สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของการบ่มด้วยความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเชิงโลหะที่สร้างความเสียหายให้กับรอยต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

A study on influence of thermal aging on evolution of intermetallic compounds deteriorating soldered joint of electronics devices

นายกรรณชัย กัลยาศิริ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

TK
R(L)
TA
181
ก๑๑๑๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 116907
วัน,เดือน,ปี 16 มิ.ย. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินหรือรายได้ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แบบเสนอโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ KORA (KMITL Office of Research Administration)

b.12326379
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาอิทธิพลของการบ่มด้วยความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเชิงโลหะที่สร้างความเสียหายให้กับรอยต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

(ภาษาอังกฤษ) A study on influence of thermal aging on evolution of intermetallic compounds deteriorating soldered joint of electronics devices

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปี 2552 จำนวนเงิน 90,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2551 ถึง 30 กันยายน 2552

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและเลขหมายโทรศัพท์

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) กรรณชัย กัลยาศิริ

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) Kannachai Kanlayasiri

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทรศัพท์ 02 739 0653 โทรสาร 02 739 2392

บทคัดย่อ

โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน คือ โลหะบัดกรีในตระกูล Sn-Ag-Cu เนื่องจากมีข้อได้เปรียบทางด้านสมบัติทางกล และความสามารถในการบัดกรีที่ดี งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของสารประกอบเชิงโลหะที่เกิดขึ้นของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.3Ag-0.7Cu-xIn เนื่องจากการบ่มด้วยความร้อน ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการบ่มด้วยความร้อน โดยขนาดเกรนโดยเฉลี่ยของโครงสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น และเกิดการสลายตัวของสารประกอบเชิงโลหะ Cu_6Sn_5 ตามระยะเวลาที่ทำการบ่ม และอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง

ABSTRACT

Sn-Ag-Cu solder alloys are widely used due to their superior mechanical properties and wettability. In this study, effect of thermal aging on alteration of microstructure of Sn-0.3Ag-0.7Cu-xIn solder alloy was investigated. Results showed that after thermal aging, the solder alloy was softer with the increase of aging temperature and aging time due to its larger grain size, and the dissolution of intermetallic compound Cu_6Sn_5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ประเทศไทยผลิตและส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมากในแต่ละปี เช่น ในปี 2549 มูลค่าการส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยมีค่าสูงถึง 1,019,724 ล้านบาท [1] และเนื่องจากปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยในสุขภาพของมนุษย์ สหภาพยุโรปได้ออกข้อบังคับ RoHS (The Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances) ออกมาเพื่อควบคุมการใช้งานสารมีพิษบางชนิด ทำให้ผู้ส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถส่งสินค้าที่ใช้โลหะบัดกรีที่มีตะกั่วเป็นส่วนผสมเข้าไปขายในสหภาพยุโรปได้ ส่งผลให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องปรับตัวโดยนำโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว (Lead-free solders) มาใช้งานแทนโลหะบัดกรีแบบดั้งเดิมที่มีส่วนผสมของดีบุกและตะกั่วเป็นหลัก (Sn-Pb solders) โดยสหภาพยุโรปได้ใช้ข้อบังคับ RoHS ตั้งแต่ วันที่ 1 กรกฎาคม ค.ศ. 2006

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วขึ้นมาหลายกลุ่มเพื่อทดแทนโลหะบัดกรีที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เช่น กลุ่ม Sn-Ag-Cu กลุ่ม Sn-Zn กลุ่ม Sn-Cu และกลุ่ม Sn-Ag เป็นต้น ซึ่งโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มากที่สุดในปัจจุบัน คือ โลหะบัดกรีในกลุ่ม Sn-Ag-Cu เนื่องจากมีคุณสมบัติต่างๆเหมาะกับงานอิเล็กทรอนิกส์มากกว่าโลหะบัดกรีกลุ่มอื่น เพราะมีคุณสมบัติที่ดีในการนำไฟฟ้า ความแข็งแรง และความสวยงามของจุดบัดกรี [2] แต่โลหะบัดกรีในกลุ่ม Sn-Ag-Cu มีข้อด้อย คือ มีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าโลหะบัดกรีแบบดั้งเดิมทำให้การบัดกรีด้วยโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วเหล่านี้ต้องใช้พลังงานในการบัดกรีที่สูงตามไปด้วยและมีโอกาสทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มากขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลทางโลหะวิทยาของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดใหม่ๆเหล่านี้ เช่น การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคหรือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลเนื่องจากการใช้งานในสภาวะต่างๆยังมีน้อยมากเมื่อเทียบกับโลหะบัดกรีแบบดั้งเดิม ส่งผลให้ความเชื่อถือได้ (Reliability) ของการใช้งานโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วยังไม่ดีเท่ากับโลหะบัดกรีแบบดั้งเดิม และเนื่องจากโลหะบัดกรีเป็นจำนวนมากมีการใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เช่น การใช้งานในชุดควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic control unit: ECU) ในรถยนต์ซึ่งต้องการความเชื่อถือได้สูง

เพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ ข้อมูลทางโลหะวิทยาของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่มีการใช้งานที่อุณหภูมิสูงจึงมีความสำคัญต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic compounds) เนื่องจากเป็นเฟสที่มีความเปราะสูงและสามารถนำไปสู่ความเสียหายเนื่องจากการแตกหักของรอยต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ง่าย

ในโครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของสารประกอบเชิงโลหะที่สร้างความเสียหายให้กับรอยต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้การบ่มด้วยความร้อน (Thermal aging) ในการจำลองสภาวะการใช้งานที่อุณหภูมิสูงของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.3Ag-0.7Cu-xIn ซึ่งเป็นโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดใหม่ในกลุ่ม Sn-Ag-Cu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของสารประกอบเชิงโลหะที่เกิดขึ้นของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.3Ag-0.7Cu-xIn เนื่องจากการบ่มด้วยความร้อน

2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอินเดียมที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.3Ag-0.7Cu-xIn เนื่องจากการบ่มด้วยความร้อน

3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการบ่มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.3Ag-0.7Cu-xIn

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการวิจัยจากโครงการวิจัยนี้จะเป็นความรู้พื้นฐานทางโลหะวิทยาของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว และสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและการใช้งานโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วในกลุ่ม Sn-Ag-Cu สำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

หลักการและทฤษฎี

อุณหภูมิและเวลาเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติต่างๆของโลหะบัดกรี และการบ่มด้วยความร้อน (Thermal aging) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาดังกล่าว [1-7] สารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic compounds) เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของธาตุโลหะตั้งแต่ 2 ธาตุขึ้นไปในอัตราส่วนที่แน่นอน สารประกอบชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ แข็งและเปราะ ดังนั้นจึงเป็นสารประกอบเชิงโลหะจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สร้างความเสียหายให้กับรอยต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยในโลหะบัดกรีจะมีสารประกอบเชิงโลหะเป็นองค์ประกอบอยู่เสมอ เนื่องจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างธาตุโลหะที่เป็นส่วนผสมในระหว่างการผลิต (การหลอม) และเมื่อมีการใช้งานชิ้นส่วนที่มีการบัดกรีภายใต้ความเค้นแบบต่างๆ ก็จะมีโอกาสเกิดความเสียหายของรอยบัดกรีเนื่องจากการแตกของสารประกอบเชิงโลหะเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีสารประกอบเชิงโลหะปรากฏอยู่ในปริมาณมาก

โดยทั่วไปแล้วสารประกอบเชิงโลหะสามารถมีปริมาณเพิ่มขึ้นในโลหะหรือรอยบัดกรีได้ เมื่อมีการใช้งานภายใต้อุณหภูมิสูงเนื่องจากเกิดการเจริญเติบโต (Growth) ของสารประกอบดังกล่าว และยิ่งมีสารประกอบเชิงโลหะอยู่ในโลหะบัดกรีหรือรอยบัดกรีมากขึ้นเท่าไร โอกาสที่รอยบัดกรีนั้นจะเกิดความเสียหายก็ยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของสารประกอบเชิงโลหะในโลหะบัดกรีจึงเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญมากในทางโลหะวิทยาของการบัดกรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

