

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิบัดกรีที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค
ของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu



นาย กิตตินันท์ แซ่ชัยพร
นาย จตุรงค์ วงศ์สมบูรณ์
นาย สมศักดิ์ ทองระอา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 71950
วัน,เดือน,ปี..... - 6 ส.ย. 2550

b. 417.60801
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY ON EFFECT OF SOLDERING
TEMPERATURE ON MICROSTRUCTURES OF
Sn-0.75Cu AND Sn-3Cu LEAD FREE SOLDERS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEER
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิบัดกรีที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคของโลหะ
บัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu
A Study on effect of soldering temperature on microstructures of
Sn-0.75Cu and Sn-3Cu lead free solders

นักศึกษา

นาย กิตติพันธ์ แซ่ชัยพร รหัสนักศึกษา 47015628
นาย จตุรงค์ วงศ์สมบูรณ์ รหัสนักศึกษา 47015632
นาย สมศักดิ์ ทองระอา รหัสนักศึกษา 47015662

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท



(ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาสิริ)



(ดร.อนิรุท ไชยจารุณิข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิบัดกรีที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu
นักศึกษา	นาย กิตตินันท์ แซ่ชัยพร รหัสประจำตัว 47015628 นาย จตุรงค์ วงศ์สมบูรณ์ รหัสประจำตัว 47015632 นาย สมศักดิ์ ทองระอา รหัสประจำตัว 47015662
หลักสูตร ปีการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2549
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ศส.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ ดร.อนิรุท ไชยจางูวณิช

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิบัดกรีที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว 2 ชนิด คือ Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu โดยใช้วิธีการบัดกรีแบบจุ่ม และช่วงเวลาที่ทำการบัดกรีคงที่ 5 วินาที ตลอดจนการทดลอง ซึ่งชิ้นงานเป็นโลหะทองแดงบริสุทธิ์ 99.98 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ตัวแปรคือ อุณหภูมิของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่มีการเปลี่ยนแปลง คือ Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส 260 องศาเซลเซียส 270 องศาเซลเซียส 290 องศาเซลเซียส และ 300 องศาเซลเซียส และ Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส 350 องศาเซลเซียส 360 องศาเซลเซียส 370 องศาเซลเซียส 380 องศาเซลเซียส 390 องศาเซลเซียส โดยใช้ชิ้นงานทั้งหมดในการทดลอง 11 ชิ้น จากการทดลองสรุปได้ว่า อุณหภูมิในการบัดกรีมีอิทธิพลต่อการเกิดโครงสร้างจุลภาคที่รอยต่อระหว่างโลหะบัดกรีกับแผ่นทองแดง

Thesis Title	A Study on effect of soldering temperature on microstructures of Sn-0.75Cu and Sn-3Cu lead free solders
Student	Mr. Kittinan Kaechaiporn Mr. Jaturong Wongsomboon Mr. Somsak Thongraar
Degree	Bachelor of Engineering Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2006
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Kannachai Kanlayasiri Dr. Anirut Chajjaruwanich

ABTRACT

This project studies on the effect of soldering temperature on microstructures of lead-free solders which are Sn-0.75Cu and Sn-3Cu by using dipping soldering. The constant 5 seconds of dipping time is used through the experiment. The 99.98% coppers plates are used to be the workpiece. The variable is the dipping temperature of lead-free solders. Temperatures of 250°C, 260°C, 270°C, 290°C and 300°C are employed for Sn-0.75Cu, and Sn-3Cu are melted at 330°C, 350°C, 360°C, 370°C, 380°C and 390°C. Results show that the soldering temperatures have effect on microstructures of both lead-free solders.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่องการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว สำเร็จดังต่อไปนี้ได้ด้วยดี
ทางกลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ผศ.ดร. กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง สำหรับ
ความรู้ คำแนะนำ กำลังใจและความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้าน และให้โอกาสในการศึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ดร. อนิรุท ไชยจารุวิช อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง สำหรับการ
ให้คำปรึกษา คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำตลอดมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา เป็นอย่างสูงที่สุดในการให้โอกาสในการศึกษาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา
ที่มอบให้แก่กลุ่มผู้วิจัยทำให้มีความสำเร็จในวันนี้

ขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ขอขอบคุณพระคุณอย่างสูงสำหรับ
การให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ในการหาข้อมูล และเสียสละเวลามาให้ความรู้

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่น้องชาวลาดกระบังทุกคนที่ให้ความรู้สื่อกิจๆ ที่มีให้กันตลอดเวลาที่ผ่านมานี้และให้
กำลังใจในการทำโครงการตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณหนังสือทุกเล่ม ที่ใช้ในการศึกษาข้อมูลในการค้นคว้าทำปริญญาานิพนธ์และแหล่ง
ความรู้ทุกแหล่งข้อมูลอันทรงคุณค่าสำหรับทำโครงการนี้

นาย กิตตินันท์ แงษ์พร
นาย จตุรงค์ วงศ์สมบูรณ์
นาย สมศักดิ์ ทองระอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 จุดประสงค์ของ (WEEE) และ (ROHS).....	2
2.1.1 สารสำคัญของระเบียบ (WEEE).....	3
2.1.2 สารสำคัญของระเบียบ (ROHS).....	4
2.2 ความเป็นมาที่จะยกเลิกตะกั่วออกจากโลหะบัดกรี.....	4
2.2.1 ผลกระทบต่อร่างกายของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้สารตะกั่ว.....	5
2.3 การพิจารณาเบื้องต้นในการเลือกใช้โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว (Lead-Free Solder).....	5
2.4 โลหะทดแทนโลหะตะกั่ว.....	7
2.4.1 แนวทางในการเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมกับขบวนการผลิต.....	9
2.5 ข้อควรพิจารณาบางประการในขบวนการผลิต.....	11
2.6 ภูมิหลังของการนำโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วมาใช้ทดแทนโลหะบัดกรีที่มีสารตะกั่ว...	12
2.7 คัมเชื่อมบัดกรีไร้สารตะกั่ว.....	16
2.8 การบัดกรีโดยใช้ตัวโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว.....	17
2.9 ทฤษฎีในการบัดกรี (Soldering).....	17
2.9.1 โลหะพื้น (Base Metal).....	18
2.9.2 โลหะบัดกรี (Soldering Metal).....	18
2.9.3 น้ำยาประสานหรือน้ำยาฟลักซ์.....	20
2.10 ทฤษฎีการแพร่ของอะตอมในโครงสร้างผลึกของแข็ง.....	21
2.10.1 กลไกการแพร่แบบช่องว่างหรือแทนที่.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แล่งต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10.2 กลไกการแพร่แบบเซลล์แทรก.....	22
2.11 ทฤษฎีการเกิดนิวเคลียสที่อยู่ในโลหะที่หลอมเหลว.....	22
2.11.1 กลไกการเกิดนิวเคลียสแบบเอกพันธ์.....	22
2.11.2 กลไกการเกิดนิวเคลียสแบบวิหพันธ์.....	22
2.12 เฟสไดอะแกรมของโลหะผสมตีกับทองแดง.....	23
2.13 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	24
2.13.1 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	24
2.14 เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (EDS).....	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	27
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2.1 ทองแดงบริสุทธิ์ 99.98 เปอร์เซ็นต์.....	28
3.2.2 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว.....	28
3.2.3 น้ำยาฟลักซ์.....	29
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.3.1 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน.....	30
3.3.2 เตาที่ใช้หลอมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว.....	30
3.3.3 เทอร์โมคัปเปิล.....	31
3.3.4 ภาชนะหลอมโลหะบัดกรี.....	31
3.3.5 เครื่องตัดความเร็วต่ำ.....	32
3.3.6 เครื่องเลื่อยใบฉีก.....	33
3.3.7 เครื่องจักรนานา.....	33
3.3.8 กล้องจุลทรรศน์.....	34
3.3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	34
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	35
3.4.1 ขั้นตอนก่อนการทดลอง.....	35
3.4.2 ขั้นตอนระหว่างการทดลอง.....	35
3.4.3 ขั้นตอนหลังการทดลอง.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลที่ได้จากการทดลอง	
4.1 ตัวอย่างต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับผลการวิเคราะห์ด้วย SEM และ EDS.....	42
4.1.1 ตัวอย่างต่าง ๆ ในตารางของส่วนผสมภายในชิ้นงาน.....	42
4.1.2 ตัวอย่างที่เกี่ยวกับเครื่อง SEM และ EDS.....	42
4.2 ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์.....	43
4.3 ตัวอย่างของภาพจากการวิเคราะห์ด้วย SEM และ EDS.....	49
4.4 ผลที่ได้จากการใช้เครื่อง SEM และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ EDS.....	51
4.4.1 ชิ้นงานที่ 1 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส.....	51
4.4.2 ชิ้นงานที่ 2 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 260 องศาเซลเซียส.....	53
4.4.3 ชิ้นงานที่ 3 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 270 องศาเซลเซียส.....	55
4.4.4 ชิ้นงานที่ 4 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 290 องศาเซลเซียส.....	57
4.4.5 ชิ้นงานที่ 5 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 300 องศาเซลเซียส.....	59
4.4.6 สรุปลโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.75Cu.....	61
4.4.7 ชิ้นงานที่ 6 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 330 องศาเซลเซียส.....	62
4.4.8 ชิ้นงานที่ 7 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 350 องศาเซลเซียส.....	64
4.4.9 ชิ้นงานที่ 8 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 360 องศาเซลเซียส.....	66
4.4.10 ชิ้นงานที่ 9 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 370 องศาเซลเซียส.....	68
4.4.11 ชิ้นงานที่ 10 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 380 องศาเซลเซียส.....	70
4.4.12 ชิ้นงานที่ 11 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 390 องศาเซลเซียส.....	72
4.4.13 สรุปลโลหะบัดกรีชนิด Sn-3Cu.....	74
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	75
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	76
หนังสืออ้างอิง.....	77
ภาคผนวก ก.....	ผก
ภาคผนวก ข.....	ผข
ภาคผนวก ค.....	ผค
ภาคผนวก ง.....	ผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และนำข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ประเภทของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ทั้ง 10 กลุ่ม.....	3
ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติบางประการของโลหะทดแทนตะกั่ว.....	7
ตารางที่ 2-3 ส่วนผสมชนิดต่างๆที่สามารถนำมาทดแทนตะกั่วบัดกรีชนิดไม่มีสารตะกั่ว.....	8
ตารางที่ 2-4 ส่วนผสมหลายชนิดถูกคัดออกจากทางเลือกเหลือเพียง 4 ชนิด.....	10
ตารางที่ 2-5 เปรียบเทียบคุณสมบัติบางประการระหว่าง Sn-Ag กับ Sn-Pb.....	11
ตารางที่ 2-6 แสดงชนิดโลหะต่อความยากง่ายในการบัดกรี.....	18
ตารางที่ 3-1 แสดงข้อมูลของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu.....	29
ตารางที่ 3-2 ส่วนผสมของคอร์เคียวไรต์.....	32
ตารางที่ 3-3 แสดงเงื่อนไขในการทดลอง.....	36
ตารางที่ 3-4 เปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง.....	37
ตารางที่ 3-5 ตัวอย่างแสดงผลจากเทคนิค EDS.....	40
ตารางที่ 4-1 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-0.75Cu ที่ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส.....	51
ตารางที่ 4-2 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-0.75Cu ที่ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส.....	53
ตารางที่ 4-3 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-0.75Cu ที่ อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส.....	55
ตารางที่ 4-4 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-0.75Cu ที่ อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส.....	57
ตารางที่ 4-5 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-0.75Cu ที่ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	59
ตารางที่ 4-6 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส.....	62
ตารางที่ 4-7 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส.....	64
ตารางที่ 4-8 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส.....	66
ตารางที่ 4-9 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส.....	68
ตารางที่ 4-10 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส.....	60
ตารางที่ 4-11 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส.....	72
ตารางที่ ผก-1 ใบแสดงการทดสอบทองแดงบริสุทธิ์.....	ผก 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 กลไกการแพร่แบบช่องว่างหรือแทนที่.....	21
รูปที่ 2-2 กลไกการแพร่แบบเซลล์แทรก.....	22
รูปที่ 2-3 แสดงถึงการเกิดการแลกเปลี่ยนอะตอมระหว่างทองแดงกับโลหะบัดกรี.....	23
รูปที่ 2-4 ระบบ Binary Alloy ของโลหะผสม Sn – Cu.....	23
รูปที่ 2-5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM.....	24
รูปที่ 2-6 แสดงส่วนประกอบของการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM.....	25
รูปที่ 3-1 ชิ้นงานทองแดงที่ตัดแล้ว.....	28
รูปที่ 3-2 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทั้ง 2 ชนิด.....	28
รูปที่ 3-3 น้ำยาฟลักซ์.....	30
รูปที่ 3-4 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน.....	30
รูปที่ 3-5 เตาที่ใช้หลอมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว.....	31
รูปที่ 3-6 เทอร์โมคัปเปิล.....	31
รูปที่ 3-7 ภาชนะหลอมโลหะบัดกรี คอรัเดียโรส.....	32
รูปที่ 3-8 เครื่องตัดความเร็วต่ำ.....	32
รูปที่ 3-9 เครื่องเลื่อยใบชักที่มีสารหล่อเย็น.....	33
รูปที่ 3-10 เครื่องจักรระนาบ.....	33
รูปที่ 3-11 กล้องจุลทรรศน์.....	34
รูปที่ 3-12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	34
รูปที่ 3-13 ชิ้นงานที่ได้ทำความสะอาดแล้ว.....	35
รูปที่ 3-14 ชิ้นงานยึดเข้ากับอุปกรณ์จับยึด.....	35
รูปที่ 3-15 แสดงการจุ่มชิ้นงานลงในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว.....	36
รูปที่ 3-16 ชิ้นงานที่จุ่มในอุณหภูมิโลหะบัดกรีหลอมเป็นของเหลวหมด.....	37
รูปที่ 3-17 ชิ้นงานที่จุ่มโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ.....	37
รูปที่ 3-18 ชิ้นงานที่ผ่านการตัดแล้ว.....	38
รูปที่ 3-19 ชิ้นงานที่ทำการหล่อเสร็จ.....	38
รูปที่ 3-20 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดจนได้ผิวหน้าและระนาบ.....	39
รูปที่ 3-21 ชิ้นงานที่ทำการกัดกรด.....	39
รูปที่ 3-22 ชิ้นงานล้างด้วยน้ำ.....	40
รูปที่ 3-23 ชิ้นงานล้างด้วยแอลกอฮอล์.....	40
รูปที่ 3-24 ภาพตัวอย่างการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	40
รูปที่ 3-25 ภาพตัวอย่างการส่องด้วยกล้อง SEM ที่ผิวระหว่างทองแดงกับโลหะบัดกรี.....	41
รูปที่ 4-1 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-2 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส.....	43
รูปที่ 4-3 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส.....	44
รูปที่ 4-4 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส.....	44
รูปที่ 4-5 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	45
รูปที่ 4-6 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส.....	45
รูปที่ 4-7 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส.....	46
รูปที่ 4-8 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส.....	46
รูปที่ 4-9 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส.....	47
รูปที่ 4-10 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส.....	47
รูปที่ 4-11 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส.....	48
รูปที่ 4-12 รูปตัวอย่างของ SEM และ EDS	49
รูปที่ 4-13 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส.....	51
รูปที่ 4-14 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส.....	53
รูปที่ 4-15 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส.....	55
รูปที่ 4-16 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส.....	57
รูปที่ 4-17 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	59
รูปที่ 4-18 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส.....	62
รูปที่ 4-19 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส.....	64
รูปที่ 4-20 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส.....	66
รูปที่ 4-21 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส.....	68
รูปที่ 4-22 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส.....	70
รูปที่ 4-23 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส.....	72
รูปที่ 5-1 ภาพจากการส่องกราดของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	75
รูปที่ ผก-1 ใบแสดงข้อมูลของ Sn-0.75Cu.....	ผก 3
รูปที่ ผก-3 ใบแสดงส่วนผสม Sn-0.75Cu.....	ผก 5
รูปที่ ผก-4 ใบแสดงข้อมูลของ Sn-3Cu.....	ผก 6
รูปที่ ผก-8 ใบแสดงส่วนผสม Sn-3Cu.....	ผก 10
รูปที่ ผข-1 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)...	ผข 2
รูปที่ ผข-2 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)...	ผข 2
รูปที่ ผข-3 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)...	ผข 2
รูปที่ ผข-4 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)...	ผข 3
รูปที่ ผข-5 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)...	ผข 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ผค-4 ชิ้นงานชนิด Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส.....	ผค 3
รูปที่ ผค-5 ชิ้นงานชนิด Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส.....	ผค 4
รูปที่ ผค-6 ชิ้นงานชนิด Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส.....	ผค 4
รูปที่ ผค-7 ชิ้นงานชนิด Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	ผค 5
รูปที่ ผค-8 ชิ้นงานชนิด Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส.....	ผค 5
รูปที่ ผค-9 ชิ้นงานชนิด Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส.....	ผค 6
รูปที่ ผค-10 ชิ้นงานชนิด Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส.....	ผค 6
รูปที่ ผค-11 ชิ้นงานชนิด Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส.....	ผค 7
รูปที่ ผค-12 ชิ้นงานชนิด Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส.....	ผค 7
รูปที่ ผค-13 ชิ้นงานชนิด Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส.....	ผค 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงระยะเวลา 6-7 ปีที่ผ่านมาวงการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลก ต่างตระหนักถึงความจำเป็นในการนำโลหะบัดกรีที่ไม่มีสารตะกั่วเป็นส่วนประกอบ (Lead - Free Solder) มาใช้งานแทนที่โลหะบัดกรีแบบดั้งเดิมที่มีส่วนผสมของดีบุกและตะกั่วเป็นหลัก (Tin-Lead Solder)

ถึงแม้ว่าปริมาณสารตะกั่วที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จะมีไม่มากนักเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมประเภทอื่น เช่น ปริมาณสารตะกั่วบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณสารตะกั่วในแบตเตอรี่รถยนต์ถ้าพิจารณาถึงการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันการเลิกใช้สารตะกั่วก็เป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้าม เหตุผลหลักก็คือเรื่องของการรักษาสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการบัดกรีต่อจุดโครงสร้างของรอยบัดกรี
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบธาตุในชิ้นงานหลังจากการบัดกรีด้วยโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาโครงสร้างของรอยบัดกรีระหว่างทองแดงกับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว โดยที่โลหะบัดกรีมีส่วนประกอบระหว่างดีบุกกับทองแดงจำนวน 2 ชนิด คือ Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu
2. ศึกษาถึงโครงสร้างและองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่คงที่ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามที่กำหนดไว้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นระหว่างทองแดงกับ โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่มีส่วนผสมของดีบุก และทองแดงจำนวน 2 ชนิดคือ Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระเบียบว่าด้วยการจัดการเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment: WEEE) และระเบียบที่ว่าด้วยการจัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (The Restriction of the use of certain Hazardous Substance in electrical equipment: ROHS) ของกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดเสรีในปัจจุบัน ผู้ผลิตจะต้องคำนึงองค์ประกอบพื้นฐานหลายด้านเช่น ความต้องการของตลาด ประสิทธิภาพความปลอดภัยอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนการผลิต กฎระเบียบในประเทศและข้อกำหนดของประเทศคู่ค้าเป็นต้น ในยุคของการรณรงค์เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเช่นปัจจุบัน นอกเหนือจากมาตรฐานคุณภาพของสินค้าและมาตรฐานในด้านความปลอดภัยแล้วประเทศต่างๆ ได้เริ่มหันมาให้ความสนใจและจริงจังต่อปัญหาผลกระทบของสินค้าต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ความเข้มงวดในด้านการใช้วัสดุดิบ และการใช้สารเคมีที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศคู่ค้าที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ประกอบกับแนวโน้มในการบริโภคสินค้าที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ผู้ผลิตต้องหันมาปรับปรุงเพื่อเปลี่ยนแปลงลักษณะของสินค้าให้เป็น “ผลิตภัณฑ์สะอาด” เพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดเสรีได้ คณะกรรมาธิการสหภาพยุโรป (European Commission : EC) ได้มีมติเห็นชอบร่างระเบียบว่าด้วย เศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment : WEEE) และร่างระเบียบว่าด้วยการจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (The Restriction of the use of certain Hazardous Substance in electrical equipment : ROHS) เพื่อเสนอคณะมนตรีซึ่งทั้งสองสภารวมทั้ง (European Commission :EC) ได้ร่วมกันพิจารณาและทำการแก้ไขเนื้อหาให้เหมาะสมรัดกุมสามารถบังคับใช้ได้จริงในหมู่ประเทศสมาชิกในร่างระเบียบทั้งสองนี้ขึ้น ได้ผ่านขั้นตอนต่างๆ ในการตรวจกฎหมายของกลุ่มประเทศยุโรปมาจนผ่านการลงมติซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนลงนามไป เมื่อ วันที่ 10 ตุลาคม 2545 จึงค่อนข้างที่จะแน่นอนว่ากลุ่มประเทศสมาชิกจะร่วมลงนามเพื่อให้ร่างมีผลบังคับใช้กฎสหภาพยุโรปภายในปลายปี 2545

2.1 จุดประสงค์ของ WEEE และ ROHS

1. เพื่อคุ้มครองสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม อันเกิดจากการกำจัดและทำลายเศษเหลือทิ้ง
2. เพื่อให้มีความเข้าใจระเบียบเกี่ยวกับ WEEE ในประเทศต่างๆ ของสหภาพยุโรป
3. เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถคืนเศษผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เหลือทิ้ง ให้แก่ผู้ผลิตโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย
4. เพื่อให้ผู้ผลิตและผู้นำเข้าสินค้า ต้องมีความรับผิดชอบต่อการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม
5. เพื่อไม่ให้เศษผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เหลือทิ้งเพิ่มมากขึ้น
6. เพื่อส่งเสริมให้นำมาใช้ใหม่และการคืนสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ภาวะสำคัญของระเบียบ (Waste Electrical and Electronic Equipment: WEEE)

ระเบียบ WEEE มีวัตถุประสงค์เพื่อวางมาตรการในการป้องกันการเพิ่มปริมาณของซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ WEEE ส่งเสริมการคืนสภาพชิ้นส่วนหรือวัสดุ และการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ผ่านการรับคืนและจัดเก็บของผู้ผลิตซึ่งความเสี่ยงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการกำจัดซาก WEEE ระเบียบนี้พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักความรับผิดชอบของผู้ผลิต โดยสหภาพยุโรปใช้วิธีกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำในการจัดการเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์และกำหนดเป้าหมายในการคืนสภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ และใช้กลไกการตลาดเป็นเครื่องมือในการบังคับให้ผู้ผลิตหากลยุทธ์ ในการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอายุอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าที่สุด โดยการกำหนดให้ผู้ผลิตต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการจัดการทั้งหมด

ระเบียบนี้ครอบคลุมถึงผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 10 กลุ่ม ที่ผลิตขึ้นทั้งก่อนและหลังจากที่ระเบียบนี้มีผลบังคับใช้ และใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 1000 โวลต์หรือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไม่เกิน 1500 โวลต์ ประเภทของผลิตภัณฑ์ทั้ง 10 กลุ่ม ที่จัดเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ประเภทของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ทั้ง 10 กลุ่ม

กลุ่ม	กลุ่มผลิตภัณฑ์	การคืนสภาพ น้ำหนักต่อน้ำหนัก เฉลี่ยของผลิตภัณฑ์	การใช้จ่ายและนำวัสดุ กลับมาใช้ใหม่ น้ำหนัก ต่อน้ำหนักเฉลี่ยของ ผลิตภัณฑ์
1	เครื่องใช้ขนาดใหญ่ที่ใช้ในครัวเรือน	80%	75%
2	เครื่องใช้ขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือน	70%	50%
3	อุปกรณ์โทรคมนาคม	75%	65%
4	อุปกรณ์สำหรับบริโกล	75%	65%
5	อุปกรณ์ให้แสงสว่าง	70%	50%
6	เครื่องมือไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	70%	50%
7	ของเล่นเด็ก	70%	50%
8	เครื่องมือแพทย์	ยังไม่กำหนด	ยังไม่กำหนด
9	เครื่องมือวัดและควบคุมต่างๆ	70%	50%
10	อุปกรณ์จำหน่ายเครื่องอัตโนมัติ	70%	50%
ชื่อยกเว้น	อุปกรณ์ที่มีหลอดภาพเป็นส่วนประกอบ	75%	70%
ชื่อยกเว้น	Gas Discharge Lamp	ยังไม่กำหนด	80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สารสำคัญของระเบียบ (The Restriction of the use of certain Hazardous Substance in electrical equipment: ROHS)

ระเบียบ (ROHS) มุ่งเน้นการจำกัดการใช้สารที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่ต้นเหตุโดยการจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และทำการคืนสภาพและการทิ้งซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ระเบียบนี้ครอบคลุมผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับ (WEEE) ยกเว้นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่ม 8-9-10 โดยระเบียบนี้เสนอให้ใช้สารอื่นมาทดแทน สารตะกั่ว สารปรอท สารแคดเมียม สารโครเมียม ภายในวันที่ 1 กรกฎาคม 2549 เป็นต้นไป สินค้าที่ส่งเข้าไปขายกลุ่มประเทศยุโรปต้องปลอดสารต้องห้ามทั้งนี้ไม่รวมชิ้นส่วนที่นำเข้านมาก่อนปี 2546 แต่มีข้อยกเว้นสารตะกั่ว ปรอท แคดเมียมและโครเมียมในผลิตภัณฑ์บางชนิดดังนี้

1. สารปรอทในฟลูออเรสเซนต์แบบตรง ในปริมาณไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อหลอด
2. สารปรอทในหลอดไฟที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้
3. สารปรอทในเครื่องมือเครื่องใช้ในห้องปฏิบัติการ
4. สารตะกั่วสำหรับป้องกันการแผ่รังสี
5. สารตะกั่วที่ผสมในแก้วของหลอดภาพ หลอดไฟ หลอดฟลูออเรสเซนต์ และท่อ
6. สารตะกั่วในชิ้นส่วน เซรามิกส์อิเล็กทรอนิกส์
7. สารตะกั่วที่ใช้ในโลหะอัลลอยในเหล็กที่มีปริมาณตะกั่วต่ำกว่าร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก ในอลูมิเนียมที่มีปริมาณตะกั่วต่ำกว่าร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักและในทองแดงที่มีปริมาณตะกั่วต่ำกว่าร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก
8. สารแคดเมียมออกไซด์ บนผิวของเซลล์รับแสงเซเลเนียม
9. สารแคดเมียมในการเคลือบผิวหน้าเพื่อป้องกันการกัดกร่อนในการใช้งานบางประเภท
10. สารแคดเมียม สารปรอท สารตะกั่ว ในหลอด (Hollow Cathode Lamps) สำหรับเครื่องมือวัด โลหะหนักชนิดอื่น
11. สารแคดเมียมในการป้องกันการกัดกร่อนเหล็กคาร์บอนในระบบเหล็กหล่อเย็น

ชนิดของสารอันตรายที่ห้ามใช้ รวมถึงรายการข้อยกเว้นที่ได้มีการระบุในระเบียบนี้ อาจมีการเพิ่มหรือลดได้อีกในอนาคต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในสาขาที่เกี่ยวข้อง

2.2 ความเป็นมาที่จะยกเลิกตะกั่วออกจากโลหะบัดกรี

บทความเรื่องขยะอิเล็กทรอนิกส์สิ่งที่เริ่มเป็นที่น่าสนใจกันทั่วโลก ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์นับวันจะเพิ่มขึ้นทุกวันตามอัตราการพัฒนาของเทคโนโลยีในประเทศยุโรปมีจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็วเพิ่มขึ้น เป็น 2 เท่าจากปี 1998 - 2010 ในปี 1998 มี 7,000,000 เมตริกตัน ขยะเหล่านี้มีส่วนประกอบของตะกั่วและสารเคมีต่างๆ มากมายที่ไม่ปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต กลุ่มสหภาพยุโรปได้เตรียมออกกฎ (Waste from Electrical and Equipment) ให้บริษัทผลิตภัณฑ์ต่างๆ รับคืนสินค้าที่หมดอายุในการใช้งานมารีไซเคิล โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายมีการรีไซเคิลมากกว่า 65% ของน้ำหนัก ผลของการปล่อยโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อมถือว่าเป็นอันตรายอย่างยิ่งเป็นสิ่งที่รู้กันมานานแล้ว แต่ดูเหมือนว่าสาธารณชนจะเริ่มสนใจและรณรงค์กันอย่างกว้างขวางเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาเอง ดังจะเห็นได้จาก

การวิจัยและบังคับใช้การใช้สารบางประเภทหรือเปลี่ยนวัสดุใหม่ในการนำมาใช้แทน แบตเตอรี่ไร้สารปรอท แบตเตอรี่ชาร์จใหม่ได้ (Rechargeable Batteries) ปราศจากแคดเมียมและน้ำมันเชื้อเพลิงไร้สารตะกั่ว (Lead Free Petrol)

1. นอกจากนั้นยังมีการคิดค้นเพื่อเปลี่ยนแปลงสารประกอบของตัวโลหะบัดกรี Solder ในการบัดกรี อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจากเดิมจะประกอบด้วยโลหะผสมของตะกั่ว (Pb) และดีบุก (Tin) แต่สำหรับตัวโลหะบัดกรีในการใช้งานอื่นๆที่สำคัญ เช่น ในการบรรจุภัณฑ์อาหารนั้น ตะกั่วถูกห้ามนำมาใช้ในการบัดกรีอย่างเด็ดขาดแล้ว เนื่องจากเป็นการเสี่ยงในการได้รับพิษของตะกั่ว แต่ในกรณีของการเชื่อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก โดยเฉพาะแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน
2. เหตุผลหลักก็คือ เรื่องของการรักษาสุขภาพแวดล้อม และความปลอดภัยในสุขภาพของมนุษย์ถึงแม้ในปัจจุบันยังไม่มียุทธศาสตร์ที่เข้มงวดเกี่ยวกับเรื่องนี้ออกมามากนักใช้แต่ในบางประเทศ เช่น สหภาพยุโรป และญี่ปุ่น ได้เริ่มมีการวางแผนอย่างจริงจังในการเลิกใช้สารตะกั่วในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยสหภาพยุโรปมีเป้าหมายในการเลิกใช้สารตะกั่วอย่างเด็ดขาดในปี ค.ศ. 2008
3. ประเทศญี่ปุ่น ตระหนักถึงความสำคัญในการเลิกใช้สารตะกั่วอย่างมาก โดยที่บริษัทอุตสาหกรรมชั้นนำ เช่น Sony Toshiba Matsushita Hitachi และ NEC ได้ร่วมทำสัญญาเลิกใช้สารตะกั่วให้หมดภายในปี ค.ศ. 2002 ทำให้บรรดาบริษัทอื่นๆ เริ่มเล็งเห็นถึงความเสียเปรียบในการแข่งขัน ถ้ายังคงใช้สารตะกั่วกันอยู่ต่อไป

2.2.1 ผลกระทบต่อร่างกายของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้สารตะกั่ว

ทราบกันว่าสารตะกั่วจัดเป็นสารอันตรายประเภทหนึ่ง ที่สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้หลายทาง เช่น การกลืนกิน และการสูดดม หรือการซึมผ่านทางผิวหนัง ปริมาณสารตะกั่วเพียงน้อยนิดที่เข้าสู่ร่างกาย อาจมีผลต่อระบบประสาทของมนุษย์ ในอดีตบางท่านอาจเคยได้ยินข่าวเกี่ยวกับพนักงานที่ทำงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้รับอันตรายจากสารตะกั่วกันมาบ้าง ความจริงในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปจะไม่มีการใช้สารตะกั่วที่อุณหภูมิสูงจนทำให้ตะกั่วเปลี่ยนสภาวะกลายเป็นไอ ดังนั้นความเสี่ยงจากการสูดดมไอตะกั่วจึงแทบไม่มีโอกาสเป็นไปได้ นอกจากนี้ยังมีระเบียบปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานหลายอย่าง เช่น ให้สวมหน้ากากป้องกันในระหว่างทำการบำรุงรักษาเครื่องจักรและให้สวมถุงมือถ้าต้องมีการสัมผัสตะกั่วบัดกรี การรณรงค์เรื่องสุขอนามัยให้แก่พนักงานรวมถึงจัดให้มีการตรวจสุขภาพประจำปีแก่พนักงานซึ่งผลการตรวจในแต่ละปีสามารถยืนยันได้ถึงความปลอดภัยในการใช้งานสารตะกั่วแต่ถ้าไม่เรายังคงมีการพิจารณาเลิกใช้สารตะกั่วกันอยู่ เหตุผลก็คือสารตะกั่วจากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์อาจมีการปนเปื้อนสู่ดิน ซึ่งอาจเกิดจากการทำลายวัสดุอิเล็กทรอนิกส์เหลือใช้ที่ไม่ดีพอ สารตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินอาจซึมผ่านลงไปถึงน้ำใต้ดิน ซึ่งจะมีผลต่อสุขภาพมนุษย์ถ้ามีการนำน้ำมาใช้ดื่มกิน

2.3 การพิจารณาเบื้องต้นในการเลือกใช้โลหะบัดกรีแบบไร้สารตะกั่ว (Lead-Free Solder)

โลหะบัดกรีที่เป็นส่วนผสมระหว่าง สารดีบุกและสารตะกั่ว (Tin-Lead) โดยส่วนผสมที่นิยมใช้งานคือ 63Sn-37Pb มีข้อดีหลายประการเช่น ราคาถูก จุดบัดกรีมีความแข็งแรง และความเงางาม นำไฟฟ้าได้ดี เป็นต้น ดังนั้นการที่จะนำตะกั่วบัดกรีชนิดไม่มีสารตะกั่ว (Tin-Lead) มาใช้งานแทน ตะกั่วบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb นั้น มีข้อควรพิจารณาเบื้องต้นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ราคาของตะกั่วบัดกรีชนิดไม่มีสารตะกั่ว (Lead-Free) โดยทั่วไปจะสูงกว่าตะกั่วบัดกรี 63Sn-37Pb อย่างน้อย 35 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป เนื่องจากโลหะที่จะนำมาแทนสารตะกั่วจะเป็นโลหะที่หาได้ยาก และมีอยู่อย่างจำกัด เช่น บิสมัท (Bismuth) อินเดียม (Indium) หรือ เงิน (Silver) เป็นต้น จะส่งผลให้ต้นทุนของสินค้าสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นการใช้ตะกั่วบัดกรีแบบแท่ง (Solder Bar) สำหรับเครื่อง Wave Soldering หรือตะกั่วบัดกรีแบบเส้น (Solder Wire) สำหรับการบัดกรีด้วยมือจะมีปริมาณการใช้สูงกว่าตะกั่วเหลว (Solder-Paste) ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณตะกั่วบัดกรีแบบแท่งหรือแบบเส้นที่ใช้จะเป็นส่วนประกอบหลักของต้นทุนการผลิต
2. จุดหลอมเหลวของตะกั่วบัดกรีชนิดไม่มีสารตะกั่ว โดยทั่วไปจะสูงกว่าตะกั่วบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb การที่ตะกั่วบัดกรีมีจุดหลอมเหลวสูงก็หมายถึงเราต้องปรับตั้งอุณหภูมิของเครื่องหลอมตะกั่วให้สูงขึ้นด้วย ซึ่งอาจทำให้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เสียหายได้ หรืออาจทำให้แผงวงจรเกิดการบิดงอเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป
3. ความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ต้องคิดที่จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์ลดลง
4. ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้องคิด
5. มีความเป็นพิษต่อร่างกายน้อย ซึ่งนี่คือจุดประสงค์หลักของการใช้ตะกั่วบัดกรีชนิดไม่มีสารตะกั่ว
6. ต้องใช้ได้กับเครื่องหลอมตะกั่วที่มีอยู่โดยไม่ต้องดัดแปลงมาก หรือต้องซื้อระบบใหม่ อาจยอมรับการดัดแปลงโดยเล็กน้อย เช่นเพิ่มระบบจ่ายก๊าซไนโตรเจนในเครื่อง Wave Soldering หรือเครื่อง Reflow Soldering เพื่อปรับปรุงคุณภาพของจุดบัดกรีเนื่องจากต้นทุนของการติดตั้งระบบจ่ายก๊าซไนโตรเจน โดยทั่วไปจะไม่สูงมากนัก
7. คุณสมบัติทางกายภาพ เช่นความแข็งแรง ความทนทานของจุดบัดกรีต้องไม่ด้อยไปกว่าตะกั่วบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb
8. มีจุดหลอมเหลวที่คงที่ เนื่องจากในการผลิตสินค้าปริมาณมากๆ (Mass Volume) จะต้องมีกระบวนการควบคุมความผันแปรต่างๆ ในขบวนการผลิตเพื่อไม่ให้ปริมาณของเสียในการผลิตมีมากเกินไป เป็นที่น่าสังเกตว่า ตะกั่วบัดกรีที่มีส่วนผสมของโลหะตั้งแต่ 4 ชนิดขึ้นไปจะมีจุดหลอมเหลวที่มีลักษณะเป็นช่วงอุณหภูมิไม่คงที่ที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง (ดังตารางที่2-3) ดังนั้นการเลือกใช้ตะกั่วบัดกรีประเภทนี้จะทำให้ประสบปัญหาในขบวนการผลิตได้
9. ความสวยงามของจุดบัดกรี (Solder Joint Cosmetics) ควรจะใกล้เคียงกับตะกั่วบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb
10. โลหะที่จะนำมาทดแทนสารตะกั่วจะต้องหาได้ง่าย ผู้ผลิตสามารถผลิตออกมาแข่งขันกันได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งจะส่งผลให้ราคาตกลงในอนาคต
11. ความต้องการตะกั่วบัดกรีชนิดไม่มีสารตะกั่วกำลังเป็นที่นิยมดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่ก็ต้องยอมรับว่าผู้ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดติดตั้งบนพื้นผิวหลายรายยังคงไม่สามารถเลิกใช้สารตะกั่วในเวลาอันสั้นได้ เนื่องจากข้อของอุปกรณ์หรือสายวงจบบนแผ่นวงจรพิมพ์ ก็ยังคงมีสารตะกั่วเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงความสามารถในการเชื่อมประสานกันระหว่างตะกั่วบัดกรีแบบไม่มีสารตะกั่วกับสารตะกั่วที่อยู่บนขั้วของอุปกรณ์ และแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยซึ่งถ้าไม่สามารถเชื่อมประสานกันได้ก็อาจทำให้จุดบัดกรีนั้นไม่แข็งแรงเพียงพอต่อการนำไปใช้งานหรือมีผลกับการใช้งานของผลิตภัณฑ์ในระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โลหะทดแทนโลหะตะกั่ว

