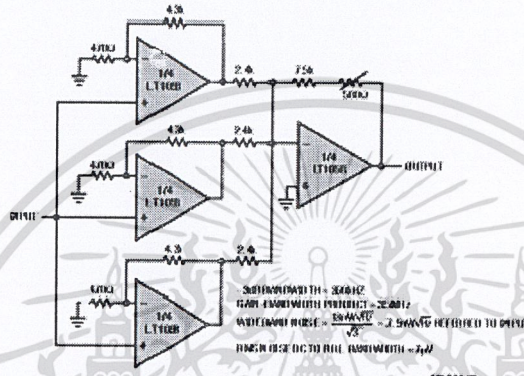
(C) LT1057/LT1058 Output

All Photos 5V/Div Vertical Scale, 50µs/Div Horizontal Scale

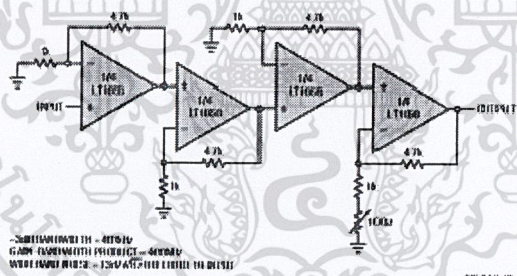
LT1057/LT1058

TYPICAL APPLICATIONS

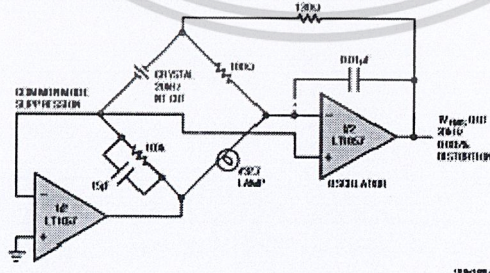
Low Noise, Wideband, Gain = 100 Amplifier with High Input Impedance



Wideband, High Input Impedance, Gain = 1000 Amplifier



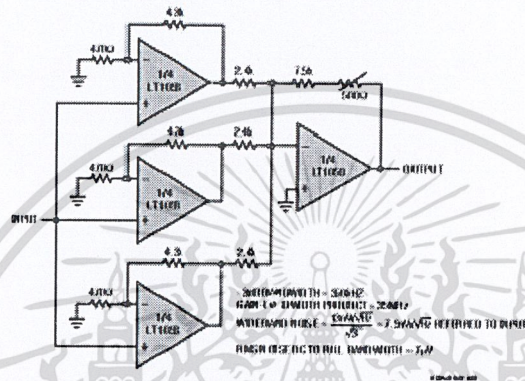
Low Distortion, Crystal Stabilized Oscillator



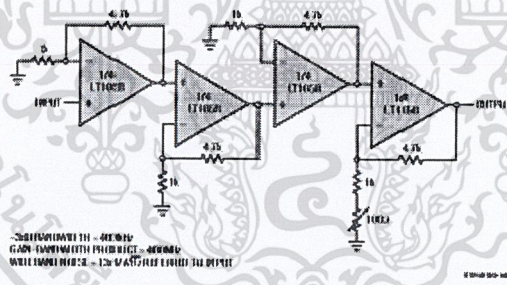
LT1057/LT1058

TYPICAL APPLICATIONS

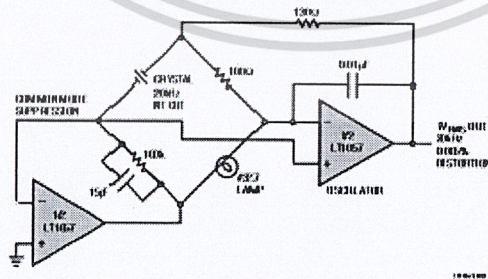
Low Noise, Wideband, Gain = 100 Amplifier with High Input Impedance