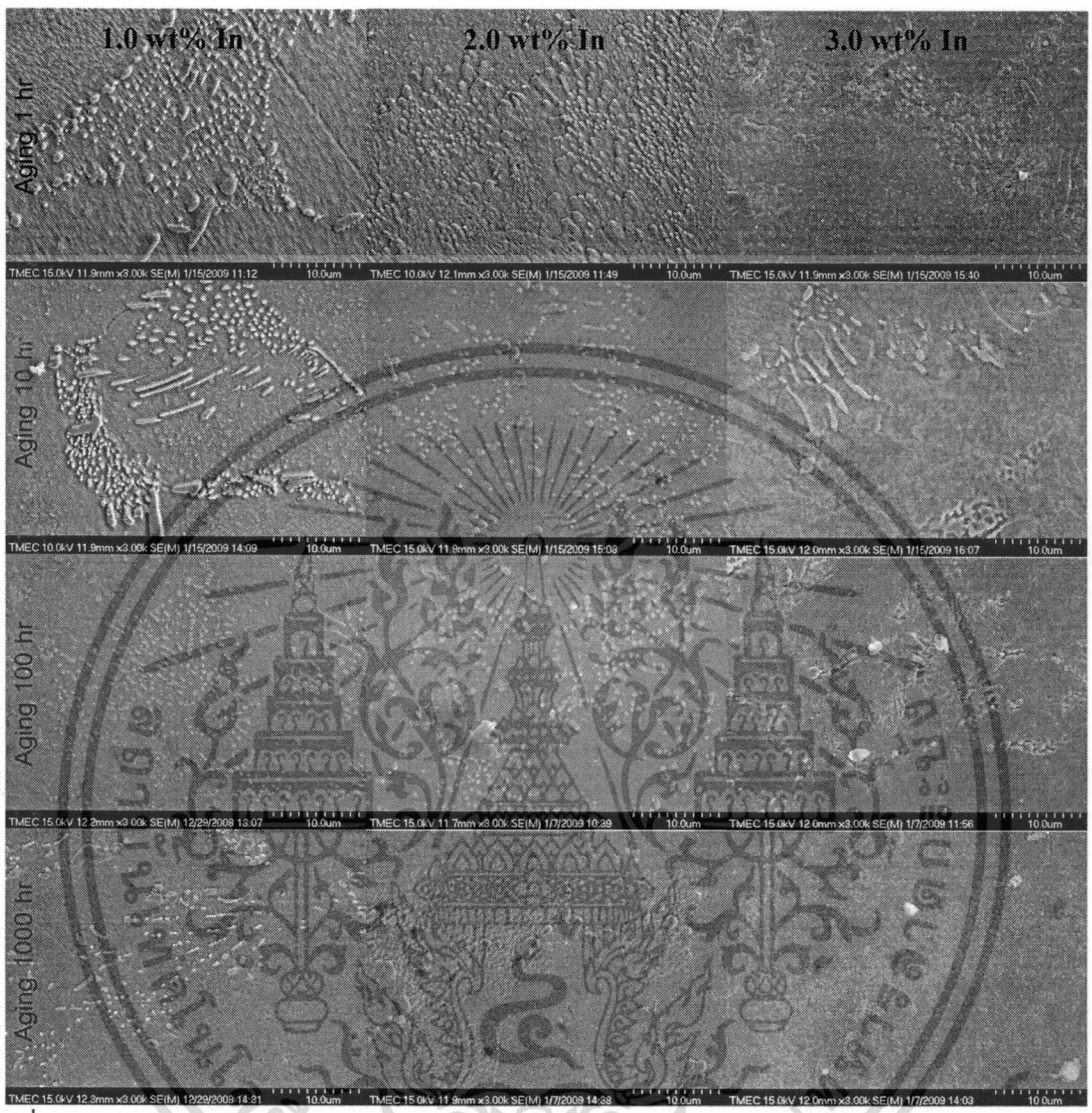
ผลการดำเนินงาน

สำหรับชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลองได้ขึ้นรูปโดยการหล่อโลหะบัดกรีเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และยาว 160 มิลลิเมตร ซึ่งโลหะบัดกรีแต่ละชนิดจะทำการหลอมในเบ้าหลอมที่ทำมาจากกราไฟต์ และทำการวิเคราะห์ส่วนผสมโดยใช้เครื่อง Spark-OES (Optical emission spectroscopy) รุ่น Spectrolab M-8 ส่วนการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานก่อนและหลังผ่านการบ่มชิ้นงาน ทำโดยใช้เครื่อง Field-Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น S-4700 โดยมีกำลังขยายสูงสุดถึง 500,000 เท่า และทำการตรวจสอบธาตุด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-Ray (EDX) โดยใช้เครื่อง EDX ยี่ห้อ IXRF SYS TEMS รุ่น Sphinx 130 S-4700

ในการอบบ่มชิ้นงานด้วยความร้อน ทำโดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปทำการอบบ่มชิ้นงาน ด้วยเครื่องบ่มชิ้นงาน ยี่ห้อ Phoenix II รุ่น P2-B5 ที่อุณหภูมิ 100°C โดยทำการอบบ่มเป็นระยะเวลาต่างกัน คือ 1, 10, 100 และ 1,000 ชั่วโมง ตามลำดับ เพื่อเป็นการจำลองสภาพการใช้งานจริงที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากอบบ่มชิ้นงานจนครบตามเวลาที่กำหนด ทำการลดอุณหภูมิชิ้นงานลง (Quenching) ด้วยอากาศ จนถึงอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคในโลหะบัดกรี ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1



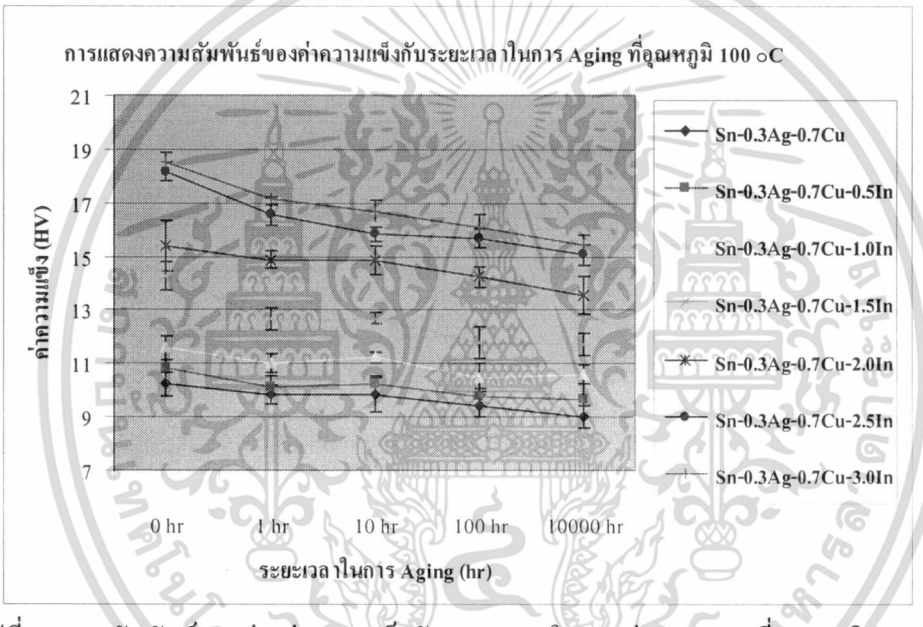
รูปที่ 1 ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.3Ag-0.7Cu-1.0In ถึง Sn-0.3Ag-0.7Cu-3.0In หลังผ่านการบ่ม (Aging) ที่อุณหภูมิ 100 °C