โลหะบัดกรีโดยทั่วไปจะเป็นส่วนผสมระหว่างโลหะตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป เช่น ดีบุก-ตะกั่ว (Tin-Lead) เป็นต้น ถึงแม้จะมีความพยายามในการเลิกใช้สารตะกั่วโดยหาโลหะชนิดอื่นมาทดแทน แต่ก็ยังคงต้องใช้ ดีบุก (Tin) เป็นโลหะหลักในส่วนผสมของโลหะบัดกรี เนื่องจากดีบุกมีราคาถูก หาได้ง่าย มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีมีคุณสมบัติในการบัดกรีประสาน (Wetting) ที่ดี นอกจากนี้ดีบุกยังเป็นส่วนผสมหลักของ ตะกั่วบัดกรีที่หลายคนคุ้นเคยคือ 63Sn-37Pb โลหะที่มีการพิจารณานำมาทดแทนโลหะตะกั่วโดยนำมาผสมกับดีบุก ก็มี หลายชนิด เช่น เงิน (Silver: Ag) อินเดียม (Indium: In) สังกะสี (Zinc: Zn) พลวง (Antimony: Sb) ทองแดง (Copper:Cu) และบิสมัท (Bismuth: Bi) เป็นต้น สาเหตุที่โลหะดังกล่าวถูกนำมาพิจารณาก็เพราะว่า เมื่อนำโลหะ เหล่านี้มาผสมกับดีบุกแล้ว จุดหลอมเหลวจะมีแนวโน้มที่ต่ำลง และมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า และกายภาพที่ดีพอ เป็นที่ ยอมรับได้ ในตารางที่ 2-2 จะแสดงให้เห็นคุณสมบัติบางประการของโลหะเหล่านี้ เช่นราคาต่อน้ำหนักหนึ่งปอนด์ ค่า ความหนาแน่นจำนวนที่สามารถผลิตได้ต่อปี และความยากง่ายในการหามาใช้งาน

ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติบางประการของโลหะทดแทนตะกั่ว

โลหะ	ราคาโดยประมาณ ดอลลาร์	ความหนาแน่นที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	จำนวนที่สามารถ ผลิตได้ต่อปี ตันต่อปี	ความยากง่ายใน การหามาใช้
สังกะสี (Zn)	\$0.5	0.258	1560	หาง่าย
ทองแดง(Cu)	\$0.65	0.324	4900	หาง่าย
พลวง (Sb)	\$0.8	0.239	100	หาง่าย
บิสมัท (Bi)	\$3.4	0.354	9	มีจำกัด
ดีบุก (Sn)	\$3.5	0.264	180	หาง่าย
เงิน (Ag)	\$84.2	0.379	3.5	มีจำกัด
อินเดียม (In)	\$125	0.264	0.2	ขาดแคลน
ตะกั่ว (Pb)	\$0.45	0.41	126	หาง่าย

ข้อมูลในตารางที่ 2-2 จะเป็นประโยชน์ในการพิจารณาเลือกชนิดของโลหะที่จะนำมาทดแทนสาร ตะกั่วตัวอย่างเช่น ในปัจจุบันมีการใช้ตะกั่วบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลก ประมาณ 100 ล้านปอนด์ต่อปี โดยจะใช้ในสหรัฐอเมริกาประมาณ 35 ล้านปอนด์ ถ้าสัก 3% ของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อเมริกาต้องการเปลี่ยนมาใช้ ดีบุก-อินเดียม โดยใช้ส่วนผสม ดีบุก 77.2 เปอร์เซ็นต์ อินเดียม 20 เปอร์เซ็นต์ เงิน 2.8 เปอร์เซ็นต์ 77.2Sn-20In-2.8Ag ปริมาณอินเดียมที่จะถูกนำไปใช้ในแต่ละปีจะเท่ากับ 0.21 ล้านปอนด์ ซึ่งในขณะที่ทั่วโลกมีความสามารถในการผลิตอินเดียมได้เพียง 0.20 ล้านปอนด์ต่อปี จะเห็นว่าการเลือกใช้อินเดียมเป็นส่วนผสมไม่ใช่ทางเลือกที่ดี นอกจากนี้โลหะชนิดต่างๆดังกล่าวบรรดาผู้ผลิตหลายรายก็ได้มีการเสนอส่วนผสม (Alloy) แบบต่างๆ มากมายถึงกว่า 75 ชนิดในปัจจุบันแต่จะสรุปมาให้ดูเพียง 13 ชนิดดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ส่วนผสมชนิดต่างๆที่สามารถนำมาทดแทนตะกั่วบัตกรีชนิดไม่มีสารตะกั่ว

ส่วนผสม	จุดหลอมเหลว องศาเซลเซียส	ราคาต่อ น้ำหนักหนึ่ง ปอนด์	ราคาต่อ ปริมาตรหนึ่ง ลูกบาศก์นิ้ว	ความหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
63Sn-37Pb	183	\$2.37	\$0.75	0.318
42Sn-58Bi	139	\$3.44	\$1.09	0.316
77.2Sn-20In-2.8Ag	179-189	\$30.06	\$8.02	0.267
91Sn-9Zn	199	\$3.23	\$0.85	0.263
91.8Sn-3.4Ag-4.8Bi	208-215	\$6.24	\$1.70	0.272
90Sn-7.5Bi-2Ag-0.5Cu	186-212	\$5.09	\$1.39	0.273
96.2Sn-2.5Ag-0.8Cu-0.5Sb	213-219	\$5.84	\$1.46	0.267
95.5Sn-4Ag-0.5Cu	217-218	\$6.55	\$1.76	0.269
95Sn-3.5Ag-1.5In	218	\$8.15	\$2.18	0.268
93.5Sn-3.5Ag-3Bi	216-220	\$5.92	\$1.59	0.269
96.5Sn-3.5Ag	221	\$6.32	\$2.33	0.368
99.3Sn-0.7Cu	227	\$3.48	\$0.92	0.264
95Sn-5Sb	232-240	\$3.37	\$0.88	0.263

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 แนวทางในการเลือกส่วนผสมที่เหมาะสมกับขบวนการผลิต

อินเดียม (Indium) อินเดียม เป็นโลหะที่สามารถทำให้จุดหลอมเหลวของส่วนผสม (Alloy) ลดลงได้ดี เมื่อนำมาผสมกับดีบุกจะทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพ และความสามารถในการเชื่อมประสานที่ดี (Wetting) แต่อินเดียมเป็นโลหะที่มีจำนวนจำกัดและเริ่มขาดแคลนในปัจจุบันจึงทำให้มีราคาสูง ด้วยเหตุผลนี้ทำให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปไม่พิจารณาเลือกอินเดียมมาใช้งานในขบวนการผลิต

สังกะสี (Zinc) สังกะสี เป็นโลหะที่มีราคาถูก (ราคาของสังกะสีมีราคาถูกพอๆกับตะกั่ว) หามาใช้งานได้ง่าย แต่ข้อเสียก็คือสังกะสีทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เร็วเกิดเป็นสังกะสีออกไซด์ ซึ่งออกไซด์นี้จะไปลดความสามารถในการเชื่อมประสาน (Wetting) และทำให้เกิดขี้ตะกั่ว (Dross) ปริมาณมากในเครื่อง (Wave Soldering) ถึงแม้ว่าอาจใช้ก๊าซไนโตรเจนมาลดปัญหาเรื่องออกไซด์ได้ แต่สังกะสีก็ยังไม่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันยังคงมีการทดลองใช้งานต่อไปเรื่อยๆ

บิสมีท (Bismuth) บิสมีท เป็นโลหะที่สามารถทำให้จุดหลอมเหลวของส่วนผสม (Alloy) ลดลงได้ดี เหมือนอินเดียม และยังมีคุณสมบัติทางกายภาพ ความสามารถในการเชื่อมประสาน (Wetting) ที่ดีมาก แต่ข้อเสียก็คือจุดหลอมเหลวของตะกั่วบัดกรีที่มีบิสมีทเป็นส่วนผสมจะต่ำเกินไป โดยเฉพาะถ้าบิสมีทมีการปนเปื้อนกับตะกั่วที่อยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์หรือขั้วของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะเกิดเป็นส่วนผสมของ Sn-Pb-Bi ซึ่งจุดหลอมเหลวจะต่ำถึง 96 องศาเซลเซียส จึงทำให้ไม่เหมาะกับการใช้งานอาจมีผลให้จุดบัดกรีไม่แข็งแรงเกิดมีรอยแตกได้ง่าย นอกจากนี้ราคาของบิสมีทในปัจจุบันก็ยังคงสูง

ตะกั่วบัดกรีที่มีส่วนผสมของโลหะ 4-5 ชนิด บรรดาผู้ผลิตต่างๆ พยายามที่จะทำการทดลองหาส่วนผสมระหว่างโลหะหลายๆชนิด เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่ดีที่สุด แต่เป็นที่มาสังเกตว่าส่วนผสมเหล่านี้จะให้จุดหลอมเหลวที่มีค่าเป็นช่วง ซึ่งทำให้การควบคุมขบวนการผลิตทำได้ลำบาก และการผสมโลหะหลายๆ ชนิดเข้าด้วยกันให้มีอัตราส่วนที่คงที่แน่นอนในแต่ละครั้งก็ทำได้ยากกว่าการผสมโลหะเพียงแค่ 2-3 ชนิด การที่ส่วนผสมเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้คุณสมบัติโดยรวมเปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ตะกั่วบัดกรีที่มีส่วนผสมของโลหะ 4-5 ชนิดยังไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน แต่ก็มีบางบริษัทในญี่ปุ่นที่ปัจจุบันมีการใช้ตะกั่วที่มีส่วนผสมของโลหะ 5 ชนิดตามที่ได้กล่าวมาทั้งหมดเราสามารถตัดตัวเลือกบางตัวออกจากตารางที่ 2-3 เหลือส่วนผสมที่ผ่านการพิจารณาในขั้นต้นเพียง 4 ชนิด ดังคำอธิบายในตารางที่ 2-4

1. 95.5Sn/4.0Ag/0.5Cu (จุดหลอมเหลว = 217-218 องศาเซลเซียส)
2. 96.5Sn/3.5Ag (จุดหลอมเหลว = 221 องศาเซลเซียส)
3. 99.3Sn/0.7Cu (จุดหลอมเหลว = 227 องศาเซลเซียส)
4. 95Sn/5Sb (จุดหลอมเหลว = 232-240 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 2-4 ส่วนผสมหลายชนิดถูกคัดออกจากทางเลือกเหลือเพียง 4 ชนิด

ส่วนผสมที่คัดทิ้ง	ส่วนผสมที่ผ่านการพิจารณา	จุดหลอมเหลว องศาเซลเซียส	ราคา ดอลลาร์	เหตุผลที่คัดทิ้ง
63Sn-37Pb	-	183	\$2.37	มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบ
42Sn-58Bi	-	138	\$3.44	บิตัมทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ
77.2Sn-20In-2.8Ag	-	179-189	\$30	อินเดียมหายาก ราคาแพง
91Sn-9Zn	-	199	\$3.23	สังกะสีเกิดออกไซด์ได้ง่าย
90Sn-7.5Bi-2Ag-0.5Cu	-	186-212	\$5.09	บิตัมทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ
-	95Sn-4Ag-0.5Cu	217-218	\$6.55	-
95Sn-3.5Ag-1.5In	-	218	\$8.15	อินเดียมหายาก ราคาแพง
96Sn-2.5Ag-0.8Cu- 0.5Sb	-	213-218	\$5.48	มีส่วนผสมของโลหะ 4 ชนิด
-	96.5Sn-3.5Ag	221	\$6.32	-
93.5Sn-3.5Ag-3Bi	-	216-220	\$5.92	บิตัมทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ
-	99.3Sn-0.7Cu	227	\$3.48	-
-	95Sn-5Sb	232-240	\$3.8	-

จากตารางที่ 2-4 จะเห็นว่ามีส่วนผสม (Alloy) เพียง 4 ชนิดที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขบวนการผลิตที่เราใช้เช่นถ้ากรณีเป็นตะกั่วบัดกรีแบบแท่ง (Solder Bar) หรือตะกั่วบัดกรีแบบเส้น (Solder Wire) สำหรับใช้กับเครื่อง (Wave Soldering) หรือการบัดกรีด้วยมือตามลำดับจะมีหลักเกณฑ์ ในการพิจารณา ดังนี้

1. อุณหภูมิของบ่อตะกั่ว (Solder Pot) ไม่ควรเกิน 260 องศาเซลเซียส
2. ปริมาณงานที่เสียลดลง
3. ราคาต่ำ
4. มีขี้ตะกั่ว (Dross) พบได้น้อยลง

ส่วนผสมทั้ง 4 ชนิด ก็มีคุณสมบัติตามหลักเกณฑ์ข้างบนทั้งหมดแค่ 99.3Sn-0.7Cu และ 95Sn-5Sb จะมีราคาต่ำกว่าตัวเลือกที่เหลือถ้าพิจารณาจะเห็นได้ว่า 99.3Sn-0.7Cu จะมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่า 95Sn-5Sb ดังนั้น 99.3Sn-0.7Cu จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับ Wave Soldering

การพิจารณาเลือกโลหะบัดกรีสำหรับการบัดกรีด้วยมือก็มีหลักเกณฑ์คล้ายๆ กับ Wave Soldering คือในเรื่องราคา และจุดหลอมเหลวที่ไม่สูงเกินไปทำให้ไม่ต้องปรับอุณหภูมิของหัวแร่ให้สูงตามไปด้วย จึงกล่าวได้ว่า 99.3Sn-0.7Cu ก็เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับตะกั่วเส้นที่บัดกรีด้วยมือเช่นกัน

ในกรณีของตะกั่วเหลว Solder Paste ที่ใช้กับเครื่อง Reflow Soldering นั้นเรื่องของราคาไม่ใช่หลักเกณฑ์สำคัญ ในการพิจารณาเนื่องจากราคาของตะกั่วเหลวจะเป็นอัตราส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับต้นทุนการผลิตรวม ดังนั้นการพิจารณาจะเน้นในเรื่องจุดหลอมเหลวที่สำคัญ ซึ่งในที่นี้ก็จะใช้ 95.5Sn-4.0Ag-0.5Cu จุดหลอมเหลว 217-218 องศาเซลเซียส และ 96.5Sn-3.5Ag จุดหลอมเหลว 221 องศาเซลเซียส เป็นทางเลือก

เป็นเรื่องยากที่จะสรุปว่าส่วนผสมใดมีความเหมาะสมมากกว่าถึงแม้ 95.5Sn-4.0Ag-0.5Cu จะมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่า แต่ 96.5Sn-3.5Ag ก็มีความได้เปรียบในด้านที่เป็นส่วนผสมของโลหะเพียงแค่ 2 ชนิดซึ่งสามารถควบคุมความแน่นอนของส่วนผสมได้ดีกว่า บริษัทอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ชั้นนำต่างก็มีการศึกษาส่วนผสมทั้ง 2 ชนิดพอๆ กัน ส่วนผสม 96.5Sn-3.5Ag ได้มีการนำมาใช้งานจริงแล้วในขณะที่ส่วนผสม 95.5Sn/4.0Ag/0.5Cu ยังอยู่ในระหว่างการทดสอบจากหลายบริษัทในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาก็เป็นที่ยอมรับเมื่อเทียบกับตะกั่วบัดกรีชนิด 63Sn-37Pb ทั้งในด้านคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า ความแข็งแรง ความสวยงามของจุดบัดกรี และความสะดวกในการใช้งาน ตารางที่ 2-5 จะแสดงผลเปรียบเทียบของคุณสมบัติบางประการระหว่าง ส่วนผสม 63Sn-37Pb กับ 96.5Sn-3.5Ag ซึ่งค่าคุณสมบัติต่างๆ ของ Sn-Ag และ Sn-Pb ที่นำมาเปรียบเทียบกันในตารางที่ 2-5 ถือว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 2-5 เปรียบเทียบคุณสมบัติบางประการระหว่าง Sn-Ag กับ Sn-Pb

ส่วนผสม	63Sn-37Pb	96.5Sn-3.5Ag
จุดหลอมเหลว องศาเซลเซียส	183	221
ความหนาแน่น (Kg/m ³)	8400	7290
สัมประสิทธิ์การขยายตัว (ppm)	21.4	22
สภาพการนำไฟฟ้า	11.5	14
สภาพต้านทานไฟฟ้า	14.99	12.31
ความตึงผิว (N/m)	0.49	0.48
สภาพการนำความร้อน องศาเซลเซียส	32.6	23.9

2.5 ข้อควรพิจารณาบางประการในขบวนการผลิต

ถึงตรงนี้หลายท่านคงจะพอทราบถึงแนวทางในการเลือกใช้งานตะกั่วชนิดไม่มีสารตะกั่ว Lead-free Solder กันพอสมควรแต่ในการใช้งานจริงยังต้องมีการพิจารณาปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสิ่งต่างๆ ในขบวนการผลิตอีกหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการ เช่นการปรับตั้งเครื่องจักรต่างๆ ให้เหมาะสมกับชนิดของตะกั่วที่เลือกใช้ โดยทั่วไปตะกั่วชนิดไม่มีสารตะกั่ว จะมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าตะกั่ว แบบคีนุก-ตะกั่ว ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่บนแผงวงจรได้ ดังนั้นจึงควรเพิ่มความระมัดระวังในเรื่องนี้เป็นพิเศษ

1. การพัฒนาและฝึกอบรมพนักงานถึงวิธีการบัดกรีด้วยมือและวิธีการซ่อมของเสีย Rework ก็เป็นสิ่งสำคัญ การบัดกรีตะกั่วชนิดไม่มีสารตะกั่วด้วยมือ โดยทั่วไปจะต้องใช้อุณหภูมิของหัวแร้งที่สูงขึ้น ระยะเวลาของการจี้หัวแร้งนานขึ้น เพื่อให้ตะกั่วมีเวลานานพอที่จะไหลไปเชื่อมกับขั้วของอุปกรณ์ ดังนั้นควรจัดให้มีการฝึกอบรมให้แก่พนักงานที่เกี่ยวข้องถึงวิธีการบัดกรีที่ถูกต้อง บางโรงงานอาจมีการใช้ตะกั่วบัดกรีหลายชนิดทั้งแบบมีและไม่มีสารตะกั่วเป็นส่วนประกอบ ก็จำเป็นที่จะต้องมีการปรับระบบแรงดันให้พนักงานที่ทำการซ่อมของเสียได้ทราบชนิดของตะกั่วบัดกรีที่จะนำไปใช้ให้ถูกประเภท Tracking System
2. มาตรฐานและเงื่อนไขในการตรวจสอบคุณภาพ ก็ควรจะมีการทบทวนกันใหม่ ต้องมีการพัฒนาความรู้ความเข้าใจในมาตรฐานคุณภาพใหม่ให้แก่พนักงานทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องรวมทั้ง ผู้บริหาร และลูกค้า
3. การเปลี่ยนมาใช้ตะกั่วบัดกรีชนิดไม่มีสารตะกั่ว ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนและทบทวนสิ่งต่างๆทั้งในส่วนของคุณสมบัติ ขบวนการผลิตและระบบควบคุมคุณภาพอย่างรอบคอบโดยวิศวกรผู้รับผิดชอบ เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความราบรื่นมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และควรที่จะเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ซับซ้อนและมีวงจรชีวิตสั้นเป็นอันดับแรก
4. ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นเพียงการแนะนำตะกั่วชนิดไม่มีสารตะกั่ว Lead - Free Solder และแนวทางในการเลือกใช้ งาน แต่ในทางปฏิบัติจริงคงต้องมีการกล่าวถึงรายละเอียดในการปรับปรุงขบวนการผลิต และการควบคุมคุณภาพด้วย ฐานความรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับตะกั่วบัดกรีชนิด 63Sn/37Pb ที่มีมาเป็นเวลานานหลายปีก็อาจจะต้องถูกยกเลิกไปในอนาคต ซึ่งอาจจะนำเสนอในโอกาสต่อไป

2.6 ภูมิหลังของการนำโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วมาใช้ทดแทนโลหะบัดกรีที่มีสารตะกั่ว

แรงผลักดันจากทั่วโลกในความต้องการแทนที่การใช้งานการใช้สารตะกั่วและโลหะผสมของตะกั่ว ซึ่งมีพิษ ในการใช้งานภาคอุตสาหกรรมได้นำมาสู่การพัฒนาโลหะบัดกรีผสมซึ่งไม่มีสารตะกั่วนอกจากความเป็นพิษของตะกั่วแล้ว ยังมีปัญหาอื่นๆ ซึ่งเกิดจากการใช้งาน คีนุก (Sn) และ ตะกั่ว (Pb) ซึ่งมีราคาถูกอย่างแพร่หลาย โลหะบัดกรีซึ่งมีตะกั่วเป็นสารประกอบ ในปัจจุบันขาดความสามารถในการรับแรงเค้นและความต้านทานต่อการคืบ Creep และความล้า Fatigue ที่เกิดจากจากอุณหภูมิและการรับแรงทางกล ดังนั้นลวดบัดกรีที่ได้รับการพัฒนาคุณสมบัติดังกล่าวจะมีความสำคัญเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมรถยนต์และอุตสาหกรรมหนักอื่นๆ ซึ่งรอยเชื่อมมักจะต้องผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลายต่อหลายครั้ง อีกทั้งยังต้องได้รับแรงสั่นสะเทือนอย่างหนัก และยังคงทนความร้อนสูงถึง 150 ถึง 170 องศาเซลเซียส ซึ่งผลลัพธ์จากการที่รอยบัดกรีเกิดการเสียหายในอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งถูกคาดหวังว่าควรจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานอาจหมายถึงความล้มเหลวในอุตสาหกรรมนั้น ๆ

ความสามารถที่เชื่อมโยงในการบัดกรีของโลหะบัดกรีชนิด Sn-37Pb ถูกเชื่อว่าเป็นผลมาจากการเกิดขึ้นของชั้นบางๆ ของสารประกอบที่มีความมั่นคงมากที่บริเวณผิวสัมผัสของโลหะบัดกรีกับโลหะพื้นๆที่นำมาบัดกรีนั่น เป็นที่น่าสนใจว่าสารประกอบที่บริเวณผิวสัมผัสที่ช่วยในการบัดกรีนั่นเป็นสารประกอบที่ประกอบที่ประกอบไปด้วย คีนุก เป็นหลัก (ไม่ใช่ตะกั่ว) สารประกอบดังกล่าวเช่น Cu_3Sn_5 จะเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสของโลหะบัดกรีหลอมเหลวกับตัวโลหะทองแดงที่นำมาบัดกรี บทบาทของตะกั่วน่าจะมีความสามารถในการหยุดยั้งความตึงผิวของลวดบัดกรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอมเหลว ทำให้มุมสัมผัสของโลหะบัดกรีหลอมเหลวกับโลหะพื้นที้นำมาบัดกรีมีค่าน้อยลง ส่งผลให้มีการกระจายตัวที่ดีและทำให้มีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการยึดเกาะมากขึ้น นอกจากนั้นปฏิกิริยาขณะแข็งตัวของ Sn-37Pb ก็จะช่วยสร้างส่วนผสมที่มีความละเอียดของดีบุกและตะกั่วขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดความแข็งแรง ที่ไม่น่าเชื่อว่าจะเกิดขึ้นได้จาก ส่วนประกอบที่ค่อนข้างมีความอ่อนแอของดีบุก กับ ตะกั่ว อีกทั้งยังทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูปให้เป็นลวดหรือฟอยล์ได้อีกด้วย ดังนั้นกลวิธีในการออกแบบโลหะผสมอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อจะพัฒนาโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วควรจะเริ่มจากการใช้ ดีบุก เป็นโลหะผสมพื้นฐานเพื่อสร้างความสามารถในการบัดกรี แล้วจึงเพิ่มส่วนประกอบที่สองหรือสาม เพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดีและช่วยลดอุณหภูมิของการหลอมเหลวของดีบุก จากนั้นจึงหาส่วนประกอบที่เหมาะสมที่จะให้โครงสร้างจุลภาคที่มีความละเอียดสูงที่ใช้ในการรับแรงและความยืดหยุ่นในเวลาเดียวกัน

หลักเกณฑ์ในการออกแบบโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วซึ่งต้องการนำไปใช้งานหนักคือ การเพิ่มความสามารถของ Sn-37Pb ในการต้านทานการเกิดความหยาบกระด้างในโครงสร้างจุลภาคได้ซึ่งจะส่งผลให้รอยเชื่อมสามารถคงความแข็งแรงและต้านทานความล้าแม้ในอุณหภูมิสูง หรือในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลับไปกลับมาได้ โครงสร้างของรอยเชื่อมของโลหะบัดกรีแบบ Sn-37Pb อาจเริ่มจากสารผสมที่มีความละเอียดและมีจุดหลอมเหลวต่ำของดีบุก กับ ตะกั่วแต่หลังจากนั้นอาจสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจนมีความหยาบขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งส่งผลให้ขาดความสามารถในการต้านทานแรงเฉือน การคืบ และความล้าเนื่องจากอุณหภูมิและแรงกลโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วควรจะใช้เทคนิคการออกแบบโครงสร้างจุลภาคซึ่งจะยับยั้งการเกิดการกระจายตัวเช่น การสนับสนุนการเกิดสารประกอบโลหะในเฟสที่สองเพื่อให้อายุการใช้งานของสารที่มีการกระจายตัวอย่างละเอียดในเฟสแรก เช่น บิสมัท โครงสร้างจุลภาคอีกส่วนหนึ่งที่ควรจะได้รับพิจารณาเช่นกันคือการยับยั้งการเกิดชั้นสารประกอบ โลหะของ ตะกั่วและดีบุก ซึ่งอันที่จริงแล้วมีประโยชน์กับการบัดกรีในตอนแรก อย่างไรก็ตามหากเกิดชั้นของสารประกอบโลหะนี้มากเกินไปรอยต่อระหว่าง โลหะบัดกรี กับทองแดงจะเป็นบริเวณที่มีความอ่อนแอและจะสามารถเกิดรอยแตกจากความล้าได้ ความต้องการที่แท้จริงในขณะนี้คือการพัฒนาโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วซึ่งมีกระบวนการผลิตและราคาใกล้เคียงกับโลหะบัดกรีที่มีส่วนประกอบของดีบุก และตะกั่ว แต่ต้องได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและความมั่นคงของโครงสร้างจุลภาค

สิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่ต้องได้รับการพิจารณาคือ ขณะนี้วงการอุตสาหกรรมได้มีการลงทุนอย่างกว้างในอุปกรณ์การบัดกรีและกระบวนการผลิตที่มีความเกี่ยวข้องกับโลหะบัดกรีแบบเก่าอยู่ ดังนั้นการพัฒนาโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วแบบใหม่จึงต้องให้มีความใกล้เคียงกับโลหะบัดกรีแบบเดิมให้มากที่สุด ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความต้องการวัสดุที่จะนำมาแทนที่ โลหะบัดกรีแบบ Sn-37Pb ซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ 183 องศาเซลเซียส และมักจะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในรอยเชื่อมที่สามารถนำไฟฟ้าได้ จุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วแบบใหม่นี้ควรจะมีค่าต่ำกว่า 280 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดของเตาหลอมโลหะบัดกรีตามท้องตลาด และเป็นบัดกรีที่ใช้กับโลหะบัดกรีที่มีส่วนประกอบของ ดีบุก และ ตะกั่ว ซึ่งสาเหตุที่ต้องมีค่าสูงสุดที่ 280 องศาเซลเซียสนี้เพื่อเป็นการเผื่อการเกิดความร้อนที่สูงเกินปกติขณะบัดกรีซึ่งโดยทั่วไปความร้อนอาจมีค่าสูงกว่าปกติประมาณ 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส

สาเหตุหนึ่งของความนิยมใช้โลหะบัดกรีแบบ Sn-37Pb คือคุณสมบัติในการหลอมเหลวที่ยืดหยุ่น ในขณะที่กำลังเชื่อมรอยเชื่อมของโลหะทั่วไปเช่น ทองแดง เหล็ก ทองเหลืองและ สแตนเลส ของแข็งที่หลอมเหลวง่ายอย่าง Sn-37Pb จะสามารถเกิดการหลอมเหลวและไหลได้ทันทีที่เริ่มเกิดการหลอมเหลวเนื่องจากมัน ไม่มีช่วงของการหลอมเหลวที่สารจะมีลักษณะขึ้นก่อนการบัดกรีอย่างมีประสิทธิภาพด้วย Sn-37Pb โดยปกติแล้วมักจะต้องการอัตราการไหลของพลังงานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในการที่จะกำจัดออกไซด์ที่ผิวโลหะและเริ่มต้นสร้างรอยต่อในสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรยากาศตามธรรมชาติ ดังนั้นลวดบัดกรีไร้สารตะกั่วแบบใหม่จะต้องใช้อัตราการไหลของพลังงานน้อยมาก ๆ เช่นเดียวกันอีกทั้งมันไม่ควรจะไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันในอากาศอีกด้วย

ความต้องการโลหะบัดกรีในอุตสาหกรรมเครื่องเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน อุตสาหกรรมหม้อน้ำรถยนต์ และ ระบบควบคุมอุณหภูมิและการใช้งานอุตสาหกรรมหนักอื่นๆ เช่น ข้อต่อท่อ น้ำหรือลม ฯลฯ อาจเป็นแหล่งที่มีการใช้งานสารตะกั่วมากกว่าอุตสาหกรรมที่เคยผ่านมาแล้วก็ได้ สาเหตุที่อุตสาหกรรมเหล่านี้มีการใช้งานสารตะกั่วมากก็เนื่องมาจากมีการใช้งานโลหะบัดกรีแบบ Pb-5Sn ซึ่งจะหลอมอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิระหว่าง 305-316 องศาเซลเซียสโลหะบัดกรีแบบ Pb-5Sn นี้มักจะถูกใช้ในขั้นตอนต้นของการจุ่มเคลือบแกนทองแดงของเครื่องทำความร้อนและตะขี่ยังน้ำที่ทำจากทองเหลืองและเหล็กโดยที่ Sn-37Pb จะถูกใช้สำหรับการเชื่อมรอยตะขี่ยกรอบสองและขั้นตอนสุดท้ายเท่านั้น คุณสมบัติของรอยเชื่อมที่สำคัญสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้คือความทนทานความคงทนต่อสารเคมี และการนำความร้อน ข้อเสียของ Pb-5Sn คือไม่คอยคงทนต่อการกัดกร่อนและความดำโดยเฉพาะภายใต้แรงดันที่เปลี่ยนไปมาที่อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่โลหะบัดกรีไร้ตะกั่วแบบใหม่ต้องสามารถทดแทนได้ อย่างไรก็ตามราคาของก้อนและโลหะบัดกรีเป็นหัวข้อสำคัญในการพิจารณา สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนมากกว่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ แล้ววัสดุที่มาแทนที่ Pb-5Sn ซึ่งมีราคาถูกมากได้นั้นจะต้องสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากๆ เพื่อให้สามารถแข่งกับ Pb-5Sn ได้เมื่อคำนึงถึงต้นทุนการผลิตรวม

โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่มีจุดหลอมเหลวต่ำและประกอบด้วย โลหะผสม 3 ชนิด คือ Sn-4.7Ag-1.7Cu โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วนี้มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 217 องศาเซลเซียสโครงสร้างจุลภาคที่ละเอียดและมีจุดหลอมเหลวต่ำของ Cu_6Sn_5 และ Ag_3Sn ซึ่งประกอบไปด้วย Matrix ของดีบุก โครงสร้างจุลภาคในลักษณะนี้มีความแข็งแรงมากกว่าโครงสร้างของโลหะบัดกรีแบบ Sn-Pb แม้ว่าโลหะผสมจาก Sn-Ag-Cu ตัวนี้ยังไม่เคยได้รับการรายงานในการทดลองหรือการคำนวณครั้งใด ๆ ก่อนหน้านี้แต่ผลจากการทดลองขั้นต้นก็แสดงให้เห็นว่ามันเหมาะที่จะถูกนำมาผลิตเป็นโลหะบัดกรี ข้อเสียเพียงอย่างเดียวของลวดบัดกรีที่ประกอบไปด้วย Sn-Ag-Cu ก็คือ วิศวกรรมการสร้างชิ้นสารประกอบโลหะบริเวณที่โลหะบัดกรีสัมผัสกับทองแดง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูง ซึ่งข้อเสียอันนี้เป็นสิ่งที่พบได้ในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่มีดีบุกประมาณสูงถึงตัวโลหะตะกั่ว (Pb) และสารประกอบเป็นที่รู้จักกันดีถึงความ

เป็นพิษ อย่างไรก็ตามสารตะกั่วก็ยังเป็นส่วนประกอบในโลหะบัดกรีซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ยกตัวอย่างเช่น โลหะบัดกรีที่มีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ ดีบุก และตะกั่ว Sn-Pb (ตัวอย่างดีบุก 63% ตะกั่ว 37% โดยน้ำหนักมีจุดหลอมเหลวประมาณ 183 องศาเซลเซียส) และโลหะบัดกรีแบบ Pb-5Sn มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอิเล็กทรอนิกส์และงานต่อวงจรอย่างไรก็ตาม ในสหรัฐอเมริกาได้มีการนำเสนอต่อรัฐสภาให้มีการยกเลิกการใช้งานหรืออาจมีการเก็บภาษีอย่างหนักในการใช้งานตะกั่วในทุกผลิตภัณฑ์

เพื่อตอบสนองต่อข้อนโยบายของรัฐที่จะยกเลิกการใช้งานสารตะกั่วหรืออาจมีการเก็บภาษีอย่างหนัก ในการใช้ตะกั่วผ่านทางผู้ผลิตและผู้ใช้งานโลหะบัดกรีที่มีส่วนประกอบของสารตะกั่ว ได้เริ่มพยายามพัฒนาโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วขึ้น เพื่อนำมาแทนโลหะบัดกรีแบบ (Sn-Pb) ในกระบวนการบัดกรีแบบไหลย้อนกลับที่คาดปกติแล้วมักจะต้องการให้ความร้อนแก่แผงวงจรเป็นอุณหภูมิสูงถึง 230-250 องศาเซลเซียส

การพัฒนาโลหะบัดกรีที่ประกอบด้วยโลหะผสม 2 ส่วนของ Sn-Ag (ดีบุก-เงิน) Sn-Sb (ดีบุก-พลวง) และ Sn-Bi (ดีบุก-บิสมัท) เพื่อให้โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วยกตัวอย่างเช่น โลหะบัดกรีที่มีส่วนประกอบของดีบุก 96.5% และเงิน 3.5% โดยน้ำหนัก โลหะบัดกรีที่มีส่วนประกอบของดีบุก 95% และ พลวง 5% โดยน้ำหนักและโลหะบัดกรีที่มีส่วนประกอบของดีบุก 43% และ บิสมัท 57% โดยน้ำหนัก โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วมีจุดหลอมเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และทำซ้ำอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ที่ 221 245 และ 139 องศาเซลเซียส ตามลำดับซึ่งมีจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีแบบ Sn-Ag นั้นสูงเกินไปเล็กน้อยในขณะที่จุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีแบบ Sn-Sb นั้นก็สูงเกินไปเช่นกันสำหรับโลหะบัดกรีแบบ Sn-Bi แม้จะมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างต่ำแต่โครงสร้างจุลภาคของมันก็เปลี่ยนโครงสร้างเป็นโครงสร้างแบบหยบอย่างรวดเร็วซึ่งทำให้บัดกรีได้ไม่มีและยังมีความต้านทานต่อการคืบตัวอีกด้วย

นอกจากนี้ยังมีโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่ประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วนชนิดอื่นๆ ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาซึ่งก็คือโลหะบัดกรีแบบ Sn-In (คูปุก-อินเดียม) และโลหะบัดกรีแบบ Sn-Au (คูปุก-ทองคำ) อย่างไรก็ตามโลหะบัดกรีทั้งสองชนิดก็มีข้อเสีย คือ มันมีความเปราะค่อนข้างสูงอีกทั้งส่วนประกอบของมันซึ่งก็คือ อินเดียมและทองคำ (เช่น โลหะผสมที่มีอินเดียม 50.9 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักหรือทองคำ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) นั้นมีราคาสูงมากและยังไม่สามารถหาซื้อได้ในลักษณะของโลหะผสมที่ผ่านการใช้งานมาแล้วได้อีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้นโลหะบัดกรีแบบ Sn-Cu ยังมีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวสูงถึง 280 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงเกินไปสำหรับกระบวนการบัดกรีแบบไหลย้อนกลับตามธรรมชาติ ซึ่งโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่ได้กล่าวถึงไปแล้วนั้นได้ถูกนำไปใช้แทนที่โลหะบัดกรีแบบ Sn-Pb ในกระบวนการบัดกรีแบบไหลย้อนกลับบางกระบวนการโดยได้มีการให้อุณหภูมิที่ไม่ใช่อุณหภูมิมาตรฐานแก่ตัวแผงวงจร

โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ Sn-Ag-Cu ได้รับการพัฒนาโดยอุตสาหกรรมท่อน้ำเช่นลวดบัดกรีที่มีส่วนประกอบของคูปุก 96 เปอร์เซ็นต์ ทองแดง 3.5 เปอร์เซ็นต์ และเงิน 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นต้น โลหะบัดกรีที่ใช้งานท่อน้ำอันนี้มีอุณหภูมิที่โลหะบัดกรีเหลวจะเริ่มแข็งตัวอยู่ที่ 227 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิที่โลหะบัดกรีจะเริ่มหลอมเหลวอยู่ที่ 260 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าสูงเกินไปสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ยิ่งไปกว่านั้นโลหะบัดกรีชนิดนี้มีช่วงอุณหภูมิที่มันจะมีความชื้น (กิ่งแข็งกิ่งเหลว) อยู่ 33 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่ามากเกินไปสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์และในขณะที่เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้รับการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ ไมโครโปรเซสเซอร์ก็ยิ่งมีความซับซ้อนและจะยิ่งสร้างความร้อนและเพิ่มความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิให้กับรอยบัดกรีในแผงวงจร ยิ่งไปกว่านั้นสภาพโดยรอบรอยบัดกรีในแผงวงจรก็จะยิ่งมีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ยกตัวอย่างเช่นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถูกต้องการให้ไปติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เครื่องยนต์ในรถยนต์ให้มากขึ้น เพื่อการตอบสนองที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพื่อที่จะผลิตรถยนต์ที่ประหยัดน้ำมันมากขึ้นฝากระโปรงห้องเครื่องถูกทำให้ต่ำลงและปล่อยรับอากาศก็ถูกทำให้เล็กลงเพื่อทำให้ตัวถังรถมีความเพรียวลมมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ในเครื่องต้องเผชิญกับสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้เกิดความเครียดจากอุณหภูมิมากขึ้น และสำหรับการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ทางการบิน อุปกรณ์เหล่านั้นก็ต้องเผชิญกับสภาพอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง ซึ่งทำให้เกิดความเครียดจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปกลับมาระหว่างรอยบัดกรีของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางการบินเหล่านั้น ผลจากการที่มีความต้องการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในสภาวะที่มีความรุนแรงมากขึ้นนั้น ทำให้เกิดความต้องการโลหะบัดกรีที่ไม่เพียงแต่ต้องปลอดภัยและสามารถใช้งานได้ กับกระบวนการบัดกรีแบบไหลย้อนกลับที่กล่าวถึงได้แล้ว แต่มันยังจะต้องมีความแข็งแรงมากกว่าและความต้านทานต่อการล้าได้มากกว่าโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว ยิ่งไปกว่านั้นโลหะบัดกรีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ยังต้องสามารถแข่งขันด้านราคาและต้องมีปริมาณมากเพียงพอต่อความต้องการใช้งานอีกด้วย

การประหยัดพลังงานเป็นวิธีหนึ่งที่เราทุกคนทำได้และช่วยในการใช้พลังงานลดลง เป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมที่เห็นได้ชัด แต่นอกจากการจะใช้ให้ลดลงแล้วการเปลี่ยนสิ่งที่ใช้ใหม่ให้เป็นวัสดุหรือสารที่ทำลายสิ่งแวดล้อมน้อยลงก็เป็นอีกหนทางที่เราต่างกำลังวิจัยเพื่อค้นหาในการนำมาใช้ น้ำมันไร้สารตะกั่วคือตัวอย่างที่เห็นได้ชัดอย่างหนึ่งรวมถึงการคิดค้นรถยนต์เพื่อสิ่งแวดล้อม ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอีกสาขาหนึ่งที่มีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อการรักษาสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น ไม่ต่างจากอุตสาหกรรมอื่น ๆ แต่กระบวนการผลิต อุปกรณ์หรือเครื่องมือเครื่องใช้ทางด้านนี้มักมีการนำสารเคมีหรือวัสดุที่ทำลายสิ่งแวดล้อมเริ่มลดลงไปอย่างมาก และในปัจจุบันตะกั่วบัตกรีกำลังจะถูกรณรงค์ให้เลิกใช้งาน โดยการนำสารตะกั่ว (Lead) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งออกไป และแทนที่ด้วยสารประกอบเงิน (Silver) และทองแดง (Copper) แทน ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์สำคัญคือการลดทำลายสิ่งแวดล้อมในการหลีกเลี่ยงการปล่อยโลหะหนัก Heavy Metals คู่สิ่งแวดล้อม กล่าวคือการหลีกเลี่ยงการใช้สารประเภทปรอท (Mercury) แคดเมียม (Cadmium) และสารตะกั่ว (Lead)

2.7 ตัวเชื่อมบัดกรีไร้สารตะกั่ว

ในปัจจุบันสารประกอบของตัวเชื่อมที่ใช้งานทั่วไปในการบัดกรี อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยดีบุก (Sn) จำนวน 60 เปอร์เซ็นต์และตะกั่ว (Pb) จำนวน 40 เปอร์เซ็นต์ บางครั้งอาจมีสารประกอบทองแดงและเงินผสมอยู่บ้างเล็กน้อย ด้วยโลหะผสมของดีบุกและตะกั่ว Eutectic tin-Lead Alloy ในส่วนผสมดีบุก 62 เปอร์เซ็นต์และตะกั่ว 38 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้จุดหลอมเหลว Melting Point อยู่ที่ค่าค้อยข้างค่าประมาณ 183 องศาเซลเซียส สารประกอบที่เป็น Eutectic หมายถึงสารที่มีจุดหลอมเหลวและจุดแข็งตัวเป็นจุดเดียวกัน นั่นคือตัวเชื่อมจะเปลี่ยนโดยตรงจากของเหลวเป็นของแข็ง สารประกอบที่ไม่เป็น Eutectic จะมีช่วงระหว่างอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวและจุดแข็งตัว ในช่วงนี้ตัวเชื่อมจะมีลักษณะเหมือนแป้งเปียก Pasty หรือมีความหนืด Viscous Consistency ความเป็นไปได้ในการทดแทนสารตะกั่วในตัวเชื่อมดีบุกคือการใช้สารประเภททองแดง Cu เงิน Ag บิสมัท (Bismuth: Bi) แร่พลวง (Antimony: Sb) อินเดียม (Indium: In) และสังกะสี (Zinc: Zn) แม้ว่าสารประกอบที่เป็นดีบุกและบิสมัท (Eutectic Tin-Bismuth Alloy) จะใช้ดีบุกในสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ที่น้อยที่สุดในบรรดาตัวเชื่อมไร้สารตะกั่วทั้งหมด แต่มันก็มีข้อเสียตรงที่มันมีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวต่ำเกินไปคือประมาณ 138 องศาเซลเซียสเท่านั้น สำหรับการเชื่อมไร้สารตะกั่วอื่นๆ มักจะจำเป็นต้องใช้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของดีบุกสูง มากกว่าคือมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ นั่นหมายความว่าไม่เพียงแต่ตัวเชื่อมเหล่านี้จะมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าเท่านั้นแต่มันก็มีราคาสูงกว่าด้วย ทำให้ตัวเชื่อมแบบไร้สารตะกั่วมีราคาสูงกว่าประมาณ 2 เท่าของตัวเชื่อมแบบตะกั่วกับดีบุกทั่วไป

ตัวเชื่อมแบบไร้สารตะกั่วทั่วไปมักจะเป็นตัวเชื่อมที่มีสารประกอบเป็นดีบุกผสมกับ ทองแดง เงิน หรือทองแดงรวมกับเงิน ในกลุ่มที่เป็นตัวเชื่อมที่มีส่วนประกอบเป็นดีบุก เงิน และทองแดงจะมีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวต่ำสุด เช่นในตัวเชื่อมที่มีส่วนประกอบของดีบุก เงิน และทองแดงจะมีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวต่ำสุด เช่นในตัวเชื่อมที่มี 95.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นดีบุก 3.8 เปอร์เซ็นต์เป็นเงิน และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ เป็นทองแดงจะมีจุดหลอมเหลวที่ 217 องศาเซลเซียส หรือคงสูงกว่า 34 องศาเซลเซียส จากจุดหลอมเหลวของตัวเชื่อมตะกั่ว / ดีบุกแบบเดิม อย่างไรก็ตามตัวเชื่อมแบบไร้สารตะกั่ว ที่มีสัดส่วน Sn=95.5 Ag=3.8 Cu=0.7 นี้กำลังจะกลายเป็นมาตรฐานสำหรับตัวเชื่อมไร้สารตะกั่วที่มีการนำมาใช้งานกันแล้วตัวเชื่อมที่มีส่วนประกอบของดีบุก/เงิน/ทองแดงนี้ก็คงมีให้เลือกใช้ในอัตราส่วนอื่นๆ ด้วยความเหมาะสม โดยการเพิ่มหรือลดเปอร์เซ็นต์ ของเงินที่ผสมในช่วงจาก 5 เปอร์เซ็นต์ ลงไปจนถึง 2 เปอร์เซ็นต์ (ในกรณีหลังจากนี้จะมีทองแดง 0.8 เปอร์เซ็นต์ และบิสมัท 0.5 เปอร์เซ็นต์อยู่ด้วย) อุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวของตัวเชื่อมจะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงจาก 221-240 องศาเซลเซียสตามสัดส่วน ในกรณีที่เป็นตัวเชื่อมที่มีส่วนผสมของดีบุกและเงินเท่านั้น ดีบุกจะต้องใช้ในสัดส่วนที่สูงมากคือ 99.3 เปอร์เซ็นต์ และมีจุดหลอมเหลวที่ 227 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวของดีบุกบริสุทธิ์ Pure Tin ที่ 232 องศาเซลเซียส

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.8 การบัดกรีโดยใช้ตัวโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว

ปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนมาใช้ตัวบัดกรีไร้สารตะกั่วที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด ก็คือการเชื่อมที่ใช้มือ Hand Soldering โดยการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้จะเป็นตัวบัดกรีที่มีสารประกอบเป็น Sn-Ag และ Sn หรือ Cu ซึ่งเหมาะสำหรับการบัดกรีทั่วไปและการซ่อมแซมจุดเชื่อม นอกจากนี้การที่ต้องใช้อุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวสูงกว่า (217 องศาเซลเซียส) ใช้งานกันทั่วไปแล้ว จุดเชื่อมของตัวเชื่อมเหล่านี้จะมีลักษณะไม่มันวาวเหมือนกับการบัดกรีชนิดเดิม (ตะกั่วและดีบุก) หลังจากที่มีมันเย็นลงแล้วจะมีลักษณะเป็นสีเทาขาว

การนำตัวเชื่อมแบบไร้สารตะกั่วมาใช้ในการผลิตอุตสาหกรรมทำให้เกิดปัญหาขึ้นมากกว่าในการใช้งานทั่วไป โดยเฉพาะการนำตัวเชื่อมไร้สารตะกั่วที่ส่วนผสมของดีบุก/ทองแดงหรือดีบุก/เงิน สำหรับการบัดกรีแบบเวฟ ซึ่งต้องระมัดระวังในเรื่องการเจือปนของสารตะกั่วในอ่างเชื่อม Solder Bath อย่างมากทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาด้านความทนทานของจุดบัดกรีขึ้น สำหรับอุณหภูมิที่ใช้บนอ่างเชื่อมจะอยู่ประมาณ 260 องศาเซลเซียส สูงกว่าเพียง 10 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับการเชื่อมด้วยดีบุกเชื่อมดีบุกกับตะกั่วแบบเดิม

ในกรณีของการเชื่อมแบบรีโฟลว์สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ประเภท SMD บนบอร์ดการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าเป็นปัญหาสำคัญมากขึ้น เนื่องจากแผ่นวงจรต้องอยู่บนพื้นที่ร้อนจัดเป็นเวลานานขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ก็ทำไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นมากนัก เนื่องจากในกรณีนี้ราคาของตัวเชื่อมเป็นสัดส่วนน้อยนิด เมื่อเทียบกับราคาวัสดุอื่นๆ ที่ต้องใช้ในกระบวนการเชื่อมทั้งหมด การอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวที่ต่ำลง และมีคุณสมบัติเฉพาะด้านการเปียก Wetting Characteristics ที่ดีขึ้นสามารถทำได้โดยเลือกใช้ตัวเชื่อมชนิด Sn - Ag และ Cu ซึ่งเหมาะกับการนำมาใช้ในการเชื่อมแบบรีโฟลว์ เมื่อเทียบกับตัวเชื่อมแบบอื่นๆ สรุปแล้วการเปลี่ยนมาใช้ตัวเชื่อมแบบไร้สารตะกั่วนับเป็นวิธีการที่คุ้มค่าและเวลาอย่างไม่ต้องสงสัย และมันเป็นไปได้ในพื้นฐานการใช้งานเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยสำหรับการเชื่อมแบบใช้มือมีอยู่เพียงสิ่งเดียวคือราคาที่แพงกว่าของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ในขณะที่ในอุตสาหกรรมในการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ การเปลี่ยนมาใช้ตัวเชื่อมบัดกรีแบบไร้สารตะกั่วไม่เพียงแต่ต้องวัสดุที่แพงมากขึ้นแต่ต้องทำการปรับปรุงกระบวนการเชื่อมเมื่อนำมาใช้ซึ่งเกี่ยวข้องกับเรื่องหลักๆ ในด้านอุณหภูมิและปัญหาด้านการเจือปนสิ่งเหล่านี้ล้วนต้องสูญเสียเวลาอันมีค่าและค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นทั้งนั้น

2.9 ทฤษฎีในการบัดกรี (Soldering)

การเชื่อมต่อโดยการบัดกรีรอยเชื่อม จะต้องมีรอยจุดต่อที่มั่นคงทนทานต่อการสั่นสะเทือนสามารถรับน้ำหนักได้พอสมควร และไม่ก่อให้เกิดปัญหาทางค่านไฟฟ้าระหว่างผิวสัมผัสตรงจุดบัดกรีดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ไม่ต้องการปรับเปลี่ยนภายหลังจากการประกอบเสร็จแล้วการบัดกรีที่ดีอันจะทำให้ได้รอยต่อที่มีคุณภาพนั้น ขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลัก 3 ประการ คือ

ตัวประกอบหลัก 3 ประการ

1. โลหะพื้น (Base Metal)
2. ชนิดของโลหะบัดกรีที่ใช้ (Soldering Metal)
3. น้ำยาประสานหรือน้ำยาฟลักซ์ (Soldering Flux)

71950

2.9.1 โลหะพื้น (Base Metal)

โลหะพื้นที่ถูกบัดกรีส่วนใหญ่จะเป็นเหล็กและทองแดง ส่วนอลูมิเนียมก็นิยมนำมาใช้เพราะมีน้ำหนักเบาแต่จะบัดกรียากกว่าเหล็ก ทองแดง และอัลลอยของเหล็กกับทองแดงในการบัดกรีแต่ละครั้งจะต้องคำนึงถึงน้ำยาฟลักซ์ที่เหมาะสมด้วยว่าเป็นชนิดเหมาะสมหรือไม่ซึ่งจะมีผลต่อการบัดกรีซึ่งโลหะพื้นที่เป็นดีบุก แคดเมียม ทอง จะง่ายต่อการบัดกรีของโลหะบัดกรี โดยไม่ต้องทำความสะอาดก่อนและใช้น้ำยาฟลักซ์ที่ไม่ว่องไวได้ ถ้าเป็นเงินจะเกิดฟิล์มของซัลไฟด์บนผิวของโลหะพื้นซึ่งจะทำให้ลดประสิทธิภาพการบัดกรีทันที ตะกั่วจะเกิดออกไซด์ที่ผิวเมื่ออยู่ในสภาพร้อนและอาจต้องทำความสะอาดก่อนบัดกรี ทองแดง ทองเหลือง บรอนซ์ และเหล็กจะเกิดออกไซด์บางบริเวณ ซึ่งต้องทำความสะอาดหรือล้างด้วยกรดก่อน ความจำเป็นในการทำความสะอาดจะขึ้นกับขอบเขตของผิวโลหะที่ เกิดออกซิเดชัน และความว่องไวของน้ำยาฟลักซ์จากตารางที่ 2-6 จะแสดงชนิดโลหะต่อความยากง่าย

ตารางที่ 2-6 แสดงชนิดโลหะต่อความยากง่ายในการบัดกรี

โลหะพื้นหรือโลหะชิ้นงาน	การบัดกรี
เงิน ดีบุก ทอง แคดเมียม แพลตาเดียม โรเดียม ทองแดง บรอนซ์ ทองเหลือง ตะกั่ว นิกเกิลผสมเงิน เหล็ก สังกะสี นิกเกิล อลูมิเนียม อลูมิเนียมผสมบรอนซ์ เหล็กผสม โครเมียม เหล็กหล่อ โครเมียม ทิทาเนียม แทนทาลัม แมกนีเซียม	ดีเยี่ยม ดี พอใช้ ยาก เคลือบด้วยโลหะบัดกรีก่อน

2.9.2 โลหะบัดกรี (Soldering Metal)

จุดบัดกรีจะเกิดขึ้นจากการใช้โลหะบัดกรีเป็นตัวกลางในการเชื่อมยึดระหว่างโลหะที่ต้องการเชื่อมยึดให้ติดกัน การบัดกรีจะก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกันทางด้านกลศาสตร์ของโลหะบัดกรีกับความหยาบบนผิวหน้าที่ไม่สม่ำเสมอของโลหะพื้น คุณสมบัติของการบัดกรีที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้โลหะบัดกรีหลอมเป็นของเหลวจะไม่เกิน 427 องศาเซลเซียส สำหรับโลหะบัดกรีชนิดแข็งจะไม่เกิน 315 องศาเซลเซียส และควรต่ำกว่าจุดหลอมตัวของโลหะที่จะบัดกรี พันธะระหว่างโลหะบัดกรีกับโลหะพื้นที่จะบัดกรีจะมีมากกว่าแรงเกาะติดทางกลซึ่งก็คือพันธะโลหะ ทั้งสองปัจจัยจะส่งผลให้เกิดความแข็งแรงของการเกาะติด

2.9.2.1 ดีบุก Tin (Sn)

เลขอะตอม	50 เป็นธาตุที่ 4 หมู่ IV A ในตารางธาตุ จัดเป็น โลหะ
น้ำหนักอะตอม	118.69 Amu
จุดหลอมเหลว	231.9 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	2270 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	10.5 g/cc ที่ 20 องศาเซลเซียส
เลขออกซิเดชันสามัญ	+4 และ +2

การค้นพบ สถานที่และเวลาของการค้นพบคิบุกไม่ปรากฏเด่นชัดแต่มีหลักฐานค่อนข้างแน่นอนว่า คิบุกเป็นโลหะที่มนุษย์รู้จักมาตั้งแต่สมัยโบราณ เช่น อาวุธและเครื่องใช้สอยจำพวก (Bronze) มีคิบุก 10-15 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบ และได้พบการนำคิบุกมาใช้ประโยชน์ในทุกยุคทุกสมัยคิบุกเป็นโลหะที่ใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โลหะหนึ่ง ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ที่สำคัญมีดังนี้

1. ใช้ทำแผ่นคิบุกซึ่งเป็นแผ่นเหล็กกล้าบางมีปริมาณคาร์บอนต่ำ เคลือบด้วยคิบุกโดยกระบวนการ Electrode Position ประมาณกึ่งหนึ่งของคิบุกที่ผลิตได้นำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตแผ่นคิบุกนี้ แผ่นคิบุกใช้ทำกระป๋องและภาชนะต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระป๋องและภาชนะบรรจุอาหาร
2. ใช้ทำโลหะเชื่อมกับโลหะอื่นที่นิยมเรียกว่า Soft Solders เช่น ทองแดงเรียกว่า Tin-Bronzes กับพลวงและทองแดงใช้ทำ Pewter ware เป็นต้น
3. ใช้เคลือบผิวโลหะอื่น
4. ใช้เป็นสารประกอบกับโลหะชนิดอื่น เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของโลหะผสม

ความเป็นพิษ โลหะคิบุกในปริมาณเล็กน้อยไม่ปรากฏเป็นพิษต่อร่างกาย อาหารที่บรรจุด้วยกระป๋อง คิบุกถือว่าปลอดภัยจากความเป็นพิษจากคิบุก

2.9.2.2 ทองแดง Copper (Cu)

มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์จากทองแดงทำเครื่องใช้สอยและอาวุธต่างๆ ตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ที่เรียกว่า ยุคสัมฤทธิ์ Bronze Age มาตรฐานจนถึงปัจจุบันนี้ทองแดงก็ยังเป็นโลหะที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายมาก และถือเป็นโลหะที่สำคัญที่สุดในกลุ่มโลหะนอกกลุ่มเหล็ก Non Ferrous Metals ทองแดงและทองแดงผสมมีสมบัติดีเด่นหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. มีความแข็งแรงในช่วงที่พอใช้งานได้ ทั้งยังสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลได้หลายระดับซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของทองแดงและกรรมวิธีการผลิต
2. ความเหนียวของทองแดงสูงมาก สามารถขึ้นรูปโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก
3. เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีมาก
4. เป็นตัวนำความร้อนที่ดีมาก
5. กลึงไสเข้ารูปง่าย เมื่อผสมธาตุบางตัวเข้าไป
6. ด้านทานความล้าได้ดีพอสมควร
7. ไม่เป็นสารแม่เหล็ก
8. ทนทานต่อการกัดกร่อน โดยเฉพาะเมื่อใช้กับกรดและน้ำทะเล
9. ทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดีพอสมควร
10. มีสีสวยงามน่าใช้

โดยทั่วไปจะเรียกว่า ทองแดง (Copper) เมื่อโลหะนั้นเป็นทองแดงเกือบบริสุทธิ์ หรือมีสิ่งแปลกปนอื่นๆ ผสมอยู่ไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเรียกว่าทองแดงผสมหรือโลหะผสมของทองแดง เมื่อโลหะนั้นมีทองแดงเป็นธาตุที่ผสมอยู่มากที่สุดในระหว่าง 40 เปอร์เซ็นต์ และสูงไม่เกิน 99 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักทองแดงค่อนข้างบริสุทธิ์ หมายถึง ทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 99.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทั่วไปทองแดงพวกนี้ใช้ทำสายไฟฟ้า บัสบาร์ (Bus Bar) หน้าสัมผัสไฟฟ้า หม้อน้ำรถยนต์ หม้อต้ม ภาชนะในการกลั่น หมักแอลกอฮอล์ ฯลฯ ทองแดงที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ทองแดงผสมเงิน Silver-Bearing Copper และในทองแดงชนิดนี้มีธาตุเงินผสมอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 10-15 ออนซ์ต่อตันของทองแดงทำให้แทนโซลต์สตรีงและคริสตสตรีงของโลหะสูงขึ้น ทำให้ทองแดงสามารถคงแข็งแรงได้มากขึ้นเมื่อใช้ที่อุณหภูมิสูง ราคาก็ไม่มีผลเสียในการลดค่าการนำไฟฟ้า เพราะฉะนั้นทองแดงชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นค้ำนำไฟฟ้าโดยเฉพาะใช้แทนทองแดงที่พืชมเมื่ออุณหภูมิใช้งานสูงเกินกว่า 200 องศาเซลเซียส แต่ไม่เกิน 340 องศาเซลเซียส

2.9.3 น้ำยาประสานหรือน้ำยาฟลักซ์

น้ำยาฟลักซ์มีหน้าที่อื่นๆ นอกเหนือจากการช่วยให้โลหะบัดกรีไหลได้ดีและยังเป็นที่เชื่อกันว่าน้ำยาฟลักซ์จะไม่เกิดพันธะกับโลหะบัดกรีหรือโลหะพื้น แต่เหมือนจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีการบัดกรีโดยไม่มีฟลักซ์ซึ่งใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมก็อาจทำได้ แต่ถ้ามียาน้ำยาฟลักซ์จะทำให้การบัดกรีสะดวกขึ้น น้ำยาฟลักซ์ที่ใช้ในการบัดกรีอาจเป็นชนิดของแข็งของเหลวหรือก๊าซเมื่อได้รับความร้อนจะเป็นตัวเร่งให้โลหะอ่อนตัวโดยการบัดกรี

2.9.3.1 น้ำยาฟลักซ์ที่พืชน้ำที่หลัก ดังนี้

1. เป็นตัวทำให้ผิวหน้าโลหะไม่ให้มีสิ่งสกปรกพวกออกไซด์และทำให้ชิ้นงานสะอาด
2. ทำให้โลหะบัดกรีแผ่ขยายไปให้ผลให้เกาะติดได้ง่าย
3. เป็นตัวป้องกันการเกิดออกซิเดชันระหว่างการบัดกรี

2.9.3.2 การเลือกชนิดของน้ำยาฟลักซ์

จากความสามารถในการเชื่อมประสานของโลหะบัดกรีแบบไร้สารตะกั่ว จะคือยกว่าแบบที่มีคลินุกกับตะกั่วผสมกันอยู่ ดังนั้นการใช้น้ำยาฟลักซ์เป็นตัวช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการเชื่อมประสานสำหรับโลหะบัดกรีแบบไร้สารตะกั่วจึงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง หน้าที่สำคัญของน้ำยาฟลักซ์ก็คือ ทำหน้าที่ในการขจัดคราบของไขมันหรือออกไซด์ออกจากพื้นผิวของลวดขวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์และพื้นผิวของขั้วอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้การเชื่อมประสานระหว่างตะกั่วบัดกรีกับลวดขวงจรและขั้วอุปกรณ์ดีขึ้น น้ำยาฟลักซ์แต่ละชนิดก็จะมีอุณหภูมิเฉพาะที่น้ำยาฟลักซ์จะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของน้ำยาฟลักซ์นั้นลดลง นอกจากโลหะบัดกรีแบบไร้สารตะกั่วก็ต้องการอุณหภูมิในการผลิตที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับโลหะบัดกรีแบบคลินุกกับตะกั่ว ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาปรับปรุงส่วนผสมของน้ำยาฟลักซ์ที่จะนำมาใช้กับโลหะบัดกรีแบบไร้สารตะกั่ว ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิสูงขึ้นสำหรับกระบวนการผลิตแบบที่ใช้เครื่องในการหลอมโลหะบัดกรีแบบไร้สารตะกั่ว นั้นน้ำยาฟลักซ์ควรมีความสามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 250 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำยาฟลักซ์ที่ใช้กับเครื่องจะทนได้ขนาดทำให้แผงวงจรอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส และสูงถึง 280 องศาเซลเซียส ขณะที่แผงวงจรเคลื่อนที่ผ่านบ่อตะกั่ว ในปัจจุบันน้ำยาฟลักซ์ที่ถูกนำมาใช้กับโลหะบัดกรีแบบไร้สารตะกั่วยังคงเป็นชนิดเดียวกันกับที่ใช้สำหรับโลหะบัดกรีแบบตะกั่วกับคลินุกทุกๆ ไป ถึงแม้ว่าจะไม่เหมาะสมมากนักในการนำมาใช้งานเนื่องจากอุณหภูมิในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันดังกล่าวแล้วแต่ก็ยังพออนุโลมนำมาใช้งานได้ เนื่องจากการพัฒนาของน้ำยาฟลักซ์ยังค่อนข้างช้าถึงเมื่อเทียบกับการพัฒนาโลหะบัดกรีแบบไร้สารตะกั่วโดยจะยึดหลักสำคัญเบื้องต้นในการเลือกชนิดของน้ำยาฟลักซ์ดังนี้

- น้ำยาฟลักซ์ที่เลือกใช้ต้องไม่ทำลายสภาพแวดล้อม หรือเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน
- ต้องมีคุณสมบัติในการปรับปรุงความสามารถในการเชื่อมประสานของตะกั่วแบบไร้สารตะกั่ว
- มีราคาที่สมเหตุสมผล

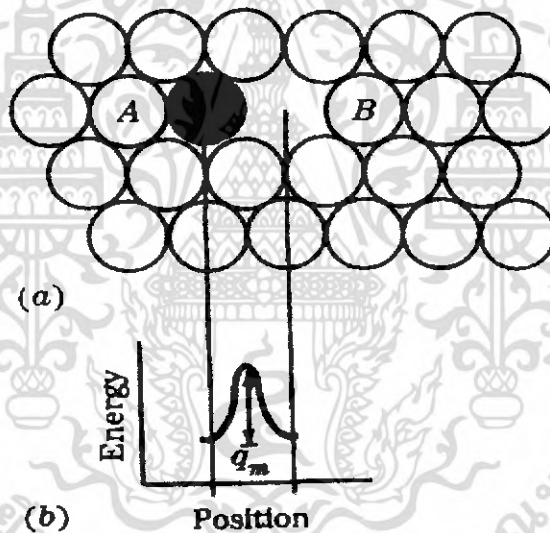
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักเกณฑ์เบื้องต้นนี้ในปัจจุบันดูเหมือนว่าน้ำยาฟลักซ์ชนิดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย แต่ไม่มีน้ำเป็นสารประกอบจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ปัญหาเล็กน้อยที่อาจพบในการใช้น้ำยาฟลักซ์ชนิดนี้ก็คือ การเกิดเม็ดตะกั่วเล็กๆ กระจายออกมารอบๆ จุดบัดกรี ซึ่งเป็นที่เชื่อกันว่าจะมีการแก้ไขได้ในอนาคตไม่ช้านี้

2.10 ทฤษฎีการแพร่ของอะตอมในโครงสร้างผลึกของแข็ง

ในการทดลองโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วจะต้องอาศัยการแพร่ หมายถึง กลไกของการส่งหรือขนถ่ายอะตอมของสารชนิดหนึ่งผ่านเข้าไปในสารอีกชนิดหนึ่งการเคลื่อนที่ของอะตอมในสารที่มีสภาพเป็นของแข็งส่วนการเคลื่อนที่ในของแข็งมักจะถูกจำกัดการสะเทือน เนื่องจากความร้อนในของแข็งจะทำให้อะตอมสามารถเกิดการเคลื่อนที่ได้ การแพร่ของอะตอมในของแข็ง โลหะและโลหะผสมถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างมาก ในการเจริญเติบโตของเกรนใหม่การแพร่กระจายของอะตอมในโครงผลึกมีกลไกหลักที่สำคัญ 2 แบบ คือ

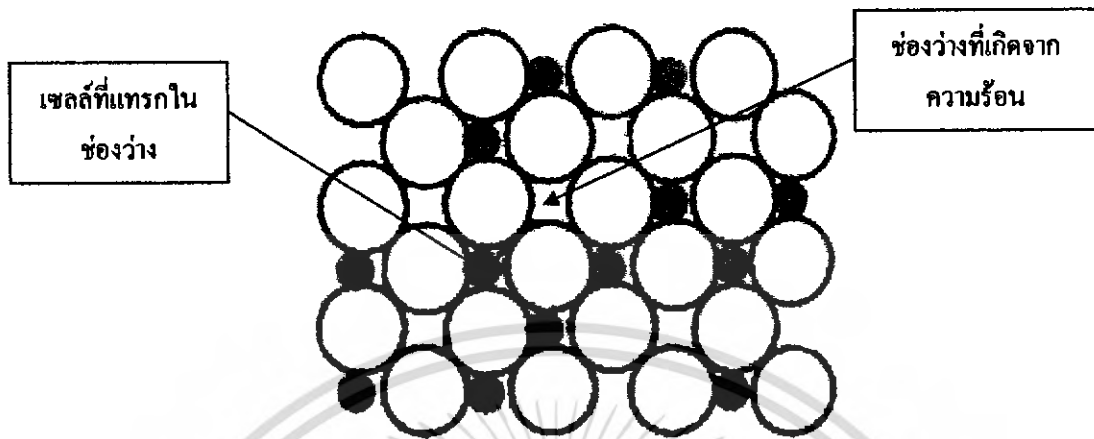
2.10.1 กลไกการแพร่แบบช่องว่างหรือแทนที่



รูปที่ 2-1 กลไกการแพร่แบบช่องว่างหรือแทนที่

อะตอมจะสามารถเคลื่อนที่ในโครงสร้างผลึกจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้ถ้าอะตอมนั้นมีพลังงานกระตุ้น (Activation Energy) อย่างเพียงพอซึ่งพลังงานดังกล่าวสามารถได้รับจากการสั่นสะเทือนของอะตอมเนื่องจากความร้อนนอกจากนี้ยังมีช่องว่าง (Vacancies) หรือความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นในโครงสร้างผลึกจึงจะทำให้อะตอมสามารถเกิดการแพร่แบบกลไกการแทนที่ได้

2.10.2 กลไกการแพร่แบบเซลล์แทรก



รูปที่ 2-2 กลไกการแพร่แบบเซลล์แทรก

การแพร่แบบเซลล์แทรกจะเกิด โดยการที่อะตอมมีการเคลื่อนที่จากตำแหน่งของช่องระหว่างอะตอมหนึ่งไปยังตำแหน่งของช่องระหว่างอะตอมหนึ่งที่อยู่ข้างเคียง

กลไกการแพร่ของอะตอมในโลหะจะเกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่างๆที่อยู่โดยรอบดังนี้

1. พลังงานกระตุ้นให้เกิดการแพร่
2. พันธะระหว่างอะตอม
3. อุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอัตราเร็วในการแพร่
4. ตำแหน่งของอะตอม
5. ขนาดของอะตอมของสาร
6. ช่องว่างระหว่างอะตอม

2.11 ทฤษฎีการเกิดนิวเคลียสที่อยู่ในโลหะที่หลอมเหลว

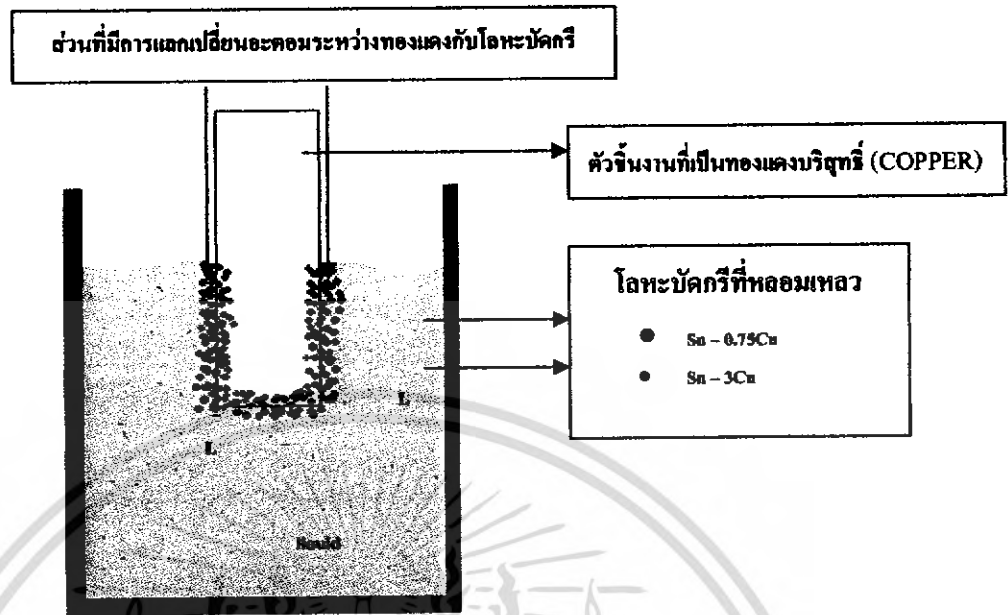
กลไกการเกิดนิวเคลียสไอที่อยู่ในโลหะที่หลอมเหลวมี 2 กลไก

2.11.1 กลไกการเกิดนิวเคลียสแบบเอกพันธ์

กลไกนี้มักจะเกิดขึ้น ในกระบวนการการแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจองจุดเยือกแข็งสมดุลซึ่ง นิวเคลียสที่เกิดขึ้นโดยกลไกนี้จะเกิดจากการเคลื่อนตัวของอะตอมของโลหะอย่างช้าๆ จนเกิดพันธะระหว่างกันจนกระทั่งได้ขนาดที่อยู่ตัว เรียกว่า ขนาดวิกฤติ ซึ่งสามารถที่จะเติบโตต่อไปเป็นผลึก

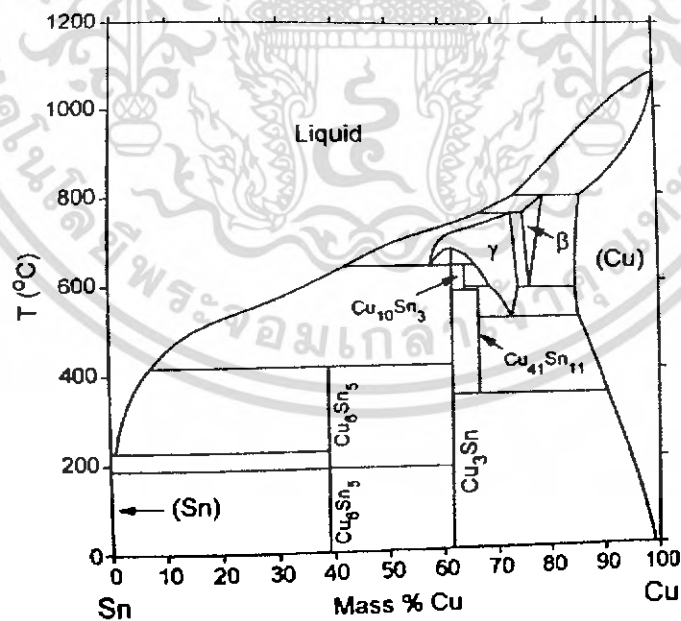
2.11.2 กลไกการเกิดนิวเคลียสแบบวิวิธพันธ์

เป็นกลไกที่นิวเคลียสไอเกิดขึ้นภายในโลหะที่หลอมเหลวบนผิวของภาชนะบรรจุ ซึ่งพลังงานอิสระที่ลดลงเพื่อทำให้เกิดนิวเคลียสไอที่อยู่ตัวนั้นจะต่ำกว่าที่ลดลงในกลไกของกระบวนการเกิดนิวเคลียสไอแบบเอกพันธ์



รูปที่ 2-3 แสดงถึงการเกิดการแลกเปลี่ยนอะตอมระหว่างทองแดงกับโลหะบัดกรี

2.12 เฟสไดอะแกรมของโลหะผสมดีบุก (Sn) กับ ทองแดง (Cu)