Wideband, High Input Impedance, Gain = 1000 Amplifier

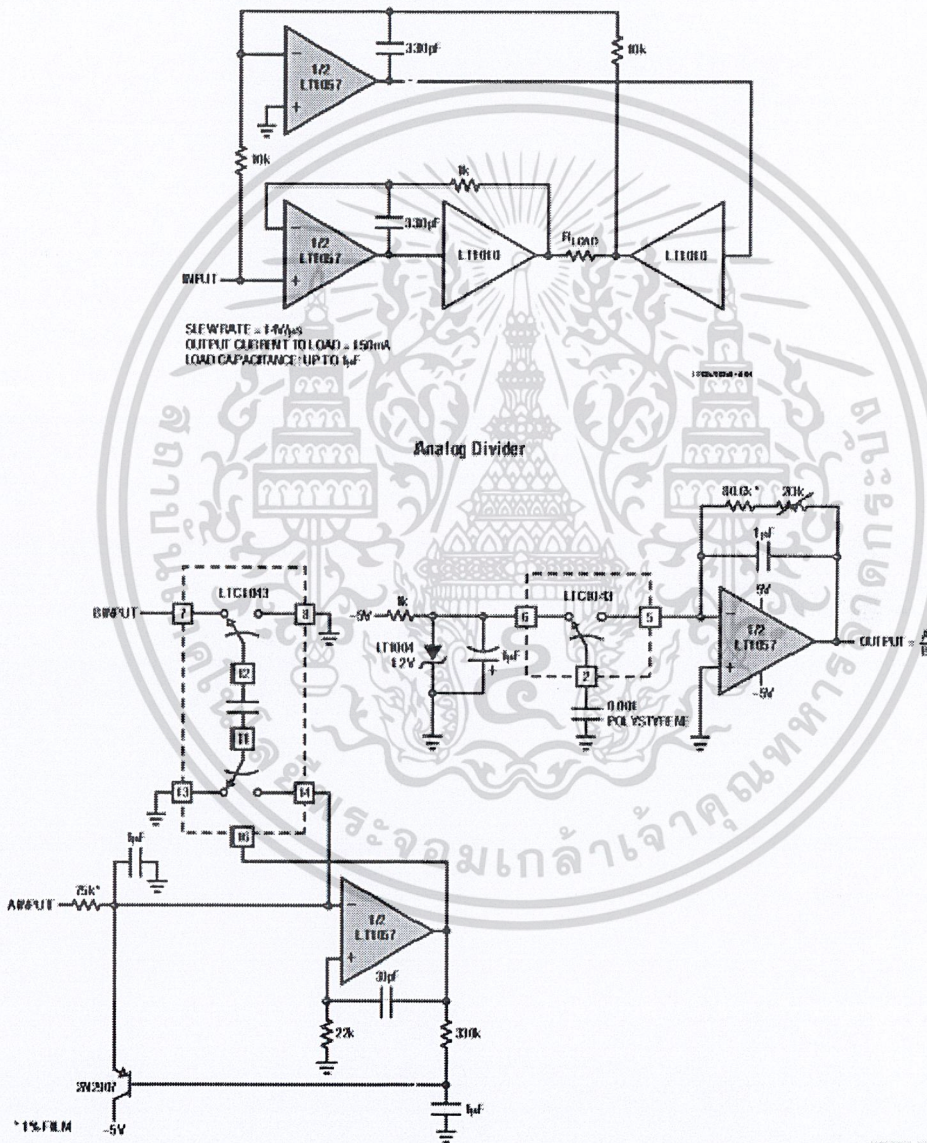


Low Distortion, Crystal Stabilized Oscillator



TYPICAL APPLICATIONS

Fast, Precision Bridge Amplifier

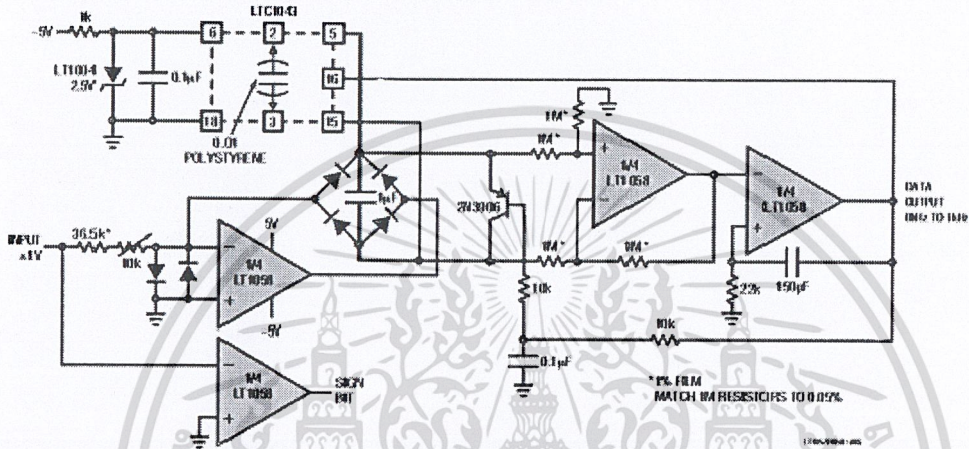


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

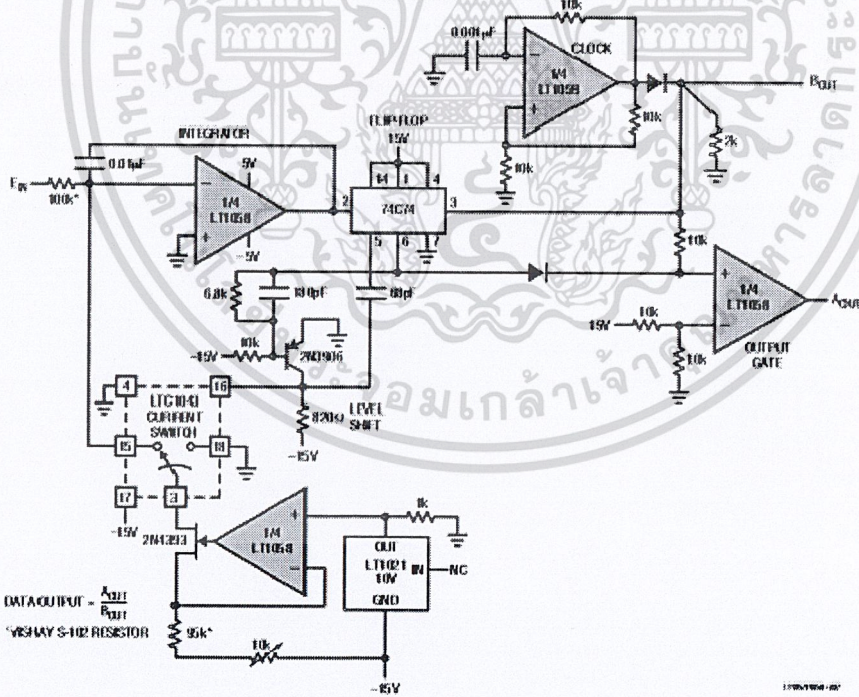
LT1057/LT1058

TYPICAL APPLICATIONS

Bipolar Input (AC) V/F Converter

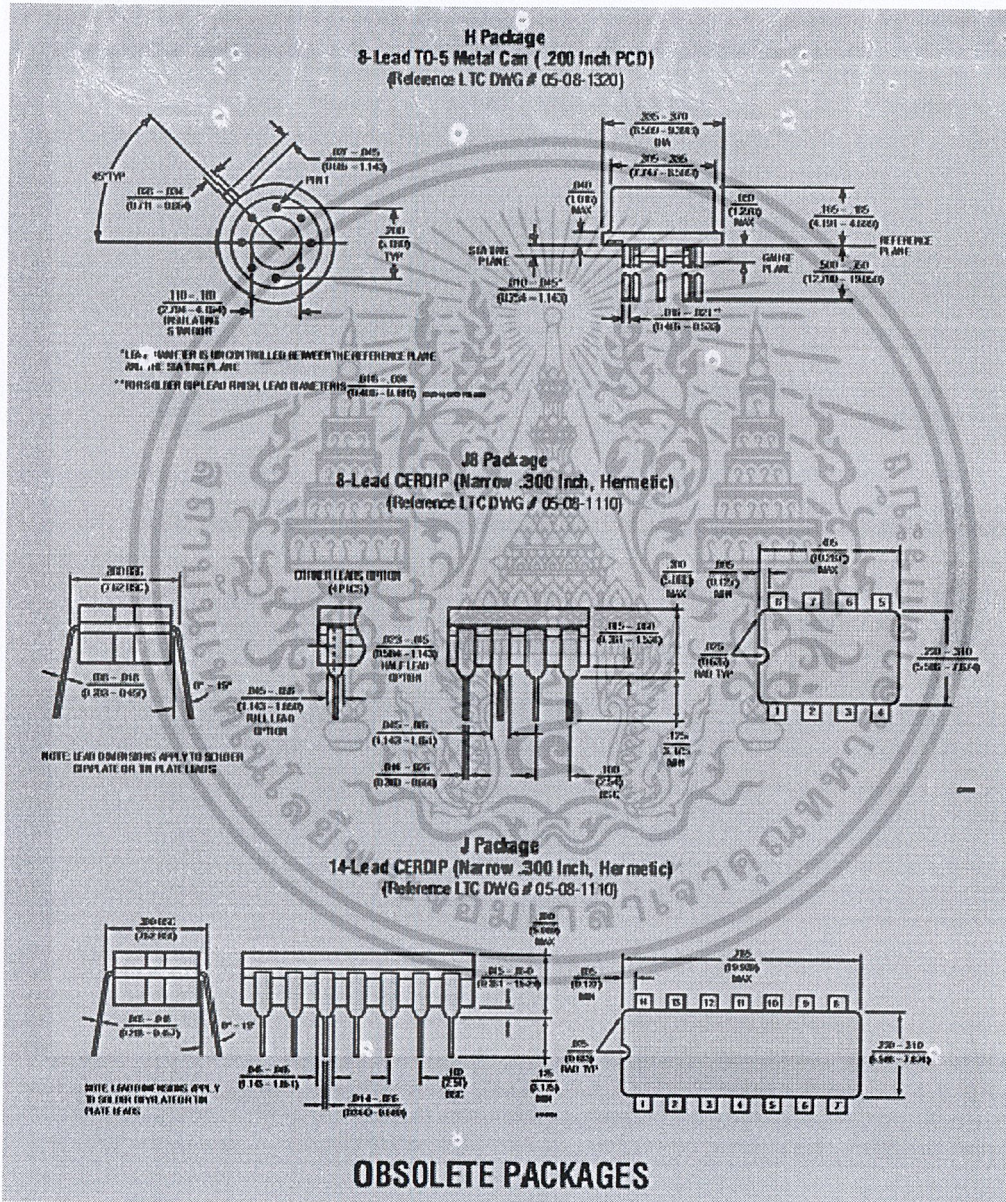


12-Bit A/D Converter



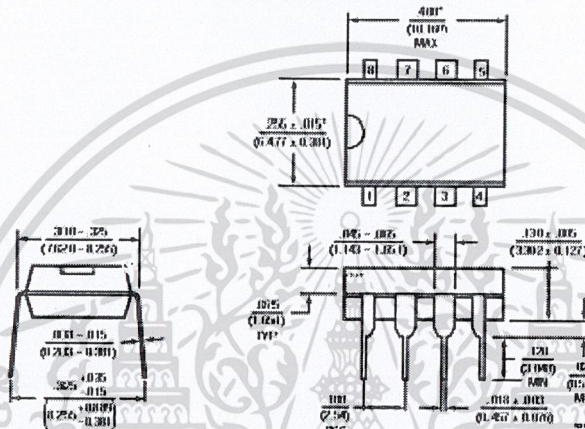
LT1057/LT1058

PACKAGE DESCRIPTION