จากภาพตัวอย่างที่ถ่ายด้วย FE-SEM จะเห็นได้ว่าโลหะบัดกรี Sn-0.3Ag-0.7Cu ที่ผ่านการเติมอินเดียม (In) เข้าไปพบว่า ขนาดของเกรนโดยเฉลี่ยนั้นจะมีขนาดเล็กลง เมื่อมีส่วนผสมของ In ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดย In จะกระจายตัวอยู่ทั่วไปทั้งในบริเวณที่เป็นพื้นผิวปกติ และในบริเวณที่เป็นสารประกอบเชิงโลหะ เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-Ray (EDX) พบว่า ธาตุดีบุก (Sn) จะพบมากทั่วบริเวณของโครงสร้าง ส่วนธาตุเงิน (Ag) จะพบมากตามสารประกอบเชิงโลหะที่มีลักษณะกลมมน ส่วนธาตุทองแดง (Cu) จะพบมากตามสารประกอบเชิงโลหะที่มีลักษณะแท่งยาวรี

แบบเสนอโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ KORA (KMITL Office of Research Administration)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ In จะกระจายเฉลี่ยอยู่ทั่วทั้งโครงสร้างของโลหะบัดกรี และหลังจากโลหะบัดกรี ได้ผ่านการบ่ม จากภาพถ่าย FE-SEM พบว่า ขนาดของเกรนโดยเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการบ่มเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมด้วยเทคนิค EDX พบว่าโครงสร้างพื้นฐานของโลหะบัดกรียังคงเป็น Sn ส่วน Cu ยังพบมากตามสารประกอบเชิงโลหะที่มีลักษณะแท่งยาวรี แต่จะพบน้อยลงกว่าเดิม เนื่องจากความร้อนจากการบ่ม ทำให้เกิดการกระจายของสารประกอบเชิงโลหะออกเป็นก้อนเล็กๆ เพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณของ Cu ที่ตรวจพบก็ลดน้อยลง เนื่องจากได้ละลายเข้าไปอยู่ในโครงสร้างพื้นฐานมากขึ้น ส่วน Ag มีการกระจายอยู่ทั่วบริเวณโครงสร้างพื้นฐานมากขึ้น และ In ยังคงกระจายอยู่ทั่วบริเวณของโครงสร้างเช่นเดิม

ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Vickers micro hardness ที่ทำการวัดค่าความแข็งชิ้นงานละ 5 จุด ได้ผลเฉลี่ยของค่าความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับระยะเวลาในการบ่ม (Aging) ที่อุณหภูมิ 100 °C

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อผสมธาตุอินเดียม (In) ลงในโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.3Ag-0.7Cu พบว่า ค่าความแข็งของโลหะบัดกรีที่ได้มีแนวโน้มที่มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความแข็งจะสูงมากขึ้นตามปริมาณ In ที่มากขึ้นด้วย เนื่องจากการเติม In ช่วยทำให้ Cu จับตัวรวมกันเป็นสารประกอบเชิงโลหะ Cu_6Sn_5 ที่มีลักษณะเป็นก้อนต่างๆ ได้ดี และโครงสร้างโดยรวมมีความละเอียดขึ้น ส่งผลให้มีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น แต่หลังจากโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.3Ag-0.7Cu ได้ผ่านการบ่ม พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการบ่มที่นานขึ้นและอุณหภูมิที่สูงขึ้น เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นสารประกอบเชิงโลหะ Cu_6Sn_5 ที่ทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นนั้น ได้ละลายกลับเข้าไปในโครงสร้างพื้นฐาน โดยได้ตรวจพบ Cu_6Sn_5 ในปริมาณที่น้อยลง และยังพบว่า ขนาดเกรนของโครงสร้างโดยเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ความแข็งลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติของโลหะบัดกรี Sn-0.3Ag-0.7Cu-xIn เนื่องจากการบ่มด้วยความร้อน

Alteration of microstructure and properties of Sn-0.3Ag-0.7Cu-xIn solder alloy due to thermal aging

กรรณชัย กัลยาศิริ

Kannachai Kanlayasiri

บทคัดย่อ

โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน คือ โลหะบัดกรีในตระกูล Sn-Ag-Cu เนื่องจากมีข้อได้เปรียบทางด้านสมบัติทางกล และความสามารถในการบัดกรีที่ดี แต่ในการใช้งานพบว่า โลหะบัดกรีในตระกูล Sn-Ag-Cu มีจุดหลอมเหลวที่สูงถึง 217 °C ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วตระกูล Sn-Ag-Cu โดยการเติมอินเดียม (In) ลงไปในโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.3Ag-0.7Cu เพื่อศึกษาผลกระทบด้านจุดหลอมเหลว ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไป พร้อมทั้งศึกษาถึงผลกระทบต่อความแข็ง และโครงสร้างของโลหะบัดกรี หลังจากผ่านการบ่ม (Aging) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า การเติมอินเดียมช่วยในการปรับปรุงสมบัติโดยรวมของโลหะบัดกรีให้ดีขึ้น โดยสามารถลดจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีชนิดนี้ลงได้ และทำให้โครงสร้างจุลภาคมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และหลังจากโลหะบัดกรีผ่านการบ่ม พบว่าโครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งขนาดเกรนโดยเฉลี่ยของโครงสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น และเกิดการสลายตัวของสารประกอบเชิงโลหะ Cu_6Sn_5 ตามระยะเวลาที่ทำการบ่ม และอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง

ABSTRACT

Sn-Ag-Cu solder alloys are widely used due to their superior mechanical properties and wettability. However, high melting temperatures of these alloys may deteriorate the integrity of electronics devices. In this study, effect of indium (In) addition on melting temperature, microstructure, and microhardness of Sn-0.3Ag-0.7Cu solder alloy was investigated. In addition, microstructure, and microhardness the solder alloy after thermal aging was also studied. Results showed that In is able to lower melting temperature of the solder alloy, and effectively increases its microhardness. Average grain size of the microstructure was smaller with the increase of In content. After aging, the solder alloy was softer with the increase of aging temperature and aging time due to its larger grain size, and the dissolution of intermetallic compound Cu_6Sn_5.