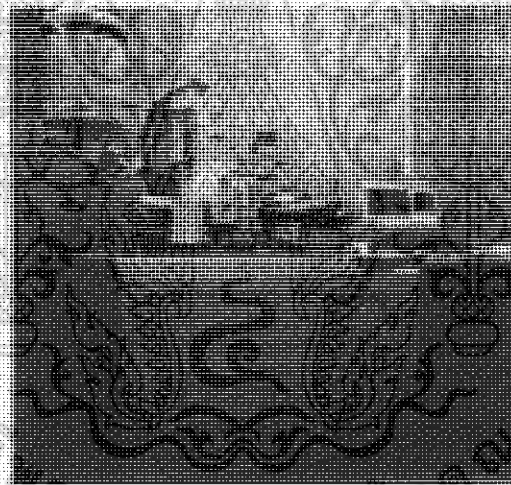
รูปที่ 2-4 ระบบ Binary Alloy ของโลหะผสม Sn - Cu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นโลหะผสมที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการละลายของดีบุก Sn กับทองแดง Cu ในสภาวะการนำละลายของแข็งของโลหะดีบุกเจือทองแดงซึ่งโดยโลหะผสมนี้จะมีจุด Eutectic ที่ 0.9 เปอร์เซ็นต์ ของทองแดงที่อุณหภูมิ 232 องศาเซลเซียส

2.13 ทฤษฎีการวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมีของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมีของวัสดุโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษารายละเอียดของพื้นผิวของตัวอย่าง เช่นลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ พื้นที่หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น การสร้างภาพทำโดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งภาพที่จากกล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะเป็นภาพสามมิติ นอกจากนี้ยังคัดแปลงโดยต่อเติมอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อให้มีการแสดงผลในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น การวิเคราะห์ธาตุการคำนวณมวลและปริมาตร (Energy Dispersive X-Ray: EDS) กล้องจุลทรรศน์แบบนี้เหมาะสำหรับการเรียนการสอนและการวิจัยพื้นฐานซึ่งจะมีกำลังขยายสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ธรรมดา โดยสามารถขยายภาพได้มากกว่า 1000 เท่า จนถึงระดับ 100000 เท่า และยังมีอุปกรณ์ที่สามารถวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบ

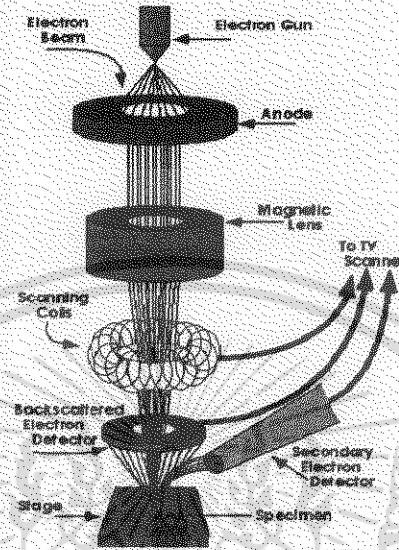


รูปที่ 2-5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM

2.13.1 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ลำแสงอิเล็กตรอนที่มีศักย์สูงจากแคโทดที่ถูกให้ความร้อนในสภาวะสุญญากาศ จะถูกเร่งและผ่านออกมาจากท่อสุญญากาศไปยังระบบคอนเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 4 ชุด โดยขดลวดแม่เหล็กชุดแรกจะทำให้อิเล็กตรอนผ่านไปยังด้านล่างของตัวอย่าง ส่วนชุดที่สองจะทำหน้าที่เสมือนเลนส์ใกล้วัตถุที่จะรวบรวมอิเล็กตรอนให้ผ่านหรือกระจายอยู่รอบๆ ตัวอย่างจากนั้นอิเล็กตรอนจะผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กชุดที่สามที่จะทำหน้าที่ในการขยายภาพ โดยภาพเกิดขึ้นจากการที่อิเล็กตรอนผ่านไปที่ตัวอย่างและมีการโฟกัสภาพไปยังจอรับภาพ เช่น จอรับภาพเรืองแสง หรือเซนเซอร์ไวแสง และขดลวดสนามแม่เหล็กชุดสุดท้ายจะทำหน้าที่เสมือนเลนส์ใกล้ตา ซึ่ง

ภาพที่สามารถบันทึกลงบนเพลท แผ่นฟิล์ม หรือทำการแปลงสัญญาณภาพลงสู่จอคอมพิวเตอร์ ซึ่งที่ได้นี้จะเรียกว่า อิเล็กตรอนไมโครกราฟ



รูปที่ 2-6 แสดงส่วนประกอบของการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดประกอบด้วยระบบที่สำคัญ 4 ดังนี้

1. ระบบสุญญากาศ ประกอบด้วยเครื่องสูดอากาศ 2 แบบ ได้แก่เครื่องสูดอากาศแบบ (Mechanical pump) และเครื่องสูดอากาศที่ใช้ น้ำมันกระจายในควมัม โดยการเริ่มจากการทำให้ภายในคอลัมน์เป็นสุญญากาศที่มีความดันประมาณ 10^{-3} - 10^{-8} Torr และต้องกำจัดโมเลกุลของก๊าซต่างๆ ออกให้หมด เนื่องจากโมเลกุลเหล่านี้จะเกิดการคู่อิเล็กตรอนและทำให้อิเล็กตรอนเกิดการกระเจิง ประจุอิเล็กตรอนจะกระจายไม่เป็นระเบียบ ส่งผลให้ภาพที่ได้ไม่คมชัดคนอกจากนี้โมเลกุลของก๊าซอาจเกิดปฏิกิริยาการแผ่รังสี ซึ่งทำให้ลำแสงอิเล็กตรอนไม่คงที่หรือเคลื่อนออกไปจากทิศทางเดิม โมเลกุลของก๊าซอาจจะไปรวมตัวกับได้หลอดที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนจนเกิดการเผาไหม้และขาดในที่สุด หรืออาจไปจับกับตัวอย่าง ทำให้ตัวอย่างนั้นเกิดการปนเปื้อนจนไม่สามารถนำไปศึกษาหรือวิเคราะห์ต่อไปได้

2. ระบบแสงสว่าง ประกอบด้วยปืนอิเล็กตรอนและคอนเดนเซอร์ โดยปืนอิเล็กตรอนจะเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน และคอนเดนเซอร์เลนส์จะทำหน้าที่รวมประจุอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดเป็นลำแสงอิเล็กตรอน โดยใช้สนามแม่เหล็กเพื่อส่งไปยังตัวอย่างค่าความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเข้ากระแสไฟฟ้าแรงสูงมากขึ้น ค่าของความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนก็จะสั้นลงทำให้การแจกแจงรายละเอียดดีขึ้น ดังนั้นการปรับเปลี่ยนโฟกัสจึงทำได้โดยการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่นั่นเอง คอนเดนเซอร์อาจมีมากกว่าหนึ่งชุด เพื่อควบคุมให้ลำแสงอิเล็กตรอนมีความเข้มขนาดเล็กลงทำให้ภาพที่ได้มีความสว่างมากขึ้น และยังเป็นการป้องกันตัวอย่างไม่ให้ถูกทำลายด้วยความร้อนที่เกิดจากอิเล็กตรอนด้วย ระบบคอนเดนเซอร์เลนส์นี้จะผ่านแผ่นโมลิตินัมอยู่ในช่องว่างที่มีรูกลมๆ ขนาดเล็กที่เรียกว่า (Aperture) เพื่อควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นจุด

กลมที่สมบูรณ์ รวมทั้งป้องกันการกระจายตัวของอิเล็กตรอนซึ่งจะส่งผลให้ความคมชัดของภาพสำหรับขนาดของช่อง (Aperture) นี้ ยิ่งมีขนาดเล็กจะยิ่งทำให้การแจกแจงรายละเอียดของภาพดีขึ้นแต่ความคมชัดจะลดลง

3. ระบบภาพ เมื่อทำการฉายลำแสงอิเล็กตรอนบนตัวอย่างลำแสงอิเล็กตรอนจะผ่านตัวอย่างไปยัง (Objective Lens) ที่อยู่ได้ช่องใต้ตัวอย่างและคอนเดนเซอร์เลนส์ จะทำหน้าที่ขยายภาพจากนั้นลำแสงอิเล็กตรอนจะผ่านไปยัง (Intermediated Lens) เพื่อให้การขยายเพิ่มมากขึ้น จากนั้นจะผ่านไปยัง (Projector Lens) ที่ทำหน้าที่นำภาพที่ขยายไปปรากฏบนจอซึ่งเราสามารถเห็นได้จากหน้าต่างสำหรับมองภาพ

4. ระบบบันทึกภาพ ประกอบด้วยชุดเตอร์และเครื่องวัดแสง โดยระบบนี้จะอยู่ได้ (Projector Lens) ชุดเตอร์จะทำหน้าที่เปิดหรือปิดให้ลำแสงอิเล็กตรอนไปตกกระทบบนแผ่นรับภาพเองแสง

2.14 เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Energy Dispersive X-Ray: EDS)

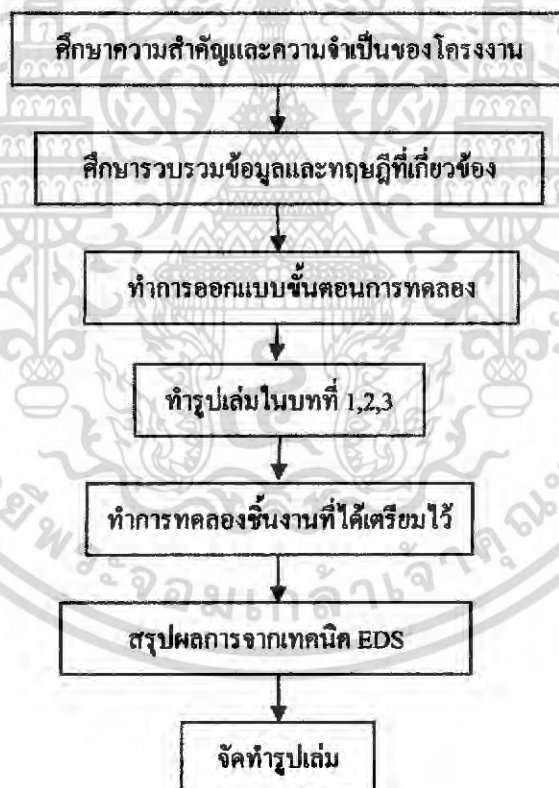
เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ สามารถทดสอบชิ้นงานที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือเป็นผงได้ ในระดับหน่วยการวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยใช้หลักการยิงรังสี (X-Ray) ไปยังชิ้นงาน ตัวอย่าง และวัดระดับการกระจายพลังงาน (Energy Dispersive) ที่สะท้อนออกมาในรูป (X-Ray Fluorescence) จะทำให้ทราบว่าธาตุอะไรมีอยู่บ้าง ในปริมาณเท่าไร สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งบรรยากาศแบบปกติ แบบสุญญากาศ หรือก๊าซ อีเลียมได้ เพื่อความหลากหลายในการประยุกต์ใช้งานสามารถวิเคราะห์ชิ้นงานได้อย่างรวดเร็ว สะดวก และมีความเที่ยงตรงสูง ชิ้นงานทดสอบได้ทั้งเป็นของแข็ง ของเหลว และเป็นผง สามารถวิเคราะห์ธาตุตั้งแต่ ธาตุคาร์บอน(C) ถึง ยูเรเนียม (U) ได้ เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงานและไม่ต้องเตรียมชิ้นงาน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการจัดทำปริญาณิพนธ์ เรื่องการวิเคราะห์โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อจุดโครงสร้างของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทั้งสองชนิด คือ Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu ตัวแปรที่กล่าวมาคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการจุ่มชิ้นงานลงในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว จากนั้นทำการวิเคราะห์ห้องศัประกอบทางเคมีและจุดโครงสร้างของชิ้นงานในแต่ละอุณหภูมิด้วยเทคนิควิเคราะห์ทางโลหะวิทยา

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



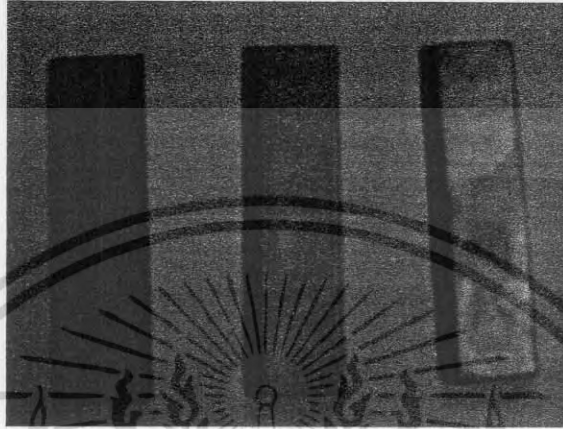
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองจะมีวัสดุหลักๆ 2 อย่างคือ ทองแดงบริสุทธิ์ 99.98 เปอร์เซ็นต์ เป็นชิ้นงานในการทดลอง และโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทั้ง 2 ชนิด นอกจากนี้ยังมีวัสดุอื่นๆ อีกที่ใช้ประกอบในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 27 อย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ทองแดงบริสุทธิ์ 99.98 เปอร์เซ็นต์

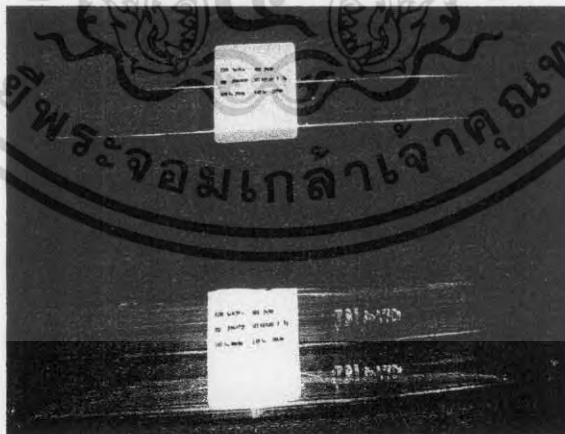
ทองแดงบริสุทธิ์ 99.98 เปอร์เซ็นต์ เป็นชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง มีความหนา 3 มิลลิเมตร กว้าง 12 มิลลิเมตร ยาว 5000 มิลลิเมตร นำตัดให้ได้ ยาว 40 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเลื่อยโลหะใบซีกที่มีสารหล่อเย็น ชิ้นงานที่ตัดแล้วแสดงดังรูป 3 -1



รูปที่ 3-1 ชิ้นงานทองแดงที่ตัดแล้ว

3.2.2 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว

โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วผลิตโดย บริษัท ไทยโซลโคอร์ อินดัสตรี จำกัด ขนาด หนา 10 มิลลิเมตร กว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 340 มิลลิเมตร หนัก 1 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่ 3-2 ข้อมูลของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทั้ง 2 ชนิด แสดงดังตารางที่ 3-1



รูปที่ 3 -2 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทั้ง 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-1 แสดงข้อมูลของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu

ชนิดลวดบัดกรี	ส่วนประกอบของลวดบัดกรี		จุดหลอมเหลวของลวดบัดกรี(°C)
	ธาตุที่ประกอบในลวดบัดกรี	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)	
Sn-0.75Cu	คิงก	ส่วนที่เหลืออยู่	230
	ตะกั่ว	0.05	
	บิสมัท	0.03	
	ทองแดง	0.75 ± 0.25	
	แคดเมียม	0.0005	
	เหล็ก	0.02	
	เงิน	0.05	
	อลูมิเนียม	0.002	
	สังกะสี	0.002	
	สารหนู	0.03	
	พลวง	0.03	
	โคบอลต์	0.01	
	ปรอท	0.01	
Sn-3Cu	คิงก	ส่วนที่เหลืออยู่	250
	ตะกั่ว	0.05	
	อลูมิเนียม	0.002	
	พลวง	0.03	
	สารหนู	0.03	
	บิสมัท	0.03	
	แคดเมียม	0.0005	
	ทองแดง	3.00 ± 0.25	
	เหล็ก	0.02	
	เงิน	0.01	
	สังกะสี	0.002	

3.2.3 น้ำยาฟลักซ์

น้ำยาฟลักซ์ ALMIT FLUX RC-15SH RMA 15 % จะเป็นตัวป้องกันการปฏิกิริยาออกซิเดชันคือเป็นตัวป้องกันไม่ให้อากาศเข้าแทรกตัวระหว่างโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วกับตัวทองแดงเกิดเป็นฟองอากาศและเป็นตัวทำความสะอาดชิ้นงาน ในขณะที่ทำการจุ่มตั้งแสดงดังรูปที่ 3-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-3 น้ำยาฟลักซ์

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

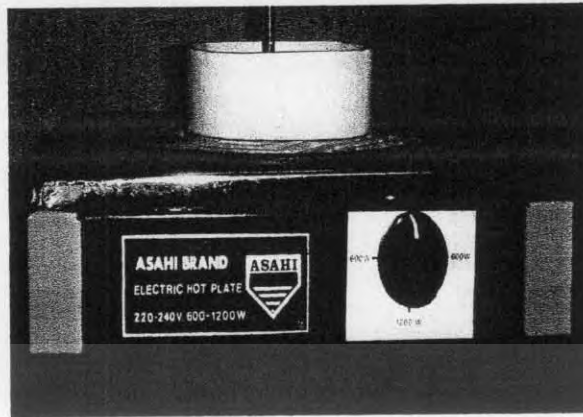
เป็นตัวจับยึดของแดงในขณะที่ทำการจุ่มเพื่อให้ชิ้นงานตั้งฉากกับ โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่หลอมละลายและเพื่อ ใต้ระยะที่ชิ้นงานจุ่มลงใน โลหะบัดกรีที่หลอมเท่ากันทุกชิ้นแสดงดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

3.3.2 เตาที่ใช้หลอมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว

เตาที่ใช้ อาซาฮี ชนิดขดลวดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า 600 – 1200 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220-240 โวลต์ ให้ ความร้อน ได้ถึง 600 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับให้ความร้อนหลอมละลาย โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว แสดงดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 เตาที่ใช้หลอมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว

3.3.3 เตาโมคัปเปิล

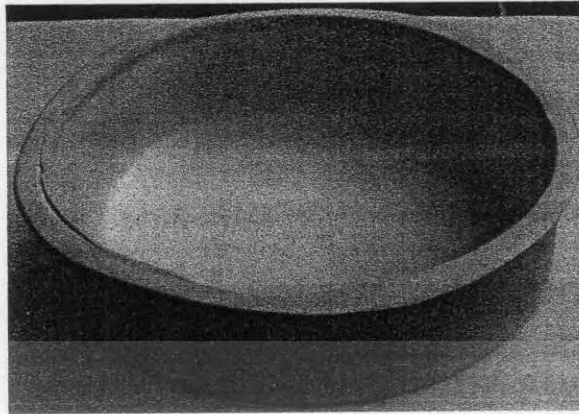
เตาโมคัปเปิลยี่ห้อ Gerhardt ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของโลหะบัดกรีเหลว โดยอุณหภูมิที่ใช้วัดอยู่ในช่วง 230-390 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 เตาโมคัปเปิล

3.3.4 ภาชนะหลอมโลหะบัดกรี

ใช้สำหรับหลอมโลหะบัดกรีบนเตาเลือกภาชนะที่ใช้คือคอร์เคียวไรต์ ผลิตโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ เนื่องจากจะทำปฏิกิริยากับโลหะบัดกรีหลอมละลายเพียงเล็กน้อยซึ่งทำให้ลดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง โดยมีส่วนผสมดังตารางที่ 3-2 ภาชนะที่ใช้หลอมโลหะบัดกรีแสดงดังรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7 ภาชนะหลอมโลหะบัดกรี คอร์เคียวไรต์

ตารางที่ 3-2 ส่วนผสมของคอร์เคียวไรต์

ส่วนประกอบ	มวลโมเลกุล
$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	375.13 กรัมต่อ โมล
$Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$	256.41 กรัมต่อ โมล
Ludox AS-40 Colloidal Silica (40wt% suspension in water) หรือ SiO_2	60.08 กรัมต่อ โมล
Poly (vinyl alcohol) หรือ PVA	5wt%

3.3.5 เครื่องตัดความเร็วต่ำ

ใช้สำหรับตัดชิ้นงานที่ทำการจุ่มแล้วเพื่อ ได้ขนาดที่ต้องการนำไปหล่อในเรซินเลือกเครื่องตัดความเร็วต่ำเนื่องจากตัวเครื่องตัดมีแรงที่กคน้อยและมีสารหล่อเย็นเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในการตัด จึงทำให้มีผลกระทบต่อชิ้นงานน้อย แสดงดังรูปที่ 3-8

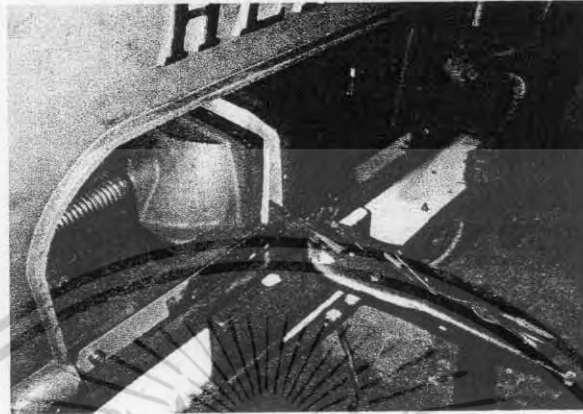


รูปที่ 3-8 เครื่องตัดความเร็วต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 เครื่องเลื่อยใบซึก

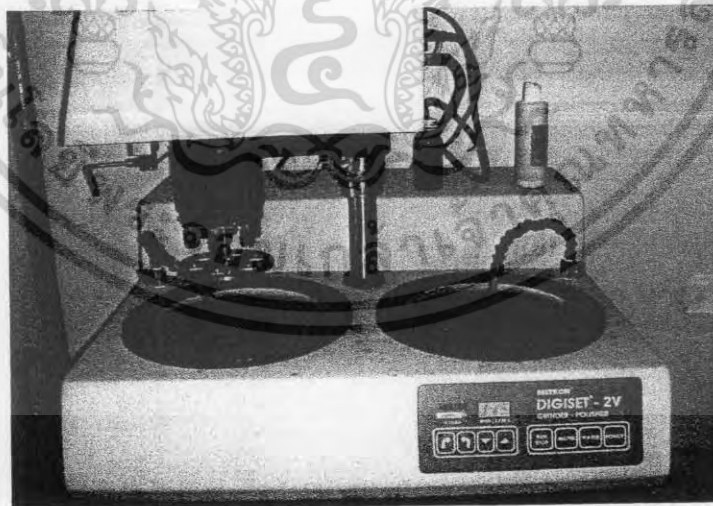
เครื่องเลื่อย HERO แบบ Hack Swing Machine ใช้สำหรับตัดชิ้นงานทองแดง ตัวเลื่อยจะต้องมีสารหล่อเย็นเป็นตัวลดอุณหภูมิในระหว่างการตัดเพื่อมิให้มีผลกระทบต่อ โครงสร้างของชิ้นงานทองแดง แสดงดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 เครื่องเลื่อยใบซึกที่มีสารหล่อเย็น

3.3.7 เครื่องขัดระนาบ

เครื่องขัดระนาบ METKON รุ่น DIGISET-2V ปรับความเร็วรอบได้ 50-600 รอบต่อนาที ใช้ในการขัดผิวชิ้นงานที่ได้ทำการหล่อเสร็จแล้ว เพื่อให้ผิวชิ้นงานมีความเรียบพอที่จะส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดให้เห็นเฟสที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานกับโลหะบัดกรี แสดงดังรูป 3-10



รูปที่ 3-10 เครื่องขัดระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 กล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์ ZEISS รุ่น Axiolab กำลังขยาย 100 ถึง 500 เท่า เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการขยายรายละเอียดของโครงสร้างส่วนต่าง ๆ ที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าให้มองเห็นได้ แสดงดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 กล้องจุลทรรศน์

3.3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL รุ่น JSM-6380LV ทำการส่องที่สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษารายละเอียดของพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ พื้นที่หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น การสร้างภาพทำโดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากผิวหน้าของตัวอย่าง ซึ่งภาพที่จากกล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะเป็นภาพสามมิติ นอกจากนี้ยังดัดแปลงโดยต่อเติมอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อให้มีการแสดงผลในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น การวิเคราะห์ธาตุ การคำนวณหามวลและปริมาตร กล้องจุลทรรศน์แบบนี้จะมีกำลังขยายสูงกว่า กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา โดยสามารถขยายภาพได้มากกว่า 1000 เท่า จนถึงระดับ 100000 เท่า และยังมีอุปกรณ์ที่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังรูปที่ 3-12



รูปที่ 3-12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

3.4.1 ขั้นตอนก่อนการทดลอง

3.4.2 ขั้นตอนระหว่างการทดลอง

3.4.3 ขั้นตอนหลังการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนก่อนการทดลอง

1. ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยกรดไนตริก ชิ้นงานที่ทำความสะอาดเสร็จแล้ว แสดงดังรูปที่ 3-13

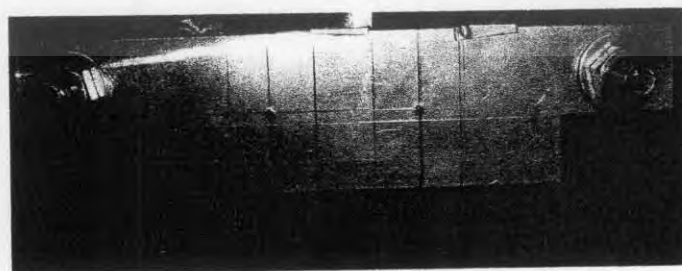


รูปที่ 3-13 ชิ้นงานที่ได้ทำความสะอาดแล้ว

2. จัดเตรียมอุปกรณ์จับยึดที่ใช้จับชิ้นงาน ในขณะที่ทำการจุ่มลงในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วเหลว
3. จัดหาภาชนะที่ใส่โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่หลอมละลายภาชนะที่เลือกใช้ควรใช้วัสดุโรตเนื่องจากเป็นภาชนะที่ทำปฏิกิริยากับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่หลอมละลายเพียงเล็กน้อย
4. จัดเตรียมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทั้ง 2 ชนิดคือ Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu โดยจะต้องนำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้สามารถใส่ในภาชนะได้

3.4.2 ขั้นตอนระหว่างการทดลอง

1. ทำการจับยึดชิ้นงานที่ทำการทดลองเข้ากับอุปกรณ์จับยึด ดังรูปที่ 3-14



รูปที่ 3-14 ชิ้นงานยึดเข้ากับอุปกรณ์จับยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธีการตั้งระยะชิ้นงานที่ออกมาจากอุปกรณ์จับยึด โดยการนำโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่เตรียมทดลองนำมาหลอมละลายในภาชนะที่เตรียมไว้บนเตา จากนั้นนำชิ้นงานทองแดงที่เตรียมนอกเหนือจากการทดลองทำจับยึดกับอุปกรณ์จับยึด จากนั้นจุ่มลงในน้ำยาฟลักซ์และจุ่มในโลหะบัดกรีที่หลอมละลายแล้ว ทำการวัดระยะของโลหะบัดกรีที่ติดกับชิ้นงานจึงทราบถึงความลึกของโลหะบัดกรีเหลว เพื่อที่จะได้ตั้งระยะที่ชิ้นงานออกจากอุปกรณ์จับยึด ที่เมื่อทำการจุ่มแล้วชิ้นงานส่วนที่จุ่มลงในโลหะบัดกรีเหลวจะได้ระยะ 10 มิลลิเมตร
- เป็นขั้นตอนของการจุ่มชิ้นงานลงในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว โดยเมื่อได้ระยะที่ชิ้นงานออกจากอุปกรณ์จับยึด จากนั้นนำชิ้นงานที่ทำการทดลองใส่เข้ากับอุปกรณ์จับยึด ทำการยึด 3 ชั้นต่อการจุ่มหนึ่งครั้ง ในการจุ่มต่อครั้งดำเนินการ โดยนำชิ้นงานที่ได้ทำการใส่กับอุปกรณ์จับยึดนำไปจุ่มลงในน้ำยาฟลักซ์ก่อนไปจุ่มในโลหะบัดกรีหลอมละลาย แสดงดังรูปที่ 3-15



รูปที่ 3-15 แสดงการจุ่มชิ้นงานลงในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว

การทดลองศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อผลการทดลองศึกษา 1 ตัวแปร คืออุณหภูมิที่ใช้ในหลอมโลหะบัดกรีแต่ละชนิด รายละเอียดของเงื่อนไขมีดังนี้

จุ่มที่อุณหภูมิโลหะบัดกรีหลอมเป็นของเหลวหมด และเพิ่มอุณหภูมิที่กำหนดไว้โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็น ตัวควบคุมอุณหภูมิที่กำหนด และจุ่มที่ระยะเวลา 5 วินาที โดยทำการทดลองเช่นนี้ของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทั้ง 2 ชนิด (ในการเปลี่ยนโลหะบัดกรีที่นำมาหลอมแต่ละชนิดต้องมีการตั้งระยะชิ้นงานตามข้อ 2) แสดงดังตารางที่ 3-3 ในการจุ่มต่อครั้งใช้ชิ้นงาน 3 ชิ้น ทำการจุ่ม 11 ครั้ง ชิ้นงานที่ได้ 33 ชิ้น

ตารางที่ 3-3 แสดงเงื่อนไขในการทดลอง

ชนิด โลหะบัดกรี	อุณหภูมิ (°C)				เวลา (S)	
	โลหะบัดกรีหลอมเป็นของเหลวหมด	1	2	3		4
Sn-0.75Cu	230	240	250	260	270	5
Sn-3Cu	250	260	270	280	290	5

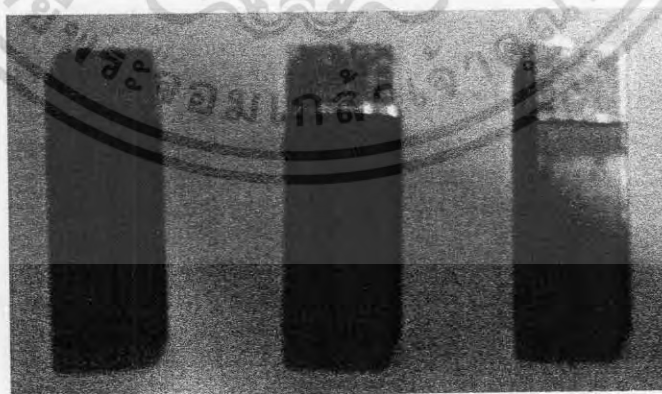
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการจุ่มชิ้นงานที่อุณหภูมิโลหะบัดกรีหลอมเป็นของเหลวหมดแล้วผลการจุ่มชิ้นงานออกมาไม่สวยดังแสดงในรูปที่ 3-16 จึงตัดอุณหภูมิหลอมเหลวสมบูรณ์ออกเพราะว่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นที่ต้องเน้นความสวยงามจึงได้ทำการเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลองใหม่ดังตารางที่ 3-4 และชิ้นงานที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการจุ่มแสดงออกมามีดังรูปที่ 3-17



รูปที่ 3-16 ชิ้นงานที่จุ่มในอุณหภูมิโลหะบัดกรีหลอมเป็นของเหลวหมด
ตารางที่ 3-4 เปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดโลหะบัดกรี	อุณหภูมิ (° C)						เวลา (S)
	1	2	3	4	5	6	
Sn-0.75Cu	250	260	270	290	300	-	5
Sn-3Cu	330	350	360	370	380	390	5

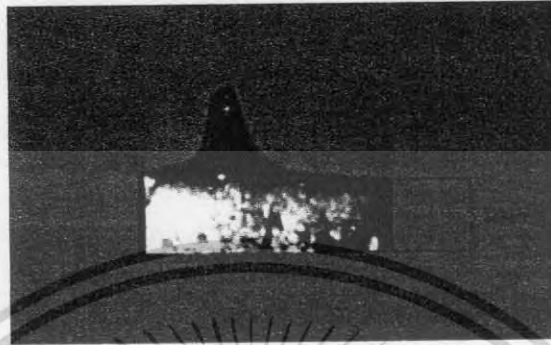


รูปที่ 3-17 ชิ้นงานที่จุ่มโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ขั้นตอนหลังการทดลอง

1. นำชิ้นงานทองแดงบริสุทธิ์ทั้งหมดที่ผ่านการจุ่มด้วยโลหะบัดกรีแต่ละชนิดแล้ว มาทำการตัดด้วยเครื่องตัดที่มีสารหล่อเย็นตัดให้ได้ขนาดความยาว 5 มิลลิเมตร (วัดจากด้านที่จุ่มเข้ามา) ดังรูปที่ 3-18



รูปที่ 3-18 ชิ้นงานที่ผ่านการตัดแล้ว

2. นำชิ้นงานที่ตัด ได้ขนาดแล้วมาทำการหล่อเข้ากับเรซิน เพื่อให้เรซินเป็นตัวยึดชิ้นงานให้สามารถจับชิ้นงานได้ระนาบ ชิ้นงานที่หล่อเรซินแสดงดังรูปที่ 3-19



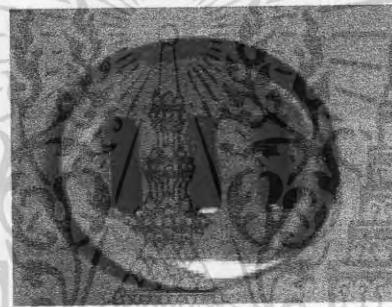
รูปที่ 3-19 ชิ้นงานที่ทำการหล่อเรซิน

3. จากนั้นนำชิ้นงานที่หล่อเรซิน ทำการขัดบนเครื่องขัดระนาบเป็นการเตรียมชิ้นงานเพื่อลบรอยขีดข่วนและให้ชิ้นงานได้ระนาบเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะเห็นเฟสของชิ้นงานที่ชัดเจน จากนั้นใช้เทคนิค (Energy Dispersive Spectroscopy : EDS) ในการหาส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงาน โดยทำการขัดชิ้นงานทั้งขัดผิวหยาบและขัดผิวมัน
 - 1) การขัดผิวหยาบ นำชิ้นงานที่ทำการหล่อเรซินทำการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000 1500 2000 ตามลำดับ การขัดต้องใช้น้ำหล่อให้เปียกตลอดเวลาเพื่อเป็นการระบายความร้อนและระบายเศษของชิ้นงานที่ถูกขัดออกชัดเจนเห็นรอยกระดาษทรายเป็นทางยาวตามชิ้นงาน แล้วหมุนชิ้นงาน 90 องศาขัดกระดาษทรายเบอร์เดิมอีกครั้ง โดยขัดจนให้เกิดรอยเส้นใหม่ขึ้นลบรอยเดิม และเมื่อเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดาษทรายจากเบอร์หนึ่งไปอีกเบอร์หนึ่งจะต้องขัดชิ้นงานให้เกิดรอยกระดาษทรายในทิศเดียวกันตลอดผิวงานแล้วค่อยหมุนไป 90 องศา ขัดจนรอยเดิมหายไป ในการขัดหยาบควรใช้แรงกดเบาๆ เพื่อไม่ให้เศษโลหะไปฝังอยู่ในกระดาษทรายและทำให้เกิดรอยลึกบน ผิวของชิ้นงาน เครื่องที่ใช้ในการขัดผิวชิ้นงาน

2) การขัดผิวมัน หลังจากขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายแล้ว นำชิ้นงานมาขัดด้วยผ้าสักหลาดเพื่อกำจัดรอยกระดาษทรายที่ผิวชิ้นงาน สารที่ใช้ในการขัดปกคิจะใช้ผงอะลูมินาผสมกับน้ำในอัตราส่วน 20 ต่อ 1 ซึ่งผงอะลูมินาที่ใช้กันทั่วไปจะมีเม็ดเกรน 3 ไมโครเมตร ในการทดลองนี้ใช้ผงอะลูมินาที่มีความละเอียดพิเศษ 0.1 ไมโครเมตร เนื่องจากชิ้นงานต้องการความละเอียดของผิวชิ้นงานมาก ซึ่งการขัดชิ้นด้วยผงขัดจะทำให้ผิวของชิ้นงานมีความมันเงา การขัดต้องใช้เวลาประมาณครึ่งชั่วโมง ใช้แรงขัดน้อย เพื่อไม่ให้เกิดรอยบนชิ้นงานเนื่องจากเศษโลหะที่ฝังในผ้าสักหลาด และอาจทำให้ผ้าสักหลาดขาดได้ ชิ้นงานที่ขัดจนได้ผิวหน้าและระนาบแสดงดังรูปที่ 3-20



รูปที่ 3-20 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดจนได้ผิวหน้าและระนาบ

4. นำชิ้นงานกัดด้วยกรด ไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ กับ เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซ็นต์ ผสมในอัตราส่วน 20 ต่อ 80 ก่อนการกัดกรดทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด และเช็ดให้แห้ง จากนั้นนำไปกัดในกรดที่เตรียมโดยใช้เวลาประมาณ 15-20 วินาที ดังรูปที่ 3-21 และสังเกตผิวหน้าของชิ้นงานว่ามีการเปลี่ยนแปลงจากนั้นนำชิ้นงานล้างด้วยน้ำและเอทิลแอลกอฮอล์ดังรูปที่ 3-22 และรูปที่ 3-23 นำชิ้นงานเช็ดให้แห้ง



รูปที่ 3-21 ชิ้นงานที่ทำการกัดกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

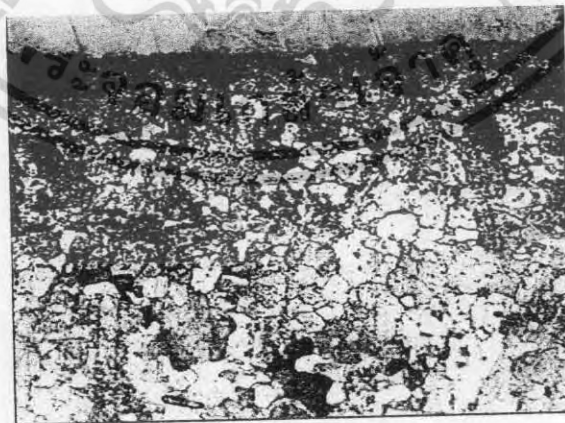


รูปที่ 3-22 ชิ้นงานล้างด้วยน้ำ



รูปที่ 3-23 ชิ้นงานล้างด้วยแอลกอฮอล์

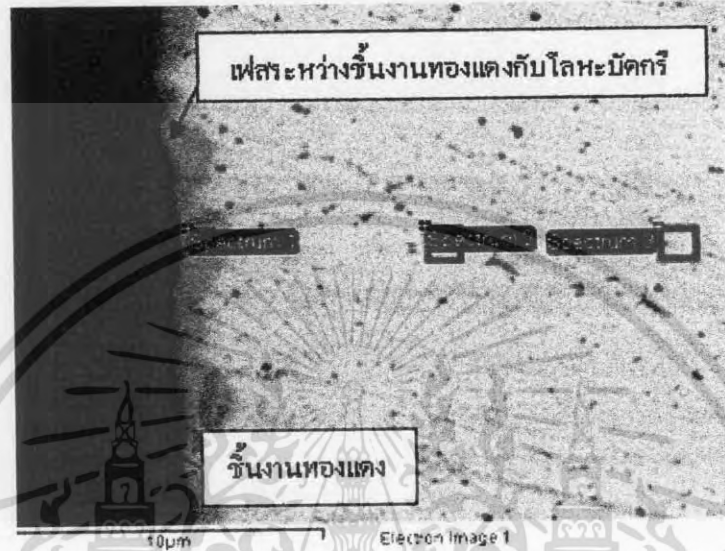
5. นำชิ้นงานส่งดู โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายที่ 200 เท่า เลือกตำแหน่งระหว่างชิ้นงาน
ทองแดงกับโลหะบัดกรีไว้สารตะกั่ว ทำการเก็บผลกล้องจุลทรรศน์ ภาพตัวอย่างการส่องด้วยกล้อง
จุลทรรศน์ แสดงดังรูปที่ 3-24



