ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการบัดกรีกับการเกิดสารประกอบเชิงโลหะในรอยบัดกรีของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi กับแผ่นรองทองแดง
แหล่งเงิน เงินรายได้
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 80,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2556
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
นายกรรณชัย กัลยาศิริ
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการบัดกรีกับการเกิดสารประกอบเชิงโลหะในรอยบัดกรีของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi กับแผ่นรองทองแดง และทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยใช้การบัดกรีแบบจุ่มในการบัดกรีโลหะบัดกรี Sn-58Bi เข้ากับแผ่นรองทองแดงที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 ^{o}C เป็นระยะเวลา 5, 15 และ 25 วินาที จากการบัดกรีภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวพบเฉพาะสารประกอบเชิงโลหะ Cu_6Sn_5 เกิดขึ้นที่รอยบัดกรี สำหรับการบัดกรีที่อุณหภูมิคงที่ พบว่าความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบัดกรี โดยมีลักษณะความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตรง มีค่าเลขยกกำลังของแบบจำลอง Power law เท่ากับหนึ่ง และเมื่อบัดกรีด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน พบว่าความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นในลักษณะความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลยกกำลังสอง ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้เลือกการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุในการสร้างแบบจำลองเพื่อรวมความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตรงและแบบโพลิโนเมียลเข้าด้วยกัน และพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการทำนายความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะได้เป็นอย่างดี โดยมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดในการทำนายเท่ากับ 1.83%

คำสำคัญ : โลหะบัดกรีไร้ตะกั่ว การบัดกรี สารประกอบเชิงโลหะ แบบจำลองการเจริญเติบโต

Research Title: A study on relationship between soldering temperature and time and the formation of intermetallic compounds of Sn-58Bi lead-free solder and Cu substrate

Researcher: Kannachai Kanlayasiri

Faculty: Engineering **Department**: Industrial Engineering

ABSTRACT

The aim of this research was to develop a mathematical model to relate effect of soldering temperature and time to thickness of intermetallic compound (IMC) layer between Sn-58Bi lead-free solder and copper substrate. Dip soldering was performed to collect the experimental data for modeling. Soldering temperature was at 170, 190 and 210 ^{o}C with soldering time of 5, 15 and 25 seconds. The IMC layer found at the soldering interfaces of all soldering conditions was Cu_6Sn_5. At a constant soldering temperature, thickness of the IMC layer was linearly increased with the increase of soldering time indicating that the IMC layer growth was a linear kinetics and the exponent of the power law model was equal to one. When the soldering time was kept constant, thickness of the IMC layer was well related with the soldering temperature in a second-order polynomial form. Therefore, by these reasons, multiple regression analysis was selected as the modeling approach to combine the linear and polynomial relationship of the IMC growth. The developed mathematical model was verified and showed a high prediction accuracy. The average prediction error was 1.83%.

Keywords : Lead-free solders, Soldering, Intermetallic compounds, Growth model

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

กรรณชัย กัลยาศิริ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 โลหะนอกกลุ่มเหล็ก 4

2.2 โลหะผสม 8

2.3 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว 9

2.4 การบัดกรี 12

2.5 โลหะพื้น 13

2.6 การแพร่ 13

2.7 ฟลักซ์ 15

2.8 แผนภาพสมดุล 16

2.9 ระบบที่อยู่ในสภาวะสมดุล 17

2.10 เฟสมัธยันตร์ 18

2.11 เฟสไดอะแกรม 19

2.12 โลหศาสตร์ 21

2.13 กล้องจุลทรรศน์โลหการ 24

2.14 การทดสอบสมมติฐาน 26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.15 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง 27
2.16 การทดลองปัจจัยเดียวและการวิเคราะห์ความแปรปรวน 34
2.17 การวิเคราะห์ทางสถิติ 40
2.18 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 41
2.19 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ 46
2.20 วิธีการพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ 48
2.21 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 51
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 54
3.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ 54
3.2 การวิเคราะห์ผลทางโครงสร้างจุลภาค 56
3.3 การออกแบบการทดลอง 57
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 58
3.5 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ 58
บทที่ 4 ผลการวิจัย 61
4.1 โครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง 61
4.2 โครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด 62
4.3 ธาตุและเฟสของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ 63
4.4 ค่าความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ 64
4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเชิงถดถอย 65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 70
5.1 สรุปผลการวิจัย 70
5.2 ข้อเสนอแนะ 71
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง 72
ประวัตินักวิจัย 75

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำกว่า 180 °C 11

2.2 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว 180 °C – 200 °C 11

2.3 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว 200 °C – 230 °C 11

2.4 โลหะผสมที่มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวมากกว่า 230 °C 12

2.5 ชนิดของโลหะต่อความยากง่ายในการบัดกรี 13

2.6 รูปแบบการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน 33

2.7 แสดงข้อมูลสำหรับการทดลองปัจจัยเดียว 35

2.8 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัจจัยเดียว แบบจำลองผลกระทบคงที่ 41

2.9 รูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย 42

2.10 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร 45

4.1 ค่าความหนาเฉลี่ยของชั้นสารเชิงประกอบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ 65

4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับโดยเลือกรูปแบบ Full Quadratic 65

4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับโดยเลือกรูปแบบ Full Quadratic 66

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 การแพร่โดยอาศัยช่องว่าง 14
2.2 การแพร่แบบแทรกที่ 14
2.3 เฟสไดอะแกรม Ternary ที่ประกอบด้วย Sn-Bi-Cu 20
2.4 Cu-Bi Phase Diagram 21
2.5 กล้องจุลทรรศน์เชิงแสง 25
2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 26
2.7 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ 28
2.8 ตัวอย่างของการระบุหาสาเหตุของปัญหาโดยการใช้แผนภูมิก้างปลา 32
2.9 ผลตอบสนองแบบสามมิติ 49
2.10 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวตอบสนอง 50
2.11 วิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ 51
3.1 ลักษณะของแผ่นรองทองแดงที่ตัดด้วยเครื่องตัดแบบคันโยก 54
3.2 ฟลักซ์ Ultracore Flux AMR N-1003 54
3.3 เตาหลอมไฟฟ้า 55
3.4 ลักษณะของแผ่นรองทองแดงที่ถูกตัด 55
3.5 ชิ้นตัวอย่างที่หล่อเรซิน 56
3.6 เครื่อง Elma E30H Elmasonic 56
3.7 ภาพที่ได้จากการ SEM ด้วยวิธี Back Scattering electron ที่กำลังขยาย 6,000 เท่า 57
4.1 โครงสร้างจุลภาคหลังการบัดกรีแบบจุ่มที่อุณหภูมิ 210^{o}C เป็นเวลา 5 วินาที 61
4.2 โครงสร้างจุลภาคหลังการบัดกรี วิเคราะห์โดยใช้รูปแบบ Backscatter 62
4.3 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ EDX ของชั้น Cu_6Sn_5 63
4.4 เฟสไดอะแกรมของ Cu-Sn 64
4.5 การกระจายแบบปกติของค่า Residual (3^k Factorial Design) 67
4.6 การกระจายตัวของค่า Residual เทียบกับ Observation (3^k Factorial Design) 67
4.7 การกระจายตัวของค่า Residual เทียบกับ Fitted Value (3^k Factorial Design) 68