Key Words : Indium, Sn-Ag-Cu Solder, Lead-free solder, Aging, Intermetallic compounds

E-mail : kkkannac@kmitl.ac.th

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 10520

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology – Ladkrabang 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

สืบเนื่องมาจากข้อจำกัดเกี่ยวกับการใช้สารอันตราย หรือ Restriction on hazardous substances (RoHS) ที่กำหนดโดยคณะกรรมาธิการยุโรป หรือ อีซี (EC- European commission) ที่ระบุให้มีการลดปริมาณการใช้สารตะกั่วในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยให้ใช้สารโลหะประกอบอื่นแทน [1-2] ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วขึ้นมา ในปัจจุบัน โลหะบัดกรีที่สามารถนำมาใช้แทนตะกั่วบัดกรีมีหลายชนิด ทั้งที่เป็นสารประกอบ 2 ชนิดอันได้แก่ Sn–Ag, Sn–Cu, Sn–Zn, Sn–Bi และ Sn–In หรือเป็นสารประกอบระหว่างโลหะ 3 ชนิด อันได้แก่ Sn–Ag–Cu, Sn–Ag–Bi และ Sn–Zn–Bi [3] ซึ่งโลหะบัดกรีที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คือ โลหะบัดกรีในกลุ่มของ Sn-Ag-Cu ซึ่งเป็นโลหะบัดกรีที่มีราคาที่ค่อนข้างสูง แต่มีข้อได้เปรียบทางด้านสมบัติทางกล รวมถึงความสามารถในการบัดกรีที่โดดเด่นกว่าโลหะบัดกรีชนิดอื่น ดังเช่นในงานวิจัยของ Suraski และ Seelig ได้ทำการเปรียบเทียบของ โลหะบัดกรี 3 ชนิดได้แก่ Sn-Ag, Sn-Cu, และ Sn-Ag-Cu โดยทำการเปรียบเทียบในด้านสมบัติทางกล ราคา และจุดหลอมเหลว พบว่าโลหะบัดกรีที่มีความเหมาะสมที่นำมาใช้งานแทนตะกั่วบัดกรีมากที่สุด คือ โลหะบัดกรีชนิด Sn-Ag-Cu [4] และในงานวิจัยของ Zhu และคณะ ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติโลหะบัดกรีชนิด Sn-Ag-Cu ส่วนผสมต่างกัน เทียบกับ โลหะบัดกรีชนิด Sn-Pb (ตะกั่วบัดกรี) พบว่า ที่ปริมาณ 96.5Sn-3.0Ag-0.5Cu มีค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ที่ใกล้เคียงกับ Sn-Pb มากที่สุด ซึ่งถือว่าเป็นสมบัติทางกลที่ดี และเหมาะกับการใช้งานมากที่สุด [5] แต่โลหะบัดกรีชนิด Sn-Ag-Cu มีจุดหลอมเหลวที่สูง โดยในงานวิจัยของ Pan ได้กล่าวถึงโลหะบัดกรีชนิด Sn-Ag-Cu มีจุดหลอมเหลวที่ 217 °C สูงกว่าตะกั่วบัดกรีชนิด Sn-Pb eutectic ที่มีจุดหลอมเหลวเพียง 183 °C [6] โดยจุดหลอมเหลวที่สูงขึ้นสามารถก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รวมถึงแผ่นบอร์ดได้ ดังนั้นจึงได้มีการเติมธาตุบางชนิดเข้าไป เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านจุดหลอมเหลวโลหะบัดกรี เช่นในงานวิจัยของ Chen และคณะ ได้มีการเติมธาตุพลวง (Sb) เพิ่มเข้าไป เพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านจุดหลอมเหลวให้ต่ำลง และสมบัติทางกลในการต้านทานความล้าได้ดีขึ้น [7] และในงานวิจัยของ Zhao และคณะ ได้ทำการเติมธาตุบิสมัท (Bi) เพิ่มเข้าไปเพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านจุดหลอมเหลวให้ต่ำลง และสมบัติทางกลของโลหะบัดกรีให้ดีขึ้น [8]