รูปที่ 3-24 ภาพตัวอย่างการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำชิ้นงานส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เนื่องจากกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีกำลังขยายที่สูง จึงทำให้สามารถส่องดูเฟสระหว่างชิ้นงานทองแดงกับโลหะบัดกรี โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ตัวอย่างภาพถ่ายผิวชิ้นงานจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงดังรูปที่ 3-25



รูปที่ 3-25 ภาพตัวอย่างการส่องด้วยกล้อง SEM ที่ผิวระหว่างทองแดงกับโลหะบัดกรี

7. เมื่อทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะเห็นเฟสที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานทองแดงกับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ทำการหาส่วนประกอบของธาตุ ณ. จุดที่สนใจได้ด้วยการใช้เทคนิค (Energy Dispersive Spectroscopy : EDS) จากนั้นจะทราบถึงส่วนประกอบของธาตุต่างๆ ในส่วนที่ทำการวิเคราะห์ ตัวอย่างผลที่ได้จากเทคนิค (EDS) แสดงในตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ตัวอย่างแสดงผลจากเทคนิค EDS

Element	App Conc.	Intensity Corm.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
C K	8.13	0.6776	11.35	1.18	42.44
O K	2.35	0.6098	3.65	0.86	10.24
Cu L	25.28	0.5185	46.09	1.15	32.59
Sn L	35.68	0.8671	38.91	1.06	14.73
Totals			100.00		

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินการศึกษาการวิเคราะห์จุดโครงสร้างของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว จากขั้นตอนการดำเนินการที่กล่าวมา ทางผู้วิจัยได้ทำการวัดผลการทดลองของชิ้นงานทั้ง 11 ชิ้น ที่มีอุณหภูมิในการจุ่มโลหะบัดกรีที่มีส่วนผสม Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu ที่ต่างกัน จากการตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และทำการวัดค่าต่างๆ ของแต่ละชิ้นงานด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ได้ผลการดำเนินการจากการทดลองดังนี้

1. รูปของชิ้นงานที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
 2. ผลจากการวัดด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS
- จากการดำเนินการวัดค่าชิ้นงานทั้ง 11 ชิ้น โดยจะทำการวัดค่าชิ้นงานแต่ละชิ้น ชิ้นละ 3 ตำแหน่ง

4.1 ตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับผลการวิเคราะห์ด้วย SEM และ EDS

โดยผลการทดลองของ EDS จะแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่งในแต่ละชิ้นงาน

4.1.1 ตัวแปรต่าง ๆ ในตารางของส่วนผสมภายในชิ้นงานมีดังนี้

1. Spectrum (ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ EDS)
2. Element (ส่วนประกอบของธาตุ)
3. App Conc. (ค่าความหนาแน่นของแต่ละธาตุ)
4. Intensity (ความเข้มข้นของพื้นที่ได้กราฟของธาตุ)
5. Weight % (ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุ)
6. Weight % Sigma (ค่าเบี่ยงเบนของน้ำหนักแต่ละธาตุ)
7. Atomic (%ของน้ำหนักอะตอม)

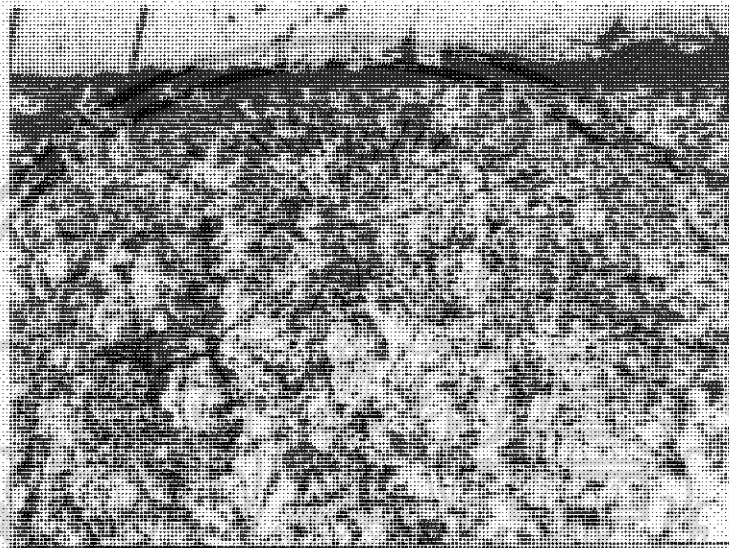
4.1.2 ตัวแปรที่เกี่ยวกับเครื่อง SEM และ EDS

1. K, L (ระดับชั้นของพลังงาน)
2. Magnification (กำลังขยาย)
3. Accelerating voltage (kV) (กระแสที่จ่ายให้กระบวนการ EDS)
4. Process time (ช่วงเวลาดำเนินการสทัญญาณรบกวนของสัญญาณ X-ray ในกระบวนการ EDS)
5. Sn (ดีบุก)
6. Cu (ทองแดง)

4.2 ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์

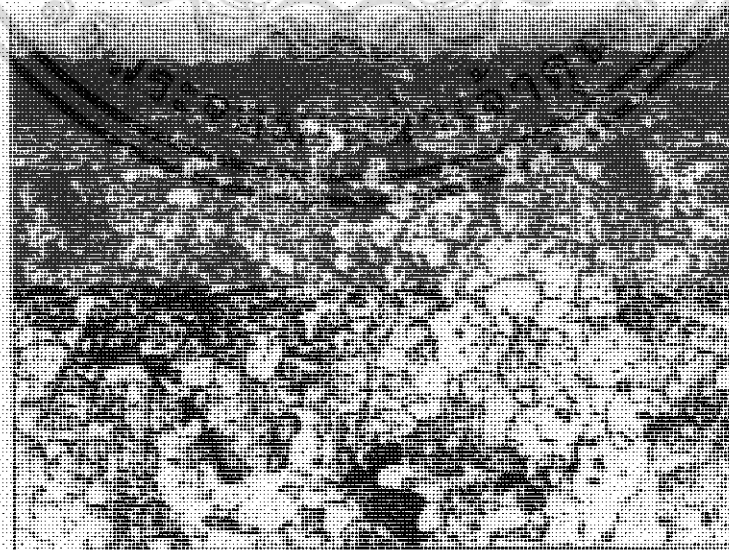
จากภาพด้านล่างเป็นภาพที่ได้จากการกัดกรดที่มีส่วนผสมระหว่าง กรด ไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ กับ เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซ็นต์ ผสมในอัตราส่วน 20 ต่อ 80 โดยกัดกรดทั้งหมด 11 ชั่วโมงและนำมาทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อหาโครงสร้างภายในชิ้นงานโดยเริ่มที่ Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu ตามลำดับ

4.2.1 ชิ้นงานที่ 1 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส



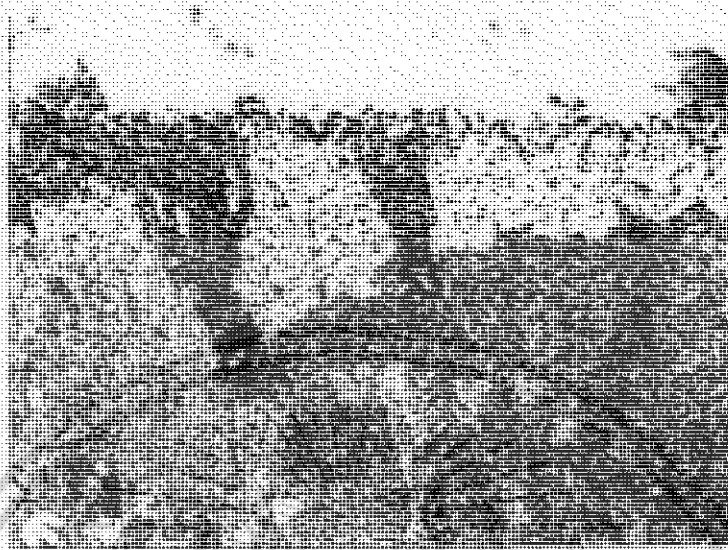
รูปที่ 4-1 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

4.2.2 ชิ้นงานที่ 2 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 260 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-2 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส

4.2.3 **ชิ้นงานที่ 3 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 270 องศาเซลเซียส**



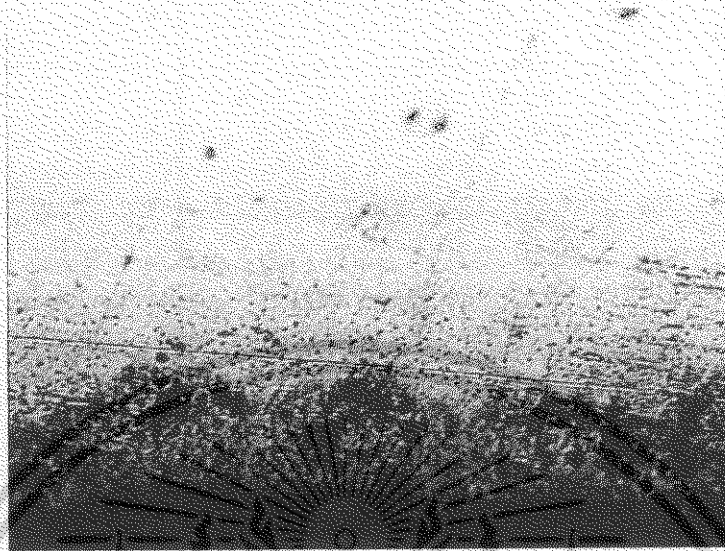
รูปที่ 4-3 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส

4.2.4 **ชิ้นงานที่ 4 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 290 องศาเซลเซียส**



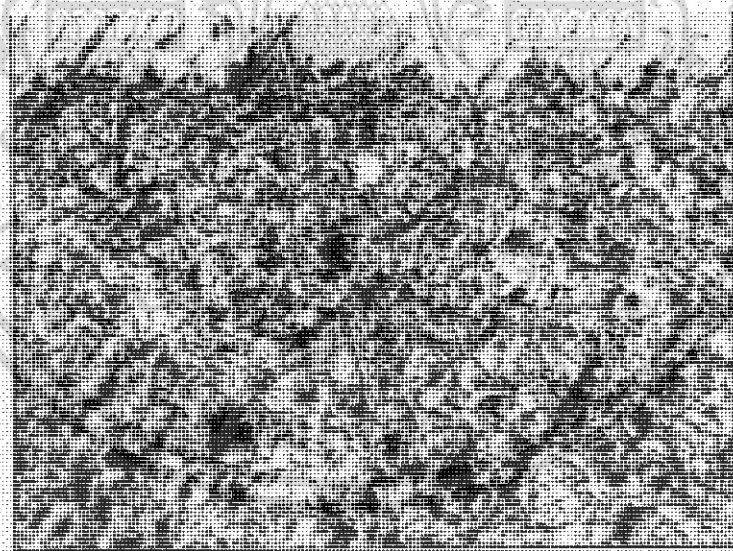
รูปที่ 4-4 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส

4.2.5 ชิ้นงานที่ 5 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 300 องศาเซลเซียส



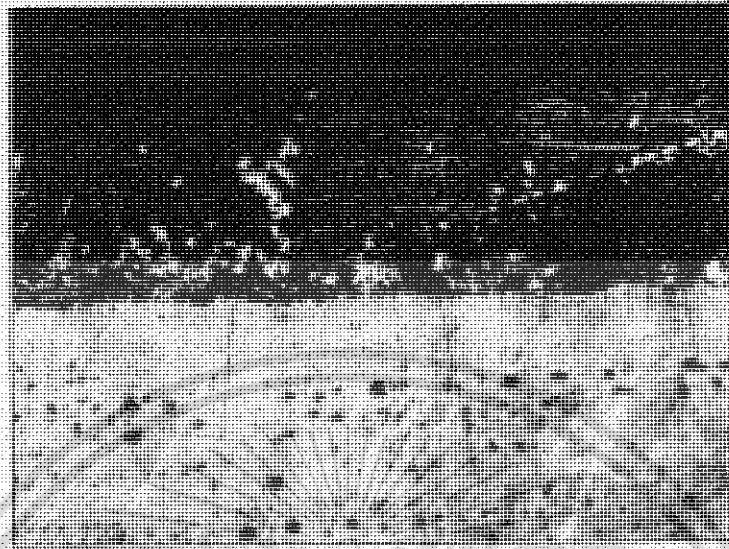
รูปที่ 4-5 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.2.6 ชิ้นงานที่ 6 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 330 องศาเซลเซียส



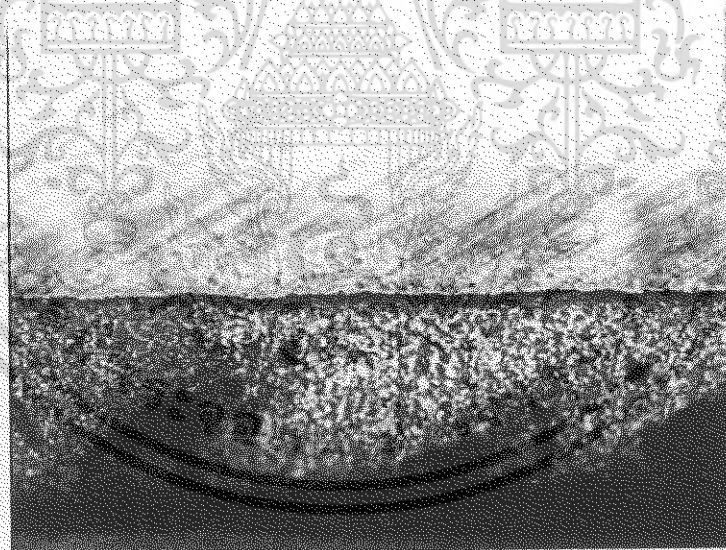
รูปที่ 4-6 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส

4.2.7 **ชิ้นงานที่ 7 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 350 องศาเซลเซียส**



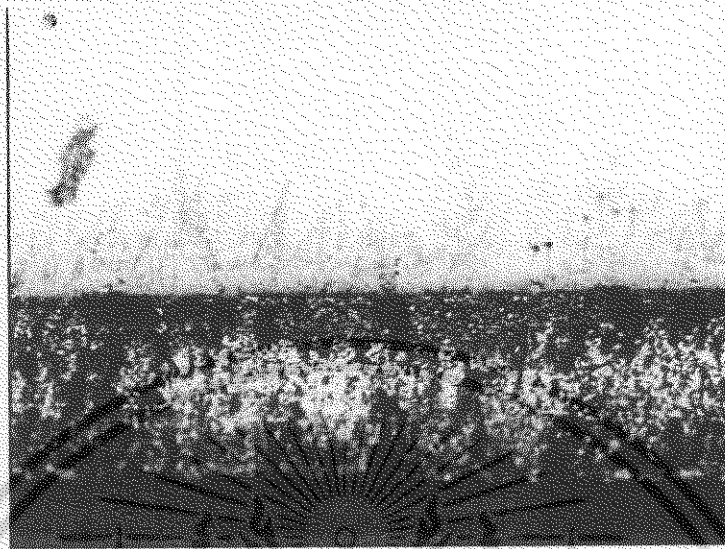
รูปที่ 4-7 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

4.2.8 **ชิ้นงานที่ 8 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 360 องศาเซลเซียส**



รูปที่ 4-8 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส

4.2.9 ชิ้นงานที่ 9 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 370 องศาเซลเซียส



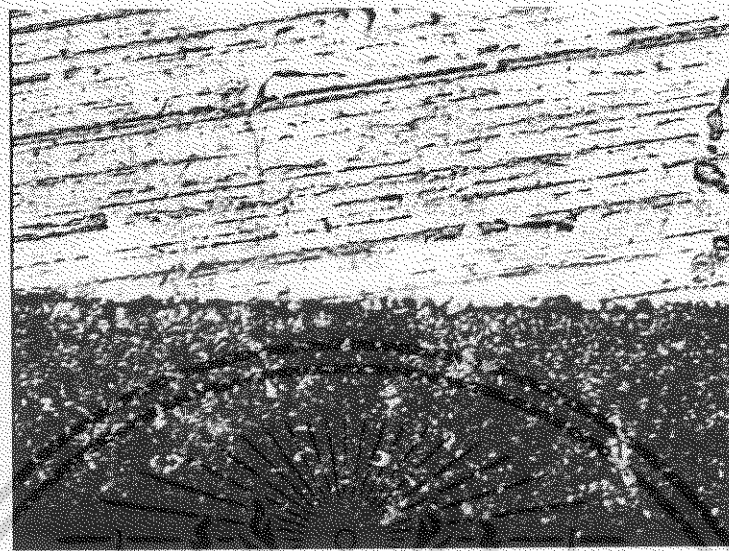
รูปที่ 4-9 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส

4.2.10 ชิ้นงานที่ 10 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 380 องศาเซลเซียส

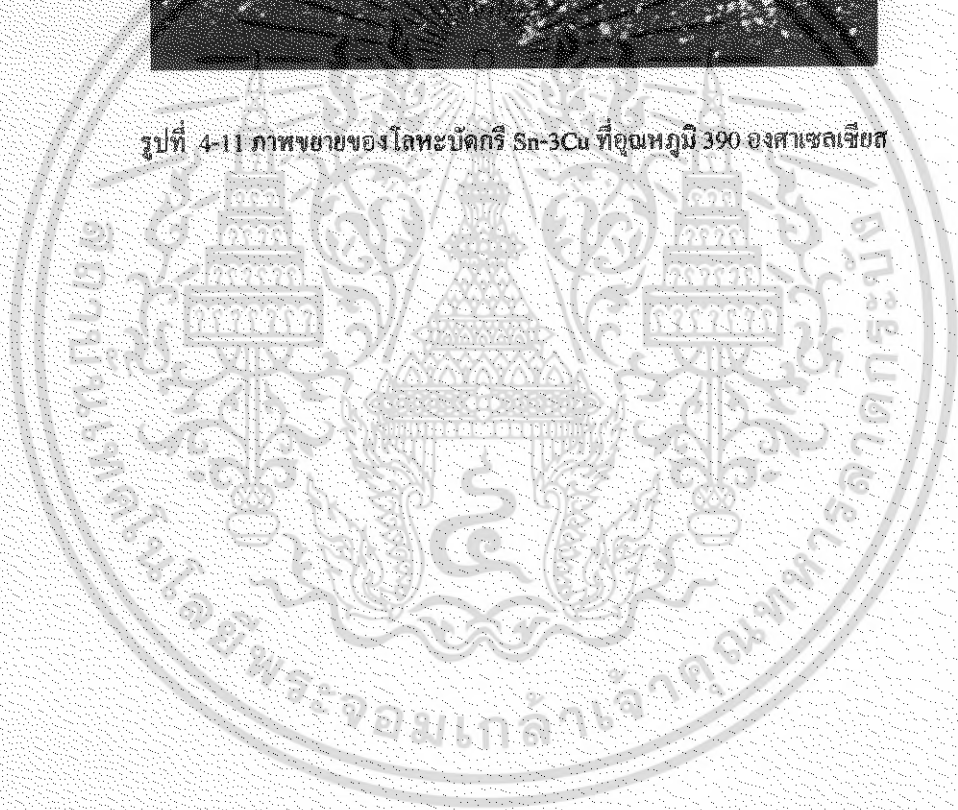


รูปที่ 4-10 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส

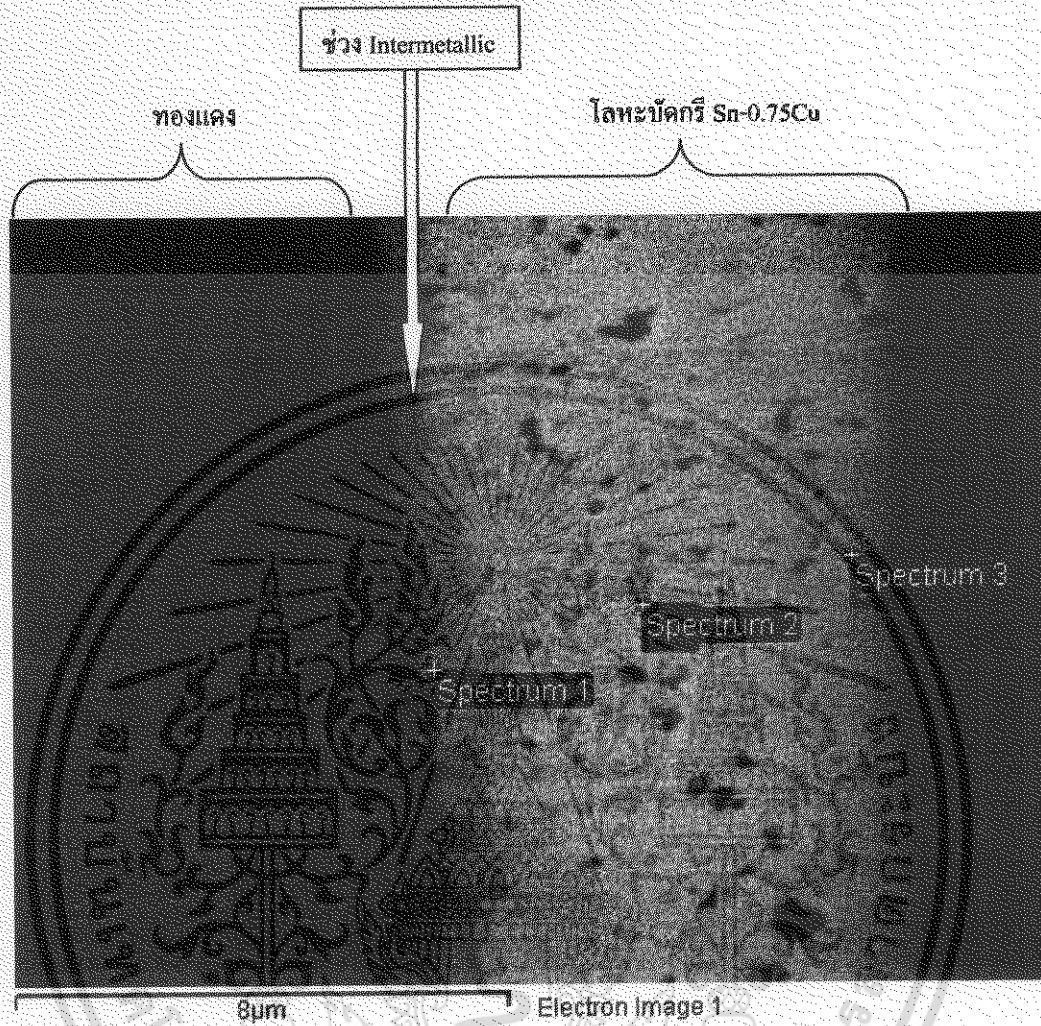
4.2.11 ชิ้นงานที่ 11 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 390 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-11 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส



4.3 ตัวอย่างของภาพจากการวิเคราะห์ด้วย SEM และ EDS



4-12 รูปตัวอย่างของ SEM และ EDS

Magnification: 3000 X

Accelerating voltage (kV): 15.00

Process time: 4

ค่านี้หนักรวมกัน
จะเท่ากับ 100%

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
2	Cu L	11.41	0.4003	28.62	1.03	34.25
	Sn L	67.38	0.9479	71.38	1.03	11.21
3	Cu L	9.43	0.3894	25.53	1.08	18.89
	Sn L	67.32	0.9533	74.47	1.08	16.71

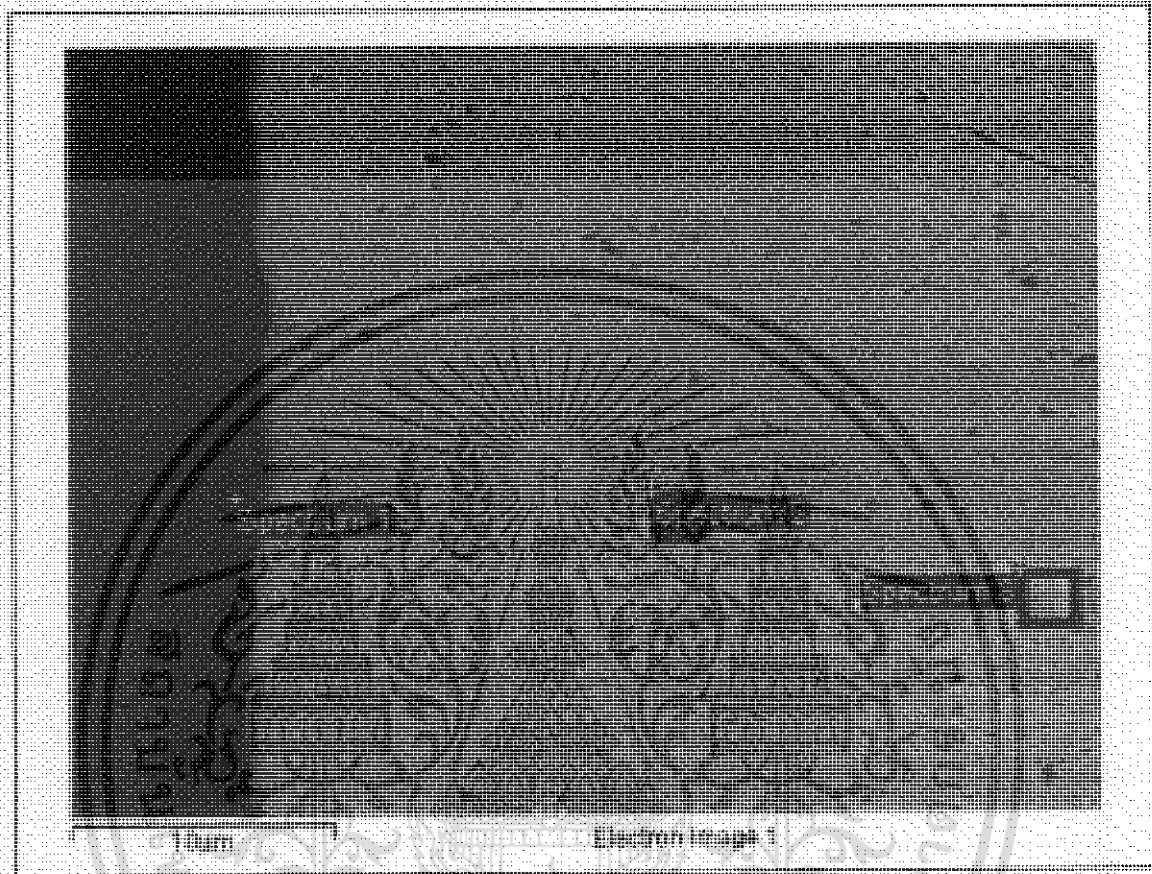
4.3.1 จากภาพและตารางด้านบนสามารถวิเคราะห์ออกมาได้ดังนี้

ฝั่งซ้ายจะเป็นส่วนของทองแดงและส่วนที่ถูกครีซีลงมาในช่วง Intermetallic คือช่วงที่มีส่วนผสมของทองแดงและโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทั้ง 2 ชนิด คือ Sn-0.75Cu และ Sn-3Cu และส่วนถัดมาทางขวาเป็นส่วนของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว โดยการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ EDS จะเริ่มวิเคราะห์ตั้งแต่ด้านซ้ายมาด้านขวา โดยจะเริ่มจุดที่มีการ Intermetallic และส่วนถัดมาเริ่มเข้ามาทางด้านขวาคือส่วนของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทั้ง 2 ชนิด โดยในส่วนนี้จะวิเคราะห์เมื่อระยะห่างมาเรื่อย ๆ จะมีส่วนผสมของทองแดงและดีบุกเท่าไร และจุดสุดท้ายเป็นจุดที่ออกห่างจากจุดที่มีการ Intermetallic มากที่สุดในส่วนจะมีส่วนของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วมากที่สุดเพราะไม่มีผลกระทบจากการ Intermetallic กัน โดยชิ้นที่นำมาทดสอบมีทั้งหมด 11 ชิ้น และมีการวิเคราะห์เหมือนกับตัวอย่างทั้งหมดทั้ง 11 ชิ้นงาน



4.4 ผลที่ได้จากการใช้เครื่อง SEM และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ EDS

4.4.1 ภาพภาพที่ 1 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-13 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ก่าดังขยาย 3000 เท่า
กระแสไฟที่จ่ายให้กระบวนการเท่ากับ 15 กิโลโวลต์
ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เท่ากับ 4

ตารางที่ 4-1 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยชิ้นงาน Sn-0.75Cu ที่ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
2	Cu L	11.41	0.4003	28.62	1.03	42.82
	Sn L	67.38	0.9479	71.38	1.03	57.18
3	Cu L	9.43	0.3894	25.53	1.08	39.04
	Sn L	67.32	0.9533	74.47	1.08	60.96

4.4.1.1 ชิ้นงานที่ 1 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 3000 เท่า และใช้กระแสไฟที่จ่ายให้กับกระบวนการเท่ากับ 15 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยใช้เวลาในการลดสัญญาณรบกวนเท่ากับ 4

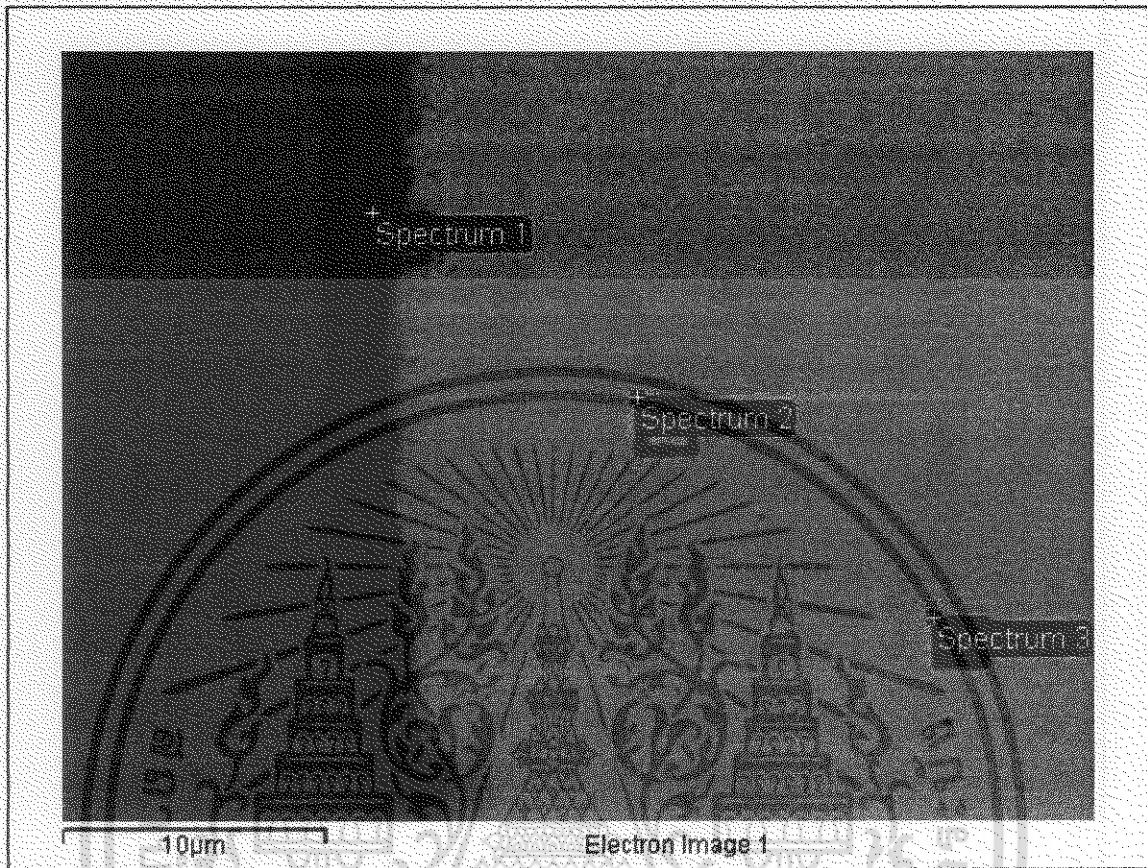
ในสเปคตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 28.62 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 71.38 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 42.82 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 57.18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 11.41 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 67.38 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.03 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.03

ในสเปคตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 25.53 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 74.47 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 39.04 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 60.96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 9.43 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 67.32 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.08 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.08

4.4.2 จินงานที่ 2 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 260 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-14 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ก้ำดังขยอ 3000 เท่า
 กระแสไฟที่อ่ำยให้กระบวนกรเพ่ำกับ 15 กิโลโวลต์ครอนโวลต์
 ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เพ่ำกับ 4

4-2 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยจินงาน Sn-0.75Cu ที่ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corm.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
2	Cu L	12.88	0.4136	32.19	1.05	47.00
	Sn L	61.78	0.9418	67.81	1.05	53.00
3	Cu L	10.57	0.3973	27.78	1.07	41.81
	Sn L	65.67	0.9494	72.22	1.07	58.19

4.4.2.1 ชิ้นงานที่ 2 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 260 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 3000 เท่า และใช้กระแสไฟที่จ่ายให้กับกระบวนการเท่ากับ 15 อิลেকตรอนโวลต์ โดยใช้เวลาในการลดสัญญาณรบกวนเท่ากับ 4

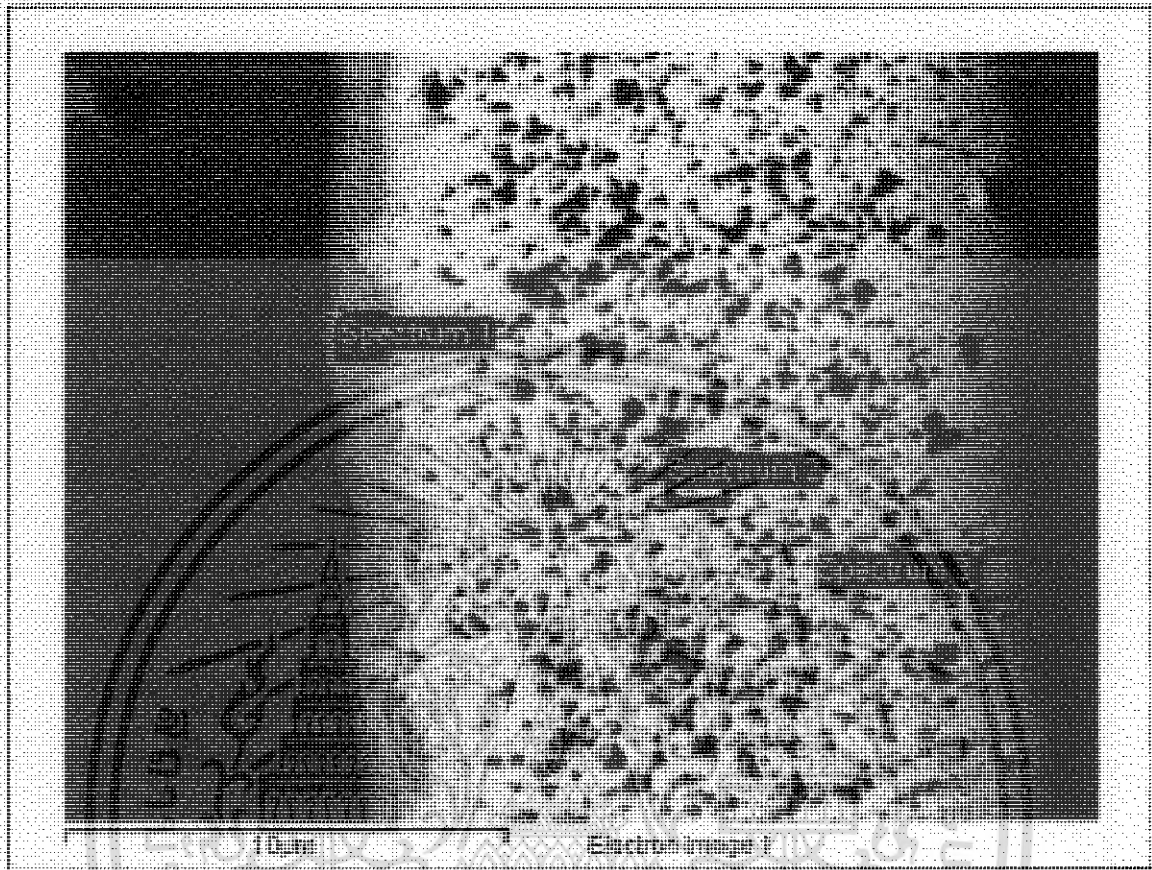
ในสเปกตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 32.19 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 67.81 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 47.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 53.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 12.88 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 61.78 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.05 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.05

ในสเปกตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 27.78 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 72.22 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 41.81 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 58.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 10.57 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 65.67 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.07 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.07

4.4.3 **ชิ้นงานที่ 3 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 270 องศาเซลเซียส**



รูปที่ 4-15 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส

จากตารางที่กำลังขยาย 5000 เท่า
กระแสไฟที่จ่ายให้กระบวนการเท่ากับ 15 กิโลวัตต์แอมแปร์
ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เท่ากับ 4

