

学 位 論 文 の 要 旨

超音波フリップチップボンディング接合部の高強度化手法に関する研究
(Study on strengthening method for joint of ultrasonic flip chip bonding)

氏 名 富岡 泰造 印

本研究では、超音波フリップチップボンディングによる電子デバイスの Au バンプと電極の接合部を高強度化するため、4つの手法に関する研究を行った。Au バンプと Au 電極の接合において、電極の Au 層の厚化およびランプ状接合荷重が接合部せん断強度に及ぼす影響を調べた。また、せん断強度の増加に有効である接合面の全域でフレットイング（微小な相対すべり振動）が起こる接合を取り上げ、Chip on Chip 接合における Au バンプと Al 電極の接合に及ぼすチップ同士の平行度の影響を調査した。さらに、接合面に垂直な振動方向の超音波を印加する接合方法による Au バンプと Au 電極の接合部の高強度化を検討した。

第1章では、電子機器の製造における電子デバイスパッケージ組立技術の位置付けを示し、安価な電子デバイスパッケージの小型化に有効な超音波フリップチップボンディングに関する研究の意義を述べた。また、当該接合技術における課題と本研究の目的を示し、論文の構成について述べた。

第2章では、Au バンプとセラミック基板の Au 電極の接合において、接合部のせん断強度に及ぼす基板電極の Au 層の厚化の影響を調査した。その結果、Au 層厚を 0.44 μm から 0.91 μm に厚化することにより、Au バンプの巨視的な塑性変形量が変わらず、接合部のせん断荷重が約 50% 増加することを明らかにし、Au 層の厚化はせん断強度の増加に有効であることを示した。せん断荷重が増加する理由として、Au 層が厚くなると塑性流動が発生し易くなり、接合面の微視的な塑性変形量が増加することを示した。また、Au バンプの巨視的な塑性変形量が変わらない原因として、基板電極の凹凸に起因する基板電極と Au バンプとの摩擦力が大きいこと、基板電極と Au バンプとの接合状態が摩擦力に及ぼす影響が相対的に小さくなることを示した。

第3章では、Au バンプとセラミック基板の Au 電極の接合を対象として、超音波の印加中に接合荷重をランプ状に増加させる方法が接合部のせん断強度に及ぼす影響を調査した。Au バンプの高さを 78 μm から 30 μm まで減少させる接合において、接合荷重を一定に保

持する通常の接合と比較して、ランプ状接合荷重の接合では接合部のせん断強度が 110% 増加することを明らかにした。その理由として、接合初期の接合荷重が低い状態で接合面の全域でフレットングが起こり接合されることと、フレットングにより Au バンプおよび電極の接合障害物を破壊しながら拡張する真実接合面積が増加することを示した。

第 4 章では、Au バンプとチップの Al 電極の接合面の全域でフレットングが起こる接合を用いた Chip on Chip 接合におけるチップ平行度の影響を調査した。平行度の低下により Au バンプと Al 電極の接合面積に約 2 倍の差が生じても、全ての Au バンプにおいて Al 電極との接合面積に対する真実接合面積の比率が約 65% に達することを明らかにした。真実接合面積の比率が変わらない理由として、接合面において微視的な塑性変形を起こす超音波によるせん断力と接合荷重による圧力に、平行度の影響が無いことを示した。

第 5 章では、接合面に垂直な振動方向の超音波を印可する接合方法による Au バンプとセラミック基板の Au 電極の接合部の高強度化を検討した。接合部のせん断荷重および Au バンプの巨視的な塑性変形量を、接合面に平行な振動方向の超音波を印加する通常の接合方法と比較した。その結果、Au バンプの高さ減少率が 60~64% の範囲において、接合部のせん断強度が約 20% 向上することを明らかにした。また、接合に寄与する主な微視的な塑性変形は接合面の拡大領域におけるフレットングではなく、Au バンプと Au 電極の密着過程で生じることが示唆され、接合部せん断強度の増加には接合荷重を高くすることが有効であることを示した。

第 6 章では、本研究を総括した。

学 位 論 文 の 要 旨

超音波フリップチップボンディング接合部の高強度化手法に関する研究
(Study on strengthening method for joint of ultrasonic flip chip bonding)