นอกจากนี้ ข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติทางกลต่างๆ ของโลหะบัดกรี หลังจากผ่านการใช้งาน ก็มีความสำคัญ เพราะโครงสร้างจุลภาคอาจเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้สมบัติของโลหะบัดกรีเปลี่ยนไป ดังเช่นงานวิจัยของ Miyazawa และ Ariga พบว่า ความแข็งของโลหะบัดกรีที่เปลี่ยนไปนั้น เกิดจากลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากผ่านการบ่ม (Aging) ส่งผลต่ออายุการใช้งาน และความแข็งแรงของแนวบัดกรี [9] หรือในงานวิจัยของ Li และคณะ ได้ศึกษาลักษณะของสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic compounds : IMCs) ที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะบัดกรีที่ประสานรวมกับทองแดง หลังจากผ่านการบ่มที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ลักษณะของสารประกอบเชิงโลหะ มีรูปร่างที่ใหญ่ขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น และระยะเวลาของการบ่มที่นานขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึง และความแข็งลดลง [10]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแนวทางการปรับปรุงสมบัติของโลหะบัดกรีชนิด Sn-Ag-Cu โดยมุ่งประเด็นไปที่การศึกษาอิทธิพลของธาตุอินเดียม (In) ที่มีต่อจุดหลอมเหลว ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาค พร้อมทั้งศึกษาความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากโลหะบัดกรีได้ผ่านการบ่ม เพื่อเป็นการจำลองสภาวะการใช้งานจริง ทั้งนี้โลหะบัดกรีพื้นฐานที่เลือกมาทำการศึกษาคือ Sn-0.3Ag-0.7Cu เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมบัติทางด้านจุดหลอมเหลว และสมบัติด้านอื่นๆ จะมีค่าใกล้เคียงกับโลหะบัดกรีชนิด Sn-3.0Ag-0.5Cu ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมใช้กัน แต่ Sn-0.3Ag-0.7Cu จะมีราคาถูกกว่ามาก เนื่องจากมีส่วนผสมของธาตุเงิน (Ag) ซึ่งเป็นธาตุที่มีราคาค่อนข้างสูงอยู่เพียง 0.3% โดยน้ำหนักเท่านั้น

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลอง ได้มีการจัดทำขึ้นโดยการหล่อโลหะบัดกรีเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และยาว 160 มิลลิเมตร ซึ่งโลหะบัดกรีแต่ละชนิดจะทำการหลอมในเบ้าหลอมที่เป็นกราไฟต์ และทำการวิเคราะห์ส่วนผสมโดยใช้เครื่อง Spark-OES (Optical emission spectroscopy) รุ่น Spectrolab M-8 โดยรายละเอียดส่วนผสมโลหะบัดกรีที่ใช้ในการทดลองแสดงใน ตารางที่ 1 จากนั้นแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นเล็กๆ หนาประมาณ 5 มิลลิเมตร เพื่อแยกไปทำการวิเคราะห์ในส่วนต่างๆ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลอง

Solder alloys	Composition (wt%)			
	Sn	Ag	Cu	In
Sn-0.3Ag-0.7Cu	99.0	0.3	0.7	0.0
Sn-0.3Ag-0.7Cu-0.5In	98.5	0.3	0.7	0.5
Sn-0.3Ag-0.7Cu-1.0In	98.0	0.3	0.7	1.0
Sn-0.3Ag-0.7Cu-1.5In	97.5	0.3	0.7	1.5
Sn-0.3Ag-0.7Cu-2.0In	97.0	0.3	0.7	2.0
Sn-0.3Ag-0.7Cu-2.5In	96.5	0.3	0.7	2.5
Sn-0.3Ag-0.7Cu-3.0In	96.0	0.3	0.7	3.0

การวิเคราะห์ทางโครงสร้างจุลภาค

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน ก่อน และหลังผ่านการบ่มชิ้นงาน ทำโดยใช้เครื่อง Field-Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น S-4700 โดยมีกำลังขยายสูงสุดถึง 500,000 เท่า และทำการตรวจสอบธาตุด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-Ray (EDX) โดยใช้เครื่อง EDX ยี่ห้อ IXRF SYS TEMS รุ่น Sphinx 130 S-4700

การวิเคราะห์สมบัติทางกล

การวิเคราะห์สมบัติทางกล จะทำการทดสอบสมบัติด้านความแข็ง (Hardness test) โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Vickers micro hardness ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น H-M113 ซึ่งเป็นการวัดความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรรูปพีรามิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา เป็นเวลา 10-15 วินาที โดยใช้แรงกดที่ 0.2 กิโลกรัม

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ทำการทดสอบจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีโดยใช้ Differential scanning calorimeter (DSC) โดยชิ้นงานทดสอบที่มีน้ำหนักประมาณ 65 กรัม ทำการทดสอบในเครื่อง DSC รุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

116907

DSC-50 โดยทำการทดสอบที่ Heating rate 50 °C/min โดยใช้ก๊าซ Argon พ่นปกคลุมเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นของชิ้นงานทดสอบ และใช้ Flow rate ที่ 50 ml/min

การอบบ่มชิ้นงานด้วยความร้อน

นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ ไปทำการอบบ่มชิ้นงาน ด้วยเครื่องบ่มชิ้นงาน ยี่ห้อ Phoenix II รุ่น P2-B5 ที่อุณหภูมิ 100°C โดยทำการอบบ่มเป็นระยะเวลาต่างกัน คือ 1, 10, 100 และ 1,000 ชั่วโมง ตามลำดับ เพื่อเป็นการจำลองสภาพการใช้งานจริงที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากอบบ่มชิ้นงานจนครบตามเวลาที่กำหนด ลดอุณหภูมิชิ้นงานลง (Quenching) ด้วยอากาศ จนถึงอุณหภูมิห้อง