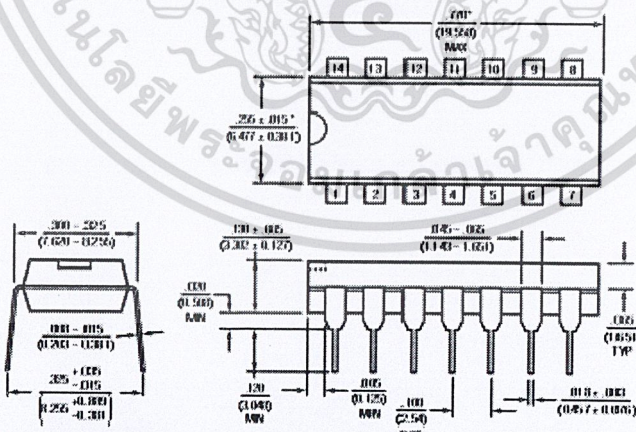
PACKAGE DESCRIPTION

N8 Package
8-Lead PDIP (Narrow .300 Inch)
 (Reference LTC DWG # 05-08-1510)



NOTE:
 1. DIMENSIONS ARE MILLIMETERS.
 * THESE DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS.
 MOLD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.10 mm (0.25 mm).

N Package
14-Lead PDIP (Narrow .300 Inch)
 (Reference LTC DWG # 05-08-1510)



NOTE:
 1. DIMENSIONS ARE MILLIMETERS.
 * THESE DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS.
 MOLD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.10 mm (0.25 mm).