氏 名 富岡 泰造 印

In this study, to increase the bond strength of the joint of an Au bump and an electrode in electronic devices by the ultrasonic flip chip bonding, four methods have been studied. The effects of thickening of the Au layer of the electrode and the ramp-up bonding load on the shear strength of the joint have been investigated in the bonding of the Au bump and the Au electrode. In addition, the bonding method using fretting (reciprocating relative slip with minute stroke) at the whole region of the bonding area, which is effective to increase the shear strength of the joint, was picked up, and the effect of the parallelism between chips on bonding the Au bump and the Al electrode in the Chip on Chip bonding has been investigated. Furthermore, strengthening the joint of the Au bump and the Au electrode by the bonding method which applies ultrasonic vibration perpendicular to the bonding interface has been investigated.

In Chapter 1, the positioning of the assembly technology of the electronic device package in the manufacturing of electronic equipment was presented. The significance of the study of the ultrasonic flip chip bonding which is effective to miniaturize the packages of inexpensive electric devices was described. Also, the problems of this bonding method and the purpose of this study were shown and the constitution of this dissertation was explained.

In Chapter 2, in the bonding of the Au bump and the Au electrode on the ceramic substrate, the effect of thickening the Au layer of the electrode on the shear strength of the joint was investigated. As a result, it was clarified that the shear force increases by approximately 50% without changing macroplastic deformation amount of the Au bump when the thickness of the Au layer thickens from 0.44 μm to 0.91 μm . Thus, it was shown that thickening the Au layer is effective in increasing the shear strength of the joint. As the reason for the increase of the shear force, it was suggested that microplastic deformation amount at the bonding interface increases due to being easier to occur plastic flow by thickening the Au layer. The reason why the macroplastic deformation amount of the Au bump becomes constant was seemed that the frictional force between the substrate electrode and the Au bump is high due to a rough surface of the substrate electrode and

thus the effect of the bonding state between the Au bump and the Au electrode on the frictional force relatively becomes small.

In Chapter 3, in the bonding of the Au bump and the Au electrode on the ceramic substrate, the effect of the method using ramp-up bonding load in ultrasonic bonding on the shear strength of the joint was investigated. The shear strength of the joint bonded by ramp-up bonding load was clarified to increase by 110% compared to that of the joint bonded by the conventional constant bonding load in the case of bonding where the height of the Au bump decreases from 78 μm to 30 μm . Following two reasons for the increase of the shear strength were concluded. The one is that fretting at the bonding interface occurs with low bonding load in the early stage of bonding so that almost the whole region of the bonding area is bonded. The other is that the true bonded area generated by the expansion with the destruction of the bonding inhibitors of the Au bump and the Au electrode by fretting increases.

In Chapter 4, in the bonding where fretting occurs at the whole region of the bonding area between the Au bump and the Al electrode on the chip, the effect of the parallelism between chips on the bondability in the Chip on Chip bonding was investigated. It was clarified that the ratio of the true bonded area to the bonding area with the Al electrode reaches approximately 65% in all Au bumps in the chip even if the bonding areas of Au bumps and Al electrodes has two times difference due to the low parallelism between the chips. As the reason why the ratio of the true bonded area becomes constant, it was shown that both the shear force by ultrasonic vibration and the pressure by bonding load which cause microplastic deformation at the bonding interface are not affected by the parallelism of chips.

In Chapter 5, the strengthening of the joint of the Au bump and the Au electrode on the ceramic substrate by the method using ultrasonic vibration perpendicular to the bonding interface was investigated. The shear force of the joint and the macroplastic deformation amount of Au bumps were compared to those by the conventional bonding method in which ultrasonic vibration parallel to the bonding interface is applied. As a result, it was found that the shear strength becomes higher approximately 20% compared to the conventional bonding method when the height reduction ratio of the Au bump is in the range of 60 to 64%. In addition, it was shown that the main microplastic deformation contributing to the bonding occurs in the contact process of the Au bump and the Au electrode not in the fretting process in the bonding area expansion region. Thus, it was clarified that the higher bonding load is effective to increase the shear strength of the joint.

In Chapter 6, this study was summarized.