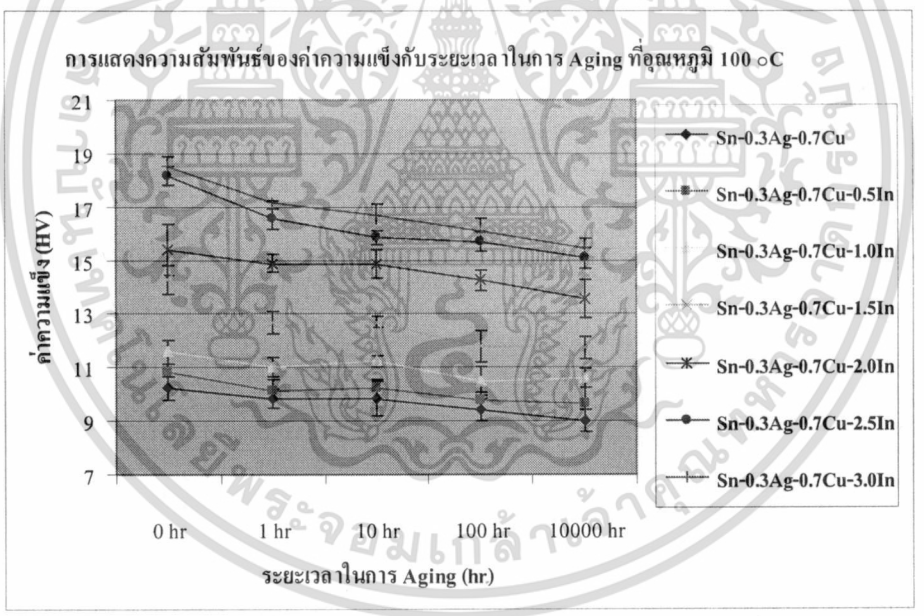
ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคในโลหะบัดกรี ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ตัวอย่างภาพโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.3Ag-0.7Cu-1.0In ถึง Sn-0.3Ag-0.7Cu-3.0In หลังผ่านการบ่ม (Aging) ที่อุณหภูมิ 100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพตัวอย่างที่ถ่ายด้วย FE-SEM จะเห็นได้ว่าโลหะบัดกรี Sn-0.3Ag-0.7Cu ที่ผ่านการเติมอินเดียม (In) เข้าไปพบว่า ขนาดของเกรนโดยเฉลี่ยนั้นจะมีขนาดเล็กลง เมื่อมีส่วนผสมของ In ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดย In จะกระจายตัวอยู่ทั่วไปทั้งในบริเวณที่เป็นพื้นผิวปกติ และในบริเวณที่เป็นสารประกอบเชิงโลหะ เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-Ray (EDX) พบว่า ธาตุดีบุก (Sn) จะพบมากทั่วบริเวณของโครงสร้าง ส่วนธาตุเงิน (Ag) จะพบมากตามสารประกอบเชิงโลหะที่มีลักษณะกลมมน ส่วนธาตุทองแดง (Cu) จะพบมากตามสารประกอบเชิงโลหะที่มีลักษณะแท่งยาวรี และ In จะกระจายเฉลี่ยอยู่ทั่วทั้งโครงสร้างของโลหะบัดกรี และหลังจากโลหะบัดกรี ได้ผ่านการบ่ม จากภาพถ่าย FE-SEM พบว่า ขนาดของเกรนโดยเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการบ่มเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมด้วยเทคนิค EDX พบว่า โครงสร้างพื้นฐานของโลหะบัดกรียังคงเป็น Sn ส่วน Cu ยังพบมากตามสารประกอบเชิงโลหะที่มีลักษณะแท่งยาวรี แต่จะพบน้อยลงกว่าเดิม เนื่องจากความร้อนจากการบ่ม ทำให้เกิดการกระจายของสารประกอบเชิงโลหะออกเป็นก้อนเล็กๆ เพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณของ Cu ที่ตรวจพบก็ลดน้อยลง เนื่องจากได้ละลายเข้าไปอยู่ในโครงสร้างพื้นฐานมากขึ้น ส่วน Ag มีการกระจายอยู่ทั่วบริเวณโครงสร้างพื้นฐานมากขึ้น และ In ยังคงกระจายอยู่ทั่วบริเวณของโครงสร้างเช่นเดิม ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Vickers micro hardness ที่ทำการวัดค่าความแข็งชิ้นงานละ 5 จุด ได้ผลเฉลี่ยของค่าความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับระยะเวลาในการบ่ม (Aging) ที่อุณหภูมิ 100 °C

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อผสมธาตุอินเดียม (In) ลงในโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.3Ag-0.7Cu พบว่า ค่าความแข็งของโลหะบัดกรีที่ได้มีแนวโน้มที่มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความแข็งจะสูงมากขึ้นตามปริมาณ In ที่มากขึ้นด้วย เนื่องจากการเติม In ช่วยทำให้ Cu จับตัวรวมกันเป็นสารประกอบเชิงโลหะ Cu_6Sn_5 ที่มีลักษณะเป็นก้อนต่างๆ ได้ดี และโครงสร้างโดยรวมมีความละเอียดขึ้น ส่งผลให้มีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น แต่หลังจากโลหะบัดกรีชนิด Sn-0.3Ag-0.7Cu ได้ผ่านการบ่ม พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการบ่มที่นานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอุณหภูมิที่สูงขึ้น เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นสารประกอบเชิงโลหะ Cu_6Sn_5 ที่ทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นนั้น ได้ละลายกลับเข้าไปในโครงสร้างพื้นฐาน โดยได้ตรวจพบ Cu_6Sn_5 ในปริมาณที่น้อยลง และยังพบว่า ขนาดเกรนของโครงสร้างโดยเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ความแข็งลดลง ผลการวิเคราะห์จุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีแต่ละชนิดโดยเครื่อง DSC แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีแต่ละชนิดที่อ่านได้จากเครื่อง DSC