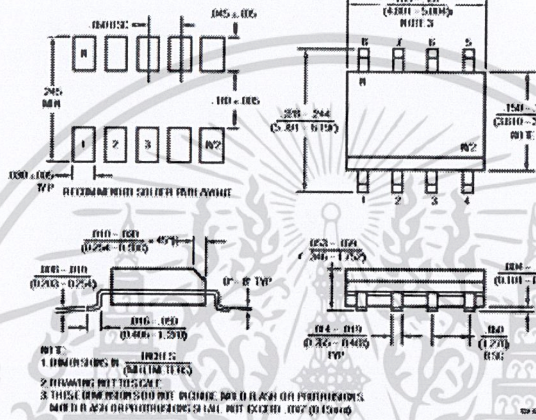
Information furnished by Linear Technology Corporation is intended to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed for errors. Linear Technology Corporation makes no representation that the information described herein is free from patent infringement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

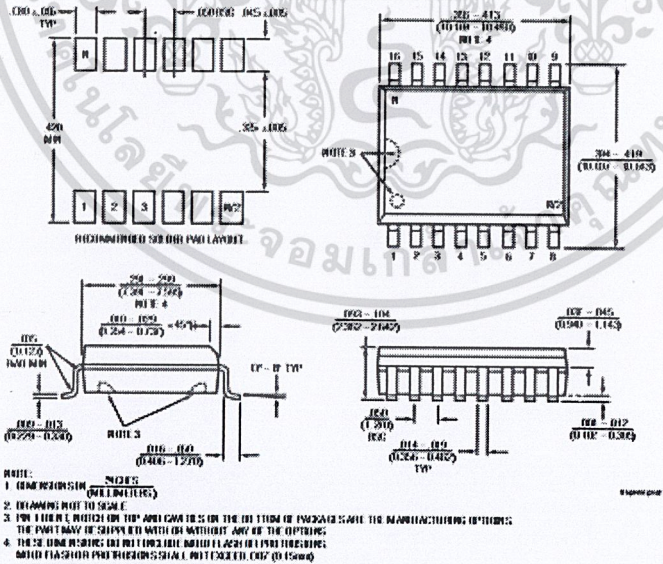
LT1057/LT1058

PACKAGE DESCRIPTION

S8 Package
8-Lead Plastic Small Outline (Narrow .150 Inch)
 (Reference ITC DWG # 05-08-1610)



SW Package
16-Lead Plastic Small Outline (Wide .300 Inch)
 (Reference ITC DWG # 05-08-1620)



16 Linear Technology Corporation
 1630 McCarthy Blvd., Milpitas, CA 95035-7417
 (408) 432-1900 • FAX: (408) 434-0507 • www.linear.com

LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION
 LWTP, RED BERRY A - PRINTED IN USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ผศ 18

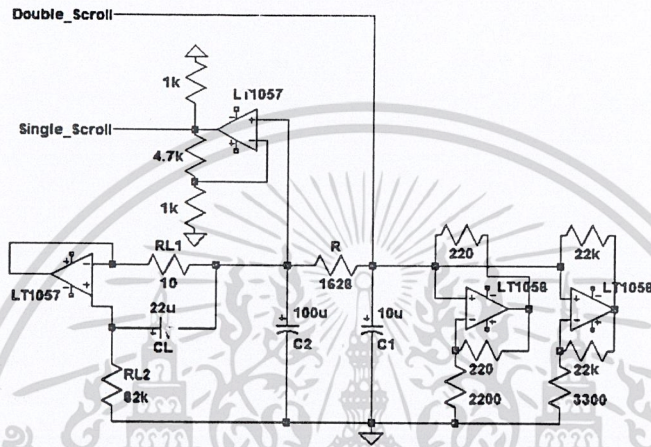
The seal of the National Library of Thailand is a circular emblem. It features a central sunburst with a flame-like base, flanked by two tiered stupas. The entire design is surrounded by a decorative border. The Thai text 'กรมหอสมุดแห่งชาติ' is written along the top inner edge, and 'พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' is written along the bottom inner edge.

ภาคผนวก
วงจรรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

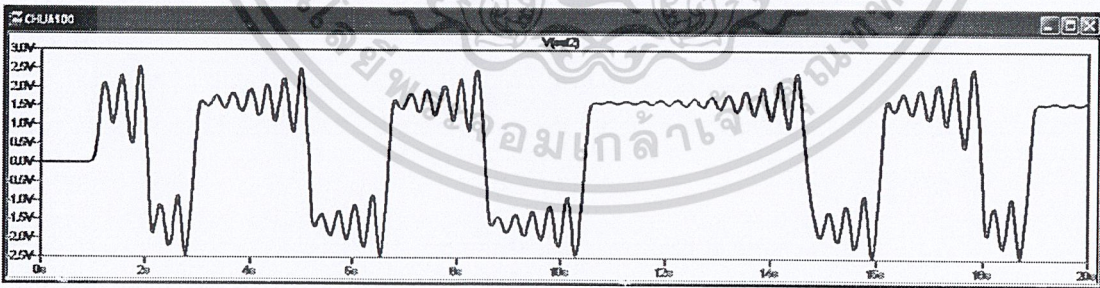
1. วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 3 Hz

วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์มีลักษณะดังรูปที่ ผง 1 โดยใช้ลักษณะแบบ Double Scroll สำหรับชิ้นงานที่ 2 และลักษณะแบบ Single Scroll สำหรับชิ้นงานที่ 3



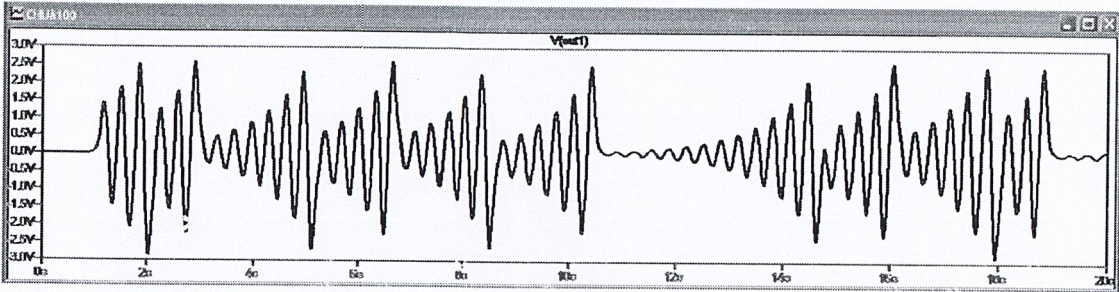
รูปที่ ผง 1 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 3 Hz

สัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ได้ในช่วง 0 - 20 วินาที โดยมีลักษณะ Double Scroll และ Single Scroll ดังรูปที่ ผง 2 และ ผง 3 ตามลำดับ