4-3 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยชิ้นงาน Sn-0.75Cu ที่ อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corm.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
1	Cu L	29.89	0.5598	62.05	1.25	34.25
	Sn L	27.88	0.8541	37.95	1.02	11.21
2	Cu L	14.66	0.4433	37.70	1.02	18.89
	Sn L	47.43	0.8683	62.30	1.15	16.71
3	Cu L	12.87	0.4329	35.55	1.12	20.26
	Sn L	47.52	0.8816	64.45	1.33	19.66

4.4.3.1 ชิ้นงานที่ 3 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 270 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 5000 เท่า และใช้กระแสไฟที่จ่ายให้กับกระบวนการเท่ากับ 15 อิลেকตรอนโวลต์ โดยใช้เวลาในการลดสัญญาณรบกวนเท่ากับ 4

ในสเปกตรัมที่ 1

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 62.05 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 37.95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 34.25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 11.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 29.89 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 27.88 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.25 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.02

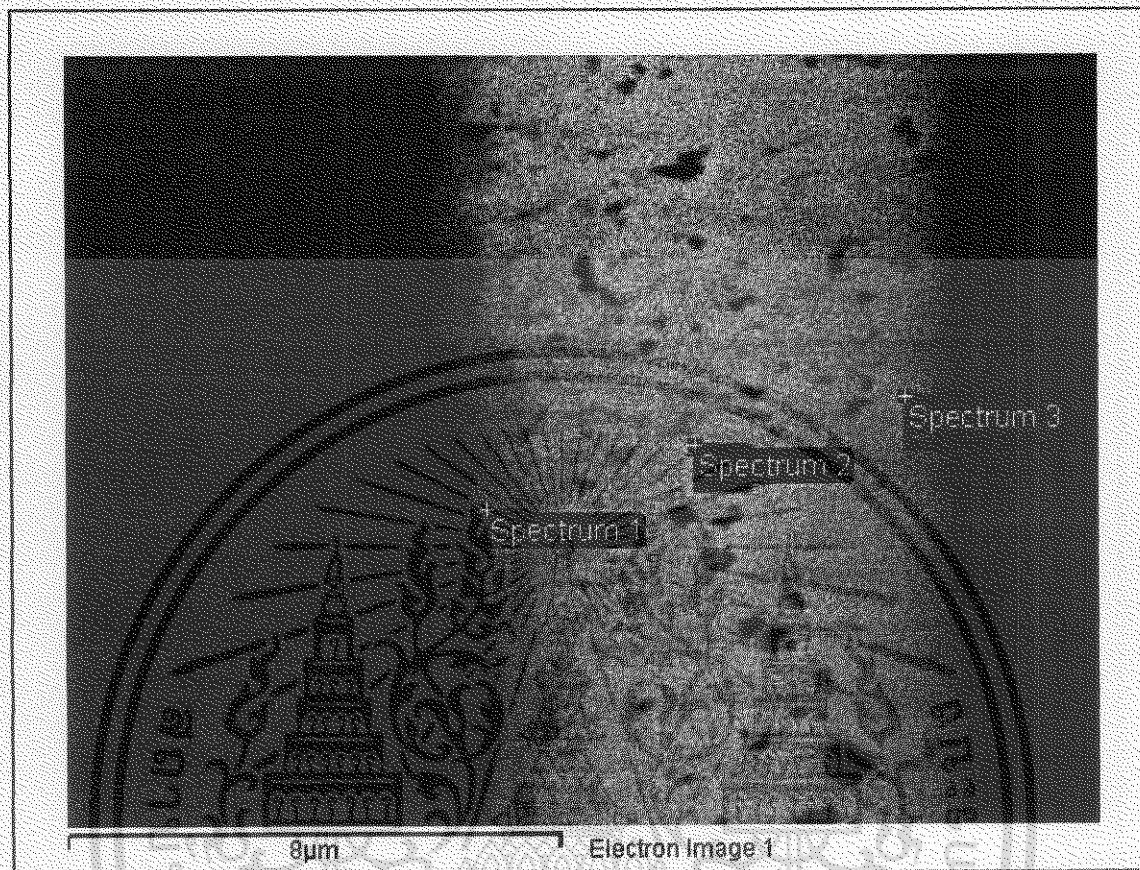
ในสเปกตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 37.70 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 62.30 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 18.89 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 16.71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 14.66 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 47.52 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.02 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.15

ในสเปกตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 35.55 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 64.45 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 20.26 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 19.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 12.87 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 47.52 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.12 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.33

4.4.4 ชิ้นงานที่ 4 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 290 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-16 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส

จากตารางที่กำลังขยาย 7000 เท่า
 กระแสไฟที่จ่ายให้กระบวนการเท่ากับ 15 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์
 ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เท่ากับ 4

4-4 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยชิ้นงาน Sn-0.75Cu ที่ อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
1	Cu L	29.91	0.5640	63.93	0.84	28.15
	Sn L	26.26	0.8409	37.07	0.67	8.88
2	Cu L	15.62	0.4498	39.26	1.11	23.93
	Sn L	47.38	0.8824	60.74	1.26	19.82
3	Cu L	14.03	0.4443	38.26	1.13	20.86
	Sn L	44.62	0.8762	61.74	1.28	18.01

4.4.4.1 ชิ้นงานที่ 4 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 290 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 7000 เท่า และใช้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกระบวนการเท่ากับ 15 อิลเลคตรอนโวลต์ โดยใช้เวลาในการลดสัญญาณรบกวนเท่ากับ 4

ในสเปคตรัมที่ 1

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 63.93 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 37.07 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 28.15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 8.88 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 29.91 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 26.26 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 0.84 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 0.67

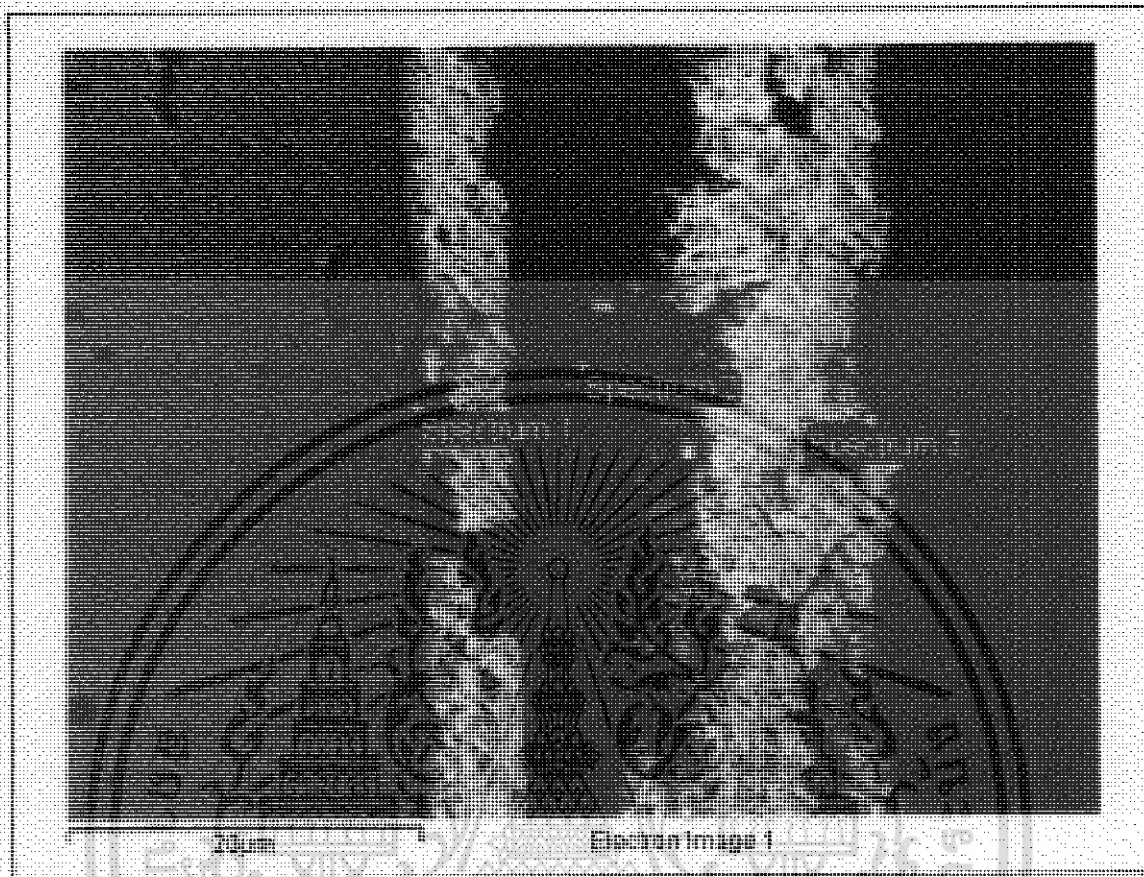
ในสเปคตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 39.26 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 60.74 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 23.93 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 19.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 15.62 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 47.38 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.11 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.26

ในสเปคตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 38.26 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 61.74 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 20.86 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 18.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 14.03 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 44.62 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.13 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.28

4.4.5 **ชิ้นงานที่ 3 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส**



รูปที่ 4-17 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ก้ำดังขยขย 2000 เท่า
 กระแสไฟที่จ่ายให้กระบวนการเท่ากับ 15 กิโลโวลต์ครอนโวลต์
 ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เท่ากับ 4

4-5 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยชิ้นงาน Sn-0.75Cu ที่ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
1	Cu L	22.80	0.5069	52.40	1.03	19.06
	Sn L	34.17	0.8365	47.60	0.95	9.27
2	Cu L	27.03	0.6007	76.71	1.07	14.70
	Sn L	10.68	0.7823	23.29	0.67	2.39
3	Cu L	13.41	0.4523	38.92	1.13	18.09
	Sn L	40.25	0.8653	61.08	1.26	15.20

4.4.5.1 ชิ้นงานที่ 5 Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 300 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 2000 เท่า และใช้กระแสไฟที่จ่ายให้กับกระบวนการเท่ากับ 15 อิลেকตรอนโวลต์ โดยใช้เวลาในการลดสัญญาณรบกวนเท่ากับ 4

ในสเปกตรัมที่ 1

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 52.40 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 47.60 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 19.06 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 9.27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 22.80 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 34.17 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.03 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 0.95

ในสเปกตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 76.71 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 23.29 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 14.70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 2.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 27.03 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 10.68 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.07 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 0.67

ในสเปกตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 38.92 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 61.08 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 18.09 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 15.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 13.41 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 40.25 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.13 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.26

4.4.6 สรूपโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.75Cu

ในโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.75Cu สังเกตเห็นว่าในตำแหน่งแรกที่เป็น Intermetallic จะมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุส่วนของทองแดงที่ไม่ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุส่วนของดีบุกจะไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ ในทุก ๆ จุดหมุมในการทดลอง อาจจะเป็นช่วงนี้อยู่ใกล้กับทองแดงมากที่สุดทำให้มีค่าของทองแดงมากกว่าดีบุก

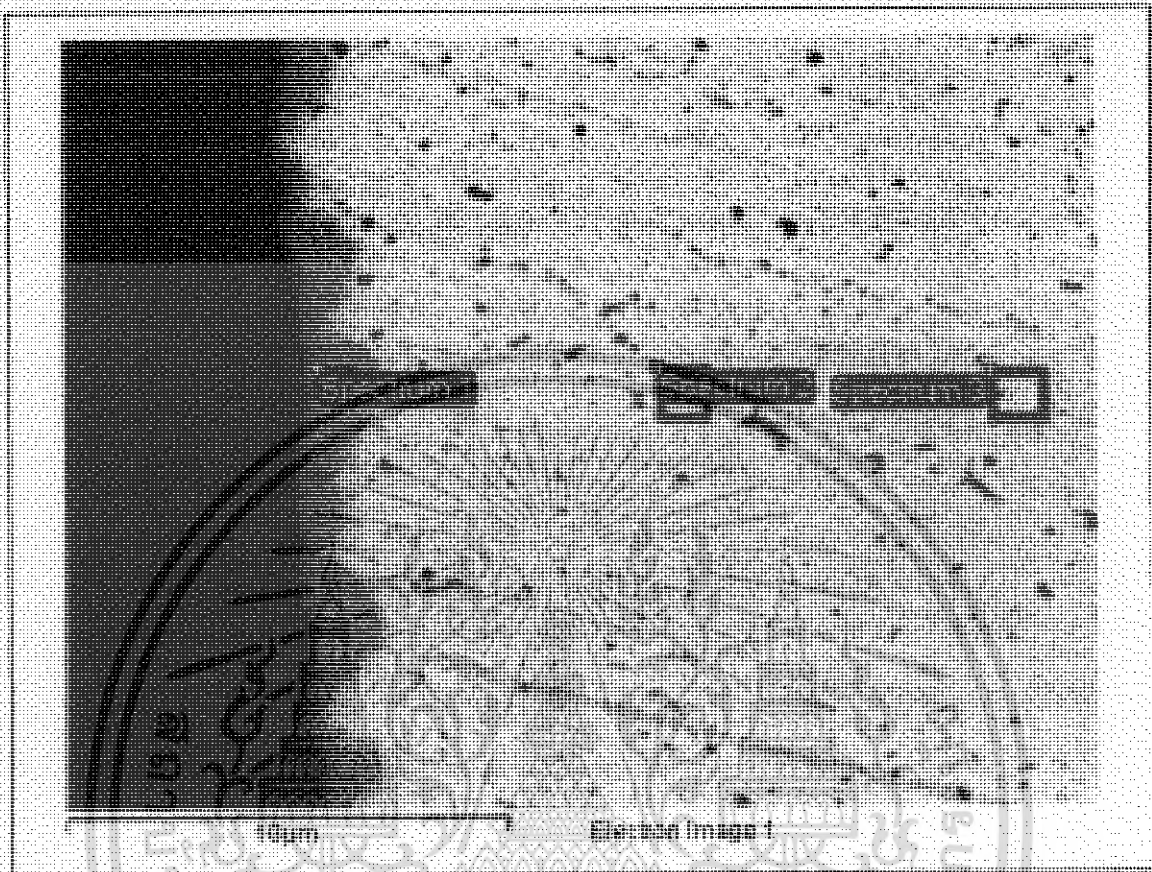
ในตำแหน่งที่ 2 จะมีส่วนค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกมากกว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดง เพราะพื้นที่ในส่วนนี้อยู่ห่างช่วง Intermetallic

และในตำแหน่งที่ 3 จะมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกมากที่สุด เพราะพื้นที่นี้แทบไม่มีผลกระทบเกี่ยวกับ Intermetallic

และที่สังเกตเห็นว่าในโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.75Cu ที่อุณหภูมิที่ 250 กับที่อุณหภูมิที่ 260 ค่าน้ำหนักของอะตอมทั้ง 2 ชนิดคือดีบุกและทองแดง รวมกันเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบแค่ใน 2 จุดหมุมนี้นั่น



4.4.1 **ขั้นตอนที่ 6 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส**



รูปที่ 4-18 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ค่าตั้งขยาย 5000 เท่า
กระแสไฟที่จ่ายให้กระบวนการเท่ากับ 15 กิโลวัตต์ครอนโวลต์
ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เท่ากับ 4

4-6 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยชิ้นงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
1	Cu L	25.28	0.5185	54.22	1.15	32.59
	Sn L	35.68	0.8671	45.78	1.06	14.73
2	Cu L	13.15	0.4266	33.35	1.07	30.39
	Sn L	56.41	0.9162	66.65	1.21	32.50
3	Cu L	12.40	0.4208	31.70	1.05	28.62
	Sn L	58.22	0.9177	68.30	1.20	32.99

4.4.7.1 ชิ้นงานที่ 6 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 330 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 5000 เท่า และใช้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกระบวนการเท่ากับ 15 อิลคตรอน โวลต์ โดยใช้เวลาในการลดสัญญาณรบกวนเท่ากับ 4

ในสเปกตรัมที่ 1

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 54.22 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 45.78 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 32.59 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 14.73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 25.28 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 35.68 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.15 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.06

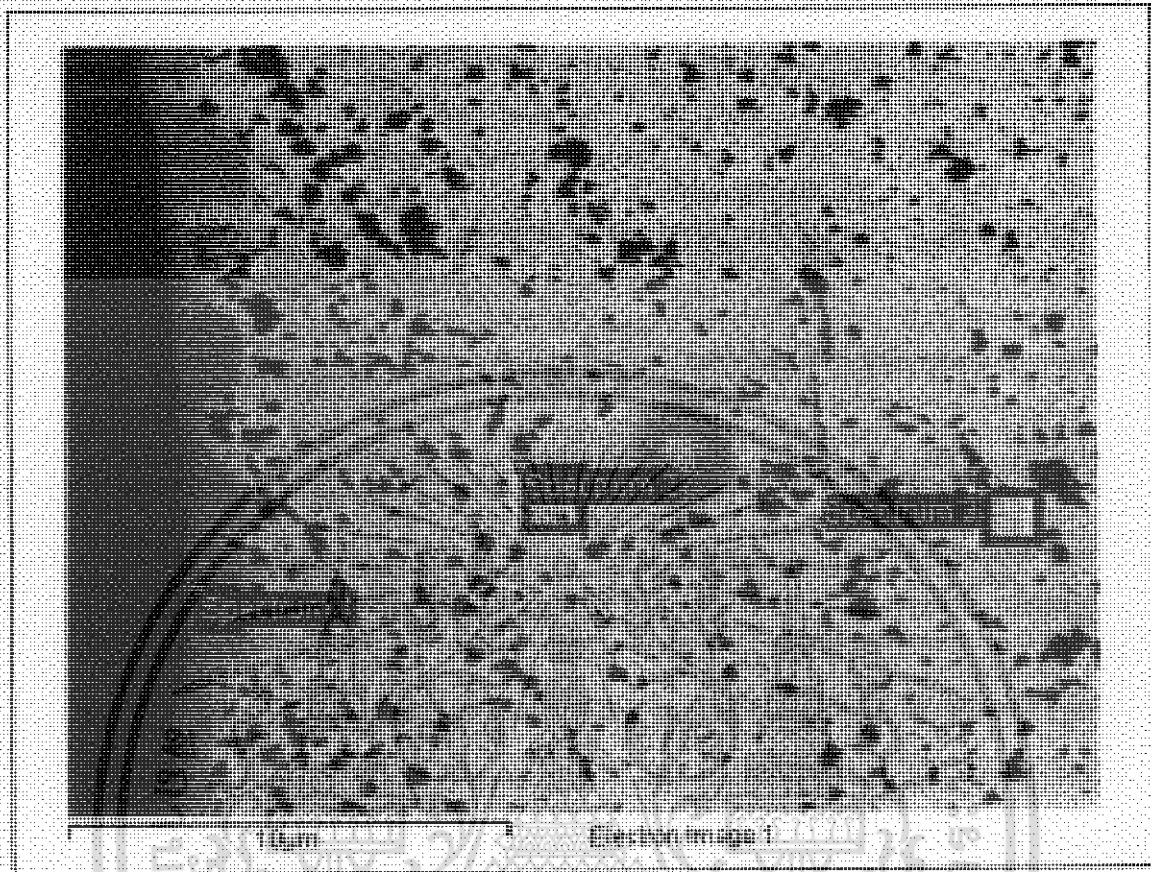
ในสเปกตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 33.35 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 66.65 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 30.39 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 32.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 13.15 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 56.41 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.07 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.21

ในสเปกตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 31.70 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 68.30 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 28.62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 32.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 12.40 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 58.22 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.05 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.20

4.4.3 ภาพที่ 4-19 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-19 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

จากตารางที่กล่าวถึงขยาย 5000 เท่า
กระแสไฟที่จ่ายให้กระบวนการเท่ากับ 15 กิโลโวลต์ครอนโวลต์
ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เท่ากับ 4

4-7 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยชิ้นงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
1	Cu L	25.07	0.5148	54.11	1.18	38.59
	Sn L	36.22	0.8765	45.89	1.09	17.52
2	Cu L	13.37	0.4263	33.51	1.08	38.66
	Sn L	57.73	0.9270	66.49	1.24	41.06
3	Cu L	12.48	0.4160	31.09	1.03	26.24
	Sn L	60.62	0.9111	68.91	1.29	31.13

4.4.8.1 ชิ้นงานที่ 7 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 350 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 5000 เท่า และใช้กระแสไฟที่จ่ายให้กับกระบวนกรเท่ากับ 15 อิลเตรอนโวลต์ โดยใช้เวลาในการลศสัญญาณรบกวนเท่ากับ 4

ในสเปคตรัมที่ 1

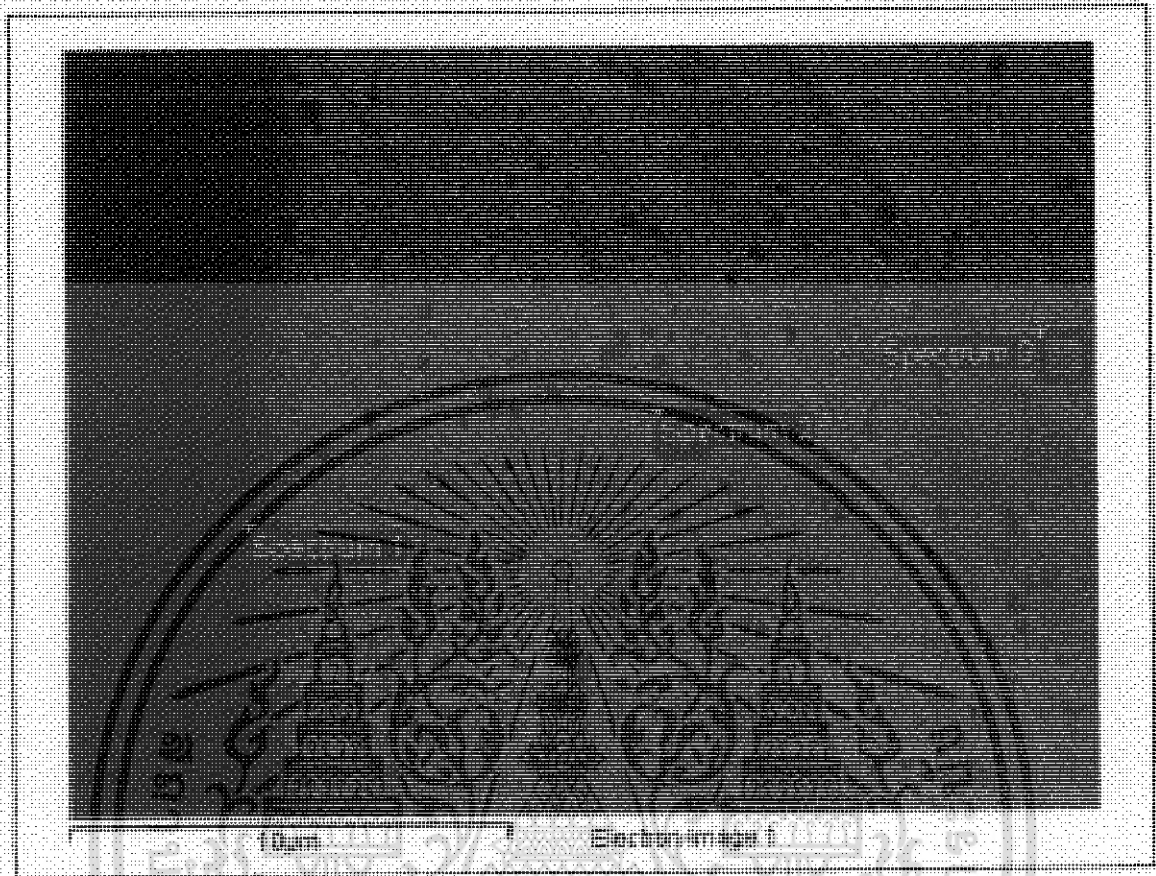
ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 54.11 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 45.89 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 38.59 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 17.52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 25.07 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 36.22 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.18 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.09

ในสเปคตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 33.51 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 66.49 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 38.66 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 41.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 13.37 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 57.73 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.08 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.24

ในสเปคตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 31.09 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 68.91 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 26.24 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 31.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 12.48 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 60.62 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.03 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.29



รูปที่ 4-20 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ก้ำดังขยขย 5000 เท่า
กระแสไฟที่จ่ายให้กระบวนกรเท่ากับ 15 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์
ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เท่ากับ 4

4-8 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยชิ้นงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
1	Cu L	27.22	0.5406	57.01	1.17	37.37
	Sn L	33.02	0.8700	42.99	1.05	15.08
2	Cu L	15.74	0.4487	38.81	1.10	24.98
	Sn L	49.00	0.8865	61.19	1.25	21.08
3	Cu L	14.72	0.4427	37.06	1.07	22.06
	Sn L	49.89	0.8840	62.94	1.25	20.06

4.4.9.1 ชิ้นงานที่ 8 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 360 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 5000 เท่า และใช้กระแสไฟที่จ่ายให้กับกระบวนการเท่ากับ 15 อิลคตรอนโวลต์ โดยใช้เวลาในการทดสอบประมาณเท่ากับ 4

ในสเปกตรัมที่ 1

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 57.01 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 42.99 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 37.37 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 15.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 25.22 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 32.02 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.17 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.05

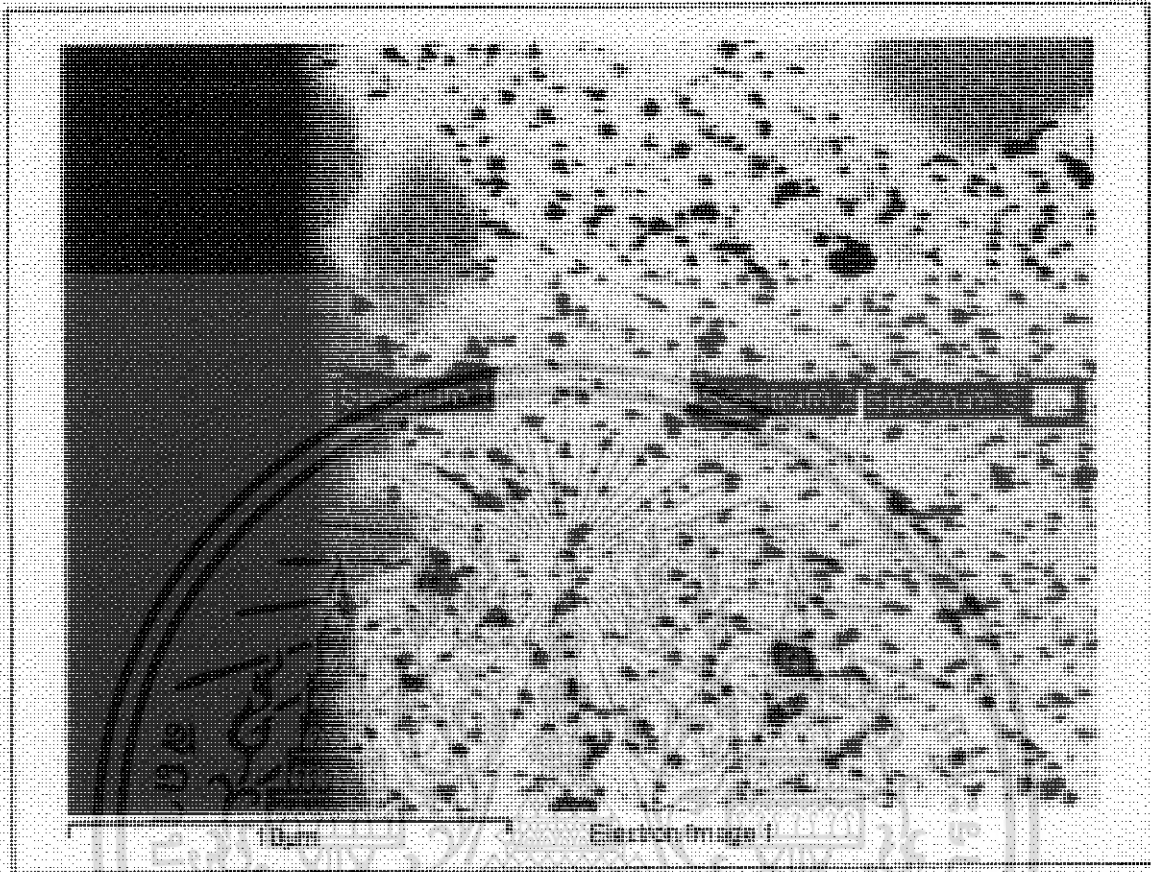
ในสเปกตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 38.81 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 61.19 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 24.98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 21.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 15.74 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 49.00 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.10 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.25

ในสเปกตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 37.06 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 62.94 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 22.06 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 20.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 14.72 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 49.89 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.07 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.25

4.4.10 ชั้นบนที่ 9 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 370 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-21 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส

จากตารางที่กำลังขยาย 5000 เท่า

กระแสไฟที่จ่ายให้กระบวนการเท่ากับ 15 กิโลวัตต์ครอนโวลต์

ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เท่ากับ 4

4-9 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยชั้นงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
1	Cu L	26.87	0.5283	55.98	1.16	33.54
	Sn L	34.55	0.8642	44.02	1.04	14.12
2	Cu L	13.37	0.4272	33.42	1.03	21.52
	Sn L	55.58	0.8911	66.58	1.24	22.96
3	Cu L	12.31	0.4238	32.64	1.05	20.31
	Sn L	53.30	0.8891	67.36	1.29	22.44

4.4.10.1 ชิ้นงานที่ 9 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 370 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 5000 เท่า และใช้กระแสไฟที่จ่ายให้กับกระบวนการเท่ากับ 15 อิลেকตรอนโวลต์ โดยใช้เวลาในการลดสัญญาณรบกวนเท่ากับ 4

ในสเปกตรัมที่ 1

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 55.98 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 44.02 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 33.54 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 14.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 26.87 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 34.55 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.16 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.04

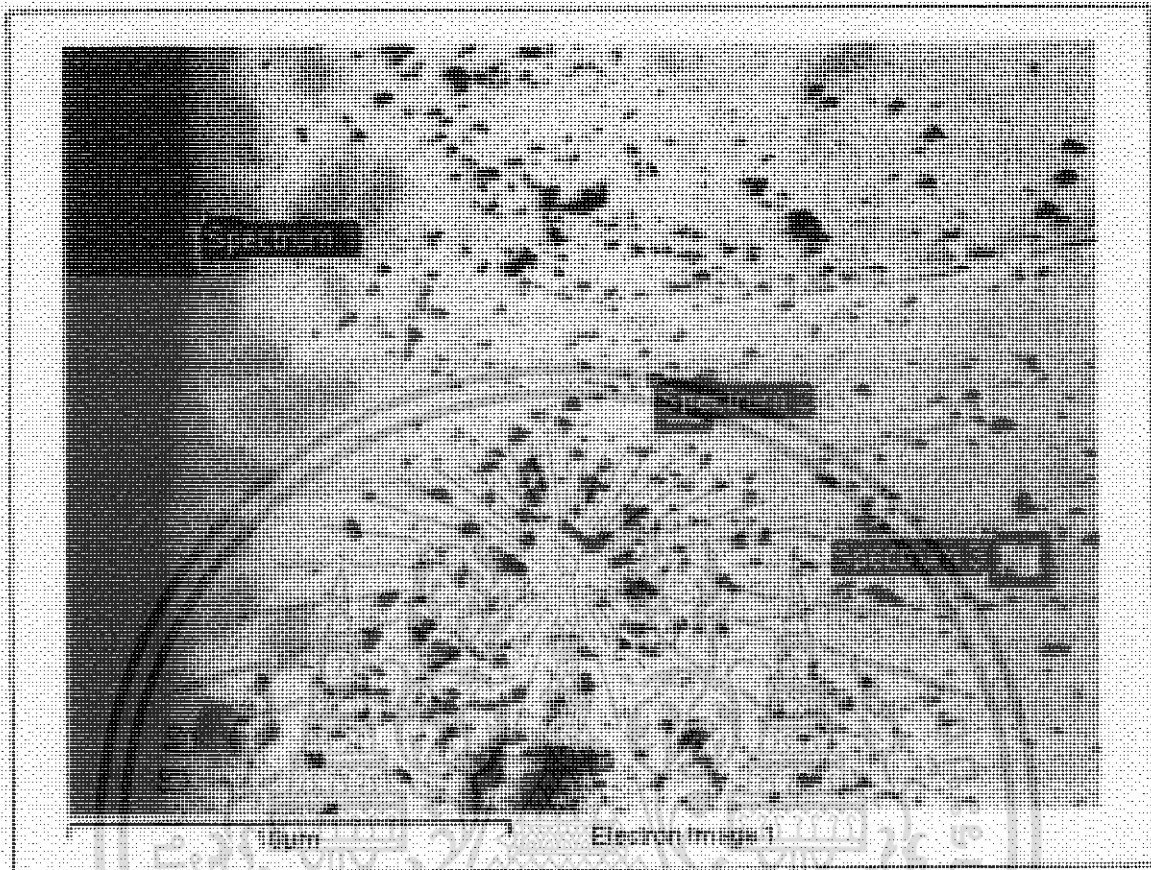
ในสเปกตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 33.42 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 66.58 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 21.52 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 22.96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 13.37 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 55.58 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.03 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.24

ในสเปกตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 32.64 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 67.36 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 20.31 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 22.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 12.31 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 53.30 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.05 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.29

4.4.11 ภาพแผนที่ EDX ของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-22 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ก่าดังขยาย 5000 เท่า
กระแสไฟที่จ่ายให้กระบวนการเท่ากับ 15 กิโลโวลต์ครอนโวลต์
ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เท่ากับ 4

4-10 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยชิ้นงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
1	Cu L	29.24	0.5415	58.74	1.16	32.84
	Sn L	32.52	0.8582	41.26	0.99	12.35
2	Cu L	12.80	0.4301	34.10	1.07	19.34
	Sn L	50.70	0.8814	65.90	1.28	20.00
3	Cu L	12.26	0.4247	32.40	1.04	18.60
	Sn L	53.29	0.8846	67.60	1.29	20.77

4.4.11.1 ชิ้นงานที่ 10 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 380 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 5000 เท่า และใช้กระแสไฟที่จ่ายให้กับกระบวนการเท่ากับ 15 อิลেকตรอนโวลต์ โดยใช้เวลาในการทดสอบประมาณเท่ากับ 4

ในสเปคตรัมที่ 1

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 58.74 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 41.26 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 32.84 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 12.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 29.24 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 32.52 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.16 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 0.99

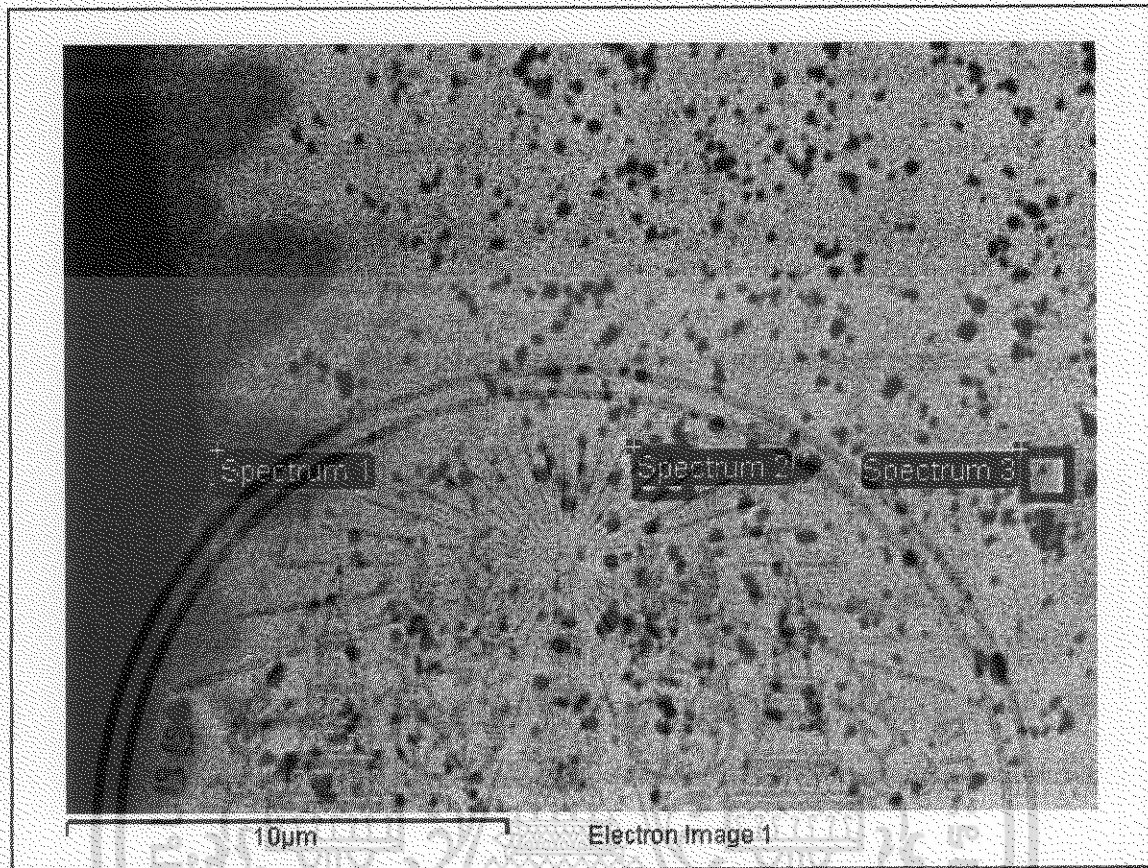
ในสเปคตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 34.10 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 65.90 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 19.34 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 20.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 12.80 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 50.70 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.07 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.28

ในสเปคตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 32.40 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 67.60 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 18.60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 20.77 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 12.26 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 53.29 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.04 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.29

4.4.12 ชิ้นงานที่ 11 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 390 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4-23 ภาพขยายของโลหะบัดกรี Sn-3Cu ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส

จากตารางที่กำลังขยาย 5000 เท่า

กระแสไฟที่จ่ายให้กระบวนกรเท่ากับ 15 กิโลแอมแปร์อนโวลต์

ช่วงเวลาที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน (Noise) เท่ากับ 4

4-11 ตารางการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS ด้วยชิ้นงาน Sn-3Cu ที่ อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
1	Cu L	25.50	0.5285	55.09	1.17	41.16
	Sn L	34.57	0.8793	44.91	1.08	17.97
2	Cu L	13.22	0.4287	33.50	1.08	31.45
	Sn L	56.12	0.9163	66.50	1.24	33.44
3	Cu L	12.58	0.4220	32.22	1.06	30.02
	Sn L	57.62	0.9189	67.78	1.21	33.81