Solder alloys	Solidus temperature (°C)	Liquidus temperature (°C)
Sn-0.3Ag-0.7Cu	219.4	241.7
Sn-0.3Ag-0.7Cu-0.5In	216.2	240.8
Sn-0.3Ag-0.7Cu-1.0In	212.2	240.6
Sn-0.3Ag-0.7Cu-1.5In	209.4	238.4
Sn-0.3Ag-0.7Cu-2.0In	208.5	237.4
Sn-0.3Ag-0.7Cu-2.5In	202.7	232.6
Sn-0.3Ag-0.7Cu-3.0In	197.7	230.2

จากตารางที่ 2 เป็นค่าเฉลี่ยของจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีแต่ละชนิด ที่ได้มาจากเครื่อง DSC จะเห็นว่า เมื่อมีการเติมธาตุอินเดียม (In) ในปริมาณที่มากขึ้น จุดหลอมเหลวจะมีค่าต่ำลง เนื่องจาก In ที่เติมลงไปมีจุดหลอมเหลวเพียง 156.6 °C ส่งผลให้เกิดการลดลงของจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรี เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ Liquidus และ Solidus พบว่า โลหะบัดกรีที่มีการเติมปริมาณ In มากขึ้นจะส่งผลให้ช่วงระหว่างอุณหภูมิ Liquidus และ Solidus มีความกว้างมากขึ้น ซึ่งช่วงความกว้างระหว่างอุณหภูมิ Liquidus และ Solidus เป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้โลหะบัดกรี เนื่องจากช่วงระหว่างอุณหภูมิ Liquidus และ Solidus ที่กว้างมากขึ้นนั้นจะทำให้ควบคุมอุณหภูมิได้ยากในกระบวนการผลิต

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า การเติมธาตุอินเดียม (In) สามารถช่วยในการปรับปรุงสมบัติโดยรวมของโลหะบัดกรีได้ดี เมื่อเติม In ลงไป 3 wt% พบว่า สามารถลดจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีชนิดนี้ลงได้ 21.7 °C และทำให้โครงสร้างจุลภาคมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจาก 10.23 HV เป็น 18.23 HV และหลังจากโลหะบัดกรีได้ผ่านการบ่ม พบว่า โครงสร้างจุลภาคเกิดการเปลี่ยนแปลงของขนาดเกรนโดยเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้น และเกิดการสลายตัวของสารประกอบเชิงโลหะ Cu_6Sn_5 ตามระยะเวลาการบ่มที่นานเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความแข็งของโลหะบัดกรีลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้เงินทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] MTEC. "สาระสำคัญของระเบียบ WEEE & RoHS". Available: http://www.thairohs.org

[2] ประดิษฐ์ โอวรินทร์รัตน์. "AMP NETCONNECT กับ RoHS Compliant". Available: http://www.ampnetconnect.th.com

[3] Cristina Andersson, Peng Sun and Johan Liu. "Tensile properties and microstructural characterization of Sn–0.7Cu–0.4Co bulk solder alloy for electronics applications". Journal of Alloys and Compounds, 2007

[4] Suraski, D. and Seelig, K. 2001. The Current Status of 95.8Sn-3.5Ag-0.7Cu Lead-Free Solder Alloys. IEEE Transactions on 96.5Sn-3.0Ag-0.5Cu, 98.3Sn-1.0Ag-0.7Cu, 99Sn-Electronics Packaging Manufacturing, 24: 244-248

[5] Zhu, F. Wang, Z. Guan, R. Zhang, H. 2005. Mechanical Properties of a Lead-Free Solder Alloy. Intermational Conference on Asian Green Electronics. Penang, Malaysia, Dec. 7-9, 2005: 107-112.

[6] Jianbiao Pan., Brian J. Toleno, Tzu-Chien Chou and Wesley J. Dee. "Effect of Reflow Profile on SnPb and SnAgCu Solder Joint Shear Force".

[7] G.Y. Lia, B.L. Chen, X.Q. Shi, Stephen C.K. Wong and Z.F. Wang. "Effects of Sb addition on tensile strength of Sn–3.5Ag–0.7Cu solder alloy and joint". Thin Solid Films., vol. 504, 2006. pp. 421 – 425

[8] Jie Zhao, Lin Qi, Xiu-min Wang and Lai Wang. "Influence of Bi on microstructures evolution and mechanical properties in Sn–Ag–Cu lead-free solder". Journal of Alloys and Compounds., vol. 375, 2004.pp.196–201.

[9] Miyazawa, Y. and Ariga, T. 2001. Influences of Aging Treatment on Microstructure and Hardness of Sn-(Ag,Bi,Zn) Eutectic Solder Alloys. Materials Transactions, 42: 776-782.

[10] Xiaoyan Li, Xiaohua Yang and Fenghui Li. "Effect of isothermal aging on interfacial IMC growth and fracture behavior of SnAgCu/Cu soldered joints" Sch. of Mater. Sci. & Eng., Beijing Univ. of Technol., Beijing;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้