รูปที่ ผง 2 สัญญาณอลวนแบบ Double Scroll ที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับชิ้นงานที่ 2

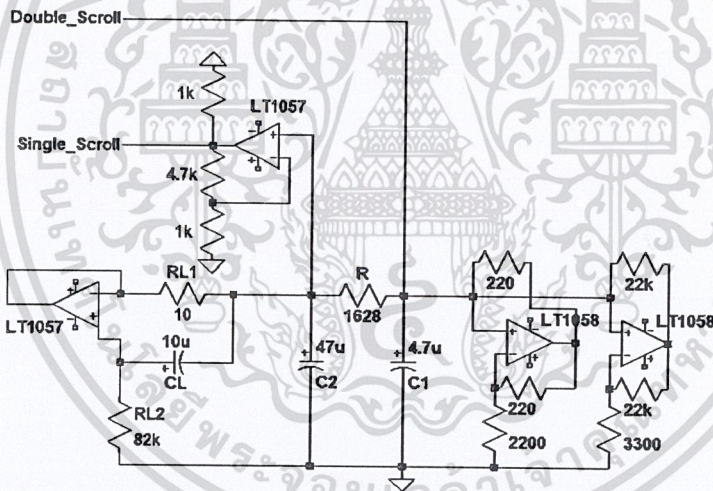
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผง 3 สัญญาณอลวนแบบ Single Scroll ที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับชิ้นงานที่ 3

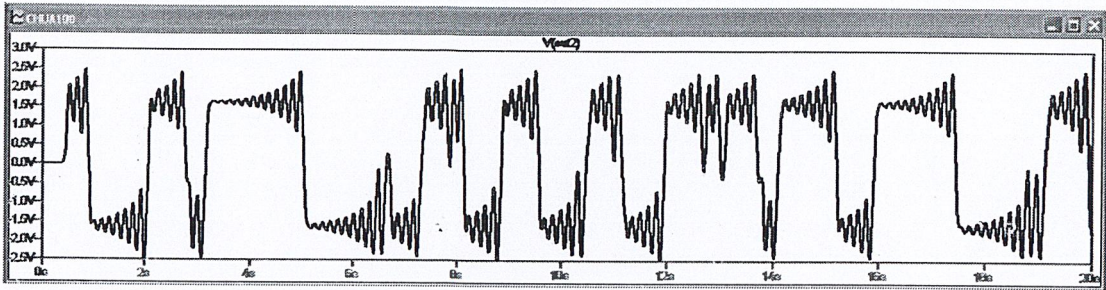
2. วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 6.5 Hz

วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์มีลักษณะดังรูปที่ ผง 4 โดยใช้ลักษณะแบบ Double Scroll สำหรับชิ้นงานที่ 4 และลักษณะแบบ Single Scroll สำหรับชิ้นงานที่ 5

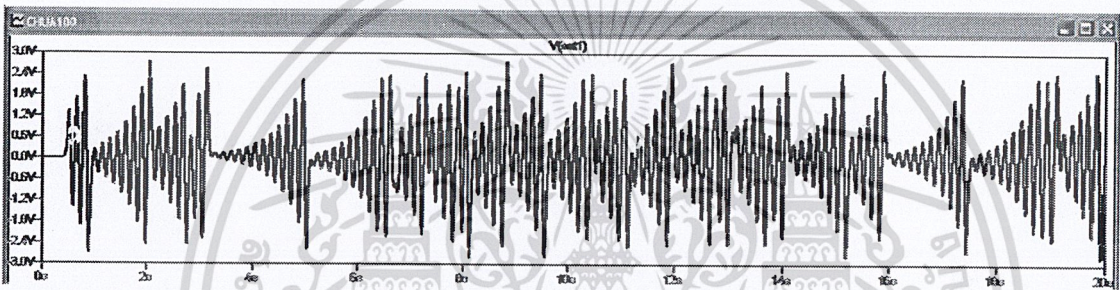


รูปที่ ผง 4 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 6.5 Hz

สัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ได้ในช่วง 0 - 20 วินาที โดยมีลักษณะ Double Scroll และ Single Scroll ดังรูปที่ ผง 5 และ ผง 6 ตามลำดับ



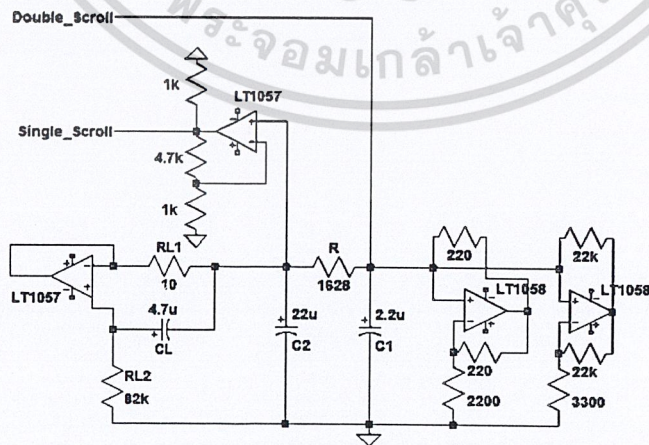
รูปที่ ผง 5 สัญญาณอลวนแบบ Double Scroll ที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับชิ้นงานที่ 4



รูปที่ ผง 6 สัญญาณอลวนแบบ Single Scroll ที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับชิ้นงานที่ 5

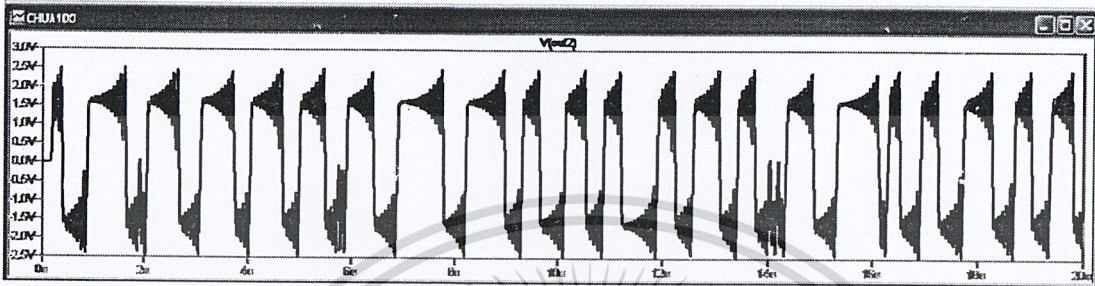
3. วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 14.5 Hz

วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์มีลักษณะดังรูปที่ ผง 7 โดยใช้ลักษณะแบบ Double Scroll สำหรับชิ้นงานที่ 6 และลักษณะแบบ Single Scroll สำหรับชิ้นงานที่ 7

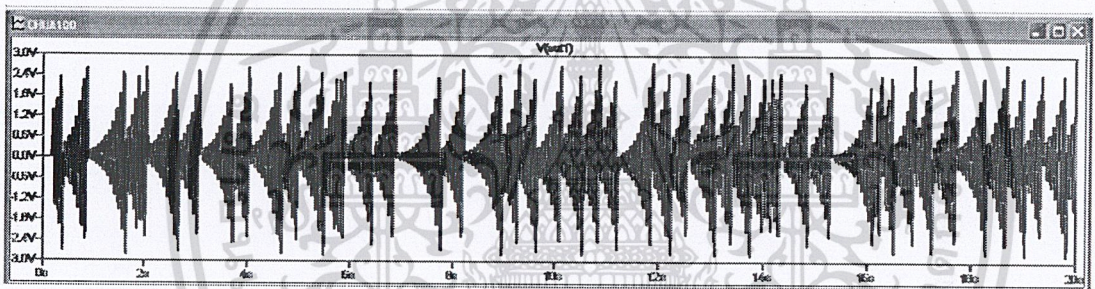


รูปที่ ผง 7 วงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 14.5 Hz โยชน์ด้านการค้า
 เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ซื้อได้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไขเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ผง 4

สัญญาณอลวนแบบ Chua ที่ได้ในช่วง 0 - 20 วินาที โดยมีลักษณะ Double Scroll และ Single Scroll ดังรูปที่ ผง 8 และ ผง 9 ตามลำดับ



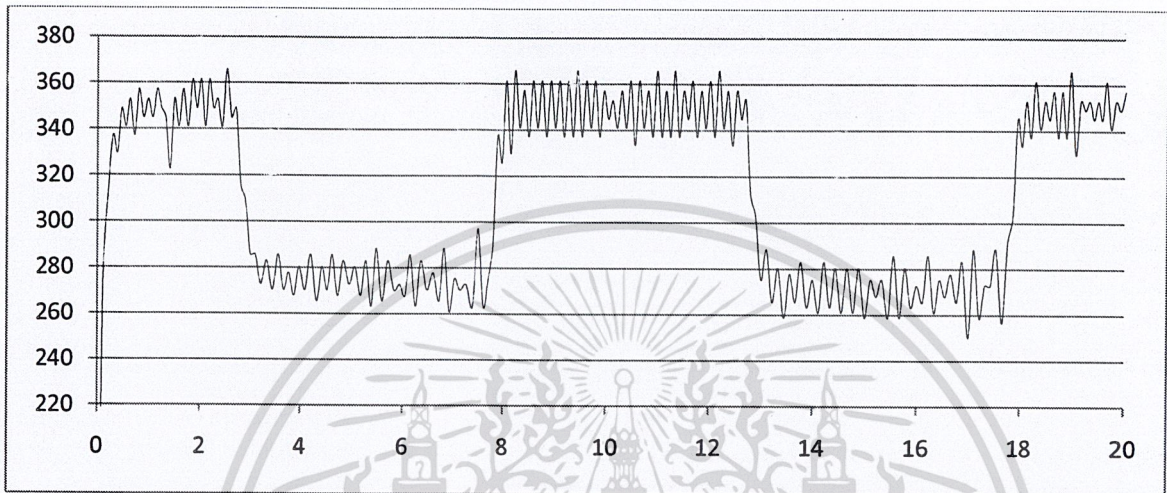
รูปที่ ผง 8 สัญญาณอลวนแบบ Double Scroll ที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับชิ้นงานที่ 6



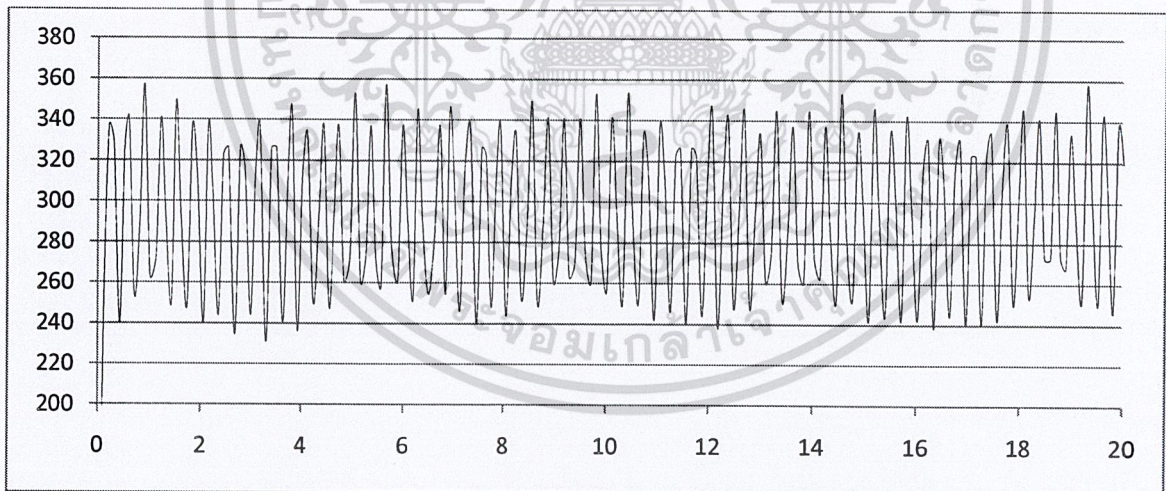
รูปที่ ผง 9 สัญญาณอลวนแบบ Single Scroll ที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับชิ้นงานที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไขและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความเร็วรอบที่ได้ (rpm) จากการควบคุมด้วยวงจรสร้างสัญญาณอลวนแบบ Chua ที่มีความถี่ของสัญญาณแบบ Single Scroll 3 Hz ในช่วง 0 – 20 วินาที มีลักษณะดังรูปที่ ผง 10 และ ผง 11