4.4.12.1 ชิ้นงานที่ 11 Sn-3Cu ที่อุณหภูมิที่ 390 องศาเซลเซียส

จากภาพเป็นกำลังขยายของ SEM ที่ 5000 เท่า และใช้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกระบวนการเท่ากับ 15 อิลেকตรอนโวลต์ โดยใช้เวลาในการลดสัญญาณรบกวนเท่ากับ 4

ในสเปกตรัมที่ 1

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 55.09 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 44.91 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 41.16 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 17.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 25.50 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 34.57 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.17 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.08

ในสเปกตรัมที่ 2

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 33.50 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 66.50 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 31.45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 33.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 13.22 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 56.12 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.08 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.24

ในสเปกตรัมที่ 3

ในส่วนนี้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงมีค่าเท่ากับ 32.22 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 67.78 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุดีบุกและทองแดงรวมกันจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และส่วนต่อมาเป็นค่าน้ำหนักอะตอมของทองแดงเท่ากับ 30.02 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของค่าน้ำหนักอะตอมของดีบุกเท่ากับ 33.81 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ รวมกันแล้วจะไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าถัดมาเป็นค่าความหนาแน่นของธาตุทองแดงเท่ากับ 12.58 และค่าความหนาแน่นของธาตุดีบุกเท่ากับ 57.62 และมีค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุทองแดงเท่ากับ 1.06 และค่าความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของธาตุดีบุกเท่ากับ 1.21

4.4.13 สรุปโลหะบัดกรีชนิด Sn-3Cu

ในโลหะบัดกรีชนิด Sn-3Cu แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ตำแหน่ง โดยจะสังเกตเห็นว่าในโลหะบัดกรีชนิดนี้จะแตกต่างกับโลหะบัดกรี Sn-0.75Cu ตรงที่ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุในตำแหน่งที่ 1 ของโลหะบัดกรีชนิด Sn-3Cu ทุกช่วงอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงจะมีค่าไม่เกิน 60 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุคิงกไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุในโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.75Cu ซึ่งค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุทองแดงจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของคิงกไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเฉลี่ยอื่น ๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ EDS



บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคโลหะบัดกรีโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 11 ชิ้น ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และใช้เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Energy Dispersive X-Ray : EDS) ซึ่งจากผลที่ได้คือ (1) ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และ (2) ค่าต่างๆ ที่ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ หรือ ตำแหน่ง (Spectrum) สรุปได้ว่าอุณหภูมิบัดกรีมีผลต่อการเกิดของจุด โครงสร้างต่างๆ ที่บริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างแผ่นทองแดงกับโลหะบัดกรี

5.1.1 ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



ภาพที่ 5-1 ภาพจากการส่องกราดของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

5.1.2 ตารางของค่าค่าที่ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ หรือ ตำแหน่ง (Spectrum)

Spectrum	Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
1	Cu L	29.89	0.5598	62.05	1.25	34.25
	Sn L	27.88	0.8541	37.95	1.02	11.21
2	Cu L	14.66	0.4433	37.70	1.02	18.89
	Sn L	47.43	0.8683	62.30	1.15	16.71
3	Cu L	12.87	0.4329	35.55	1.12	20.26
	Sn L	47.52	0.8816	64.45	1.33	19.66

ตารางที่ 5-1 ของค่าค่าที่ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ

จากตารางที่ 5-1 จะประกอบด้วยค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ช่องที่ 1 คือ Spectrum (ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ EDS) จะมีทั้งหมด 3 ตำแหน่ง
2. ช่องที่ 2 คือ Element (ส่วนประกอบของธาตุ) ได้แก่ธาตุของทองแดงและธาตุดีบุก
3. ช่องที่ 3 คือ App Conc. (ค่าความหนาแน่นของแต่ละธาตุ)
4. ช่องที่ 4 คือ Intensity (ความเข้มข้นของพื้นที่ได้กราฟของธาตุ)
5. ช่องที่ 5 คือ Weight % (ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุ)
6. ช่องที่ 6 คือ Weight % Sigma (ค่าเบี่ยงเบนของน้ำหนักแต่ละธาตุ)
7. ช่องที่ 6 คือ Atomic (%ของน้ำหนักอะตอม)

5.2 ข้อเสนอแนะ

โดยผลในตารางที่ 5-1 ที่ได้มานั้นมาจากชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 11 ชิ้นแต่ละชิ้นงานนั้นจะมีความแตกต่างกันที่ ส่วนประกอบของธาตุ ค่าความหนาแน่นของแต่ละธาตุ ความเข้มข้นของพื้นที่ได้กราฟของธาตุ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของธาตุ ค่าเบี่ยงเบนของน้ำหนักแต่ละธาตุ และเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอะตอม ซึ่งมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และปริมาณของส่วนประกอบของธาตุทองแดงในโลหะบัดกรีที่ใช้ในการทดลอง โดยจากการวิเคราะห์ผลจากตารางทั้งหมด 11 ตารางก็พบว่า ที่จุด Spectrum 1 จะมีส่วนประกอบที่เป็นธาตุทองแดงมากกว่าธาตุดีบุก ส่วนจุด Spectrum 2 จะมีส่วนประกอบที่เป็นธาตุดีบุกมากกว่าธาตุทองแดง เพราะที่จุดนั้นเป็นส่วนของโลหะบัดกรีที่มีส่วนผสมธาตุทองแดงที่น้อยแต่จะมีธาตุดีบุกที่มากกว่าซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนผสมของโลหะบัดกรีที่นำมาใช้ในการบัดกรี

หนังสืออ้างอิง

- ASM Handbook Committee, 1973. Metals Handbook. 8th Edition. The American Society For Metal.
- Ralph W, Wood Gate, 1983. Handbook of Machine Soldering. A Wiley Interscience Publication : John Wiley & Sons.
- Iver E. Anderson, Frederich G.Yost, Feb.24, 1995. Iowa State University Research Foundation.
- William F. Smith. หนังสือวัสดุวิศวกรรม Principles of Materials Science & Engineering.
- สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร และ ปรีทรรศน์ พันธุ์บรรยงก์. โลหะวิทยาเชิงวิศวกรรม.
- ASM Handbook Volume 3 Alloy Phase Diagrams.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พท 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก-1 ใบแสดงการทดสอบทองแดงบริสุทธิ์



MILL TEST CERTIFICATE

10 Years of Quality
HIGH CONDUCTIVITY COPPER BUSBAR

ORIENTAL COPPER CO., LTD

Certificate Number: OC-QC-1593/05
 Customer Name: OW HAP SENG HENG LTD., PART.
 Order Number: CY-0511-007
 Date: 13 December 2005
 I.C. Number: JIS H3140 : 1992 C1100 BB & JIS H3250 : 2000 C1100 BD HALF HARD TEMPER
 Specification: HIGH CONDUCTIVITY COPPER BUSBAR
 Product Description: P.L NO. ZY-0511-014
 Product Traceability Code:

OFFICE: 20/11 Bangkok Business Center, A Building,
 25 Samsulthani Road, Thungphruang, Sakhon,
 Bangkok 10260, Thailand
 TEL: 02-261-1234, 02-261-1234, 02-261-1234
 FAX: 02-261-1234
 FACTORY: 99/1 Moo 5, Samsulthani Industrial Estate,
 Bangphong, Samut Prakan, Bangkok 10540, Thailand
 TEL: 02-261-1234, 02-261-1234, 02-261-1234
 FAX: 02-261-1234
 Web Site: www.oriental-copper.com

Size Thickness x Width x Length	Weight kgs	Conductivity % IACS	Copper %	Bend Test	Tensile Strength MPa	Elongation %	Dimension Check
DIA 5/8" RB x 3000 mm	518.1000	101.0	99.98 Min	-	278.2	38.6	PASSED
1/8" x 1/2" SE x 5000 mm	526.5000	100.9	99.98 Min	PASSED	302.1	15.5	PASSED
1/4" x 3/4" SE x 5000 mm	588.6000	100.9	99.98 Min	PASSED	308.8	16.7	PASSED
1/4" x 1 1/4" SE x 5000 mm	614.4000	100.7	99.98 Min	PASSED	294.0	25.5	PASSED
3/8" x 1 1/2" SE x 5000 mm	711.4000	100.3	99.98 Min	PASSED	295.8	27.2	PASSED
3/8" x 2" SE x 5000 mm	852.1000	100.6	99.98 Min	PASSED	286.2	37.1	PASSED
3/8" x 4" SE x 5000 mm	520.9000	100.9	99.98 Min	PASSED	266.5	30.0	PASSED
1/2" x 2" SE x 5000 mm	515.1000	100.8	99.98 Min	PASSED	280.3	40.1	PASSED
1/2" x 4" SE x 5000 mm	459.3000	100.8	99.98 Min	PASSED	266.8	32.8	PASSED

We certify that the materials described herein have been manufactured, examined and tested in accordance with our quality assurance procedure to JIS H3140 & H3250

Prepared by
Quality Assurance

Approved by
Plant Manager

FORM-037 : 1/0 : 13-11-02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก-1 ใบแสดงข้อมูลของ (Sn-0.75Cu)

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

IDENTITY

Sn-0.75Cu

Manufacturer Name

Thai Solder Industry Corp., Ltd.

Address

1297 Songward Road, Sumpantawong, Bangkok 10100 Thailand.

Hazardous Ingredients/Identity information

Hazardous Components	CAS No.	OSHA PEL	ACGIH TLV	%
Tin	7440-31-5	2mg/m ³	2mg/m ³	99-99.5
*Current OSHA standard, and ACGIH (1980) intended changes List for tin, tin oxide, and inorganic compounds (except SnH4) as Sn, STEL is for 4mg/m ³				
Copper	7440-50-8	0.1mg/m ³	1.0mg/m ³	<1.0

Physical/Chemical Characteristics

Boiling Point	NA	Specific Gravity (H ₂ O=1)	7.3
Vapor Pressure (mm Hg)	NA	Melting Point (°C) ALLOYS	227
Vapor Density (AIR=1)	NA	Evaporation Rate (Butyl Acetate=1)	NA

Solubility in Water Insoluble
 Appearance and Odor Silver-grey metal, odorless.

Fire and Explosion Hazard Data

Flash Point NA
 Flammable Limits NA
 Extinguishing Media Carbon dioxide and/or dry chemical

Special Fire Fighting Procedures
 Use self-contained breathing apparatus and full protective clothing for fires in enclosed areas

Unusual Fire and Explosion Hazards

รูปที่ ผก-2 ใบแสดงข้อมูลของ (Sn-0.75Cu) (ต่อ)

Reactivity Data		IDENTITY Sn-0.75Cu	
Stability	Unstable		Conditions to Avoid
	Stable	x	Keep away from heat, sparks and open flames.
Incompatibility		Strong oxidizing materials, acids, hydrogen peroxide.	
Hazardous Decomposition or Byproducts		Rosin acids, CO, CO ₂ , aliphatic aldehydes.	
Hazardous Polymerization	May Occur		Conditions to Avoid
	Will Not Occur	x	NA

Health Hazard Data

Route of Entry: Inhalation Skin Ingestion
 Health Hazards: When heated, vapors can cause irritation to eyes, nose and throat, May cause headache.

Carcinogenicity: Not listed NTP IARC Monographs OSHA Regulated
 Signs and Symptoms of Exposure: Symptoms of the neurological effects may include irritability, headaches, insomnia, delirium, convulsion, muscular tremors, and palsy of the extremities.

Medical Conditions: Generally Aggravated by Exposure
 Emergency and First Aid Procedures
 Inhalation: Excessive overexposure may result in an acute or chronic illness. If symptoms are present, the individual should be removed from exposure and a physician consulted.
 Ingestion: Call a physician at once.
 Skin: For hot metal burns, exposed area should be cooled with water and get medical attention. After handling solder, wash thoroughly with soap and water.

Precautions for Safe Handling and Use
 Steps to Be Taken in Case Material is Released or Spilled: Avoid inhalation of solder fume or dust. Vacuuming is recommended.

Waste Disposal Method: Contact supplier or a licensed chemical waste disposal contractor for treatment, packaging, and disposal requirements.

Precautions to Be Taken in Handling and Storing: Avoid breathing smoke during soldering. Wash hands before eating or smoking after handling solder.

Other Precautions:

Control Measures

Respiratory Protection: A NIOSH approved dust/fume respirator should be worn where applicable limits may be exceeded.

Ventilation: Local Exhaust Mechanical Remove smoke from breathing area Special Not required Other

Protective Gloves: Use plastic or rubber gloves and aprons where necessary to avoid skin contact
 Eye Protection: Safety glasses or goggles should be worn in areas where splashing may occur.

Other Protective Clothing or Equipment: Provide sufficient mechanical (general and/or local exhaust) ventilation to maintain exposure below TLV's.

Work/Hygienic Practices

รูปที่ ผก-3 ใบแสดงส่วนผสม (Sn-0.75Cu)



THAISOLDER INDUSTRY CORP., LTD.
บริษัทไทยโซลเดอร์ อินดัสทรี จำกัด

Tel. 02 385-9317-9
Fax. 92 385-9809
www.thaisolder.com

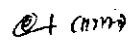
CERTIFICATE OF ANALYSIS

Company: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง **Date:** 04/08/2006
Product: Lead Free Solder Bar (Sn0.75Cu) **Lot No:** #386/06
PO. No: **Invoice No:**

Test Description	Specification	Result
% Tin (Sn)	Rem.	Rem.
% Lead (Pb)	≤0.0300	0.0417
% Aluminum (Al)	≤0.0020	0.0012
% Antimony (Sb)	≤0.0300	0.0039
% Arsenic (As)	≤0.0300	0.0064
% Bismuth (Bi)	≤0.0300	0.0028
% Cadmium (Cd)	≤0.0005	0.0002
% Copper (Cu)	0.75±0.15	0.6878
% Iron (Fe)	≤0.0200	0.0030
% Silver (Ag)	≤0.0500	0.0009
% Zinc (Zn)	≤0.0020	0.0005
% Nickel (Ni)		0.0008
% Mercury (Hg)	≤0.0100	0.0006
% Chromium (Cr)	≤0.0100	0.0006

③ The consignment analysis is established by the arithmetic average of the Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometric (ICP-OES) analysis carried out in samples taken from the molten metal during the casing operation.

* By Volumetric Analysis.


Laboratory


Lab Manager

11/2 moo13 Soi Wat Bangyapraek, Poochaosmingprai Rd.,
Pranradaeng, Samtorakam 10130

ผก 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก-4 ใบแสดงข้อมูลของ (Sn-3Cu)

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

IDENTITY

Sn-3Cu

Manufacturer Name

Thai Solder Industry Corp.,Ltd.

Address

1297 Songward Road, Sumpantawong, Bangkok 10100 Thailand.

Hazardous Ingredients/Identity information

Hazardous Components	CAS No.	OSHA PEL	ACGIH TLY	%
Tin	7440-31-5	2mg/m ³	2mg/m ³	>96.5
*Current OSHA standard, and ACGIH (1980) Intended changes List for tin, tin oxide, and inorganic compounds (except SnH ₄), as Sn, STEL is for 4mg/m ³				
Copper	7440-50-8	0.1mg/m ³	1.0mg/m ³	<3

Physical/Chemical Characteristics

Boiling Point	NA	Specific Gravity (H ₂ O=1)	7.3
Vapor Pressure (mm Hg)	NA	Melting Point (°C) ALLOYS	320
Vapor Density (AIR=1)	NA	Evaporation Rate (Butyl Acetate=1)	NA

Solubility in Water Insoluble

Appearance and Odor Silver-grey metal, oderless.

Fire and Explosion Hazard Data

Flash Point NA

Flammable Limits NA

Extinguishing Media Carbon dioxide and/or dry chemical

Special Fire Fighting Procedures

Use self-contained breathing apparatus and full protective clothing for fires in enclosed areas

Unusual Fire and Explosion Hazards

ผก 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก-5 ใบแสดงข้อมูลของ (Sn-3Cu) (ต่อ)

เรื่อง : Standard Product Specification of Lead Free Solder Bar Sn-3Cu	 บริษัท ไทยโซลเดอร์ อินดัสตรี จำกัด THAI SOLDER INDUSTRY CORP., LTD.	R00 แผ่นที่ : 1/3
รหัสเอกสาร : SQ-TSI-003/1		วันที่บังคับใช้ : 15 ก.ค. 2549

Standard Product Specification

1. Product name

Lead Free Solder Bar Sn-3Cu

2. Scope

This specification describes the product specification for Lead Free Solder Bar Sn-3Cu, used for wiring connection, etc. of electrical and electronics parts, among others.

3. Product specification

3.1 Chemical composition. (Test method : JIS Z 3910)

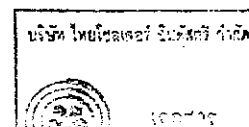
Main compositions and impurities are presented as following tables.

Symbol	Main composition (wt %)	
	Sn	Cu
Sn-3Cu	Remainder	3.0 ± 0.25

Impurities (wt %)								
Pb	Bi	Sb	Cd	Fe	Ag	Al	Zn	As
≤ 0.05	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.002	≤ 0.02	≤ 0.05	≤ 0.002	≤ 0.002	≤ 0.03

3.2 Physical properties

- Melting temperature : Approx. 227 - 320 °C
- Specific gravity : Approx. 7.3



ผก 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก-6 ใบแสดงข้อมูลของ (Sn-3Cu) (ต่อ)

เรื่อง : Standard Product Specification of Lead Free Solder Bar Sn-3Cu		R00 แผ่นที่ : 2/3
รหัสเอกสาร : SQ-TSI-003/1	บริษัท ไทยโซลเดอร์ อินดัสตรี จำกัด THAI SOLDER INDUSTRY CORP., LTD.	วันที่บังคับใช้ : 15 ก.ค. 2549

3.3 Appearance

- Silvery-grey metal.
- The solder surface lustrous when freshly production but tranishes when exposed to air.
- Significant cracks or tears of lead free solder bar shall not be found.

3.4 Shape, Dimension and Unit mass

Shape	Dimension (mm)			Unit mass (g)
	Thickness	Width	Length	
Bar	8 ± 1	20 ± 1	430 ± 30	500 ± 20

4. Certificate of Analysis Report

Certificate of analysis report on the item specified in 3.1 Chemical composition shall be issued for every production lot and attached with the shipment of the lot.

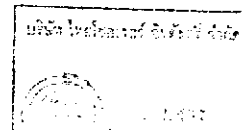
5. Packaging

5.1 Packaging

- Packaging : Carton box
- Product weight : 10 kg

5.2 Indication

- Product : Lead Free Solder Bar have imprinted on surface that " TSI Sn-3Cu "
- Packaging : Label on the packaging shall be indicated item as follow
 - a) Manufacturer's name
 - b) Composition
 - c) Size
 - d) Lot no.
 - e) Manufacturing date
 - f) Product Weight



ผก 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก-7 ใบแสดงข้อมูลของ (Sn-3Cu) (ต่อ)

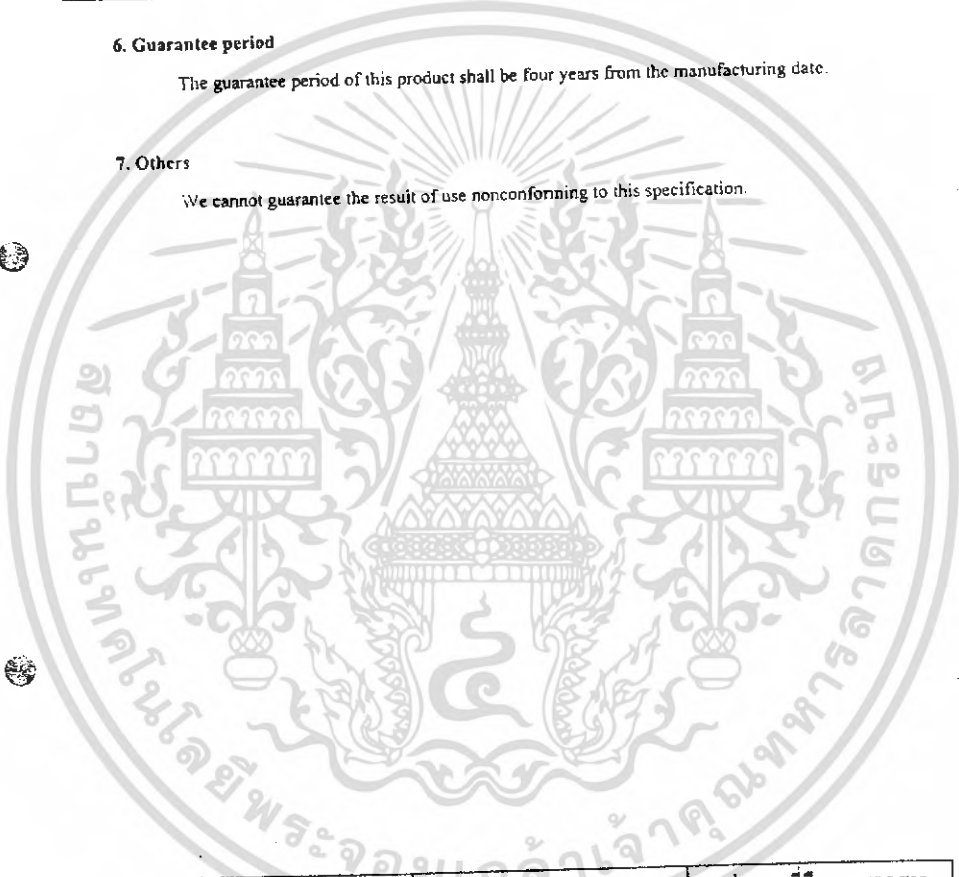
เรื่อง : Standard Product Specification of Lead Free Solder Bar Sn-3Cu		R00 แผ่นที่ : 3/3
รหัสเอกสาร : SQ-TSI-003/1	บริษัท ไทยโซลเดอร์ อินดัสตรี จำกัด THAI SOLDER INDUSTRY CORP., LTD.	วันที่บังคับใช้ : 15 ก.ค. 2549

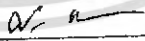
6. Guarantee period

The guarantee period of this product shall be four years from the manufacturing date.

7. Others

We cannot guarantee the result of use nonconforming to this specification.



สถานะของการควบคุมเอกสาร	ผู้ควบคุมเอกสาร	หน่วยงานที่ถือครองเอกสาร
บริษัท ไทยโซลเดอร์ อินดัสตรี จำกัด	 15 ก.ค. 2549	<input type="checkbox"/> MSB <input checked="" type="checkbox"/> MS <input type="checkbox"/> MSB <input type="checkbox"/> MS <input type="checkbox"/> MSB <input type="checkbox"/> MS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก-8 ใบแสดงส่วนผสม (Sn-3Cu)



THAISOLDER INDUSTRY CORP., LTD.
บริษัทไทยโซลเดอร์ อิงค์ จำกัด

Tel. 02 385-9317-9
Fax. 02 385-9809
www.thaisolder.com

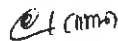
CERTIFICATE OF ANALYSIS[®]


Company: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง Date: 04/08/2006
Product: Lead Free Solder Br (Sn-3Cu) Lot No: #295/06
PO. No:

Test Description	Specification	Result
% Tin (Sn)	Rem.	Rem.
% Lead (Pb)	≤0.0500	0.0435
% Aluminum (Al)	≤0.0020	0.0003
% Antimony (Sb)	≤0.0300	0.0006
% Arsenic (As)	≤0.0300	0.0080
% Bismuth (Bi)	≤0.0300	0.0082
% Cadmium (Cd)	≤0.0005	0.0004
% Copper (Cu)	3.00±0.25	2.85
% Iron (Fe)	<0.0200	0.0022
% Silver (Ag)	≤0.1000	0.0032
% Zinc (Zn)	≤0.0020	0.0007

[®] The consignment analysis is established by the arithmetic average of the Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometric (ICP) analysis carried out in samples taken from the molten metal during the casing operation.

* By Volumetric Analysis.


Laboratory


Lab Manager

11/2 moo13 Soi Wat Bangyapraek, Poochaosmingprai Rd.,
Prapadaeng, Santprakarn 10130

ผก 10

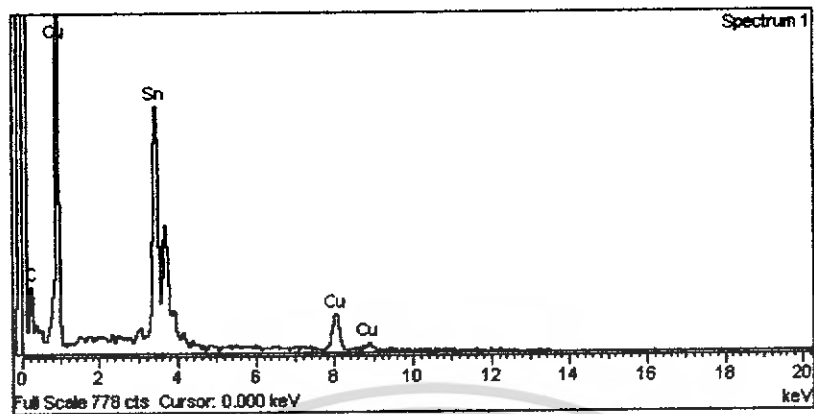
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



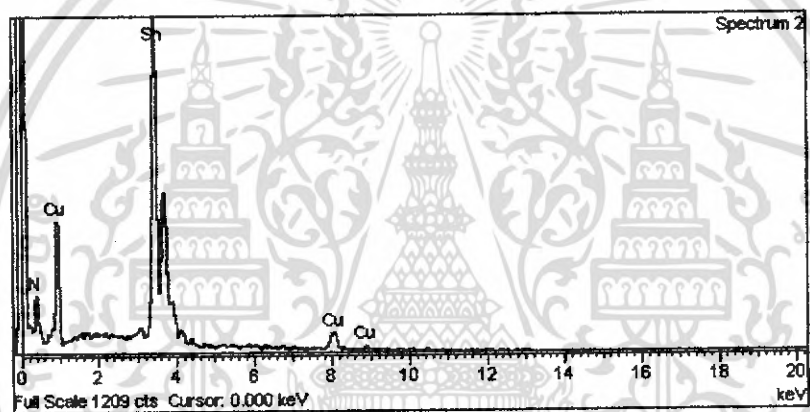
ผข ๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

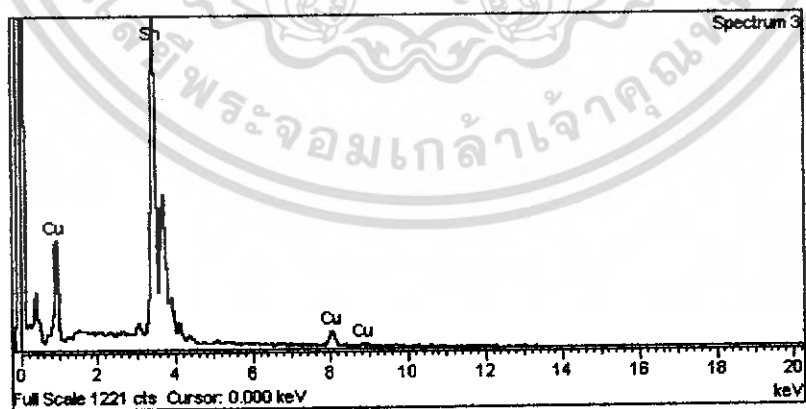
1. โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผข-1 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)

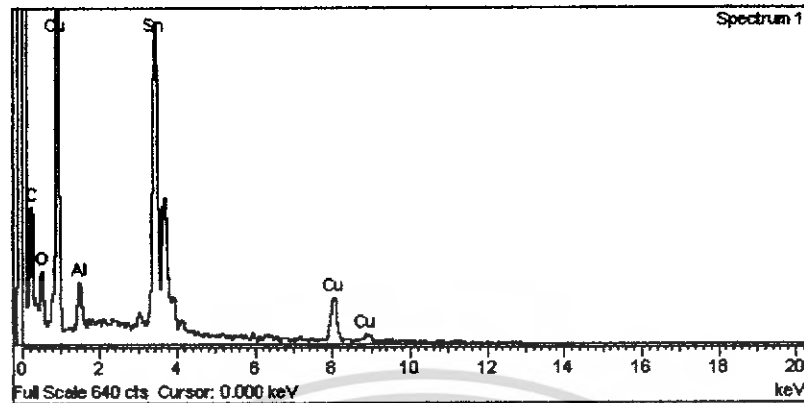


รูปที่ ผข-2 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)

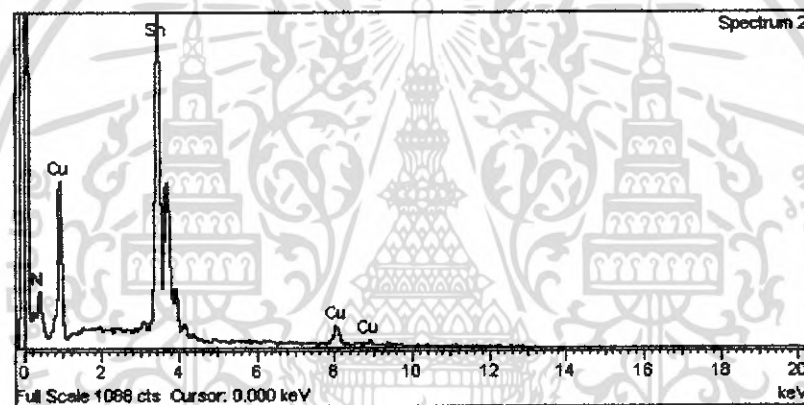


รูปที่ ผข-3 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)

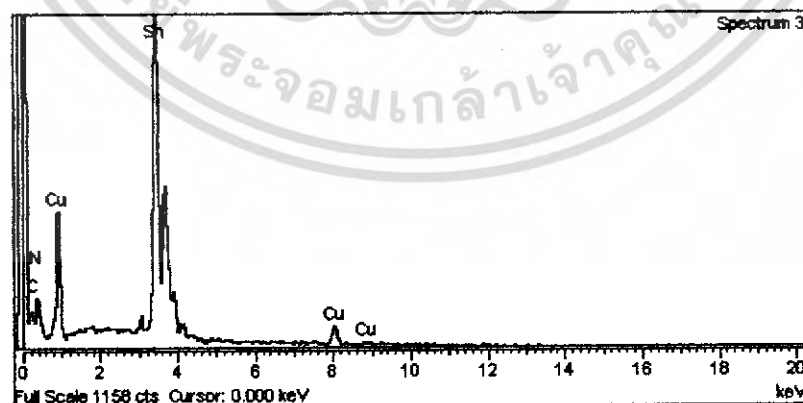
2. ไอโซบัตกรีไฟสารตะกั่ว ชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผข-4 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)



รูปที่ ผข-5 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)

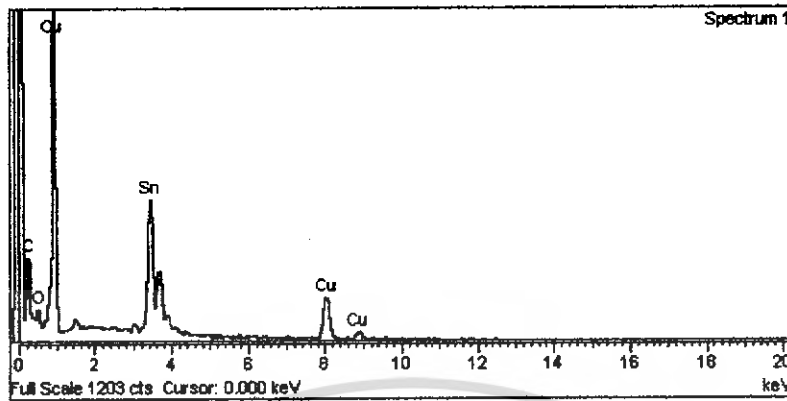


รูปที่ ผข-6 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)

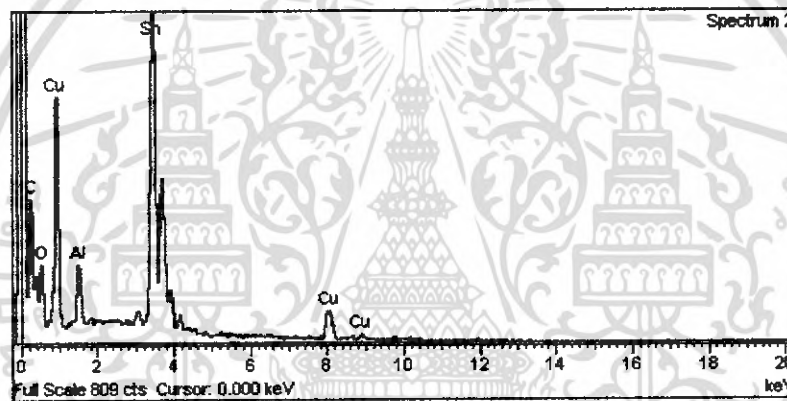
ผข 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

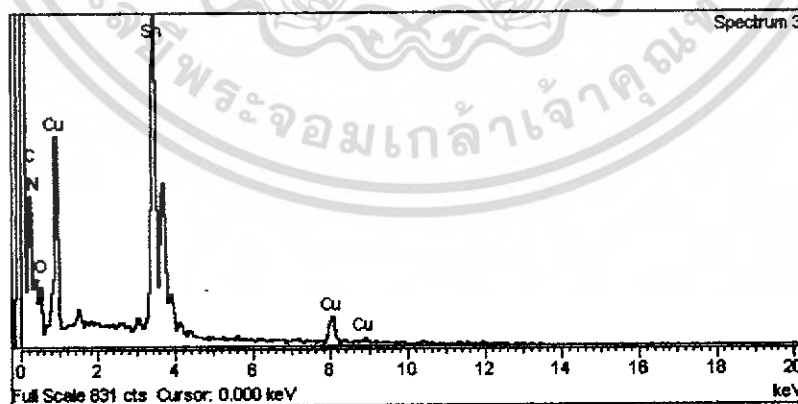
3. โอลิโพรเซสใช้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผข-7 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)



รูปที่ ผข-8 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)

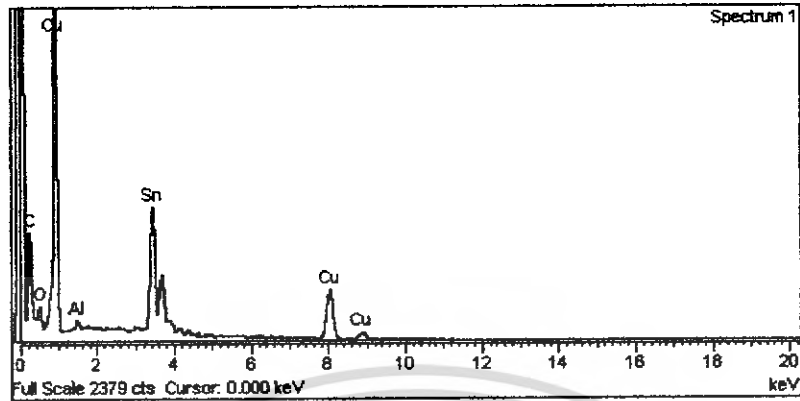


รูปที่ ผข-9 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)

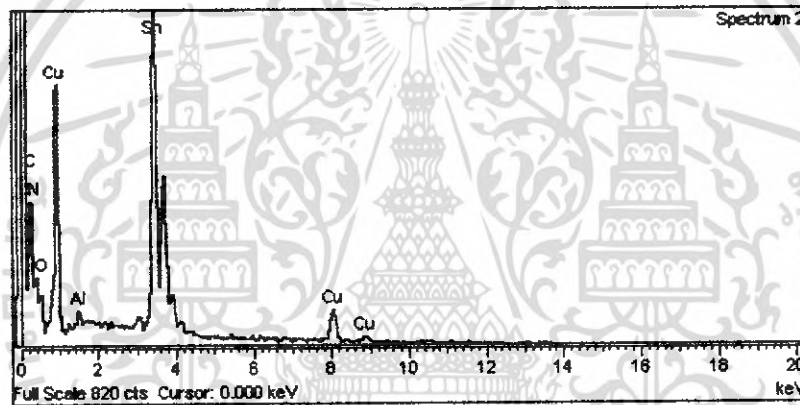
ผข 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

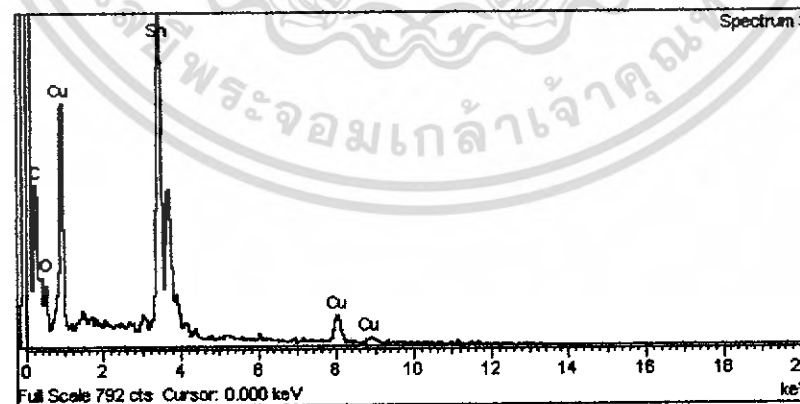
4. โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผข-10 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)

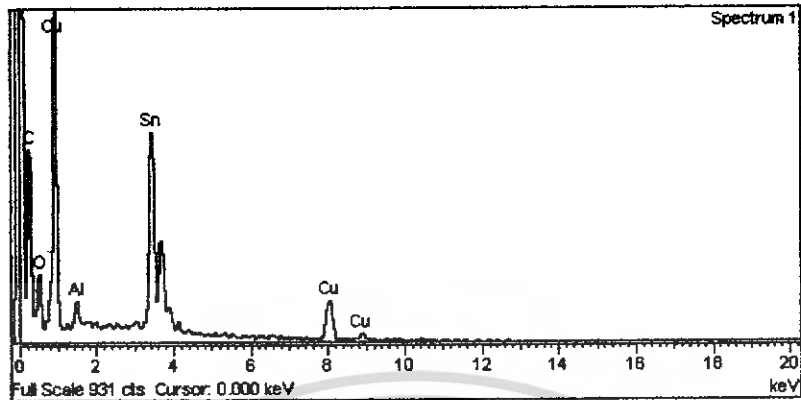


รูปที่ ผข-11 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)