รูปที่ ผง 10 ความเร็วรอบที่ได้จากการควบคุมมอเตอร์ด้วยสัญญาณอลวนแบบ Double Scroll สำหรับชิ้นงานที่ 2



รูปที่ ผง 11 ความเร็วรอบที่ได้จากการควบคุมมอเตอร์ด้วยสัญญาณอลวนแบบ Single Scroll สำหรับชิ้นงานที่ 3

อย่างไรก็ตามเนื่องจากความเร็วรอบของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่วิธีการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้มีความละเอียดต่ำ จึงทำให้ความเร็วรอบที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ด้วย **Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานที่ 1 ผลการวิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

No.1-300 sec

Sample : Test_Zn_01_C
 Operator: MTEC
 Comment : 2channel,300sec,Al Filter for S-K
 Group : easy-300-2ch_2_S-K
 Date : 2011-01-12 09:07:40
 Meas. Position:{ 73.621, 72.347,31.82 }

[Measurement Condition]

Instrument :microEDX-1200{Si(Li):L} Meas. Diameter:50um

| Channel | TG kV | uA | Fl Acq. | Anal. (keV) | Time(sec) | DT% |
|---------|-------|-----------|---------|-------------|-----------|-----|
| Ti-U | Rh 50 | 166-Auto | -- 0-40 | 0.00-40.00 | LT: 300 | 22 |
| Na-Sc | Rh 15 | 1000-Auto | Al 0-20 | 0.00- 4.40 | LT: 300 | 8 |

[Quantitative Result]

| Analyte | Result | Error | Proc-Calc | Line | Int. (cps/uA) |
|---------|-----------|--------|-----------|------|---------------|
| Bi | 67.0364 % | 0.6059 | Quant.-FP | BiLa | 0.052 |
| Sn | 32.8961 % | 0.4333 | Quant.-FP | SnKa | 0.161 |
| Cr | 0.0675 % | 0.0057 | Quant.-FP | CrKa | 0.009 |

ชิ้นงานที่ 2 ผลการวิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

No.2-300 sec

Sample : Test_Zn_02_C
 Operator: MTEC
 Comment : 2channel,300sec,Al Filter for S-K
 Group : easy-300-2ch_2_S-K
 Date : 2011-01-12 09:32:36
 Meas. Position:{ 23.419, 77.098,30.83 }

[Measurement Condition]

Instrument :microEDX-1200{Si(Li):L} Meas. Diameter:50um

| Channel | TG kV | uA | Fl Acq. | Anal. (keV) | Time(sec) | DT% |
|---------|-------|-----------|---------|-------------|-----------|-----|
| Ti-U | Rh 50 | 166-Auto | -- 0-40 | 0.00-40.00 | LT: 300 | 24 |
| Na-Sc | Rh 15 | 1000-Auto | Al 0-20 | 0.00- 4.40 | LT: 300 | 8 |

[Quantitative Result]

| Analyte | Result | Error | Proc-Calc | Line | Int. (cps/uA) |
|---------|-----------|--------|-----------|------|---------------|
| Bi | 66.8110 % | 0.6134 | Quant.-FP | BiLa | 0.051 |
| Sn | 33.1293 % | 0.4322 | Quant.-FP | SnKa | 0.161 |
| Mn | 0.0381 % | 0.0044 | Quant.-FP | MnKa | 0.007 |
| Cr | 0.0216 % | 0.0049 | Quant.-FP | CrKa | 0.003 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไขเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานที่ 3 ผลการวิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

No.3-300 sec

Sample : Test_Zn_03_C
 Operator: MTEC
 Comment : 2channel,300sec,Al Filter for S-K
 Group : easy-300-2ch_2_S-K
 Date : 2011-01-12 09:45:34
 Meas. Position:(47.687, 76.101,32.49)

[Measurement Condition]

Instrument :microEDX-1200[Si(Li):L] Meas. Diameter:50um

| Channel | TG kv | uA | Fl Acq. | Anal.(keV) | Time(sec) | DT% |
|---------|-------|-----------|---------|------------|-----------|-----|
| Ti-U | Rh 50 | 166-Auto | -- 0-40 | 0.00-40.00 | LT: 300 | 22 |
| Na-Sc | Rh 15 | 1000-Auto | Al 0-20 | 0.00- 4.40 | LT: 300 | 7 |

[Quantitative Result]

| Analyte | Result | Error | Proc-Calc | Line | Int.(cps/uA) |
|---------|-----------|--------|-----------|------|--------------|
| Bi | 63.4945 % | 0.6226 | Quant.-FP | BiLa | 0.045 |
| Sn | 35.6055 % | 0.4620 | Quant.-FP | SnKa | 0.163 |
| Ca | 0.7502 % | 0.0964 | Quant.-FP | CaKa | 0.004 |
| Cu | 0.1199 % | 0.0052 | Quant.-FP | CuKa | 0.042 |
| Mn | 0.0299 % | 0.0045 | Quant.-FP | MnKa | 0.005 |

ชิ้นงานที่ 4 ผลการวิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

No.4-300 sec

Sample : Test_Zn_04_C
 Operator: MTEC
 Comment : 2channel,300sec,Al Filter for S-K
 Group : easy-300-2ch_2_S-K
 Date : 2011-01-12 09:58:46
 Meas. Position:(77.002, 74.583,31.81)

[Measurement Condition]