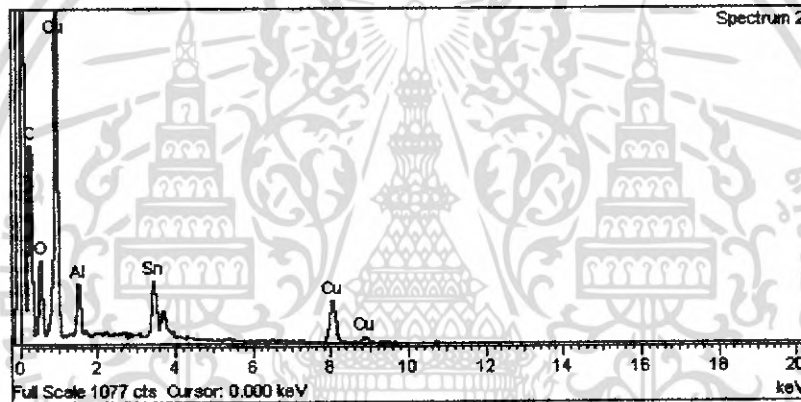


รูปที่ ผข-12 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)

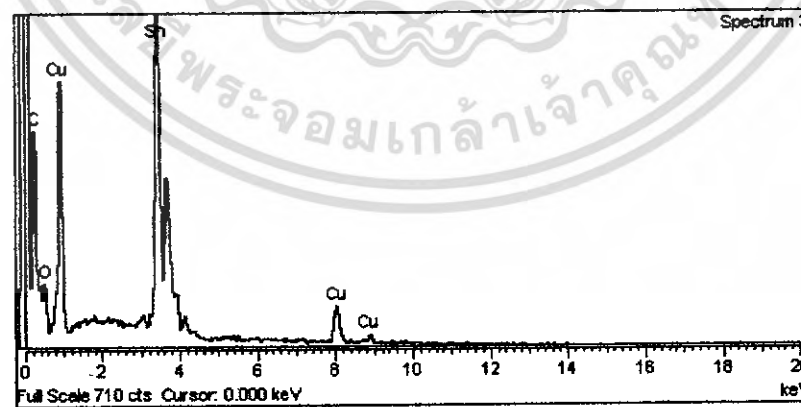
5. โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผข-13 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)

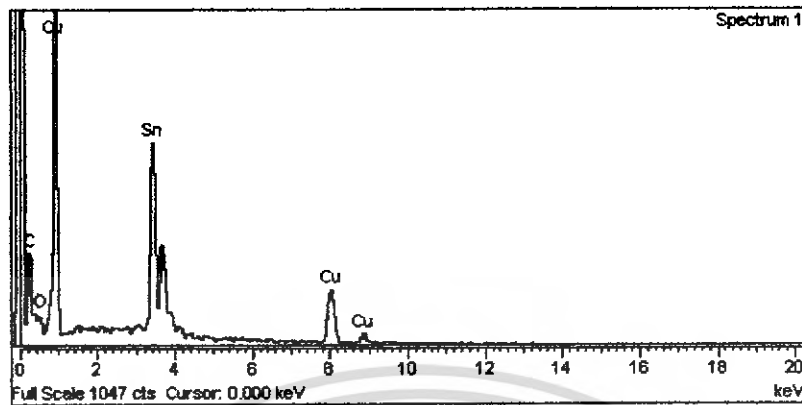


รูปที่ ผข-14 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)

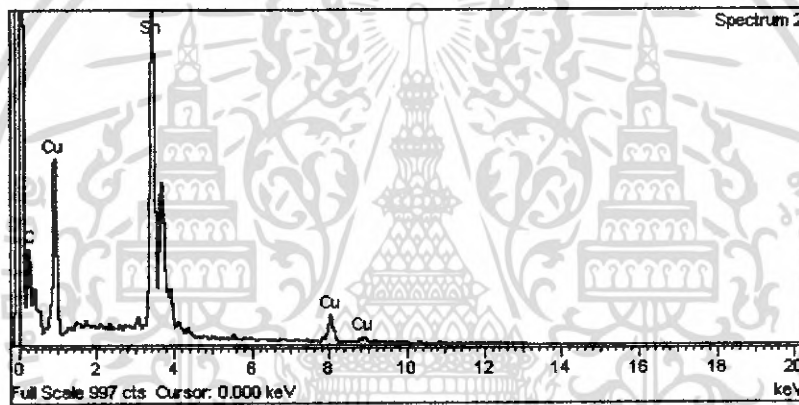


รูปที่ ผข-15 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)

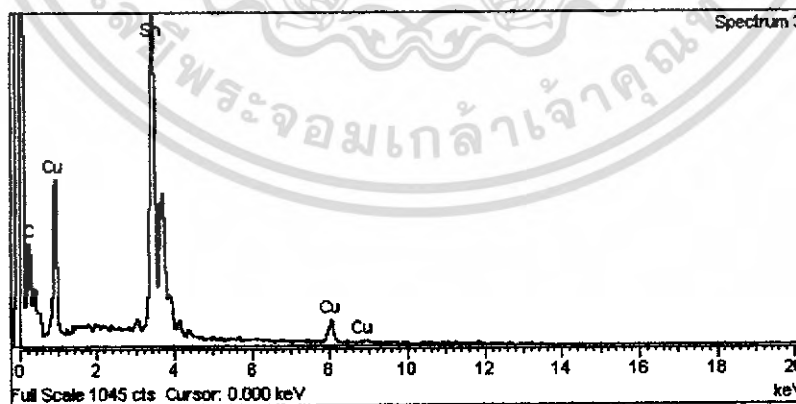
6. โหะบัคกรีไธสารตะกั่ว ชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผข-16 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)

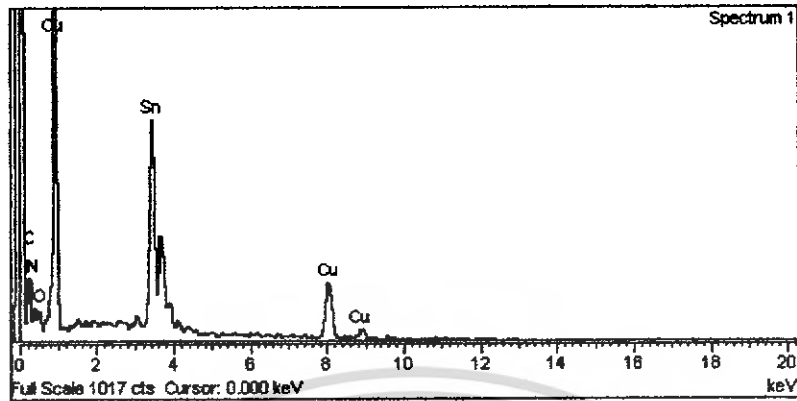


รูปที่ ผข-17 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)

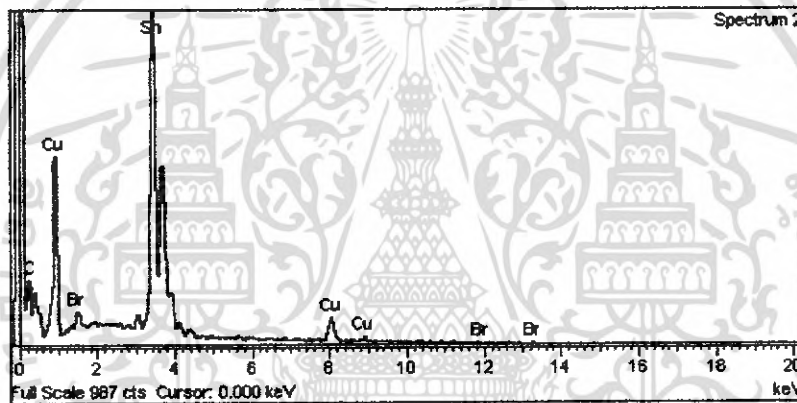


รูปที่ ผข-18 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)

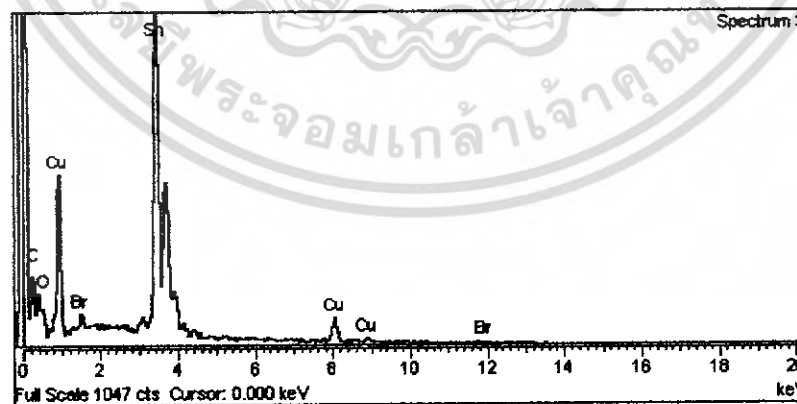
7. โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผข-19 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)

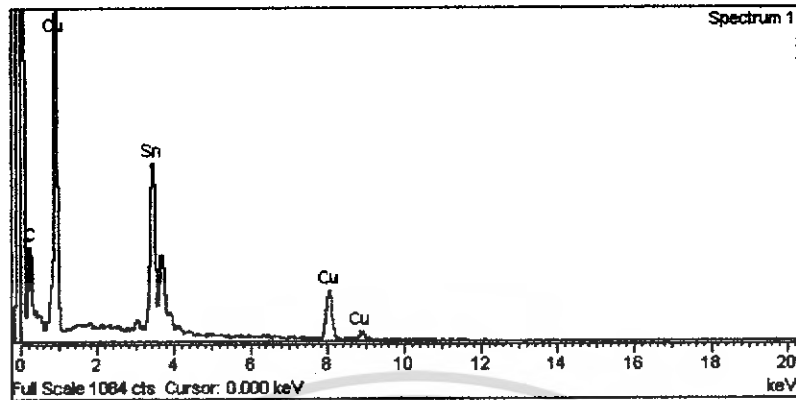


รูปที่ ผข-20 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)

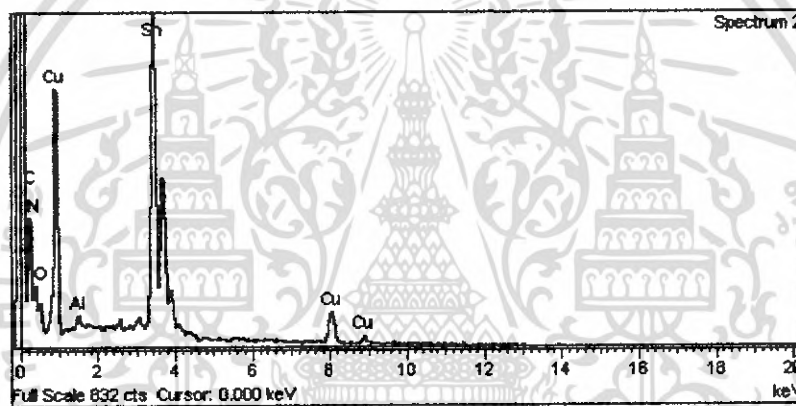


รูปที่ ผข-21 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)

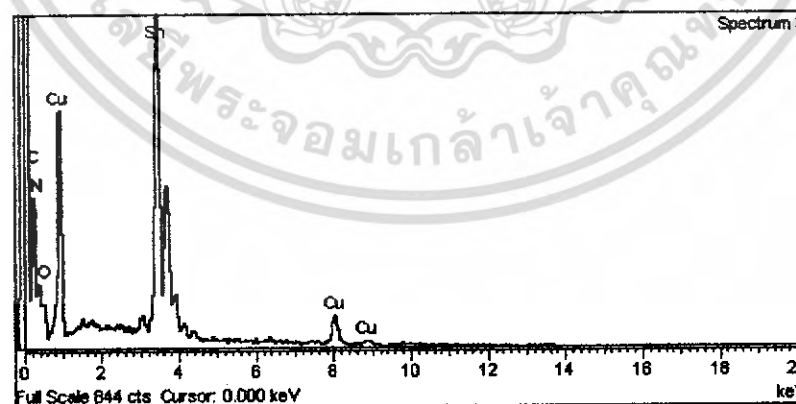
8. โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผข-22 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)



รูปที่ ผข-23 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)

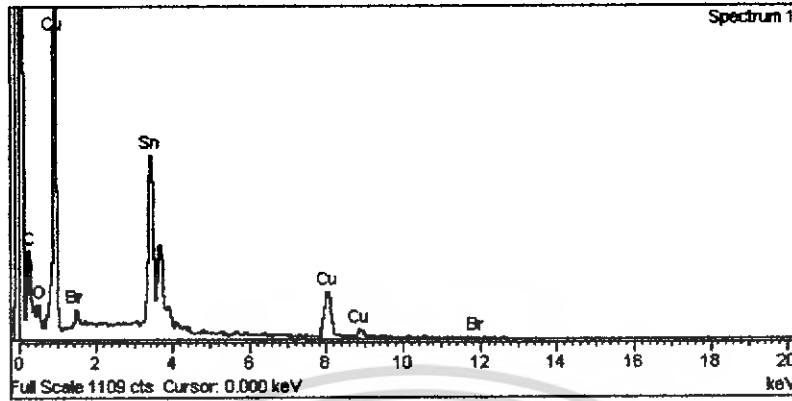


รูปที่ ผข-24 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)

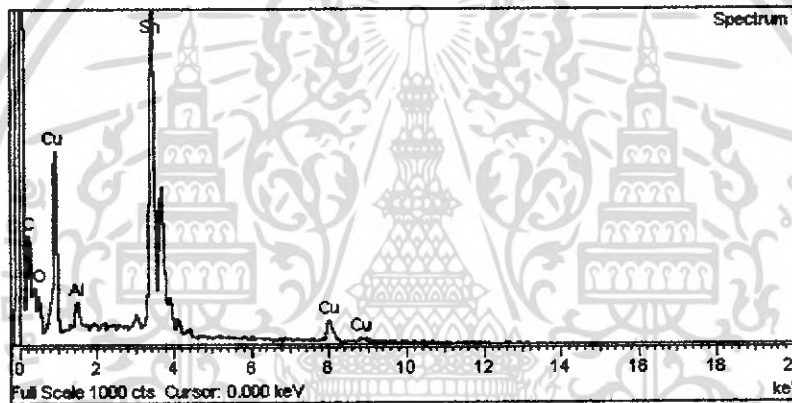
ผข 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

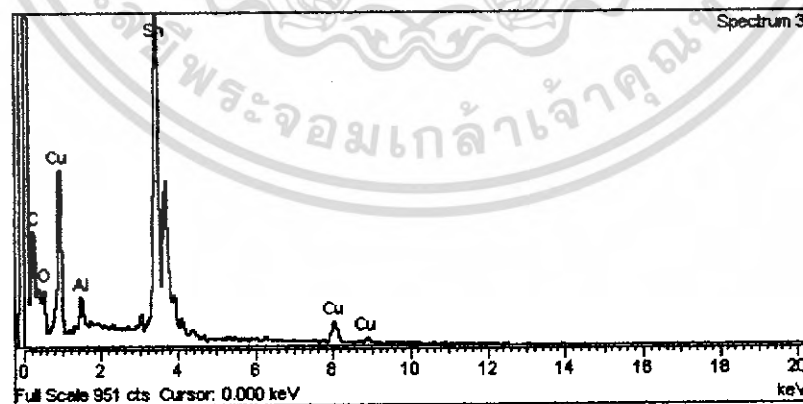
9. โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผช-25 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)

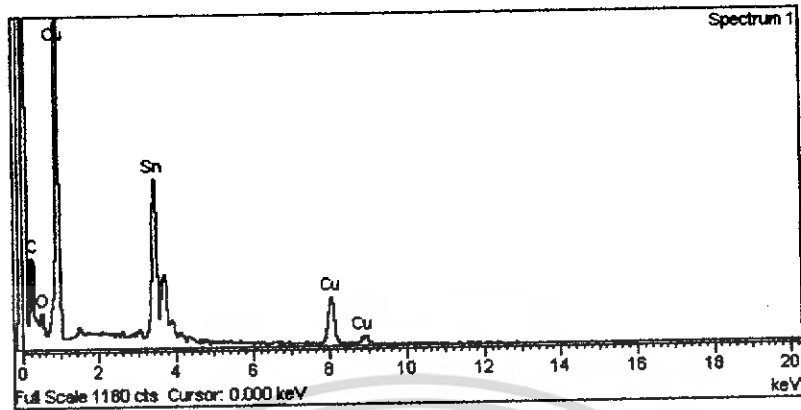


รูปที่ ผช-26 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)

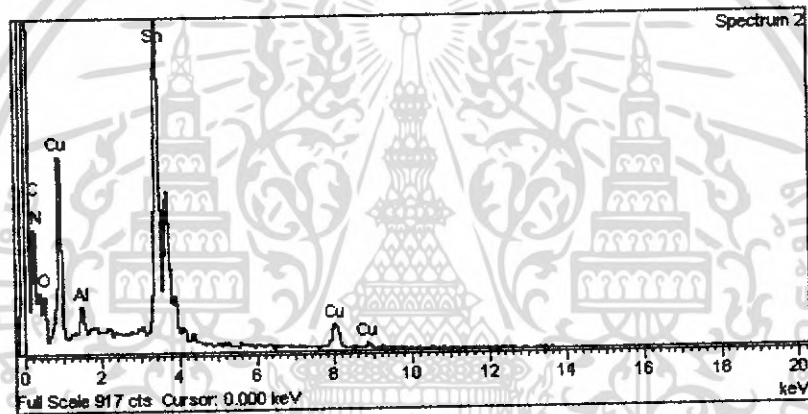


รูปที่ ผช-27 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)

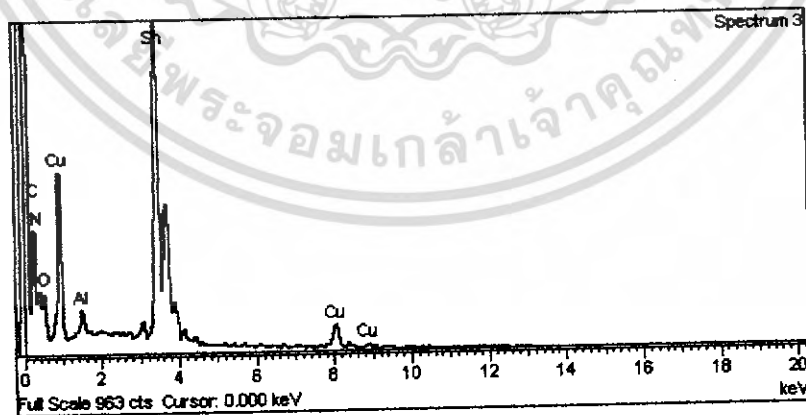
10. โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผข-28 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)

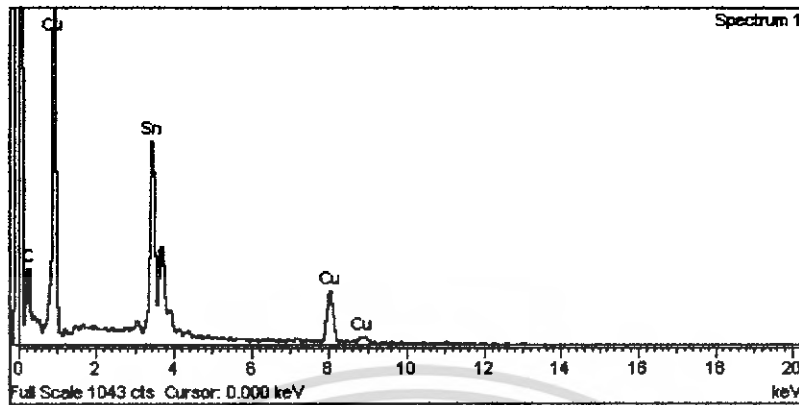


รูปที่ ผข-29 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)

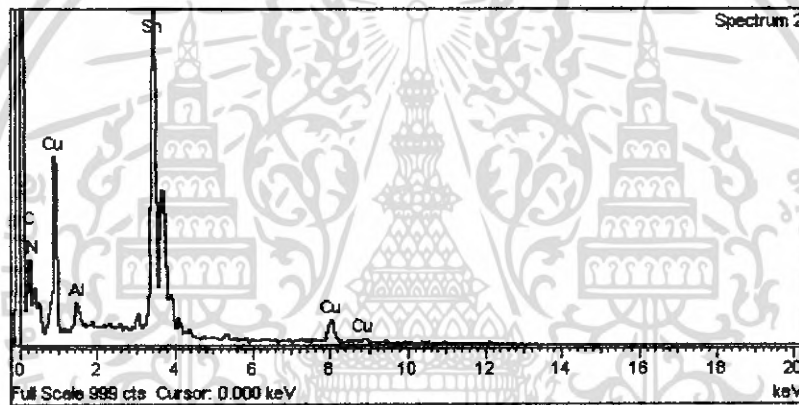


รูปที่ ผข-30 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)

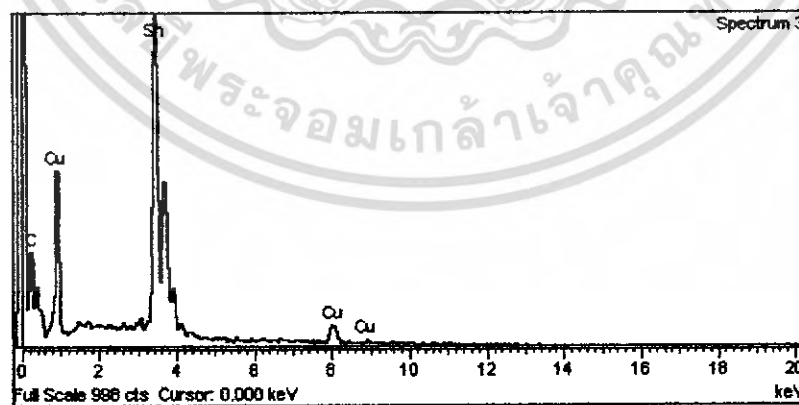
11. โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผข-31 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส (Spectrum 1)



รูปที่ ผข-32 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส (Spectrum 2)



รูปที่ ผข-33 กราฟแสดงส่วนประกอบทางเคมีของ (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส (Spectrum 3)



ผศ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชิ้นงานหลังการบัดกรีด้วยโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-0.75Cu)



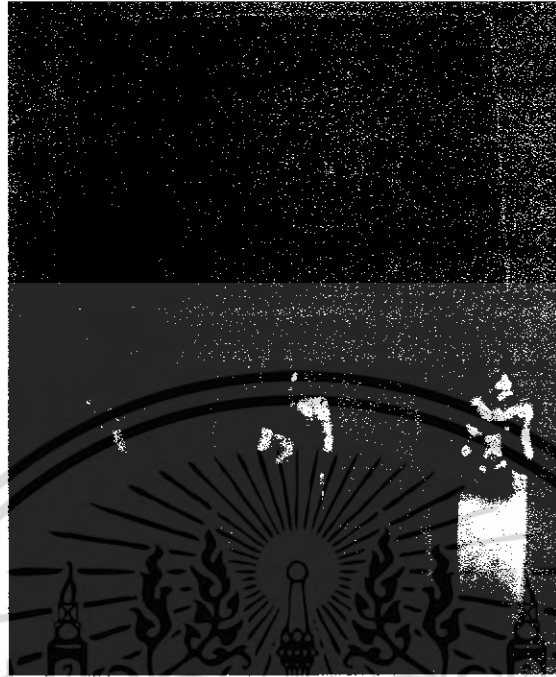
รูปที่ ผค-1 ชิ้นงานชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส



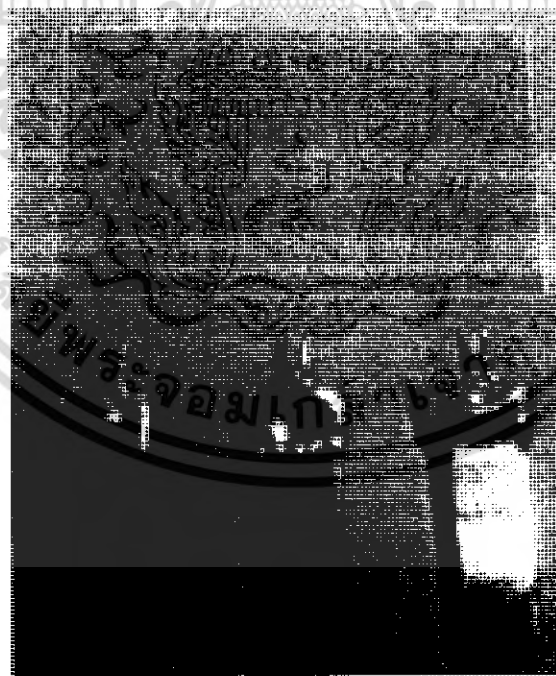
รูปที่ ผค-2 ชิ้นงานชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส

ผค 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



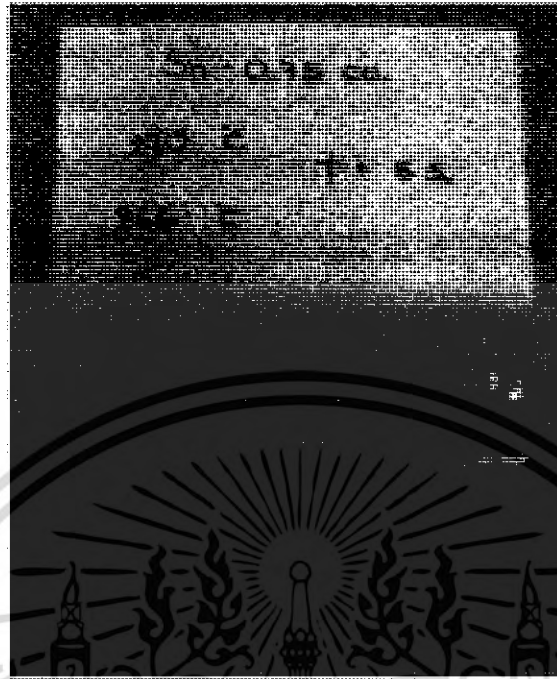
รูปที่ ผค-3 ชิ้นงานชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผค-4 ชิ้นงานชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส

ผค 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



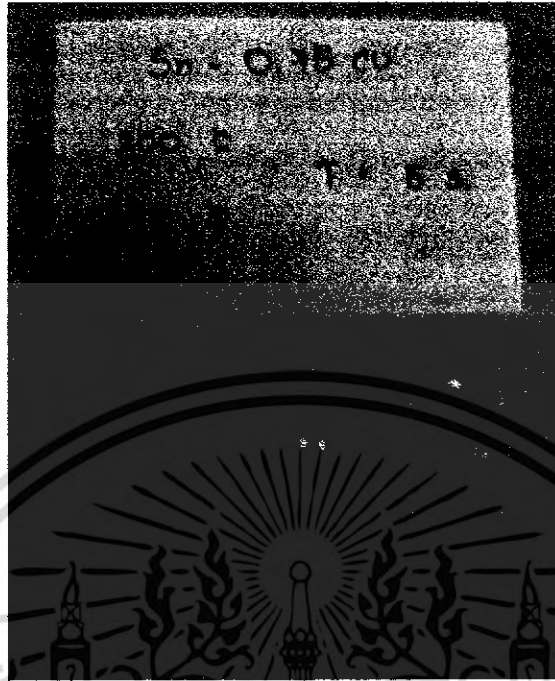
รูปที่ ผศ-5 ชิ้นงานชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผศ-6 ชิ้นงานชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส

ผศ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผค-7 ชิ้นงานชนิด (Sn-0.75Cu) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส
2. ชิ้นงานหลังการบัดกรีด้วยโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ชนิด (Sn-3Cu)



รูปที่ ผค-8 ชิ้นงานชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส

ผค5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



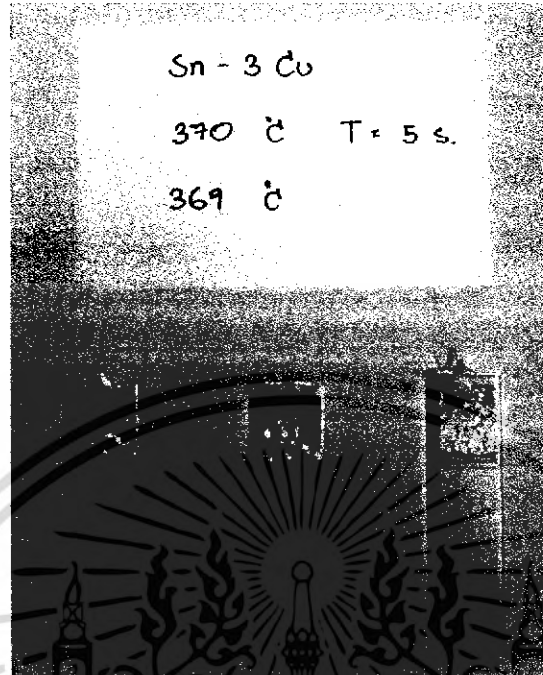
รูปที่ ผค-9 ชิ้นงานชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผค-10 ชิ้นงานชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส

ผค 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



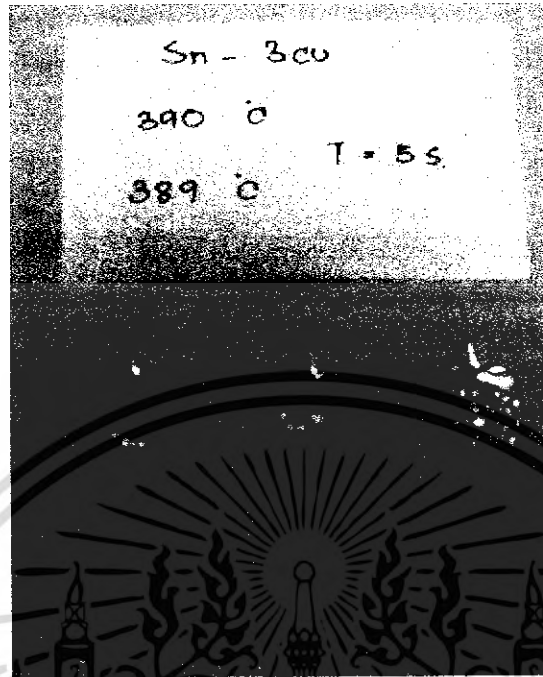
รูปที่ ผค-11 ชิ้นงานชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส



รูปที่ ผค-12 ชิ้นงานชนิด (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส

ผค 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผศ-13 ชิ้นงานบัดกรี (Sn-3Cu) ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส

ผศ 8

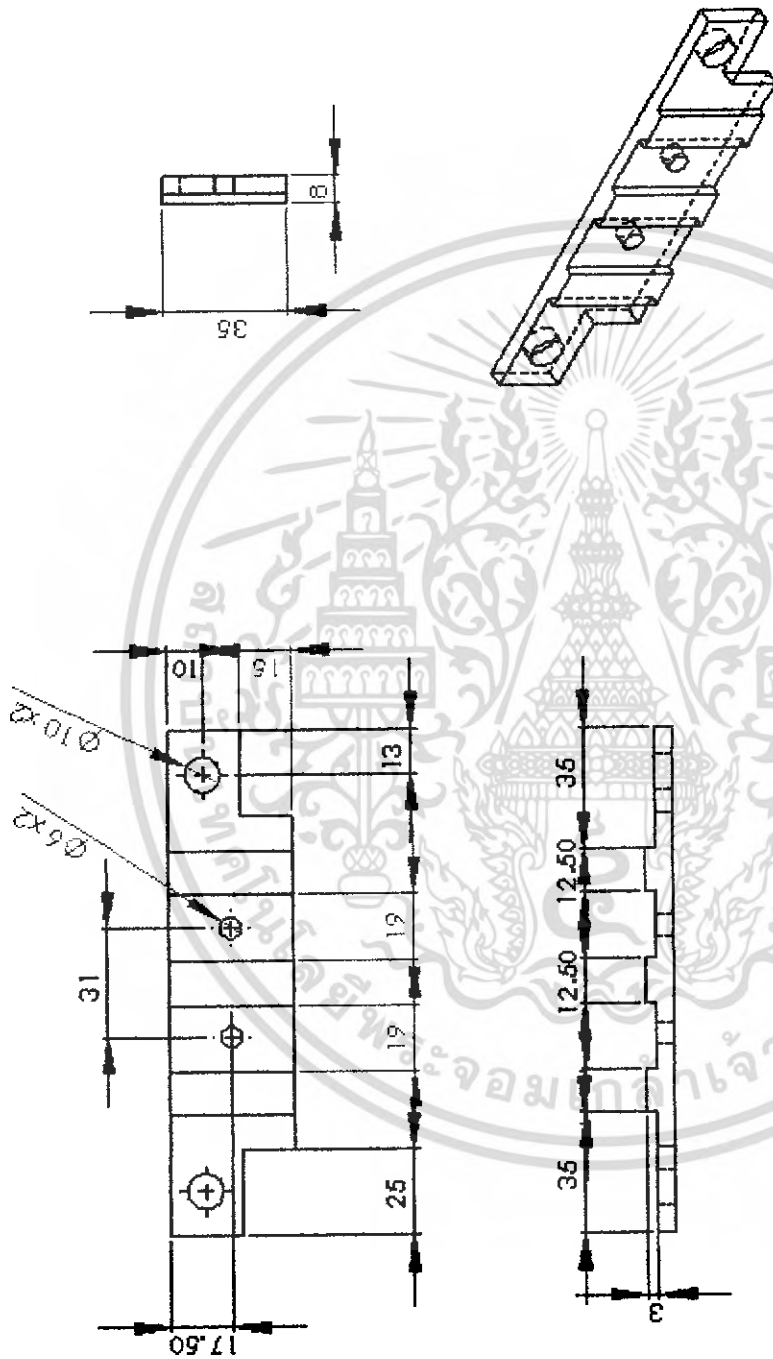
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผง-1 แบบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (ชิ้นที่1)



NAME DATE

TITLE:

UNITS DIMENSIONS SPECIFIED: DRAWN CHECKED
 DIMENSIONS ARE IN INCHES INCORPORATED INCORPORATED
 ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES INCORPORATED INCORPORATED
 ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES INCORPORATED INCORPORATED

PROPERTY AND COPYRIGHT INFORMATION CONTAINED HEREIN IS THE PROPERTY OF THE COMPANY AND IS NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM THE COMPANY.

REV

SIZE DWG. NO.

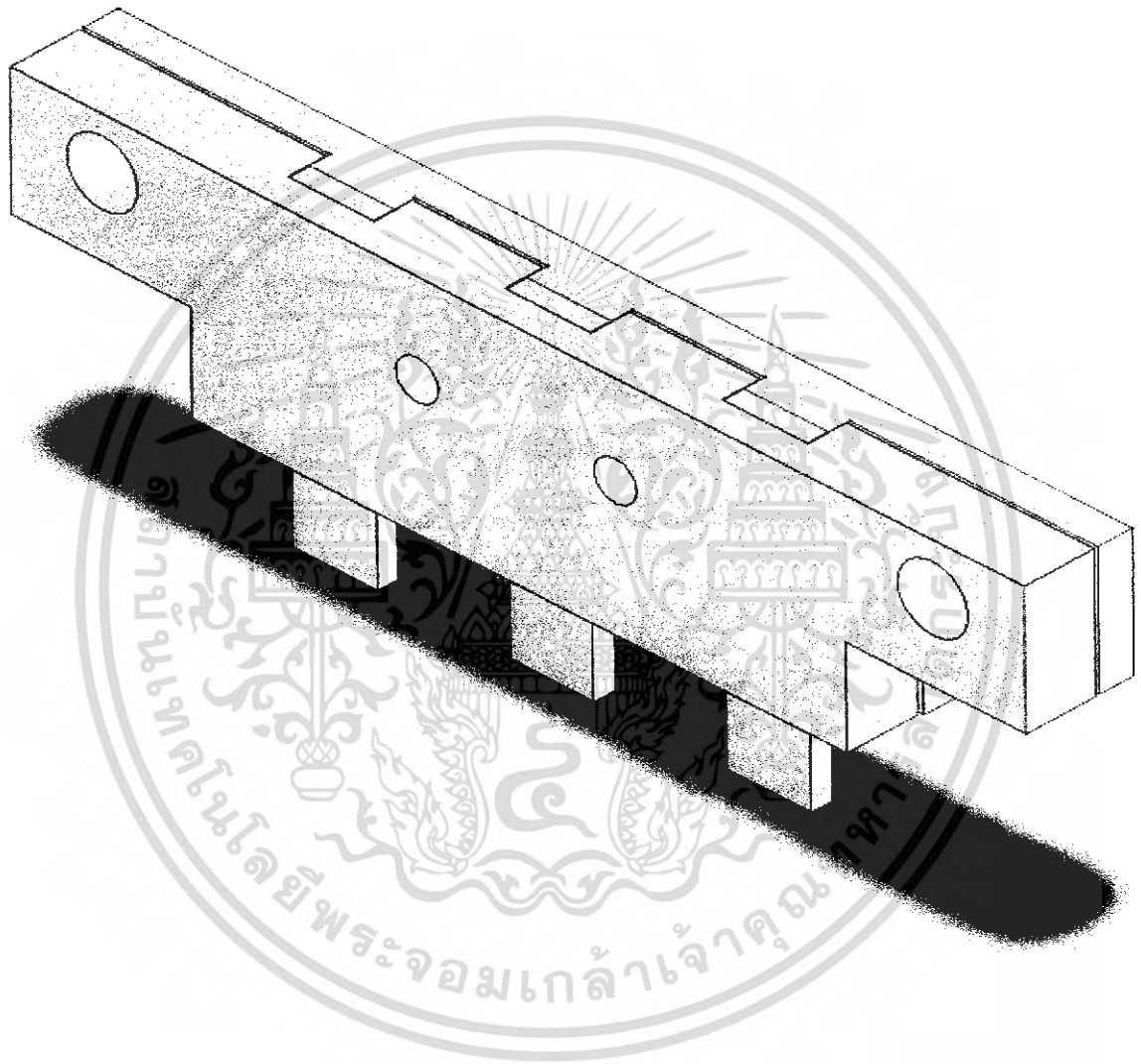
A ชิ้นที่ 1

SCALE: 1:1 WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผง-3 แบบประกอบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน



ผง 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