Instrument :microEDX-1200[Si(Li):L] Meas. Diameter:50um

| Channel | TG kv | uA | Fl Acq. | Anal.(keV) | Time(sec) | DT% |
|---------|-------|-----------|---------|------------|-----------|-----|
| Ti-U | Rh 50 | 156-Auto | -- 0-40 | 0.00-40.00 | LT: 300 | 22 |
| Na-Sc | Rh 15 | 1000-Auto | Al 0-20 | 0.00- 4.40 | LT: 300 | 8 |

[Quantitative Result]

| Analyte | Result | Error | Proc-Calc | Line | Int.(cps/uA) |
|---------|-----------|--------|-----------|------|--------------|
| Bi | 65.8257 % | 0.6180 | Quant.-FP | BiLa | 0.049 |
| Sn | 34.1743 % | 0.4612 | Quant.-FP | SnKa | 0.161 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานที่ 5 ผลการวิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

No.5-300 sec

Sample : Test_Zn_05_C
 Operator: MTEC
 Comment : 2channel,300sec,Al Filter for S-K
 Group : easy-300-2ch_2_S-K
 Date : 2011-01-12 10:11:56
 Meas. Position:(17.526, 39.934,31.37)

[Measurement Condition]

Instrument :microEDX-1200[Si(Li):L] Meas. Diameter:50um

| Channel | TG | kV | uA | Fl Acq. | Anal. (keV) | Time(sec) | DT% |
|---------|----|----|-----------|---------|-------------|-----------|-----|
| Ti-U | Rh | 50 | 178-Auto | -- 0-40 | 0.00-40.00 | LT: 300 | 25 |
| Na-Sc | Rh | 15 | 1000-Auto | Al 0-20 | 0.00- 4.40 | LT: 300 | 8 |

[Quantitative Result]

| Analyte | Result | Error | Proc-Calc | Line | Int. (cps/uA) |
|---------|-----------|--------|-----------|------|---------------|
| Bi | 61.4739 % | 0.6183 | Quant.-FP | BiLa | 0.043 |
| Sn | 38.3330 % | 0.4664 | Quant.-FP | SnKa | 0.172 |
| Fe | 0.1931 % | 0.0069 | Quant.-FP | FeKa | 0.043 |

ชิ้นงานที่ 6 ผลการวิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

No.6-300 sec

Sample : Test_Zn_06_C
 Operator: MTEC
 Comment : 2channel,300sec,Al Filter for S-K
 Group : easy-300-2ch_2_S-K
 Date : 2011-01-12 10:25:24
 Meas. Position:(51.159, 38.528,29.23)

[Measurement Condition]

Instrument :microEDX-1200[Si(Li):L] Meas. Diameter:50um

| Channel | TG | kV | uA | Fl Acq. | Anal. (keV) | Time(sec) | DT% |
|---------|----|----|-----------|---------|-------------|-----------|-----|
| Ti-U | Rh | 50 | 178-Auto | -- 0-40 | 0.00-40.00 | LT: 300 | 23 |
| Na-Sc | Rh | 15 | 1000-Auto | Al 0-20 | 0.00- 4.40 | LT: 300 | 8 |

[Quantitative Result]

| Analyte | Result | Error | Proc-Calc | Line | Int. (cps/uA) |
|---------|-----------|--------|-----------|------|---------------|
| Bi | 50.5232 % | 0.5079 | Quant.-FP | BiLa | 0.043 |
| Sn | 49.4084 % | 0.2725 | Quant.-FP | SnLa | 0.121 |
| Cr | 0.0685 % | 0.0055 | Quant.-FP | CrKa | 0.010 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานที่ 7 ผลการวิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

No.7-300 sec

Sample : Test_Zn_07_C
 Operator: MTEC
 Comment : 2channel,300sec,Al Filter for S-K
 Group : easy-300-2ch_2_S-K
 Date : 2011-01-12 10:38:43
 Meas. Position:(82.762, 43.818,33.11)

[Measurement Condition]

Instrument :microEDX-1200[Si(Li):L] Meas. Diameter:50um

| Channel | TG kV | uA | Fl Acq. | Anal. (keV) | Time(sec) | DT% |
|---------|-------|-----------|---------|-------------|-----------|-----|
| Ti-U | Rh 50 | 166-Auto | -- 0-40 | 0.00-40.00 | LT: 300 | 23 |
| Na-Sc | Rh 15 | 1000-Auto | Al 0-20 | 0.00- 4.40 | LT: 300 | 7 |

[Quantitative Result]

| Analyte | Result | Error | Proc-Calc | Line | Int. (cps/uA) |
|---------|-----------|--------|-----------|------|---------------|
| Bi | 61.6093 % | 0.5145 | Quant.-FP | BiLa | 0.058 |
| Sn | 38.3907 % | 0.2325 | Quant.-FP | SnLa | 0.101 |

ชิ้นงานที่ 8 ผลการวิเคราะห์ด้วย Micro-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

No.8-300 sec

Sample : Test_Zn_08_C
 Operator: MTEC
 Comment : 2channel,300sec,Al Filter for S-K
 Group : easy-300-2ch_2_S-K
 Date : 2011-01-12 10:51:57
 Meas. Position:(50.534, 13.627,32.31)

[Measurement Condition]

Instrument :microEDX-1200[Si(Li):L] Meas. Diameter:50um

| Channel | TG kV | uA | Fl Acq. | Anal. (keV) | Time(sec) | DT% |
|---------|-------|-----------|---------|-------------|-----------|-----|
| Ti-U | Rh 50 | 156-Auto | -- 0-40 | 0.00-40.00 | LT: 300 | 22 |
| Na-Sc | Rh 15 | 1000-Auto | Al 0-20 | 0.00- 4.40 | LT: 300 | 8 |

[Quantitative Result]

| Analyte | Result | Error | Proc-Calc | Line | Int. (cps/uA) |
|---------|-----------|--------|-----------|------|---------------|
| Bi | 62.6916 % | 0.5799 | Quant.-FP | BiLa | 0.050 |
| Sn | 37.2625 % | 0.4580 | Quant.-FP | SnKa | 0.189 |
| Zn | 0.0459 % | 0.0042 | Quant.-FP | ZnKa | 0.018 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้